

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
В МАШИНОСТРОЕНИИ**

**ACTUAL PROBLEMS
IN MACHINE BUILDING**

**МАТЕРИАЛЫ ПЕРВОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

г. Новосибирск, 26 марта 2014 г.

**Proceedings of the First International
Scientific and Practical Conference**

26 March 2014

**NOVOSIBIRSK
2014**

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
В МАШИНОСТРОЕНИИ

ACTUAL PROBLEMS
IN MACHINE BUILDING

МАТЕРИАЛЫ
ПЕРВОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ

Proceedings of the First International Scientific
and Practical Conference

г. Новосибирск, 26 марта 2014 года

Новосибирск
2014

УДК 621.7/.9(063)

А 437

Организаторы конференции:

Hochschule RheinMain University of Applied Sciences, Leibniz Universität Hannover, Донбасская государственная машиностроительная академия, Беларуский национальный технический университет, Новосибирский государственный технический университет, ОАО НПТ и ЭИ «Оргстанкинпром», ООО НПКФ «Машсервисприбор», научно-технический и производственный журнал «Обработка металлов», «ITE Сибирь/ITE Siberia», Кузбасский государственный технический университет, Кузбасское региональное отделение РАЕ, Сибирский государственный индустриальный университет, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Бийский технологический институт АлтГТУ им. И.И. Ползунова, Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томский политехнический университет, Братский государственный университет

Организационный комитет:

➤ **Батаев А.А.**, главный редактор научно-технического и производственного журнала «Обработка металлов», профессор, д.т.н., проректор НГТУ, (г. Новосибирск), **сопредседатель.**

➤ **Коротков А.Н.**, академик РАЕ, профессор, д.т.н., КузГТУ (г. Кемерово), **сопредседатель.**

Члены оргкомитета: **Монико Грайф**, профессор, доктор, Высшая школа Рейн-Майн, Университет прикладных наук (г. Рюссельсхайм), **Томас Хассел**, профессор, доктор, Ганноверский университет Вильгельма Лейбница (г. Гарбсен), **Флориан Нюрнбергер**, профессор, доктор, Ганноверский университет Вильгельма Лейбница (г. Гарбсен), **Ковалевский С.В.**, проректор ДГМА (г. Краматорск), **Пантелеенко Ф.И.**, профессор, д.т.н., член-корреспондент НАН Беларуси, БНТУ (г. Минск), **Атапин В.Г.**, зам. главного редактора журнала «Обработка металлов», профессор, д.т.н., НГТУ (г. Новосибирск), **Афанасьев В.К.**, академик РАЕН, профессор, д.т.н., зав. каф. СибГИУ (г. Новокузнецк), **Буров В.Г.**, профессор, к.т.н., декан факультета НГТУ (г. Новосибирск), **Герасенко А.Н.**, директор ООО НПФК «Машсервисприбор» (г. Новосибирск), **Гурьев А.М.**, профессор, д.т.н., зав. каф. АлтГТУ (г. Барнаул), **Кирсанов С.В.**, профессор, д.т.н., ТПУ (г. Томск), **Косов В.В.**, зам. ген. директора ОАО «Первый Кемеровский авторемонтный завод» (г. Кемерово), **Левин В.Е.**, профессор, д.т.н., зам. зав. каф. НГТУ (г. Новосибирск), **Марков А.М.**, профессор, д.т.н., зав. каф. АлтГТУ (г. Барнаул), **Матвеев К.А.**, профессор, д.т.н., декан факультета НГТУ (г. Новосибирск), **Мещерякова Н.А.**, директор выставки, «ITE Сибирь/ITE Siberia» (г. Новосибирск), **Овчаренко А.Г.**, профессор, д.т.н., зав. каф. БТИ АлтГТУ (г. Бийск), **Рахмьянов Х.М.**, профессор, д.т.н., зав. каф. НГТУ (г. Новосибирск), **Скиба В.Ю.**, зам. главного редактора журнала «Обработка металлов», доцент, к.т.н., НГТУ (г. Новосибирск), **Татаркин Е.Ю.**, профессор, д.т.н., зав. каф. АлтГТУ (г. Барнаул), **Янюшкин А.С.**, профессор, д.т.н., член-корреспондент САН ВШ, академик МАН ВШ, зав. каф. БГУ (г. Братск)

А 437 Актуальные проблемы в машиностроении: материалы первой международной научно-практической конференции / под ред. В.Ю. Скибы. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2014. – 588 с.

ISBN 978-5-7782-2410-0

В сборнике представлены материалы первой международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы в машиностроении», отражающие проблемы и перспективы развития инновационных технологий в машиностроении, методов создания и исследования новых и существующих конструкционных материалов, взаимодействия науки и промышленных предприятий, инновационных и инвестиционных подходов в промышленности.

Сборник материалов подготовлен редакцией журнала «Обработка металлов». Тезисы докладов приводятся в авторской редакции. За содержание представленной информации ответственность несут авторы.

Конференция проведена в рамках реализации программы стратегического развития университета на 2012-2016 гг. «Инженерные и научные кадры для инновационной экономики» и при поддержке выставочной компании «ITE Сибирь/ITE Siberia».

УДК 621.7/.9(063)

ISBN 978-5-7782-2410-0

© Новосибирский государственный
технический университет, 2014

© Коллектив авторов, 2014

СОДЕРЖАНИЕ
CONTENTS

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ
INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN MACHINE BUILDING

- А. В. ШАШОК, А. В. КУТЫШКИН***
ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СИЛ РЕЗАНИЯ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ
МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ 19
A.V. Shashok, A.V. Kutyshkin
Theoretical evaluation of cutting forces in high-speed machining structural steels
- А. В. ШАШОК, А. В. КУТЫШКИН***
ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ
ТОЧЕНИИ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ 23
A.V. Shashok, A.V. Kutyshkin
Evaluation of cutting temperature in high-speed turning structural steels
- Г. Е. ЛЕВШИН, А. А. КАРИХ***
ПРОГРЕВ МАГНИТНОЙ ФОРМЫ ТЕПЛОМ СТАЛЬНОЙ ОТЛИВКИ 27
G.E. Levshin, A.A. Karix
Warming up magnetic mold warm cast steel
- Г. Е. ЛЕВШИН, Д. С. КУЛЬДЯЙКИН, А. В. ЛЕВАГИН***
РАЗВИТИЕ ИНДУКЦИОННОЙ ТИГЕЛЬНОЙ ПЛАВКИ В ПЕЧАХ
ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ 33
G. E. Levshin, D. S. Kuldiakin, A. V. Levagin
Development of induction crucible melting in furnaces industrial frequency
- А. Ю. КОЗЛЮК***
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОЛИТА ПРИ
ПРОТОЧНОМ ХРОМИРОВАНИИ ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ
ДЛИННОМЕРНЫХ ИЗДЕЛИЙ 38
A. Yu. Kozluk
Numerical modeling of the current of electrolyte at flowing chromium plating of
internal surfaces of lengthy products
- Е. А. КУДРЯШОВ, И. М. СМИРНОВ, Е. И. ЯЦУН***
ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ЧИСТОВОГО
ТОЧЕНИЯ КОНСТРУКТИВНО СЛОЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ
РЕЗЦАМИ ИЗ КОМПОЗИТА 42
E. A. Kudryashov, I. M. Smirnov, E.I. Yatsun
Tool ensuring processes of fair turning of structurally difficult surfaces of details with
cutters from the composite
- Е. В. БЕРЕЖНАЯ, А. В. РАЗЖИВИН***
ПОСТРОЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ПРОЦЕССОМ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ НАПЛАВКИ 49
O. V. Berzshnaya, A. V. Razshivin
Building of intelligent process control system of electrocontact deposition

Э. П. ГРИБКОВ, В. А. ДАНИЛЮК АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ПРОКАТКИ ПОРОШКОВОЙ ЛЕНТЫ E. P. Gribkov, V. A. Danilyuk The automated design of technological modes of rolling powder tape	56
Ю. К. ДОБРОНОСОВ, А. В. ГУЩИН ОТДЕЛОЧНО-УПРОЧНЯЮЩАЯ ОБРАБОТКА ВАЛОВ РОЛИКОМ С КЛИНОВЫМ ПРОФИЛЕМ Y. K. Dobronosov, A. V. Gushchin Finishing-strengthening shafts treatment with wedge roller	63
А. А. ДОРОХОВ, С. А. ЕГОРОВ, Н. А. ДЕМЕНТЬЕВА РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДСТВ A. A. Dorohov, S. A. Egorov, N. A. Dementeva The development and study of cutting fluids	68
С. Ю. КАЛЯКУЛИН, В. В. КУЗЬМИН ВЫЯВЛЕНИЕ ОТНОШЕНИЙ И УСТАНОВЛЕНИЕ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ КОНСТРУКТОРСКИМИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА S. Y. Kalyakulin, V. V. Kuzmin Reveal the attitude and networking among designing and technological parameters of technological process	71
Л. П. КОЛОТ, С. Г. ОНИЩУК ОБРАБОТКА С РАЦИОНАЛЬНОЙ СИЛОЙ РЕЗАНИЯ L. P. Kolot, S. G. Onishchuk Treatment with rational cutting force	78
А. Л. ПЛОТНИКОВ, А. С. СЕРГЕЕВ, Н. Г. ЗАЙЦЕВА ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИГНАЛА ТЕРМОЭДС ПРОБНОГО ПРОХОДА В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ РАСЧЕТЕ ВЫСОТЫ МИКРОНЕРОВНОСТИ ПРИ ТОЧЕНИИ КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ A. L. Plotnikov, A. S. Sergeev, N. G Zaitseva The using of signal thermoemf in automated calculation of roughness when turning stainless steels	83
Ю. С. ЧЁСОВ, Е. А. ЗВЕРЕВ, П. В. ТРЕГУБЧАК, Н. В. ВАХРУШЕВ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПОД НАПЫЛЕНИЕ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ Yu. S. Chesov, E. A. Zverev, P. V. Tregubchak, N. V. Vakhrushev Research of mechanical preprocessing necessary for spraying of gas-thermal coatings	90
В. В. ЛУКЪЯНОВ, Н. В. БЕРДИН, В. К. БЕРДИН, А. М. СМЫСЛОВ ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВРЕМЕНИ НА ВЕЛИЧИНУ ПРУЖИНЕНИЯ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ПРАВКИ ПЛОСКОЙ ПЛАСТИНЫ ИЗ СПЛАВА 04X13H4MC	96

- V. V. Lukyanov, N. V. Berdin, V. K. Berdin, A. M. Smyslov**
Influence of temperature and time on value at springing thermal straightening flat plate alloy 04X13H4MC
- Б. А. КРАСИЛЬНИКОВ, Ю. С. СЕМЕНОВА, М. А. САУТКИНА,
В. А. СКРЫННИК**
РАСЧЕТ ОПЕРАЦИОННЫХ РАЗМЕРОВ НА ЭТАПАХ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ 99
B. A. Krasilnikov, Yu. S. Semyonova, M. A. Sautkina, V. A. Skrinnik
Calculation of operating sizes on coating process stages
- А. С. СМУТКИН, Г. А. СЫРЕЦКИЙ**
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРАТЕГИЙ ФРЕЗЕРОВАНИЯ
ДЕТАЛЕЙ ТИПА «ЛОНЖЕРОН» 106
A. G. Smutkin, G. A. Syretskiy
A research of efficiency strategy milling of parts like «Longeron»
- А. А. САПРЫКИН, Е. А. ИБРАГИМОВ, Е. В. БАБАКОВА, В. И. ЯКОВЛЕВ**
ИЗМЕНЕНИЕ ХАРАКТЕРА SLS-СПЕКАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ
ПОРОШКОВ ПОСЛЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ МЕХАНОАКТИВАЦИИ 110
A. A. Saprykin, E. A. Ibragimov, E. V. Babakova, V. I. Yakovlev
The changing nature of SLS-sintering of metal powders after preliminary mechanical activation
- А. Г. ОВЧАРЕНКО, В. В. МАРУСИН, В. Ю. УЛЬЯНИЦКИЙ, А. Ю. КОЗЛЮК,
М. О. КУРЕПИН**
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ МАГНИТНО-
ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ НА КАЧЕСТВО БУРОВОГО
ТВЕРДОСПЛАВОВОГО ИНСТРУМЕНТА 116
**A. G. Ovcharenko, V. V. Marusin, V. Yu. Ul'janickij, A. Yu. Kozljuk,
M. O. Kurepin**
The research influence of the combined magnetic-pulse processing on quality of the boring tool from a hard alloy
- А. А. САПРЫКИН, Н. А. САПРЫКИНА**
ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПОСЛОЙНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЕКАНИЯ НА
КАЧЕСТВО СПЕЧЕННОГО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ИЗ
КОБАЛЬТХРОММОЛИБДЕНОВОГО ПОРОШКА 119
A. A. Saprykin, N. A. Saprykina
Influence of conditions of layer-by-layer laser on quality of surface layer sintered kobaltdkrommolibdenovy powder
- Н. Ф. САУШКИНА, Е. А. ИБРАГИМОВ, А. А. САПРЫКИН**
СТРАТЕГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ СПЕЧЕННОГО СЛОЯ ПРИ СИНТЕЗЕ
ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ SLS 124
N. F. Saushkina, A. A. Saprykin, E. A. Ibragimov
Strategy of formation of sintered layer in the synthesis products by a method SLS

<i>А. А. ДЕМИН, И. А. ТИТОВ</i> ВЛИЯНИЕ ДОПУСКА ВЫСОТЫ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ДЕФОРМИРУЕМОЙ ВТУЛКИ НА ПРОЧНОСТЬ ТРЕХЭЛЕМЕНТНОГО ПРЕССОВОГО СОЕДИНЕНИЯ	129
A. A. Demin, I. A. Titov Influence of height tolerance sleeve strength of the three-forging connections	
<i>А. В. ГРАДОБОВЕВ, А. А. САПРЫКИН, Е. В. БАБАКОВА, Е. А. ИБРАГИМОВ</i> ПОСЛОЙНОЕ ЛАЗЕРНОЕ СПЕКАНИЕ МЕДНОГО ПОРОШКА, ОБЛУЧЕННОГО ГАММА-КВАНТАМИ Co^{60}	134
A. V. Gradoboev, A.A. Saprykin, E.V. Babakova, E. A. Ibragimov Layer-by-layer laser sintering of copper powder irradiated by gamma quanta Co^{60}	
<i>А. М. ФИРСОВ, В. А. КАЛИСТРУ, И. В. ТРАПЕЕВ, В. Н. ДРОБЫШЕВ</i> ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ НА ТОЧНОСТЬ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ БАЗОВЫХ ОТВЕРСТИЙ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ	139
A. M. Firsov, V. A. Kalistru, I. V. Trapeev, V. N. Drobyshev Influence of thermal deformation son the accuracy of machining the base holes case- shaped parts with complex shape	
<i>W.-G. DROSSEL, V. WITTSTOCK, I. DUDAREV, M. SCHUMANN</i> ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПОТОКОВ ЭНЕРГИИ В СРЕДЕ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ ЧАСТИЦ	144
W.-G. Drossel, V. Wittstock, I. Dudarev, M. Schumann Energy visualization flow in the Virtual Reality environment using the particle system	
<i>Р. А. АНЗЫРЯЕВ</i> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ПЛАСТИЧЕСКОГО СВЕРЛЕНИЯ	150
R. A. Anzyryaev Experimental studies when determining optimum modes of plastic drilling	
<i>А. В. БАЛАШОВ, А. А. ВЕРХОВСКАЯ, И. С. ПОТАПОВ</i> СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ ТОЧНОСТЬЮ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НЕЖЕСТКИХ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ	157
A. V. Balashov, A. A. Verhovskaya, I. S. Potapov Way of management of accuracy production of nonrigid case details	
<i>С. Л. ЛЕОНОВ, А. М. ИКОННИКОВ, Р. В. ГРЕБЕНЬКОВ</i> АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ЗАЗОРА ПРИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ ПРОСТРАНСТВЕННО СЛОЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ	162
S. L. Leonov, A. M. Ikonnikov, R. V. Grebenkov Automatic adjustment of working with gap magnetic space-abrasive machining of complex surfaces	
<i>С. А. ПЕРЦАТЬЕВ, В. В. СМИРНОВ</i> ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ФОРМООБРАЗУЮЩЕЙ ОСНАСТКИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ СИНХРОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	166

S. A. Pertsatiev, V. V. Smirnov Productive design of tooling with using synchronous modeling	
Е. Ю. ТАТАРКИН, А. М. ИКОННИКОВ, В. С. СИЛИВАКИН РАСЧЕТ СЪЕМА МЕТАЛЛА ПРИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ E. Yu. Tatarkin, A. M. Ikonnikov, V. S. Silivakin Calculation metal removal in magnetic abrasive machining	172
А. М. МАРКОВ, А. Н. РОМАШЕВ КЛАССИФИКАЦИЯ СПОСОБОВ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА A. M. Markov, A. N. Romashev Classification of ways of the cutting tool condition monitoring	178
В. В. РЫЖИКОВ, А. А. АНТОНОВА, И. К. ЛУКАШ, Е. А. СУДАКОВА, К. И. ТЕЛИЦЫНА ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ СТАНКОВ С ЧПУ МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ V. V. Ryzhikov, A. A. Antonova, I. K. Lukash, E. A. Sudakova, K. I. Telitsyna Studying accuracy of numerical control lathe by using mathematically statistical method	187
А. М. МАРКОВ, П. О. ЧЕРДАНЦЕВ, С. В. ГАЙСТ, О. А. БАРСУКОВА МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗНОСА ИНСТРУМЕНТА НА ОПЕРАЦИЯХ ФРЕЗЕРОВАНИЯ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ A. M. Markov, P. O. Cherdancev, S. V. Gayst, O. A. Barsukova The research technique of tool wear during milling of fiberglass	193
В. В. ЯНПОЛЬСКИЙ, Т. В. КОЗИЧ ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО РАСТВОРЕНИЯ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ПОРОШКОВОГО МАТЕРИАЛА ПС12НВК V. V. Yanpolskiy, T. V. Kozich Features of electrochemical dissolution of the powder coating material based PS12NVK	198
NEUGEBAUER, R., DIX, M., RÜGER, C. HYBRIDE BEARBEITUNGSTECHNOLOGIEN MIT KRYOGENER KÜHLUNG ODER LASERUNTERSTÜTZUNG. HYBRID CUTTING TECHNOLOGIES WITH CRYOGENIC COOLING OR LASER ASSISTANCE	202
Д. А. ЧИНАХОВ, Е. И. МАЙОРОВА ВЛИЯНИЕ ГАЗОДИНАМИКИ НА ГЕОМЕТРИЮ ШВА И СВОЙСТВА СОЕДИНЕНИЙ ПРИ СВАРКЕ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ D. A. Chinakhov, E. I. Mayorova The influence of gas dynamics on the weld geometry and welded joints properties in consumable electrode welding	211

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ОСНАСТКА
И ИНСТРУМЕНТЫ
TECHNOLOGICAL EQUIPMENT, MACHINING ATTACHMENTS
AND INSTRUMENTS**

В. Г. АТАПИН

МОДЕЛИ ДЛЯ РАСЧЕТА КОНТАКТНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ В СТЫКАХ
ТЯЖЕЛОГО МНОГОЦЕЛЕВОГО СТАНКА

V. G. Atapin

Calculation models of contact deformations of carrier system machining center

216

В. Г. АТАПИН

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНДАМЕНТА ТЯЖЕЛОГО МНОГОЦЕЛЕВОГО
СТАНКА

V. G. Atapin

Modeling foundation of the heavy machining center

220

Б. М. РЫВКИН, В. В. МОЛОДЦОВ

О ПАРАМЕТРАХ, ВЛИЯЮЩИХ НА ЖЕСТКОСТЬ РОЛИКОВЫХ
НАПРАВЛЯЮЩИХ МОДУЛЬНОГО ТИПА

B. M. Ryvkin, V.V. Molodtsov

About parameters influencing the stiffness modular type roller guide system

223

С. Н. БАГАЕВ, Г. Н. ГРАЧЕВ, А. Л. СМИРНОВ, М. Н. ХОМЯКОВ,

А. О. ТОКАРЕВ

МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ СЕРОГО ЧУГУНА МЕТОДОМ ЛАЗЕРНО-
ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ

S. N. Bagayev, G. N. Grachev, A. L. Smirnov, M. N. Khomyakov, A. O. Tokarev

Surface modification of cast iron by laser-plasma treatment

229

А. В. ФИЛИППОВ

КОСОУГОЛЬНОЕ ТОЧЕНИЕ БРЕЮЩИМИ РЕЗЦАМИ

A. V. Filippov

Oblique turning skiving cutters

236

Е. Б. ЩЕЛКУНОВ, С. В. ВИНОГРАДОВ, М. Е. ЩЕЛКУНОВА

ОБ ОЦЕНКЕ КОМПОНОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ
МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИХ СТАНКОВ С ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ
КИНЕМАТИКОЙ

E. B. Shchelkunov, S. V. Vinogradov, M. E. Schelkunova

About an assessment of layout solutions of metalworking machines with parallel kinematics

242

В. Н. ПУШНИН, И. А. ЕРОХИН, Д. Ю. КОРНЕВ, В. Ю. СКИБА

СТАНОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ОСНОВАННОЕ НА
КОМПЛЕКСИРОВАНИИ НЕСКОЛЬКИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ

V. N. Pushnin, I. A. Erohin, D. Yu. Kornev, V. Yu. Skeeba

Machine-tool equipment, based on a complexation of several working operations

245

Л. А. НЕЙМАН, В. Ю. НЕЙМАН НИЗКОЧАСТОТНЫЕ УДАРНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ МАШИНЫ И ТЕХНОЛОГИИ V. Yu. Neyman, L. A. Neyman Low-frequency impact electromagnetic machines and technologies	256
В. Ю. НЕЙМАН, Л. А. НЕЙМАН, О. В. РОГОВА НОВЫЕ ТИПЫ КОНСТРУКЦИЙ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ВИБРАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ V. Yu. Neyman, L. A. Neyman, O. V. Rogova New types of linear electromagnetic devices constructions for vibratory technologies	260
В. В. ГУСЕВ, Л. П. КАЛАФАТОВА, С. Ю. ОЛЕЙНИК УМЕНЬШЕНИЕ ВЫСОТЫ ВОЛНИСТОСТИ ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ГЛУБИННОМ АЛМАЗНОМ ШЛИФОВАНИИ ТОНКОСТЕННЫХ ОБОЛОЧЕК ИЗ СИТАЛЛОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ СПОСОБАМИ V. V. Gusev, L. P. Kalafatova, S. Y. Oleynik Reducing the height of waviness of machined surfaces with a deep diamond grinding of thin ceramics shells by the technological ways	264
А. А. РОДИНА СТРУКТУРА БЛОЧНО-МОДУЛЬНОЙ САПР ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ ЛИНИИ A. A. Rodina The structure of a modular CAD galvanic line	269
А. А. СКОТНИКОВ ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНЕЙНОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ МАШИНЫ ВИБРОУДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ПРИВОДА ПРЕССОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ A. A. Skotnikov Research linear electromagnetic machines for drive vibroimpacting action press equipment	275
Я. И. СОЛЕР, А. И. ШУСТОВ, А. В. ПРОКОПЬЕВА Предсказание средних шагов шероховатости при маятниковом шлифовании быстрорежущих пластин P12Ф3К10М3 нитридоборными кругами высокой пористости Ya. I. Soler, A. I. Shustov, A. V. Prokopeva Prediction the mean spacing of roughness of tool steels R12F3K10M3 while pendulous grinding with high porosity nitride-boron wheels	279
Б. С. ТОЛЫСБАЕВ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ТЕЛЕЖКИ В СИСТЕМЕ «ТЕЛЕЖКА – ПОДВЕСНОЙ ПУТЬ» B. S. Tolysbaev Studying moving truck in the system truck- hanging way	286

<i>С. П. АНДРОСОВ, И. Г. КАЛЯРИ</i> ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ К РЕЖУЩИМ КРОМКАМ ЧЕРВЯЧНОЙ ФРЕЗЫ S. P. Androsov, I. G. Cagliari Differential geometric characteristics of the cutting edges worm cutters	290
<i>Н. П. ГААР, Д. А. ПЛИТЕНЕЦКИЙ, М. В. ЕВТЕЕВ, В. Ю. БЕЗМЕНОВ</i> ВОПРОСЫ БАЗИРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКЕ N. P. Gaar, D. A. Plitenetsky, M. V. Evteev, V. Y. Bezmenov Questions based parts catalogued in automatic welding	295
<i>Г. В. ЛИТОВКА, А. В. ПАВЕЛЬЧУК</i> ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ АБРАЗИВНЫХ ГРАНУЛ ЗА СЧЕТ УЧЕТА ГЕОМЕТРИИ КОНТАКТНЫХ УЧАСТКОВ G.V. Litovka, A.V. Pavelchuk Increase of operational properties of abrasive granules by taking into account of geometry of contact sections	301
<i>Е. К. ЗАЙЦЕВ, М. А. ЗАЙЦЕВА, В. Ю. СКИБА</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОХЛАЖДЕНИЯ АБСОРБЕРА В ANSYS WORKBENCH E. K. Zaytsev, M. A. Zaytseva, V. Yu. Skeebea Modeling of cooling absorber in ANSYS Workbench	308
<i>Е. К. ЗАЙЦЕВ, М. А. ЗАЙЦЕВА, К. Г. ЗАЙЦЕВ, В. Ю. СКИБА</i> ПРИМЕНЕНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ ШТОКА E. K. Zaytsev, M. A. Zaytseva, K. G. Zaytsev, V. Yu. Skeebea Application design solutions to increase resistance stem	313
<i>А. М. МЕДВЕДЕВ, Г. В. ЛИТОВКА, А. В. СТАНИЙЧУК</i> ПОИСК ОПТИМАЛЬНЫХ ВАРИАНТОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАЛОШУМНЫХ РЕДУКТОРНЫХ СИСТЕМ МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ A. M. Medvedev, G. V. Litovka, A. V. Stanichuk Scientific search of optimal variants of design of low-noise reduction systems for metal cutting and technological equipment	317
<i>С. В. ЛУКИНА, В. М. МАКАРОВ, М. В. КРУТЯКОВА</i> ОПТИМИЗАЦИЯ СТОИМОСТИ ИННОВАЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ НА ПРОЕКТНЫХ ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ S. V. Lukina, V. M. Makarov, M. V. Krutjakova Optimization of cost for innovative solutions for the design phase life cycle of the high-tech machine building details	324
<i>С. И. ПЕТРУШИН</i> ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ ИЗ СЛОИСТЫХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ ПО УСЛОВИЮ ОТСУТСТВИЯ МЕЖСЛОЙНЫХ ТРЕЩИН	331

S. I. Petrushin

Designing the layered composite cutting point on condition of being interlaminar crack free

Б. С. ТОЛЫСБАЕВ, К. С. БЕКБАЕВ, Р. С. БЕКБАЕВА

НОВЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ РЕЖУЩЕГО МЕХАНИЗМА ВОЛЧКОВ

B. S. Tolysbaev, K. S. Bekbayev, R. S. Bekbayeva

New design solutions macerator grinders

336

А. В. ЛОБУНЕЦ, В. Н. БЕЛЯЕВ

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АБРАЗИВНЫХ ЧАСТИЦ ПО ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ИНСТРУМЕНТА НА МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ СВЯЗКЕ

A. V. Lobunets, V. N. Belyaev

Mathematical model abrasive particle distribution over the surface in tools in metal bond

340

Н. А. БОГДАНОВА, В. В. ЧЕРНОМАС, А. А. СОСНИН

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ОСАДКЕ ПЕРФОРИРОВАННОЙ ПЛАСТИНЫ

N. A. Bogdanova, V. V. Chernomas, A. A. Sosnin

Experimental investigation of deformation processes at the compression of the perforated plate

346

Н. А. АНДРЕЕВА, А. М. ФИРСОВ

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОТВЕРСТИЙ В БАРАБАНАХ КОТЛОВ ДКВР

N. A. Grishanenko, A. M. Firsov

Ensuring of the accurate holes location in the boiler drums DKVR

351

П. В. ВЕРЕЩАГИН, И. В. БЕЛЯЕВ, М. Ю. ЯКУШЕВ

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЙ НА ПРОЧНОСТЬ ДЕФОРМИРУЮЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

P. V. Vereshchagin, I. V. Belyaev, M. U. Yakushev

Effect of strength stress concentrator deforming tools

356

В. А. КАЛИСТРУ, А. М. ФИРСОВ, А. Ф. ШАТОХИН

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ТРУБЫ ЭКОНОМАЙЗЕРНОЙ МЕТОДОМ ЛИТЬЯ ПО ГАЗИФИЦИРОВАННОЙ МОДЕЛИ

V. A. Kalistru, A. M. Firsov, A. F. Shatohin

Economizer pipes manufacturing by lost-foam casting

363

И. П. МИРОШНИЧЕНКО

ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

I. P. Miroshnichenko

Optical measuring tools and technologies for quality control structural materials

368

- В. В. РЫЖИКОВ, А. А. АНТОНОВА, И. К. ЛУКАШ, И. С. ПРОЗОРОВ,
Е. А. СУДАКОВА, К. И. ТЕЛИЦЫНА***
РАЗРАБОТКА НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ГОЛОВКИ
**V. V. Ryzhikov, A. A. Antonova, I. K. Lukash, I. S. Prozorov, E. A. Sudakova,
K. I. Telitsyna** 376
New tool head construction development

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ В МАШИНОСТРОЕНИИ
MATERIALS SCIENCE IN MACHINE BUILDING**

- В. К. АФАНАСЬЕВ, С. В. ДОЛГОВА, Т. С. ПАУТОВА, Д. С. ПЯТИНА,
В. А. ЛЕЙС, А. А. КОПЫТЬКО***
О ВОЗДЕЙСТВИИ ОБРАБОТКИ РАСПЛАВА И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
НА ЛИНЕЙНОЕ РАСШИРЕНИЕ АЛЮМИНИЕВОКРЕМНИЕВЫХ СПЛАВОВ
**V. K. Afanasyev, S. V. Dolgva, T. S. Pautova, D. S. Pyatina, V. A. Leis,
A. A. Kopytko** 381
**About impact of processing fusion and heat treatment on linear dilation the
aluminum-silicon alloys**

- В. К. АФАНАСЬЕВ, С. В. ДОЛГОВА, В. А. ЛЕЙС, А. В. ГОРШЕНИН, Г. Г.
ШАНИН, Н. Д. ТЕБИН***
О ЛИНЕЙНОМ РАСШИРЕНИИ ДЕФОРМИРОВАННЫХ СИНТЕТИЧЕСКИХ
СИЛУМИНОВ
**V. K. Afanasyev, S. V. Dolgva, V. A. Leis, A. V. Gorshenyn, G. G. Shanyn,
N. D. Tebin** 387
About linear dilation of the deformed synthetic silumin

- Ю. Л. КРУТСКИЙ, А. Г. БАННОВ, А. А. БЕЛОУСОВА, В. В. КУЗНЕЦОВА***
ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА СИНТЕЗА ДИБОРИДА ЦИРКОНИЯ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОВОЛОКНИСТОГО УГЛЕРОДА
Yu. L. Krutskiy, A. G. Bannov, A. A. Belousova, V. V. Kuznetsova 392
The studying of the synthesis of zirconium diboride using nanofibrous carbon

- Д. В. ВАЛУЕВ, В. И. ДАНИЛОВ***
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ КРУПНЫХ
ПОКОВОК ИЗ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ МАРКИ ST52,3N ПРИ
ОБРАБОТКЕ ДАВЛЕНИЕМ
D. V. Valuev, V. I. Danilov 396
Study of the problem crack formation of large forgings of low carbon steel ST52,3N
pressure treatment

- В. Н. КОРНОПОЛЬЦЕВ, В. И. МОСОРОВ***
ПОЛУЧЕНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ БОРИДНЫХ ПОКРЫТИЙ И
ИССЛЕДОВАНИЕ НАСЫЩАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СМЕСЕЙ ПРИ
ПОВТОРНЫХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯХ
V. N. Kornopoltsev, V. I. Mosorov 403
Reception complex boride covering and research saturating abilities of the mixtures
under repeated usage

- В. Н. КОРНОПОЛЬЦЕВ, А. К. СУБАНАКОВ, В. И. МОСОРОВ**
ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОГО БОРИДНОГО ПОКРЫТИЯ
ФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ 412
V. N. Kornopol'tsev, A. K. Subonakov, V. I. Mosorov
A study of complex boride covering by physical methods
- М. В. ПОПОВА, Н. В. КИБКО**
ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ НА ПАРАМЕТРЫ МИКРОСТРУКТУРЫ И
ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВА Al-15%Si 419
M. V. Popova, N. V. Kibko
Influence of an alloying on parameters of a microstructure and physical properties of
an alloy of Al-15%Si
- А. С. СЫРОМЯТНИКОВА, В. И. ПОПОВ, Е. М. ГУЛЯЕВА**
ПРИМЕНЕНИЕ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ ДЛЯ
ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ ТРУБНЫХ СТАЛЕЙ 426
A. S. Syromyatnikova, V. I. Popov, E. M. Gulyaeva
Application of atomic-force microscopy for microstructure researches of ferritic-
pearlitic steels
- В. К. АФАНАСЬЕВ, А. Н. ПРУДНИКОВ, М. В. ПОПОВА, В. А. ПРУДНИКОВ**
ВЛИЯНИЕ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ И ОТЖИГА НА
СТРУКТУРУ И УДЕЛЬНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ СТАЛИ
МАРКИ Ст3пс 431
V. K. Afanasyev, A. N. Prudnikov, M. V. Popova, V. A. Prudnikov
Influence of thermocyclic deformation and annealing on the structure and specific
electrical resistivity steel grade Ст3пс
- В. В. ЗОБНЕВ, А. М. МАРКОВ, С. Г. ИВАНОВ, А. М. ГУРЬЕВ**
ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ДИФФУЗИОННЫХ
БОРИДНЫХ ПОКРЫТИЙ НА РАБОЧИХ ОРГАНАХ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН 435
V. V. Zobnev, A. M. Markov, S. G. Ivanov, A. M. Guriev
Wear resistance of multicomponent boronizing coating on working organs of
agricultural machinery
- С. Г. ИВАНОВ, А. М. ГУРЬЕВ, Т. Г. ИВАНОВА, М. А. ГУРЬЕВ,
И. А. ГАРМАЕВА**
ЗАВИСИМОСТЬ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ОТ МОРФОЛОГИИ
МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ДИФФУЗИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА СТАЛЯХ 440
S. G. Ivanov, A. M. Guriev, T. G. Ivanova, M. A. Guriev, I. A. Garmayeva
Dependence of durability morphology multicomponent diffusion coatings on steel
- А. А. ЧЕВАКИНСКАЯ, А. В. ИВАНОВА, А. А. НИКУЛИНА**
ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ПРИ КОНТАКТНОЙ СВАРКЕ
ЗАГОТОВОК ИЗ РАЗНОРОДНЫХ СТАЛЕЙ 447
A. A. Chevakin'skaya, A. V. Ivanova, A. A. Nikulina
Study of dissimilar steels joints structure after contact welding

- Ю. Л. КРУТСКИЙ, Е. В. АНТОНОВА, А. Г. БАННОВ, И. С. ФРОЛОВА**
ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА СИНТЕЗА ДИБОРИДА ТИТАНА С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОВОЛОКНИСТОГО УГЛЕРОДА 453
Yu. L. Krutskiy, A. V. Antonova, I. S. Frolova, A. G. Bannov
The studying of the synthesis of titanium diboride with the use nanofibrous carbon
- В. А. БУТУХАНОВ, Б. Д. ЛЫГДЕНОВ, Б. Ш. ЦЫРЕТОРОВ**
ДИФФУЗИОННОЕ УПРОЧНЕНИЕ ШТАМПОВОЙ ОСНАСТКИ 459
V. A. Butukhanov, B. D. Lygdenov, B. Sh. Tsyretorov
The hardening of stamping tools by diffusion
- Н. С. БЕЛОУСОВА, С. В. ВЕСЕЛОВ, Д. А. АНУФРИЕНКО,
Р. С. ТИМАРЕВСКИЙ, Р. И. КУЗЬМИН**
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЛАЖНОСТИ И ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО
СОСТАВА ПРЕСС-ПОРОШКА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СПЕЧЕННОЙ
АЛЮМООКСИДНОЙ КЕРАМИКИ 467
N. S. Belousova, S. V. Veselov, D. A. Anufrienko, R. S. Timarevskiy, R. I. Kuzmin
Humidity and granulometric composition influence on the structure and properties of
sintered alumina ceramic
- С. В. ВЕСЕЛОВ, Н. С. БЕЛОУСОВА, Н. Ю. ЧЕРКАСОВА, О. А. ГОРЯЙНОВА,
Е. В. МЕЛЬНИКОВА, А. О. ЛАЗАРЕВ**
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДОБАВКИ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ НА СТРУКТУРУ И
СВОЙСТВА АЛЮМООКСИДНОЙ КЕРАМИКИ 473
**S. V. Veselov, N. S. Belousova, N. Yu. Cherkasova, O. A. Goryainova,
E. V. Melnikova**
An appraisal of zirconia additives influence on alumina ceramic structure and
properties
- Д. Д. ГОЛОВИН, А. А. ЛОСИНСКАЯ**
НАСЫЩЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ
ЗАГОТОВОК ИЗ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ УГЛЕРОДОМ ПРИ
ВНЕВАКУУМНОЙ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ОБРАБОТКЕ 478
D. D. Golovin, A. A. Losinskaya
Saturation of surface layers of low carbon steel cylindrical workpieces with carbon
using atmospheric electron beam cladding
- В. И. КУЗЬМИН, Е. В. КАРТАЕВ, Д. В. СЕРГАЧЁВ, Е. Е. КОРНИЕНКО,
Е. Ю. ЛАПУШКИНА, А. О. ТОКАРЕВ**
ПЛАЗМЕННОЕ НАПЫЛЕНИЕ ПОРОШКОВЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ
ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЙ ФОКУСИРОВКЕ ДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ 482
**V. I. Kuz'min, E.V. Kartaev, D.V. Sergachev, E.E. Kornienko, E.U. Lapushkina,
A.O. Tokarev**
Plasma spraying of powder coating with gas-dynamic focusing of disperse phase
- Д. С. КРИВЕЖЕНКО, Е. А. ДРОБЯЗ, Т. А. ЗИМОГЛЯДОВА**
ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ БОРОСОДЕРЖАЩИХ
ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ В ПРОЦЕССЕ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ
ОБРАБОТКИ 489
D. S. Krivezhenko, E. A. Drobyaz, T. A. Zimoglyadova
Structure formation features of boron-containing coatings obtained by high-speed treatment

С. Ю. НАГАВКИН ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКРОВОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ ЧАСТИЦ КАРБИДА ВОЛЬФРАМА S. Y. Nagavkin Perspectives of spark plasma sintering in producing composite materials, based on nanoscale particles of tungsten carbide	493
А. И. ПОПЕЛЮХ, М. Р. ЮРКЕВИЧ, П. А. ПОПЕЛЮХ ПРИМЕНЕНИЕ КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ ШТАМПОВАННЫХ ПОКОВОК A. I. Popelyukh, M. R. Yurkevich, P. A. Popelyukh Combined thermomechanical treatment application for forged piece strengthening	497
Н. В. СТЕПАНОВА ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ МЕДИ НА СТРУКТУРУ СЕРОГО ЧУГУНА N. V. Stepanova Effect of copper content on the structure of gray cast iron	503
Н. В. СТЕПАНОВА, А. А. РАЗУМАКОВ, И. Ю. ЖИЛЬЦОВ, И. А. СОКОЛОВ ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ МЕДИ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЕРОГО ЧУГУНА N. V. Stepanova, A. A. Razumakov, I. U. Zhil'tsov, I. A. Sokolov Effect of copper content on the structure and mechanical properties of gray cast iron	509
Д. В. ЛАЗУРЕНКО, О. Э. МАТЦ, К. А. КУЗЬМИН ФОРМИРОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ТИПА «ТИТАН – АЛЮМИНИД ТИТАНА» МЕТОДОМ ИСКРОВОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ D. V. Lazurenko, O. E. Matts, K. A. Kuzmin Formation of "titanium – titanium aluminide" composite materials by the method of spark plasma sintering	514
О. Г. ЛЕНИВЦЕВА, В. В. САМОЙЛЕНКО, П. Н. КОМАРОВ ВЛИЯНИЕ СОСТАВА НАПЛАВОЧНОЙ СМЕСИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ТИТАНА O. G. Lenivtseva, V. V. Samoilenko, P. N. Komarov Influence of the mixture powders composition on the structure and properties of titanium surface layers	521
Л. И. ШЕВЦОВА, Т. С. САМЕЙЩЕВА ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИТА «АЛЮМИНИД НИКЕЛЯ – НИКЕЛЬ» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ИСКРОВОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ L. I. Shevtsova, T. S. Sameyshcheva Fabrication of the "nickel aluminide - nickel" composite by using the spark plasma sintering technology	527

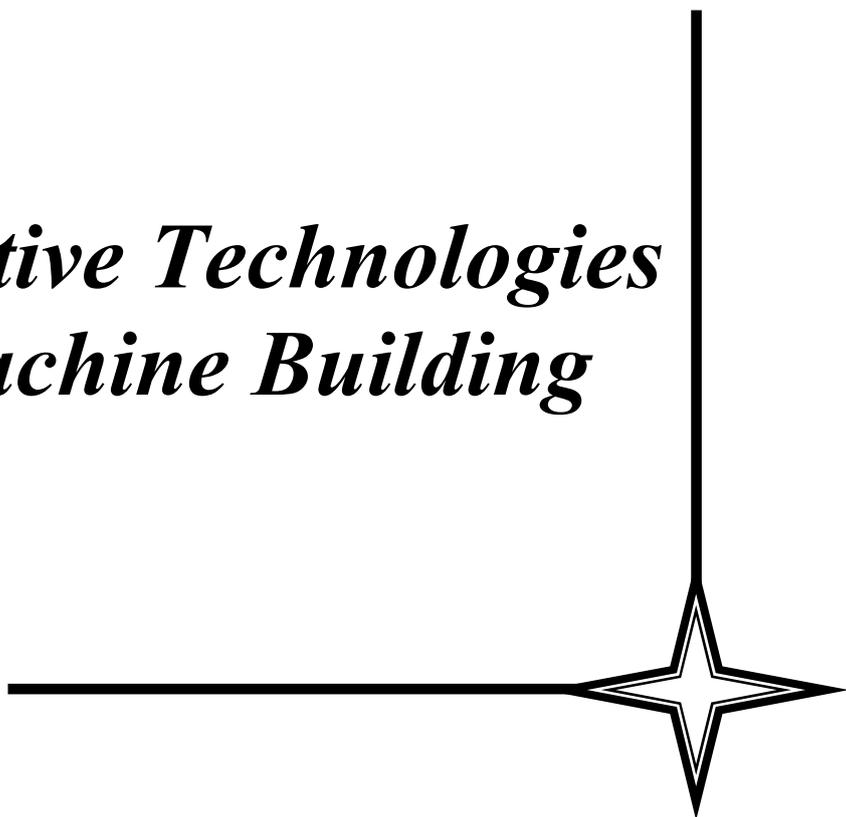
- П. Н. КОМАРОВ, А. А. РУКТУЕВ**
ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ И СТРУКТУРЫ
ПОКРЫТИЙ ТРЕХКОМПОНЕНТНОЙ СИСТЕМЫ Ti-Ta-Nb
СФОРМИРОВАННЫХ НА ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНА ВТ1-0
ВНЕВАКУУМНОЙ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ОБРАБОТКОЙ 532
P. N. Komarov, A. A. Ruktuev
Choice of design parameters of base details at the design stage
- Д. О. МУЛЬ, А. Н. ШМИДТ**
МНОГОСЛОЙНАЯ НАПЛАВКА КАРБИДОСОДЕРЖАЩИХ ПОРОШКОВЫХ
СМЕСЕЙ НА УГЛЕРОДИСТУЮ СТАЛЬ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА, ВЫВЕДЕННОГО В
ВОЗДУШНУЮ АТМОСФЕРУ 536
D. O. Mul, A. N. Shmidt
Cladding of multilayers carbide-containing coatings on carbon steel substrates by high-
energy electron beam, injected in atmosphere
- А. М. МАРКОВ, Д. А. ГАБЕЦ, А. В. ГАБЕЦ**
ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ТЕЛЕЖКИ ГРУЗОВОГО ВАГОНА
ПУТЕМ РАЦИОНАЛЬНОГО ВЫБОРА МАТЕРИАЛА 542
A. M. Markov, D. A. Gabets, A. V. Gabets
Parts reability improvement of freight-car truck by judicious choice of material
- Л. П. КОРОТКОВА, Д. В. ВИДИН, С. В. ЛАЩИННИНА**
ПРОБЛЕМА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
В УСЛОВИЯХ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ КУЗБАССА 546
L. P. Korotkova, D. V. Vidin, S. V. Laschinina
Quality control problems of structural materials under Machine-building enterprises
Kuzbass
- ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ
В МАШИНОСТРОЕНИИ
ECONOMICS AND ORGANIZATION OF THE BUSINESS INNOVATIVE
PROCESSES IN MACHINE BUILDING**
- Д. В. ШАТЬКО, Д. И. ШАТЬКО**
ИННОВАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО
ПРЕДПРИЯТИЯ В РАМКАХ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА 555
D. V. Shatko, D. I. Shatko
Innovative activity of machine-building enterprise within quality management system
- В. С. ГОЛОВ**
УПРАВЛЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫМИ ПРОЦЕССАМИ В
МАШИНОСТРОЕНИИ: МЕХАНИЗМ И ПРИНЦИПЫ 561
V. S. Golov
Control of innovative processes in machine building: mechanism and principles

<i>Р. Х. ГУБАЙДУЛИНА</i> ЭКОНОМИЧЕСКИ ОБОСНОВАННЫЙ СРОК ЭКСПЛУАТАЦИИ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ R.H. Gubaidulina Economically feasible operating life of engineering products	565
<i>С. В. ЛУКИНА, В. М. МАКАРОВ, М. В. КРУТЯКОВА</i> МЕТОДИКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СИНТЕЗА ИННОВАЦИОННЫХ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ S. V. Lukina, V. M. Makarov, M. V. Krutjakova Methodology for automated synthesis of innovative managerial solutions for manufacturing high-tech machine building details	570
<i>Л. А. ПОЛИНОВСКИЙ, Л. Г. ПОЛИНОВСКАЯ</i> КРИТЕРИЙ ВЫБОРА СТАНОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ РЕМОНТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ L. A. Polinovsky, L. G. Polinovskaya Selection criteria of equipment for repair enterprise	577
<i>А.С. ЯНЮШКИН, Д.А. РЫЧКОВ, Д.В. ЛОБАНОВ</i> ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ ФРЕЗЕРНОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ОБРАБОТКИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ A. S. Yanyushkin, D. A. Rychkov, D. V. Lobanov Investigation of surface quality in the formation of cutting edge milling tools for composite materials processing	582



**ИННОВАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ
В МАШИНОСТРОЕНИИ**

*Innovative Technologies
in Machine Building*



УДК 621.91.01:621.9.011

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СИЛ РЕЗАНИЯ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

*А.В. ШАШОК, канд. техн. наук, доцент,
Рубцовский индустриальный институт (филиал)
АлтГТУ им. И.И. Ползунова, г. Рубцовск Алтайского края
А.В. КУТЫШКИН, доктор техн. наук, профессор,
НГТУ, г. Новосибирск*

Шашок А.В. - 658207, г. Рубцовск, Алтайского края, ул. Тракторная, 2/6,
Рубцовский индустриальный институт (филиал) АлтГТУ им. И.И. Ползунова,
e-mail: avsh04081967@mail.ru

Кутышкин А.В. – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: avk_200761@mail.ru

Рассматривается применение методов прикладной теории пластичности для определения сил резания при высокоскоростной механической обработке конструкционных сталей. Механические свойства материала обрабатываемой заготовки описываются моделью Джонсона – Кука. Расчетные значения сил резания сопоставляются с экспериментальными данными и данными, полученными с использованием пакетов LS-DYNA, ABAQUS и SiMPLe и опубликованными в открытой печати.

Ключевые слова: высокоскоростная механическая обработка сталей, ортогональное точение, силы резания, модель Джонсона – Кука, теория пластичности.

Перспективным направлением в разработке расчетно-аналитических моделей процесса резания является применение методов прикладной теории пластичности – методов верхней оценки или UBET (Upper Bound Element Technique), которые были использованы в работах Воронцова А.Л., Султан-Заде Н.М., Албагачиева А.Ю. [1-5]. Достоинством предложенного в этих работах подхода является возможность получения в явном виде замкнутых зависимостей для оценки усилий резания, а также ключевых характеристик этого процесса таких, как распределение температур и напряжений в обрабатываемой заготовке и на границах ее контакта с режущим инструментом, толщину образующейся стружки и т. д. Сравнительный анализ расчетных значений перечисленных выше характеристик процесса резания, полученных с использованием разработанных расчетно-аналитических моделей, и экспериментальных данных для операций резания с традиционными режимами обработки дал весьма обнадеживающие результаты [4].

Выражения для оценки сил резания P_z и P_y , полученные на основе [1,2,4], имеют следующий вид:

$$P_z = 1,155\sigma_s u S_{o\phi} t_r \left\{ \left[1 + \mu_1 (1 - \operatorname{tg}\gamma) + \frac{(0,5 + \mu)u}{2k_s} \right] \cos\gamma + \frac{k_c}{4u \cos\gamma} + \left(\frac{1}{\cos\gamma} + k_c (1 - \operatorname{tg}\gamma) \right) \mu \sin\gamma + \mu_2 \frac{l_3}{u S_{o\phi} \sin\phi} + \frac{k_c S_{o\phi} \sin^2 \phi \operatorname{tg}\gamma}{4ut_r} \right\}. \quad (1)$$

$$P_y = 1,155\sigma_s u S_{o\phi} t_r \left\{ \left[1 + \mu_1 (1 - \operatorname{tg}\gamma) + \frac{(0,5 + \mu)u}{2k_s} \right] \sin\gamma + \frac{k_c}{4u} \operatorname{tg}\alpha + \left(\frac{1}{\cos\gamma} + k_c (1 - \operatorname{tg}\gamma) \right) \mu \cos\gamma + \mu_2 \frac{l_3 \operatorname{tg}\alpha}{u S_{o\phi} \sin\phi} + \frac{k_c S_{o\phi} \sin^2 \phi}{4ut_r} \right\}. \quad (2)$$

Здесь σ_s - сопротивление деформированию материала заготовки в зоне резания; ϕ , γ , α - главный угол в плане, передний и задний углы режущего элемента (платины) инструмента; μ , μ_1 , μ_2 - коэффициенты контактного трения в зоне резания (пластической области) обрабатываемой заготовки, на передней поверхности режущего элемента инструмента за пределами зоны резания и на задней поверхности режущего элемента инструмента соответственно; $S_{o\phi}$ - подача на оборот детали, мм/об; t_r - глубина резания, мм; k_c - характеризует утолщение стружки без учета скоростного и деформационного упрочнения [2]; u - характеризует расположение границы контакта области пластической деформации обрабатываемой заготовки на участке ее контакта с передней поверхностью режущего элемента инструмента [2].

Для апробации использования зависимостей (1,2) были использованы данные работ [5, 6] по обработке стали 45 (AISI 1045) режущим инструментом из ВК8 и ВК10 соответственно.

В таблице 1 приведены следующие данные: экспериментально полученные значения составляющей силы резания P_z , результаты расчетов этой величины по зависимости (1) и с использованием пакета прикладных программ LS-DYNA для трех моделей описания σ_s - Оксли (Oxley P.L.B.), Джонсона – Кука (Johnson G.R. - Cook W.H.) и Зерилли - Армстронга (Zerilli F.J. - Armstrong R.W.) [5]. Степень соответствия экспериментальных и расчетных данных оценивалась с

помощью относительной ошибки e : $e = \frac{y_{\text{экс}} - y_{\text{расч}}}{y_{\text{экс}}} \cdot 100\%$.

В таблице 2 приведены следующие данные: экспериментально полученные значения компонент силы резания P_z и P_y , результаты расчетов этих величин по зависимости (1, 2) и с использованием пакетов прикладных программ ABAQUS и SiMPLe [6]. Для описания σ_s использовалась модель Джонсона – Кука.

Анализ значений величины e показывает, что оценка составляющих силы резания P_z и P_y по зависимостям (1,2) дает лучшее приближение к соответствующим экспериментальным данным по сравнению с результатами расчетов с использованием ряда популярных пакетов прикладных программ реализующих метод МКЭ.

Таблица 1

Экспериментальные значения P_z , Н.	Расчетные данные							
	Расчетные данные, полученные по зависимости (1), Н.		Расчетные данные, полученные с LS-DYNA, Н.					
	Джонсона – Кука	e	Оксли	e	Джонсона – Кука	e	Зерилли – Армстронга	e
745	806	-8	855	-14,5	918	23	1224	-64

Таблица 2

Компоненты силы резания	Экспериментальные значения, Н.	Расчетные данные, полученные по зависимостям (1) и (2)		Расчетные значения с использованием МКЭ, Н.			
		Н.	e	ABAQUS	e	SiMPLe	e
P_z	1450	1565	-8	1050	27,6	850	41,4
P_y	755	788	-4,3	200	73	200	73

Список литературы

1. Воронцов А.Л., Султан-Заде Н.М., Албагачиев А.Ю. Разработка новой теории резания. Определение кинематического, напряженного и деформированного состояния заготовки// Вестник машиностроения, 2008, № 5, с. 61 - 69.

2. Воронцов А.Л., Султан-Заде Н.М., Албагачиев А.Ю. Разработка новой теории резания. Определение основных параметров процесса резания// Вестник машиностроения, 2008, № 6, с. 64 - 70.

3. Воронцов А.Л., Султан-Заде Н.М., Албагачиев А.Ю. Разработка новой теории резания. 7. Математическое описание образования стружки разных видов, пульсации силы резания и параметров контакта обработанной поверхности заготовки с задней поверхностью резца// Вестник машиностроения, 2008, № 7, с. 56 - 71.

4. Воронцов А.Л., Султан-Заде Н.М., Албагачиев А.Ю. Разработка новой теории резания. 9. Практические расчеты параметров резания при точении// Вестник машиностроения, 2008, № 9, с. 67 - 76.

5. Cenk Kilicalan. Modelling and simulation of metal cutting by finite element method// Thesis master of science, Izmir Institute of Technology, 2009. http://www.academia.edu/1245845/Modelling_and_simulation_of_metal_cutting_by_finite_element_method.

6. Kalhori V. Modelling and simulation of mechanical cutting, Doctoral thesis, Lulea University of Technology, 2001. <http://pure.ltu.se/portal/files/155221/LTU-DT-0128-SE.pdf>, c. 61 – 81.

Theoretical evaluation of cutting forces in high-speed machining structural steels

A.V. Shashok, A.V. Kutyshkin

The article considers the application of the theory of plasticity applied for determining the cutting forces in high-speed machining of structural steels. For describe mechanical properties of the workpiece material are using Johnson – Cook model. Calculated values of the cutting forces are compared with experimental data and those obtained by using packets LS-DYNA, ABAQUS and SiMPLe and published in the press.

Key words: high-speed machining of steels, turning, cutting forces, Johnson - Cook model, theory of Plasticity.

УДК 621.91.01:62-977

ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ ТОЧЕНИИ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

*А.В. ШАШОК, канд. техн. наук, доцент,
(Рубцовский индустриальный институт (филиал)
АлтГТУ им. И.И. Ползунова, г. Рубцовск Алтайского края)
А.В. КУТЫШКИН, доктор техн. наук, профессор,
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Шашок А.В. - 658207, г. Рубцовск, Алтайского края, ул. Тракторная, 2/6,
Рубцовский индустриальный институт (филиал) АлтГТУ им. И.И. Ползунова,
e-mail: avsh04081967@mail.ru

Рассматривается применение новой методики оценки распределения температур при резании, разработанной Воронцовым В.А. и соавторами, для высокоскоростного точения конструкционных сталей. Приведены в явном виде замкнутые решения для расчета температуры резания. Изменение механических свойств материала заготовки при резании описывается моделью Джонсона – Кука. Результаты расчетов температуры резания сопоставлялись с опубликованными в открытой печати экспериментальными данными, полученными при высокоскоростном точении стали AISI 4140 (ст. 38ХМ).

Ключевые слова: высокоскоростная механическая обработка сталей, ортогональное точение, модель Джонсона – Кука, температура резания, распределение тепловых потоков при резании.

Введение

Теплофизические процессы, протекающие при механической обработке, в том числе и при точении, оказывают существенное влияние на силовые характеристики процесса резания, работоспособность (износ) используемого режущего инструмента и, в конечном итоге, на показатели качества обрабатываемой детали. Следует отметить, что данное влияние носит многосторонний характер, т.е. образуются своего рода обратные связи в системе «обрабатываемая заготовка – режущий инструмент», что значительно усложняет разработку и реализацию моделей теплофизических процессов резания.

Теоретические методы исследования

В данной статье авторы рассматривают применение новой методики описания теплофизических процессов при резании, разработанной Воронцовым А.Л., Султан-Заде Н.М., Албагачиевым А.Ю., Савкиным А.И. [1-4], для высокоскоростного точения конструкционных сталей. Апробация данной методики для оценки распределения температур при точении различных

конструкционных материалов с традиционными режимами механообработки показала хорошие результаты [3,4].

Зависимость для оценки средней температуры резания T имеет следующий вид [2,3]:

$$T = \left(\frac{1}{2T_{пл}} + \frac{1}{\sigma_S F_t} \right)^{-1}, \quad (1)$$

где σ_S - сопротивление деформированию материала заготовки; $T_{пл}$ - температура плавления материала заготовки; F_t - температурный показатель, выражение для которого имеет вид:

$$F_t = \frac{0,15k_{тс.з}k_c}{ср\cos\gamma} + \frac{0,226(1-k_{тс.з})\sqrt{k_ch_1v_0}}{\sqrt{\lambda ср\cos\gamma}} + \frac{1,155k_{д.с}}{ср} \left[u(1+\mu_1(1-tg\gamma)) + \frac{(0,5+\mu)u}{2k_c}\cos\gamma + \frac{k_ch_1}{4b\cos\gamma} \right] + \frac{\sqrt{k_cv_0}}{(l_{п}+l_3)\sqrt{\lambda ср}} \left\{ 0,522\frac{k_{тс.п}}{k_c}\mu l_{п}\sqrt{l_{п}} + \frac{0,181(1-k_{тс.з})l_3\sqrt{h_1}}{\sqrt{\cos\gamma}} \left[\left[\left(1 + \frac{l_3}{l_2} \right)^{2,5} - 1 \right] \frac{l_2}{l_3} - 2,5 + \left[\frac{2,888\mu_2 k_{тп.з}}{1-k_{тс.з}} - \left(\frac{l_3}{l_2} + 2,5 \right) \right] \sqrt{\frac{l_3}{l_2}} \right] \right\}. \quad (2)$$

Здесь ρ , λ , c – плотность, теплопроводность и теплоемкость материала заготовки; v_0 , - скорость резания; μ , μ_1 , μ_2 – коэффициенты контактного трения в зоне резания (пластической области) обрабатываемой заготовки, на передней поверхности режущего элемента инструмента за пределами зоны резания и на задней поверхности режущего элемента инструмента соответственно; $l_{п}$, l_3 - длина контакта материала обрабатываемой заготовки с задней поверхностью режущей части инструмента [2]; коэффициенты $k_{тс.з}$, $k_{тп.з}$, $k_{тс.п}$ и $k_{д.с}$ характеризуют распределение тепловых потоков, формирующихся при резании [2,3]; коэффициенты k_c характеризует утолщение стружки без учета скоростного и деформационного упрочнения [3]; коэффициент u характеризует расположение границы контакта области пластической деформации обрабатываемой заготовки на участке ее контакта с передней поверхностью режущего элемента инструмента [3]; длина границы между стружкой и заготовкой l_2 [3,5]: $l_2 = k_ch_1/\cos\gamma$.

Экспериментальные исследования

Апробация зависимостей (1-2) проводилась на данных измерений температуры резания при высокоскоростном точении легированной стали AISI 4140 (ст. 38ХМ) [1]. Скорости резания варьировались от 197 до 880 м/мин (таблица 1); подача $S_{об} = 0,0001$ м/об; глубина резания $t_r = 0,0025$ м. Теплопроводность стали AISI 4140 $\lambda \approx 42,6 \frac{Вт}{(м \cdot C^0)}$. Параметры модели

Джонсона-Кука [6] для стали AISI 4140: $A = 598$ МПа; $B = 768$ МПа; $C = 0,0137$; $n = 0,2092$; $m = 0,807$; $\dot{\varepsilon}_0 = 0,001 \text{ с}^{-1}$. Обработка осуществлялась без использования смазочно-охлаждающей жидкости инструментом с твердосплавной режущей частью из TCMW 16T304 5015 (T15K6) без какого-либо покрытия. Теплопроводность материала режущей части инструмента $\lambda_p \approx 27,2 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{С}^0)$. Геометрические характеристики инструмента: угол в плане $\phi = 45^0$; передний угол $\gamma = 0^0$; задний угол $\alpha = 7^0$; абсолютно новый режущий инструмент. При расчетах принималось, что коэффициенты трения μ , μ_1 , μ_2 постоянны и равны 0,3.

В таблице 1 совместно приведены экспериментальные данные измерения температуры резания [6], результаты ее расчета по методике, представленной в статье [6] и расчетные значения температуры резания по методике, изложенной в данной работе. Точность расчетов оценивалась величиной относительной ошибки e :

$$e = \frac{T_{\text{экс}} - T_{\text{расч}}}{T_{\text{экс}}} \cdot 100\% . \quad (3)$$

Таблица 1

Скорость резания, м/мин	Экспериментальные данные, С ⁰ .	Расчетные значения T по методике [1], С ⁰ .		Расчетные значения T по методике, изложенной в данной статье, С ⁰ .	
		T	$e, \%$	T	$e, \%$
197	700	690	1,43	725	-3,57
314	750	730	2,67	806	-7,47
395	800	760	5,00	847	-5,88
565	890	850	4,49	915	-2,81
628	920	850	7,61	935	-1,63
785	1020	950	6,86	980	3,92
880	1110	980	11,71	1004	9,55
Среднее значение ошибки $e, \%$			5,68		- 1,13

Выводы

Анализ значений величины e (табл. 1) показывает, что оценка температуры резания при высокоскоростном точении среднеуглеродистых и малолегированных сталей по методике, разработанной Воронцовым А.Л., Султан-Заде Н.М., Албагачиевым А.Ю., Савкиным А.И. для операций резания при обычных режимах обработки, дает лучшее приближение к соответствующим экспериментальным данным по сравнению с результатами расчетов с использованием популярных пакетов прикладных программ реализующих метод МКЭ.

Список литературы

1. Воронцов А.Л., Султан-Заде Н.М., Албагачиев А.Ю., Савкин А.И. Разработка новой теории тепловых процессов резания. 5. Общий математический аппарат теплофизики резания. Часть 2// Вестник машиностроения, –2011. –№ 1. – С. 61–67.
2. Воронцов А.Л., Султан-Заде Н.М., Албагачиев А.Ю., Савкин А.И. Разработка новой теории тепловых процессов резания. 6. Определение температурных полей и контактных температур при резании материалов. Часть 3// Вестник машиностроения, –2011. –№ 5. – С. 63–71.
3. Воронцов А.Л., Султан-Заде Н.М., Албагачиев А.Ю., Савкин А.И. Разработка новой теории тепловых процессов резания. 7. Примеры практических расчетов температуры резания. Часть 1// Вестник машиностроения, –2011. –№ 6. – С. 72–79.
4. Воронцов А.Л., Султан-Заде Н.М., Албагачиев А.Ю., Савкин А.И. Разработка новой теории тепловых процессов резания. 7. Примеры практических расчетов температуры резания. Часть 2// Вестник машиностроения, –2011. –№ 7. – С. 65–72.
5. Воронцов А.Л., Султан-Заде Н.М., Албагачиев А.Ю. Разработка новой теории резания. Определение основных параметров процесса резания// Вестник машиностроения. – 2008. –№6. – С. 64–70.
6. F. Akbar, P. T. Mativenga, M. A. Sheikh. An evaluation of heat partition models in high speed machining of AISI/SAE 4140 steel. Proceedings of the 6th International Conference on Manufacturing Research (ICMR2008). 9th - 11th September 2008. Brunel University, UK. –Vol.1. – p. 13–22.

Evaluation of cutting temperature in high-speed turning structural steels

A.V. Shashok, A.V. Kutyshkin

The paper discusses the use of a new methodology for assessing the temperature distribution in cutting developed by Vorontsov V.A. et al. for high speed turning of structural steels. Given explicitly closed solutions for calculating the cutting temperature. Changes in the mechanical properties of the workpiece material at cutting described Johnson – Cook model. The results of calculations of cutting temperature are compared with experimental data obtained in high-speed turning of steel AISI 4140 and published in the press.

Keywords: high-speed machining of steels, orthogonal turning, Johnson - Cook model, cutting temperature, distribution of heat fluxes at cutting.

УДК 621.74.002:621.744.3

ПРОГРЕВ МАГНИТНОЙ ФОРМЫ ТЕПЛОМ СТАЛЬНОЙ ОТЛИВКИ

*Г. Е. ЛЕВШИН, доктор техн. наук, профессор
А. А. КАРИХ, аспирант
(АлтГТУ, г. Барнаул)*

Левшин Г. Е. – 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46
Алтайский государственный технический университет,
e-mail: ntsc@desert.secna.ru

Предложено математическое и графическое, в том числе сплайном, описание прогрева литейной магнитной формы теплом охлаждающейся стальной отливки на основе ограниченного числа экспериментальных данных, полученных методом заливки, позволяющее вычислить температуры объема формы в любой момент времени и на любой глубине прогрева.

Ключевые слова: литейная магнитная форма, математическое описание, прогрев, глубина прогрева, температурное поле.

Введение

На основании сведений [1] в работах [2, 3] показано (на примере отливки толщиной 15 мм из чугуна СЧ20), что прогрев литейной магнитной формы (МФ) теплом остывающей отливки целесообразно рассматривать как процесс нагрева-охлаждения затухающим источником тепла. При этом по истечении некоторого времени первоначально более нагретые поверхностные слои МФ начинают охлаждаться за счет передачи тепла последующим слоям и создается подобие тепловой (температурной) затухающей «волны». Чтобы развить эти представления, дополнительно убедиться в правильности методики и возможности применения ее и для материала отливки с более высокой температурой плавления, провели расчеты и для отливки плиты толщиной 10 мм из стали 10Л.

Методика

При этом использовали экспериментальные данные температурного поля не полой (с газифицируемой моделью) МФ из дроби ДСК 05, полученные методом заливки. Две термопары размещены в центре отливки и возле него, а другие на поверхности формы и на расстояниях $x_\phi=2, 5, 10, 19, 29, 44, 54$ и 75 мм от отливки (в одной плоскости) [1].

По этим результатам создали табличную базу данных, а затем с помощью программы Microsoft Excel построили графики охлаждения отливки и прогрева формы на упомянутых расстояниях x_ϕ от отливки в зависимости от времени t (рис. 1). Используя данные эксперимента получили недостающие зависимости $T_\phi=f(t)$ и для других значений x_ϕ с шагом 1 мм (см. рис. 1) путем интерполяции по формуле Лагранжа [2, 3] для трех точек. Величину текущей теплоаккумуляции b_ϕ определяли для измеренного текущего значения на

ближайшей к отливке глубине $x_{\phi}=2$ мм в этот же момент времени по формуле [2, 3]

$$b_{\phi}=0,86976T_{\phi}+732,78.$$

Поскольку процесс нагрева-охлаждения МФ протекает и в пространстве, по этим же данным определили также и графические зависимости $T_{\phi}=f(x_{\phi})$ в любой заданный нами момент времени t (рис. 2) и кубические уравнения их аппроксимации (табл. 2).

Результаты и обсуждение

Графики (рис. 1) для каждого слоя МФ являются выпуклыми и имеют перегиб (экстремум), который смещается вправо по мере удаления слоя от отливки. В какой-то момент времени одни слои еще нагреваются, а другие уже начали охлаждаться. Поэтому эти графики отражают процесс нагрева-охлаждения каждого слоя МФ и перемещение затухающей температурной «волны» вглубь МФ (на рис. 1 до $x_{\phi}=10$ мм). Начальные же участки многих графиков практически прямолинейны.

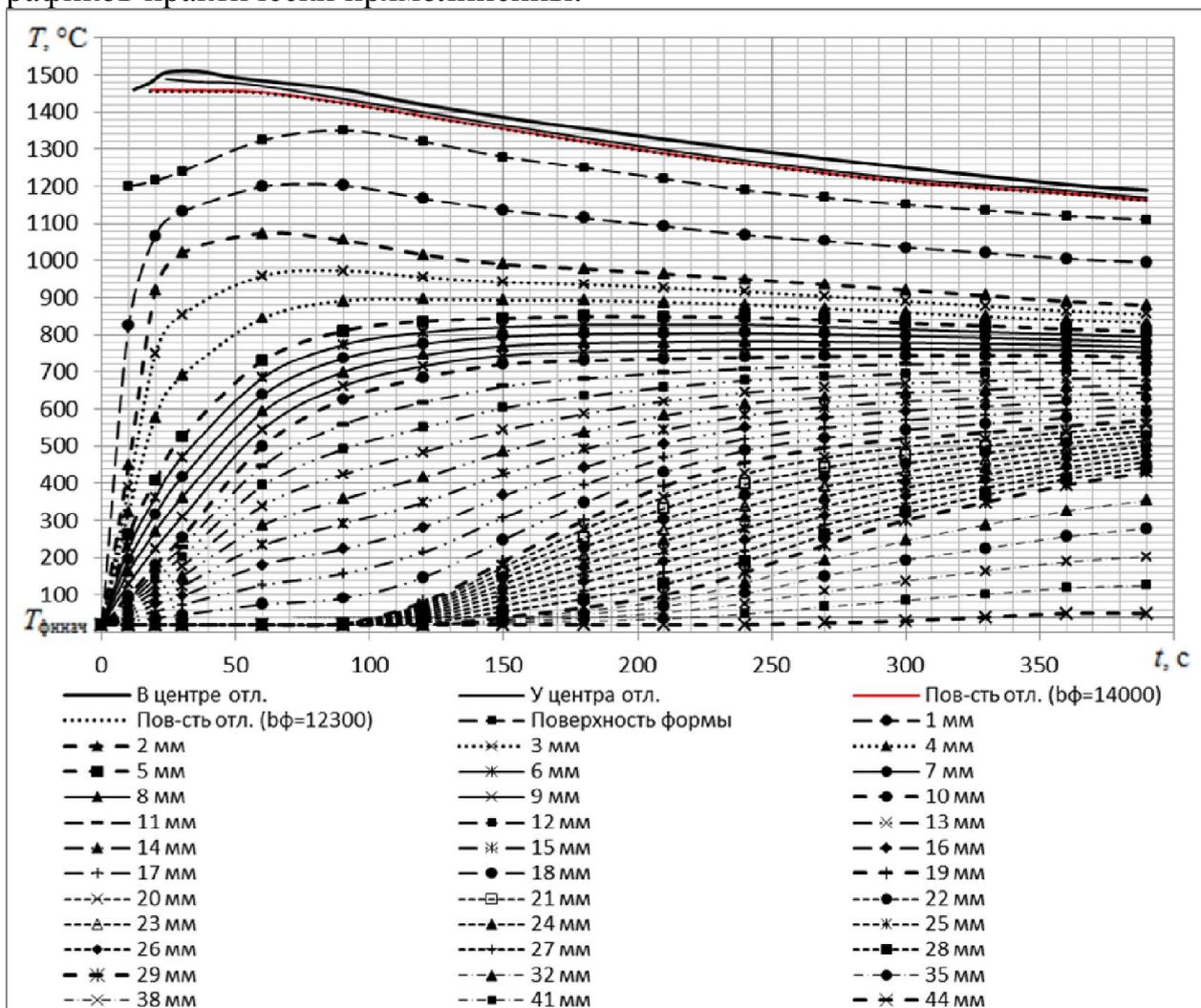


Рис. 1. Температурное поле отливки и формы (экспериментальные и интерполяционные графики)

Из-за сложности кривой и ее аппроксимации одним типом уравнений графики аппроксимировали линейными на начальном участке и кубическими уравнениями на последующем участке каждой кривой. Достоверность линейной аппроксимации $R^2 = 0,9123-0,9999$, а кубической – $0,8194-0,9996$. В табл. 1 приведены примеры уравнений для некоторых значений x_ϕ .

Таблица 1

Уравнения аппроксимации зависимости $T_\phi = f(t)$

x_ϕ , мм	Уравнения для диапазонов времени t , с	
	линейные	кубические
1	от 0 до 20 с $T_\phi = 52,375t + 113,75,$	от 20 до 390 с $T_\phi = 2E-05t^3 - 0,015t^2 + 2,3867t + 1064,1,$
2	От 0 до 30 с $T_\phi = 34,7t + 82,$	От 30 до 390 с $T_\phi = 7E-06t^3 - 0,0043t^2 + 0,2622t + 1041,2,$
10	от 0 до 60 с $T_\phi = 7,9991t + 18,623,$	от 60 до 390 с $T_\phi = 3E-05t^3 - 0,0218t^2 + 5,8631t + 237,61,$
19	от 0 до 90 с $T_\phi = 20 \text{ }^\circ\text{C}$	от 90 до 390 с $T_\phi = -4E-06t^3 - 0,004t^2 + 4,621t - 380,39,$

Практическая прямолинейность начального участка графиков существенно облегчает определение скорости нагрева слоев МФ. Так, для слоев $x_\phi = 1; 2$ и 3 мм скорость $80; 45$ и $37 \text{ }^\circ\text{C/с}$. Нагрев же поверхности МФ происходит со скоростью $\sim 120 \text{ }^\circ\text{C/с}$.

Проверка адекватности уравнений для значений времени $t=180, 240$ и 300 с при $x_\phi = 19$ мм показала, что расчетные температуры равны $T_\phi = 331, 442,$ и $514 \text{ }^\circ\text{C}$ и отличаются от экспериментальных $300, 456$ и 520 . Это отличие составляет $+10, -3$ и -1% соответственно.

Из рис. 1 и уравнений табл. 1 можно определить, что через ~ 20 с на отливке образовался затвердевший поверхностный слой с $\approx 1460 \text{ }^\circ\text{C}$, меньшей температуры ликвидуса. За это время до температуры Кюри T_k , составляющей для высокоуглеродистых сталей $730-750 \text{ }^\circ\text{C}$, при которой в материале частицы ферромагнитное состояние заменяется парамагнитным, а прочность МФ становится минимальной, прогрелся слой глубиной $x_\phi \approx 3$ мм. Для чугуновой отливки это время составляет $\sim 8,2$ с, а слой – 1 мм [2, 3]. Поэтому разупрочненный слой поверхности МФ оказывается зажатым между затвердевшим слоем отливки и еще имеющем прочность массивом МФ и не влияет отрицательно на качество отливки.

Анализ графиков $T_\phi = f(x_\phi)$ (рис. 2) показывает: – их практическую прямолинейность на коротких начальных участках с постепенным увеличением во времени угла наклона к оси температур и перегибом вправо к более длинным криволинейным участкам; – превращение длинных участков из вогнутой кривой (при 10 с) в практически прямую линию (при 330 с), а затем и в выпуклую кривую (360 и 390 с). Аппроксимация кубическими уравнениями обеспечивает удовлетворительную достоверность $0,9514 - 0,9943$ (кроме $t = 10$

с). Они позволяют определить средний градиент температуры (град. T_ϕ) при прогреве, например до 500 °С, в разные моменты времени. Так, при 10 с град.

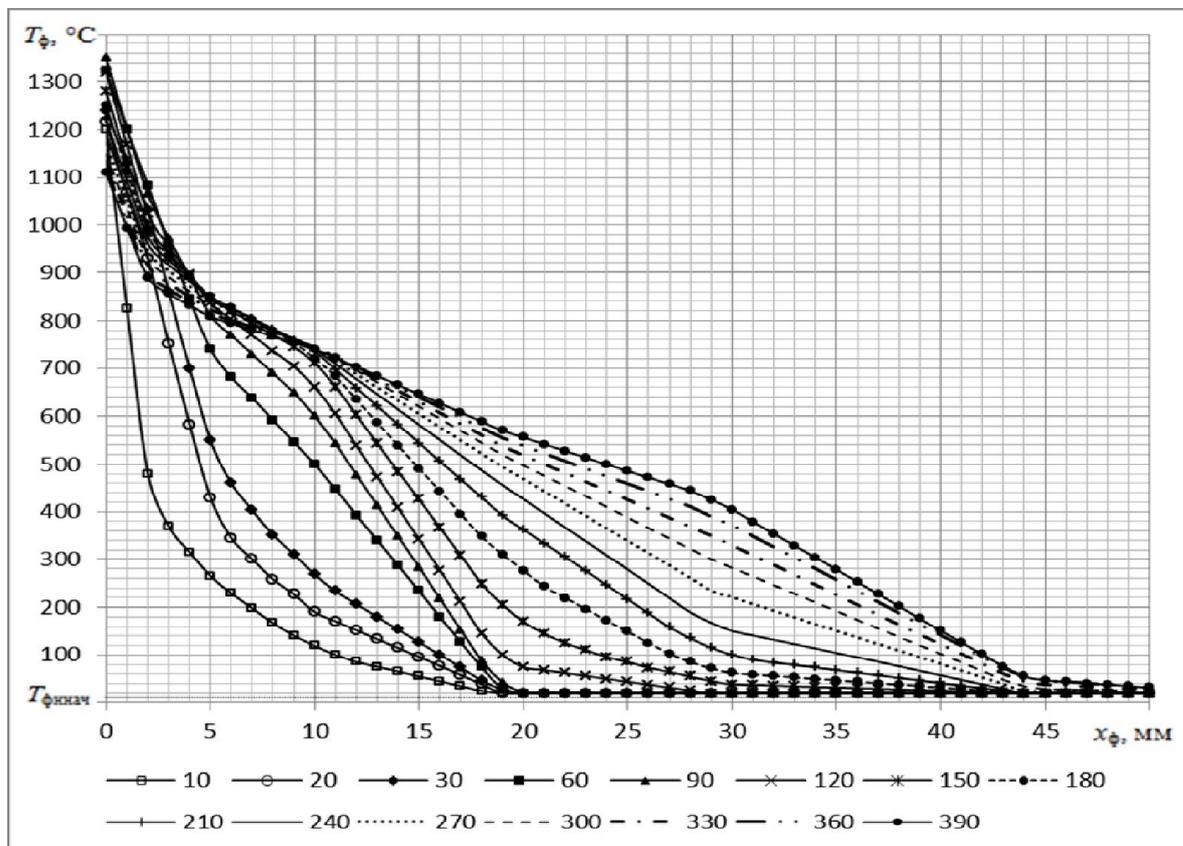


Рис. 2. Зависимости температуры T_ϕ формы от расстояния x_ϕ от отливки

Таблица 2

Уравнения аппроксимации зависимости $T_\phi = f(x_\phi)$

Время t, с	Кубические уравнения аппроксимации
10	$T_\phi = -0,0348x_\phi^3 + 3,2183x_\phi^2 - 90,672x_\phi + 774,39, R^2 = 0,8384$
20	$T_\phi = -0,0412x_\phi^3 + 3,9224x_\phi^2 - 115,66x_\phi + 1054,8, R^2 = 0,9514$
30	$T_\phi = -0,0399x_\phi^3 + 3,909x_\phi^2 - 119,96x_\phi + 1158,4, R^2 = 0,9778$
60	$T_\phi = -0,0298x_\phi^3 + 3,2433x_\phi^2 - 113,71x_\phi + 1293,5, R^2 = 0,9936$
90	$T_\phi = -0,0239x_\phi^3 + 2,8153x_\phi^2 - 107,15x_\phi + 1323,2, R^2 = 0,987$
120	$T_\phi = -0,0158x_\phi^3 + 2,1427x_\phi^2 - 92,435x_\phi + 1283,1, R^2 = 0,9844$
150	$T_\phi = -0,0072x_\phi^3 + 1,3725x_\phi^2 - 74,06x_\phi + 1225,7, R^2 = 0,9855$
180	$T_\phi = -0,0012x_\phi^3 + 0,788x_\phi^2 - 58,737x_\phi + 1171,4, R^2 = 0,991$
210	$T_\phi = 0,0028x_\phi^3 + 0,3464x_\phi^2 - 45,926x_\phi + 1120,4, R^2 = 0,9932$
240	$T_\phi = 0,004x_\phi^3 + 0,1279x_\phi^2 - 37,469x_\phi + 1080,4, R^2 = 0,9941$
270	$T_\phi = 0,0024x_\phi^3 + 0,1305x_\phi^2 - 33,287x_\phi + 1051,5, R^2 = 0,9943$
300	$T_\phi = 0,0006x_\phi^3 + 0,1638x_\phi^2 - 30,341x_\phi + 1026,8, R^2 = 0,9934$
360	$T_\phi = -0,0024x_\phi^3 + 0,2466x_\phi^2 - 26,52x_\phi + 988,02, R^2 = 0,9895$
390	$T_\phi = -0,0036x_\phi^3 + 0,2746x_\phi^2 - 25,001x_\phi + 972,3, R^2 = 0,9863$

$T_{\phi} \approx 350$ °C/мм, при 20 с – ≈ 159 °C/мм, при 30 с – ≈ 135 °C/мм, а при 180 с уже ≈ 47 °C/мм и т. д.

Наглядное представление процесса нагрева-охлаждения МФ и быстрое определение его параметров дает пространственный график (сплайн) функции $T_{\phi} = f(t, x_{\phi})$, построенный с использованием программы Mathcad и методики [3], показанный на рис. 3.

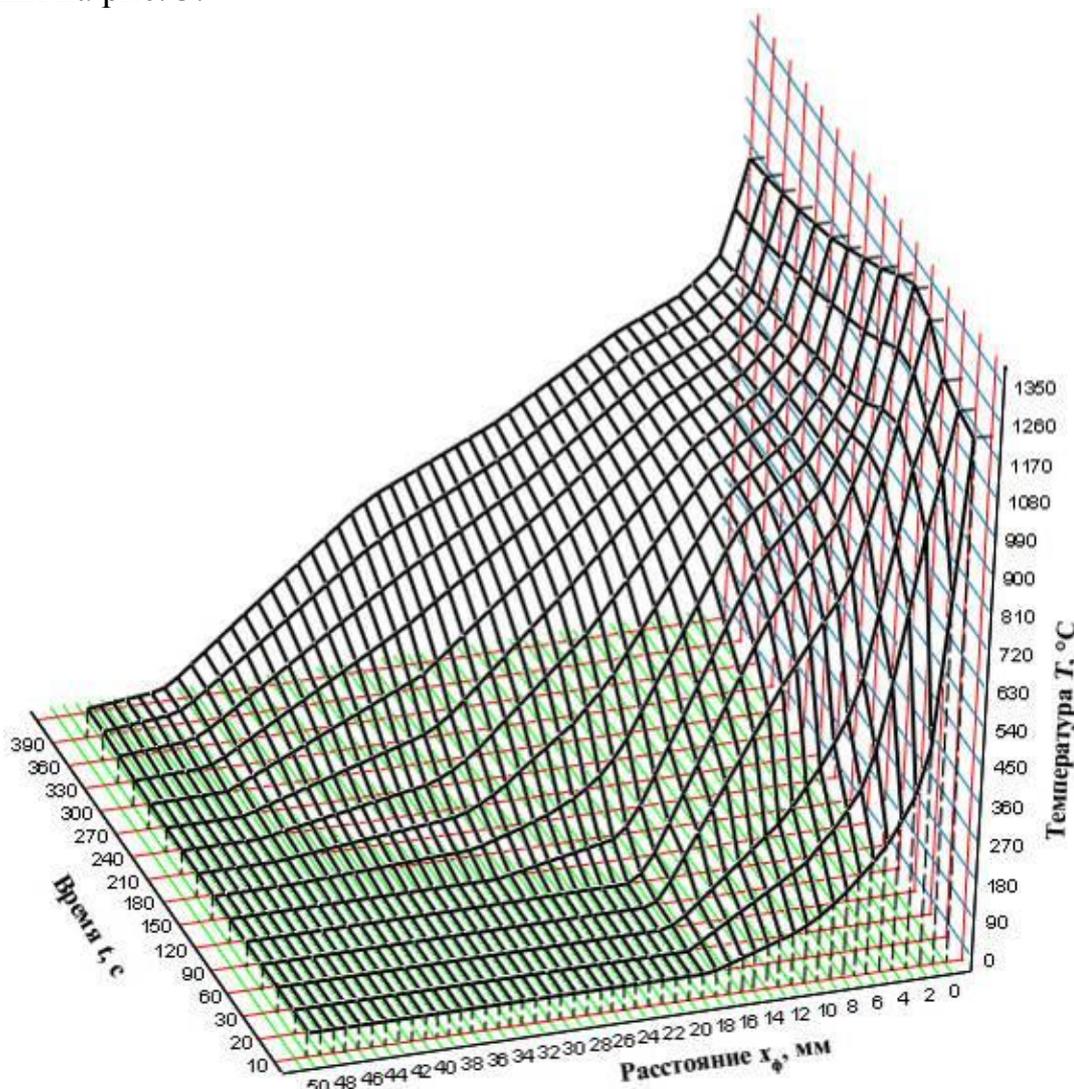


Рис. 3. Пространственный график (сплайн) функции $T_{\phi} = f(t, x_{\phi})$

По рис. 1, 2, 3 и уравнениям можно определить, что температура Кюри T_k достигается только в слое $x_{\phi} \approx 10$ мм (для чугуна 8 мм) через 330 с (для чугуна через 210 с), когда отливка полностью затвердела, а температура ее поверхности снизилась до ~ 1190 °C (для чугуна 1050 °C). Уменьшение прочности МФ в этом слое увеличивает его податливость и благоприятно сказывается на снижении усадочных напряжений в отливке.

Минимальная температура начала возможного спекания стальных частиц магнитомягкого формовочного материала в окислительной среде $T_{cn} \geq 900$ °C появляется практически во время заливки и сохраняется в слое $x_{\phi} = 3$ мм еще ~ 340 с. Максимальная же температура начала возможного спекания составляет

~1200 °С и достигается только в слое ~ 1 мм (см. рис. 1, 2, 3), который нагревается до 1350 °С. Воздействие температур 1200–1350 °С на этот слой длится ~ 230 с. За это время частицы размером более 0,3 мм не спекаются, что подтверждается при разрушении МФ [1].

Среднеинтегральную температуру $T_{нсл}$ нагрева слоя $x_{\phi}=50$ мм, равного толщине стенки формы, при выбивке отливки по истечении времени $t=390$ с можно получить после интегрирования последнего из уравнений (табл. 2) и деления результата на $x_{\phi}=50$ мм. Она является исходной для разработки технологии охлаждения оборотного магнитомягкого формовочного материала и составляет ~ 460 °С. Для чугуновой отливки эта температура ~ 407 °С [3].

Выводы

1. Предложенный в работах [2, 3] метод определения по сравнительно малому числу экспериментальных величин T_{ϕ} любого необходимого количества интерполяционных значений t , x_{ϕ} и T_{ϕ} пригоден также для математического и графического описания процесса прогрева МФ стальной отливкой.

2. Подтверждено, что охлаждающаяся отливка, являясь затухающим источником тепла, вызывает процесс нагрева-охлаждения МФ, когда первоначально более нагретые поверхностные слои МФ начинают охлаждаться за счет передачи тепла последующим слоям, создавая подобие тепловой (температурной) затухающей «волны».

Список литературы

1. Левшин Г. Е., Матюшков И. Л. Литье в магнитные формы: монография. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2006. – 688 с.
2. Левшин Г. Е., Карих А. А. Математическое описание прогрева литейной магнитной формы в функции времени // Заготовительные производства в машиностроении, 2012. – № 7. – С. 8 – 14.
3. Левшин Г. Е., Карих А. А. Прогрев литейной магнитной формы в функции времени и расстояния от отливки // Заготовительные производства в машиностроении, 2013. – № 5. – С. 6 – 11.

Warming up magnetic mold warm cast steel

G. E. Levshin, A. A. Karix

The mathematical and graphical including spline description warm casting mold of the magnetic heat cooling the cast steel from a limited number of experimental data obtained by casting, allowing to calculate the temperature of the form at any time and at any depth of heating.

Keywords: Casting the magnetic mold, mathematical representation, warming up, depth of warming up, the temperature field.

УДК 621.365.5

РАЗВИТИЕ ИНДУКЦИОННОЙ ТИГЕЛЬНОЙ ПЛАВКИ В ПЕЧАХ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ

*Г. Е. ЛЕВШИН, доктор техн. наук, профессор,
Д. С. КУЛЬДЯЙКИН, студент,
А. В. ЛЕВАГИН, студент,
(АлтГТУ, г. Барнаул)*

Левшин Г. Е. – 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,
Алтайский государственный технический университет,
e-mail: ntsc@desert.secna.ru

Рассмотрены достоинства и недостатки индукционной тигельной плавки вертикальным магнитным потоком в печах промышленной частоты. Предложено уменьшить недостатки применением горизонтального потока, создаваемого устройствами с U-, O-, или C-образным магнитопроводом.

Ключевые слова: Индукционная тигельная плавка, промышленная частота, вертикальный и горизонтальный магнитный поток, печь.

Введение

В литейных цехах распространяется индукционная плавка в индукторных тигельных печах с вертикальным магнитным потоком частотой $f=50$ Гц. Она отличается тем, что в каждом куске электропроводной шихты и внутри расплава, имеющих электросопротивление $R_{ш}$, выделяется в течение времени t тепло Q . Оно создается вихревым замкнутым в горизонтальной плоскости током I_v , который индуцируется непосредственно переменным вихревым электрическим полем и э.д.с. U_v . Это поле в свою очередь индуцируется вертикальным переменным магнитным потоком Φ с индукцией B_e и площадью S , который создается переменным же электрическим током I_n в витках w индуктора, возбужденным э.д.с. U_n источника электроэнергии. Действующие значения перечисленных величин можно оценить по формулам: $Q=I_v^2 R t$; $I_v=U_v/R_{ш}$; $U_v=4,44\Phi f=4,44B_e S f$, $B_e= I_n w/\mu_0$.

При этом происходят следующие превращения энергии: электрическая от э.д.с. источника → магнитная (по закону полного тока) → электрическая вихревого тока (по закону электромагнитной индукции) → тепловая (по закону Джоуля-Ленца).

Анализ

Это обеспечивает следующие преимущества плавки: 1) получение максимально возможных высоких температур во всем объеме шихты и расплава, а не в отдельных частях; 2) наименьший угар металла из-за его нагрева изнутри наружу, что особенно важно при плавке цветных металлов и сплавов с дорогими и редкими легирующими добавками; 3) получение более

чистого сплава из-за малого числа источников загрязнения и окисления; 4) устойчивый режим работы и простое и широкое регулирование мощности и температуры; 5) облегченная возможность плавки в вакууме или в специальной газовой среде; 6) относительно легкие и гигиеничные условия труда; 7) возможность полного опорожнения тигля с последующей завалкой твердой шихты; 8) возможность питания печи непосредственно от промышленной электросети без использования дорогих преобразователей частоты, охлаждаемых кондиционной водой.

Однако имеются и недостатки.

1. Вертикальный магнитный поток (поле) в этих печах создается невысоким индуктором с почти горизонтальными витками и поэтому является очень неоднородным. Оно имеет близкую к тороидальной форму и разное направление векторов индукции относительно центра индуктора, а также неравномерное распределение величины индукции в его рабочей полости: 1) по высоте – у торцов она почти в 2 раза меньше, чем в середине; 2) по сечению – у витков она заметно больше, чем в центре. Это приводит к появлению значительных разнонаправленных градиентов индукции и электромагнитных сил в расплаве, его интенсивному перемешиванию в разных направлениях и повышенному расходу энергии. Оно обуславливает повышенный износ тигля и замешивание в расплав продуктов износа, воздуха, флюсов и шлака. Это увеличивает брак отливок по включениям. Однако перемешивание облегчает протекание реакций между металлом и шлаком и способствует получению однородного сплава и равномерного химического состава расплава.

2. Помимо рабочего магнитного потока индуктор создает и магнитный поток рассеяния такой же величины, не участвующий в нагреве шихты и расплава. Существенная часть рабочего потока с наибольшим значением индукции не используется, т. к. проходит по неэлектропроводным стенкам тигля и воздушному зазору между тиглем и индуктором, а не по шихте или расплаву. Все это уменьшает полезное использование потока почти до 40 %, а коэффициент мощности $\cos \varphi$ до 0,03 – 0,10 и повышает расход энергии.

3. Для повышения $\cos \varphi$ и полезного использования электроэнергии необходимы устройства по компенсации реактивной мощности (обычно конденсаторы)

4. Витки индуктора охватывают тигель, расположены максимально близко к нему почти горизонтально и соосно с вертикальной осью тигля и являются опорой для него. Они выполнены полыми из медной трубки, внутри которой под давлением до 0,2 – 0,7 МПа протекает со скоростью 1 – 1,5 м/с охлаждающая кондиционная вода (дистиллированная или с содержанием механических примесей до 80 г/м³, определенной жесткостью до 7 г-экв/м³, температурой 35 – 40 °С и водородным показателем pH=7). Поверх трубки нанесена электроизоляция. Охлаждение такой водой повышает расходы по ее кондиционированию и созданию повышенного давления.

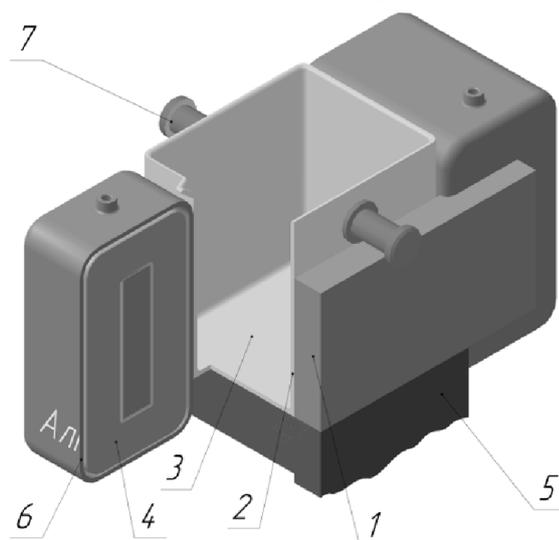
5. Из-за необходимости близкого расположения тигля к индуктору снижается надежность печи и повышаются расходы на обеспечение ее безаварийной работы вследствие вытекания расплава на индуктор (при образовании щелей в тигле).

6. Поскольку шлак не электропроводен, он нагревается только от расплава и является относительно холодным. Это затрудняет протекание реакций между металлом и шлаком и, следовательно, процессы рафинирования.

Перечисленные недостатки сужают область применения перспективного способа индукционной тигельной плавки и их необходимо уменьшать.

Предложение

Одним из путей уменьшения недостатков 1, 2, 4, 5 является, по нашему мнению, воздействие на шихту и расплав горизонтальным магнитным потоком, создаваемым электромагнитным устройством с U-, O- или C-образным магнитопроводом, между вертикальными полюсами которого размещен тигель.



Так, одна из этих печей (см. рис.) содержит горизонтальный O-образный магнитопровод 1, являющийся ее корпусом, металлический или огнеупорный футерованный тигель 2 с ванной 3, два индуктора 4 с витками, батарею конденсаторов (не показана). Корпус-магнитопровод 1 набран из тонких пластин электротехнической стали и установлен на основание 5. Индукторы 4 защищены от внешних воздействий (особенно при утечке расплава из треснувшего тигля)

неэлектропроводным кожухом 6. Витки индуктора 4 могут быть выполнены из медной трубки или не полых медных проводников: гибкого кабеля, провода или шинки, имеющих электроизоляционный слой.

Тигель 2 размещен между индукторами 4 и полюсами N и S магнитопровода 1 с минимально возможным зазором. Он может быть установлен на основание 5 или подвешен на цапфах 7, опирающихся на верхние торцы магнитопровода 1. Тигель можно извлекать из рабочего объема V_p магнитопровода 1.

Плавку осуществляют следующим образом.

После загрузки электропроводных компонентов шихты в ванну 3 до края тигля 2 индукторы 4 подключают к источникам переменного электрического напряжения с батареей конденсаторов. Их электрическое подключение может быть независимым, параллельным или последовательным. Но в любом случае электрически встречным, чтобы у одного торца каждого индуктора создавался

полюс N магнитопровода, а у другого торца – полюс S. При этом магнитопровод 1 и два индуктора 4 образуют своеобразный электромагнит. Поэтому печь названа электромагнитной. Одновременно в полость кожуха 6 на электроизолированные витки индуктора 4 подается хладагент (с меньшими скоростью, давлением и расходом) через нижнее отверстие, а удаляется через верхнее. Хладагентами могут быть: эмульсии, трансформаторное масло, негорючие силиконовые жидкости, дистиллированная или водопроводная вода, жидкий азот, углекислота или охлажденный сжатый воздух и др.

Индукторы 4 создают два противоположно направленных электромагнитных потока, намагничивающих магнитопровод 1. Он увеличивает значение индукции B_e этих потоков до 10 и более раз, суммирует их и направляет в рабочий объем магнитопровода 1 как один горизонтальный поток. Степень увеличения зависит в основном от магнитной проницаемости μ материала магнитопровода, расстояния между его полюсами, величины индукции B_e и частоты потока. При увеличении проницаемости и индукции она повышается, с увеличением же частоты и расстояния между полюсами – понижается. Эти две инновации снижают расходы на плавку.

До загрузки шихты в ванну 3 рабочее электромагнитное поле является практически плоскопараллельным и неоднородным. Величина индукции возле полюсов больше, чем в середине расстояния между полюсами. По поверхности полюсов она практически одинакова. При загруженной шихте (особенно ферромагнитной) возможно небольшое нарушение плоскопараллельности и неоднородности. После ее расплавления указанные свойства практически восстанавливаются. Это существенно уменьшает интенсивность перемешивания расплава.

Рабочий поток наводит в электропроводных компонентах шихты индукционные вихревые токи (замкнутые в вертикальной плоскости), которые нагревают их до расплавления. Первыми расплавляются компоненты, расположенные в средней по высоте части ванны и ближе к ее днищу, так как от них затруднен теплоотвод. Поэтому возможно принудительное осаживание шихты. После полного расплавления шихты и проведения необходимых металлургических операций, зависящих от вида и марки сплава, печь отключается от источника электрического питания. Тигель извлекается из рабочего объема магнитопровода 1 за цапфы 7 и доставляется на разливочный стенд, где из него расплав заливается в литейные формы.

Результаты

В изготовленных лабораторных печах с разными объемами (V_p до 50 дм³), магнитопроводами и индукторами из шинки, гибких кабелей и проводов расплавлены свинец, силумин, латунь и медь. По эффективности охлаждения индуктора опробованные способы можно расположить в следующий ряд:

проточной водопроводной водой > трансформаторным маслом > сжатым воздухом из сети > воздухом от вентилятора.

Вывод. Теоретический анализ и положительные результаты экспериментов позволяют рекомендовать продолжение исследований индукционной плавки в электромагнитных тигельных печах с горизонтальным магнитным потоком частотой $f=50$ Гц (как перспективной и инновационной).

Список литературы

1. Сергеев С. Ю., Кульдяйкин Д. С., Левагин А. В., Левшин Г. Е. Электромагнитная индукционная тигельная плавильная печь с С-образным магнитопроводом и горизонтальным магнитным потоком //Горизонты образования АлтГТУ. 2013. Вып. 15.

2. Вагайцев О. П., Кульдяйкин Д. С., Левагин А. В., Левшин Г. Е. Электромагнитная индукционная тигельная плавильная печь с О-образным магнитопроводом и горизонтальным магнитным потоком //Горизонты образования АлтГТУ. 2013. Вып. 15.

Development of induction crucible melting in furnaces industrial frequency

G. E. Levshin, D. S. Kuldiakin, A. V. Levagin

Considered advantages and disadvantages of induction crucible melting vertical by a magnetic flux in the furnaces of industrial frequency. Proposed to reduce the disadvantages using the horizontal flow generated by devices with U-, O-, or C-shaped magnetic conductor.

Keywords. Induction crucible melting, industrial frequency, vertical and horizontal magnetic flux, furnace.

УДК 621.357.77

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОЛИТА ПРИ ПРОТОЧНОМ ХРОМИРОВАНИИ ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЛИННОМЕРНЫХ ИЗДЕЛИЙ*А.Ю. КОЗЛЮК, с.н.с., канд. техн. наук,
ОАО «ФНПЦ «Алтай», г. Бийск*

Приведены результаты численного моделирования течения электролита при проточном хромировании внутренних поверхностей длинномерных изделий, которые позволяют оценить неравномерность скорости течения электролита в установке проточного хромирования и определить необходимый расход подачи электролита в установку.

Ключевые слова: электрохимическое покрытие, проточное хромирование, скорость течения электролита, численное моделирование.

При гальваническом хромировании, также, как и при осаждении других покрытий, важнейшей проблемой является достижение равномерности параметров, в том числе геометрических, по всей поверхности и в объеме покрытия. Особенно это актуально при использовании технологии проточного хромирования, так как к наихудшей среди других электролитов рассеивающей способности добавляется изменчивость условий осаждения покрытия по длине внутренней поверхности изделия.

Для получения равномерных свойств хромового покрытия внутренних поверхностей длинномерных изделий по длине в первую очередь необходимо создать стабильный поток электролита с заданной скоростью приповерхностного анодного и катодного слоев. При этом требуется обеспечить технологические параметры процесса хромирования, герметичность соединений узлов установки с изделием и максимально быстрое и полное удаление водорода из зоны осаждения. Только при выполнении этих требований удастся получить качественное хромовое электрохимическое покрытие с наилучшими параметрами микротвердости, пористости, а также, за счет повышенных плотностей тока, достичь нужной интенсивности процесса [1].

Первым шагом в изучении процесса хромирования внутренних поверхностей длинномерных изделий и определении наилучших условий осаждения необходимо провести гидродинамическое моделирование течения электролита в установке проточного хромирования, схема которой приведена на рисунке 1. Основными интересующими аспектами является картина течения электролита, а также распределение скорости и давления в приповерхностных слоях зоны осаждения. Для моделирования целесообразно выбрать следующие элементы установки проточного хромирования: объем, ограничиваемый внутренними поверхностями покрываемого изделия 1 (в качестве изделия рассматривается труба с внутренним диаметром 20 мм и длиной 1000 мм) и анода 4, а также напорный узел 2 и сливной узел 3.

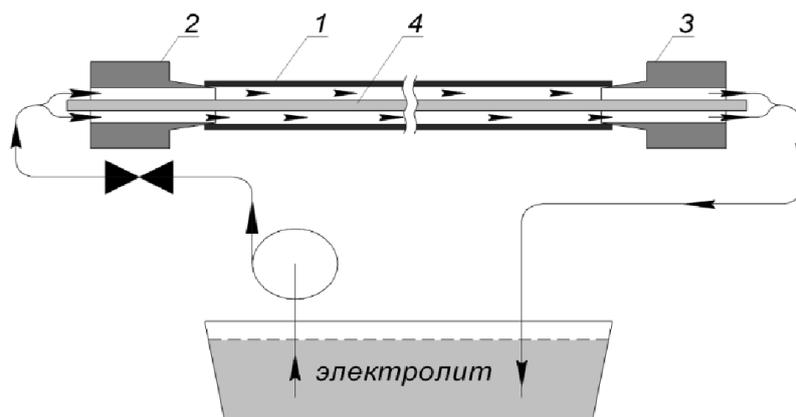


Рис. 1. Схема установки проточного хромирования внутренних поверхностей длинномерных изделий:
1 – покрываемое изделие, 2 – напорный узел, 3 – сливной узел, 4 – анод

Обобщенная имитационная математическая модель течения электролита в первом приближении основана на приведенных ниже уравнениях:

Уравнение Навье-Стокса для вязкой несжимаемой жидкости [2]

$$\frac{\partial V_i}{\partial t} + V_k \frac{\partial V_i}{\partial x_k} = F_i - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \nu \cdot \nabla^2 \cdot V_i, \quad \frac{\partial V_k}{\partial x_k} = 0. \quad (1)$$

Уравнение неразрывности

$$\nabla \cdot V = 0. \quad (2)$$

Коэффициент турбулентности потока

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon}, \quad (3)$$

где k – турбулентная кинетическая энергия; ε – турбулентная энергия диссипации; C_μ – константа, определяющая турбулентную вязкость. Для нахождения k и ε необходимо решить дополнительные уравнения – уравнение турбулентной кинетической энергии и уравнение скорости диссипации, которые зависят от выбранной модели турбулентности. В данном случае выбрана стандартная k – ε модель.

Численное моделирование течения электролита проведено на базе математического пакета COMSOL Multiphysics 4.3 с использованием модуля Fluid Flow [3].

При задании свойств расчётных областей и границ модели на поверхности контакта электролита со стенками изделия и технологических узлов установки ставилось граничное условие Wall – твердая непроницаемая адиабатическая стенка. В сечении подачи электролита – условие Inlet Volume Flow – входной объемный расход с заданными параметрами турбулентности. Начальные условия при создании модели: электролит – несжимаемая жидкость; температура на входе электролита – 55 °С; плотность электролита – 1180 кг/м³.

В результате проведения численного моделирования получен ряд характеристик, которые представлены в виде цветовых полей распределения параметров и графиков.

На рисунке 2 представлены поле распределения скорости движения электролита хромирования в напорном и сливном узлах и в зоне осаждения покрытия.

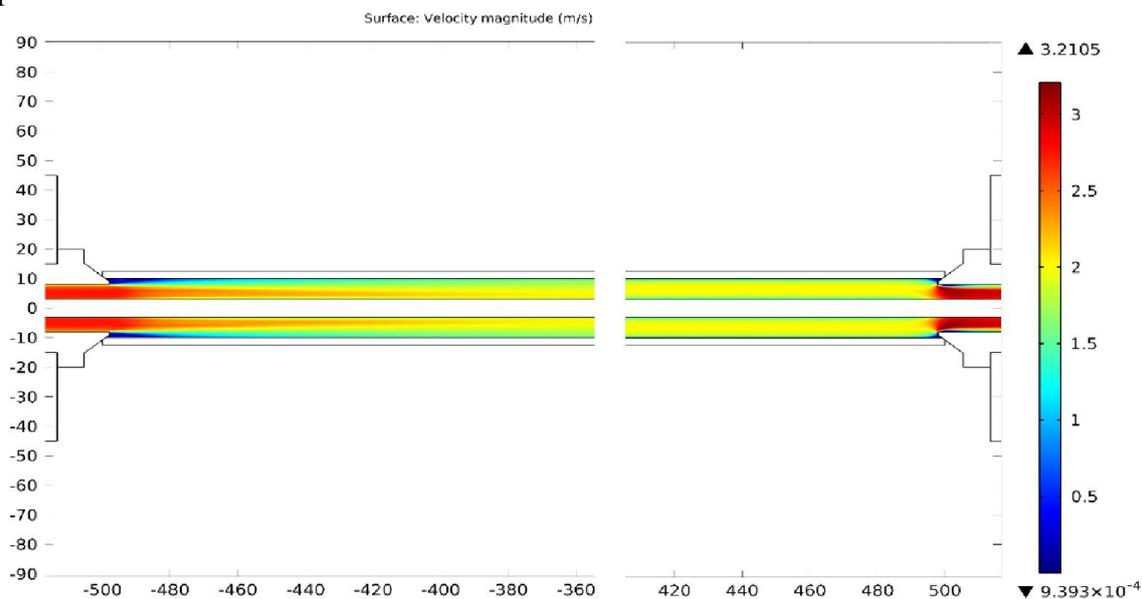


Рис. 2. Поле распределения скорости движения электролита хромирования

На рисунке 3 представлена зависимость скорости движения электролита вдоль внутренней стенки изделия по всей его длине. Неравномерность скорости движения электролита, а именно ее низкое значение (менее 1 м/с) на левом участке изделия может привести к осадкам неудовлетворительного качества на этом участке, поэтому целесообразно изменить конструкцию напорного узла установки проточного хромирования.

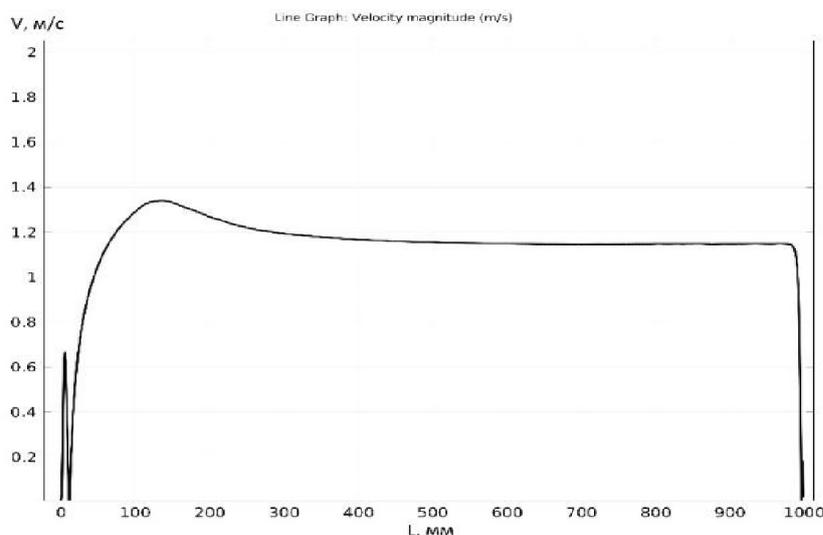


Рис. 3. Зависимость приповерхностной скорости от давления на границе подачи электролита

Результаты решения математической модели показали характер течения электролита в основных элементах установки проточного хромирования внутренних поверхностей длинномерных изделий, а также позволили выбрать объемный расход электролита на подаче в установку, соответствующий заданной его скорости в зоне осаждения хромового покрытия.

Список литературы

1. Богорад Л.Я. Хромирование. – М.: Машиностроение, 1984. – 97 с.
2. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа: учебн. для вузов. – М.: Дрофа, 2003. – 840 с.
3. Pryor, Roger W. Multiphysics Modeling Using COMSOL: A First Principles Approach – Jones and Bartlett Publishers, LLC, 2009. – 872 pages.

Numerical modeling of the current of electrolyte at flowing chromium plating of internal surfaces of lengthy products

A. Yu. Kozluk

Results of numerical modeling of a current of electrolyte are given at flowing chromium plating of internal surfaces of lengthy products which allow to estimate unevenness of speed of a current of electrolyte in installation of flowing chromium plating and to define a necessary expense of supply of electrolyte in installation.

Key words: flowing chromium plating, speed of a current of electrolyte, numerical modeling

УДК 621.9.

**ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ЧИСТОВОГО ТОЧЕНИЯ
КОНСТРУКТИВНО СЛОЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ РЕЗЦАМИ ИЗ
КОМПОЗИТА**

*Е.А. КУДРЯШОВ, доктор техн. наук, профессор,
И.М. СМИРНОВ, канд. техн. наук, доцент
Е.И. ЯЦУН, канд. техн. наук, доцент
(ЮЗГУ, г. Курск)*

Кудряшов Е.А. – 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94
Юго-Западный государственный университет,
e-mail: kea-swsu@list.ru

Рассмотрены результаты научно-исследовательской работы по определению работоспособности инструментов из сверхтвердых материалов при обработке конструктивно сложных поверхностей деталей машиностроительного назначения.

Ключевые слова: технологический процесс, операция точение, резец, композит, сложная обрабатываемая поверхность, качество, точность, эффективность.

Технология, существующая в России и за рубежом, обеспечивает выпуск инструментов оснащенных различными марками композитов в достаточно широкой номенклатуре. Заводом “Композит” (г. Санкт-Петербург), опытным заводом Киевского института сверхтвердых материалов, Полтавским заводом алмазного инструмента и рядом других предприятий инструментальной отрасли налажено промышленное производство инструментального обеспечения процессов лезвийной обработки поверхностей деталей классов: Тела вращения, Корпусные детали, Некруглые стержни различной конструктивной сложности, включая сборные конструкции инструмента с механическим креплением режущих элементов.

В зависимости от сложности конструкции обрабатываемой поверхности детали, инструмент может оснащаться как напаянными режущими элементами (цилиндрическими и прямоугольными вставками, твердосплавными многогранными пластинами с напаянным в одной из вершин композитом), так и круглыми или многогранными пластинами цельной или двуслойной конструкции, с разнообразной геометрией режущей части, шлифованными по всем поверхностям, классов допусков U, M, G, табл.

Рассмотрим конструкцию и особенности эксплуатации токарных резцов, оснащенных режущими элементами из композита.

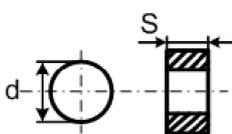
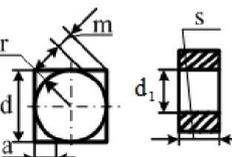
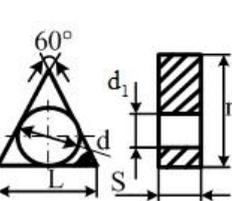
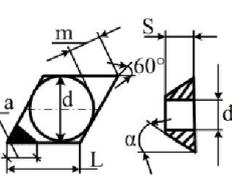
В различных отраслях промышленности находят широкое применение детали с прерывистыми поверхностями.

Как свидетельствуют результаты исследования и промышленный опыт, возможности интенсификации режимов резания деталей повышенной конструктивной сложности традиционными инструментальными материалами практически исчерпаны. В настоящее время исследования в основном

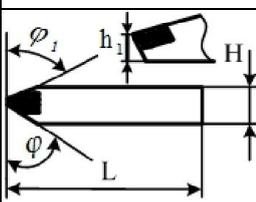
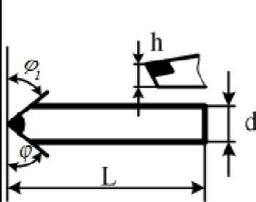
направлены на снижение расхода инструментальных материалов на единицу инструмента. Они касаются выявления резервов производства за счет интенсификации режимов обработки путем оптимизации геометрических параметров режущей части инструмента. Такой подход к созданию современной технологии носит ограниченный характер, так как дальнейшее развитие механики процесса резания должно быть направлено не только по пути уточнения отдельных положений, но и раскрытия ключевых особенностей процесса резания, в том числе новыми инструментальными материалами, в приложении к точению конструктивно сложных поверхностей.

Таблица

Номенклатура режущих элементов из композитов

Конструкция пластины	Пластины режущие сменные									
	форма пластины	марка композита	обозначение	обозначение по ISO	d	m	s	r	L/d ₁	a
					мм					
	Круглая цельная	01,02,05,10,10Д	РЭО 310.02	RNMN 06.03.00	6,35		3,18			
			РЭО 336.02	RNMN 06.03.00	5,56		3,18			
	Цельная	05,06,10Д	РЭО 240.02	SNMA 04.03.08	4,76	0,65	3,18	0,8		
	С отверстием		РЭО 433.01	SNMA 12.03.04	12,7	2,46	3,18	0,4	5,16	2
	Твердосплавная		РЭО 436.01	SNMA 12.03.04	12,7	2,46	3,18	0,4		2
	Цельная	05,06,10Д	РЭО 325.02	TNMN 08.03.08	4,76	6,34	3,18	0,8	8,24	
	С отверстием		РЭО 427.01	TNMN 16.03.04	9,52	13,9	3,18	0,4	3,81	2,5
	Твердосплавная		РЭО 430.01	TNMN 05.03.04	9,52	19,9	3,18	0,4	16,5	2,5
	Цельная	01,02,05,06,10Д	РЭО 308.05	CNMN 05.03.08	5,56	1,09	3,18	0,8	5,64	
	С отверстием		РЭО 421.01	CNMN 12.04.04	12,7	3,31	4,76	0,4	5,16	2
			РЭО 421.04	CNMN 12.04.08	12,7	3,09	4,76	0,8	5,16	2

окончание таблицы

Конструкция вставки	Обозначение	L	H	B	h_1	φ	φ_1
		мм	град.				
	РЭО 98.00	50	10	10	8,7	45	15
	РЭО 255.0					15	45
	РЭО 256.0	65	12	12	10,7	15	45
	РЭО 85.0	80	16	12	14,7	45	15
	РЭО 185.00.000	22	7,5	10	6,5	30	50
	РЭО 244.00.000	27	11	12	7,3	40	15
	РЭО 243.00.000	22	7	8	5,5	40	30
	РЭО 270.00.000					60	40

Недавние ограничения в применении современного инструментального обеспечения для обработки точением конструктивно сложных поверхностей деталей касались известных положений о высокой хрупкости инструментальных материалов, в частности композитов, особенно при обработке прерывистых, наплавленных и комбинированных поверхностей, состоящих из разнородных конструкционных материалов. О высокой работоспособности этих прогрессивных инструментальных материалов свидетельствует накопленный опыт исследований в области обработки композитами гладких и прерывистых, восстановленных наплавкой поверхностей деталей при чистовом и отделочном, в том числе и сверхскоростном резании, в самых экстремальных условиях [1-7].

1. Демпфирующий резец

Оригинальностью демпфирующего резца является то, что выборка выполнена равномерно по периметру конца державки (поз.3) на длине L от ее торца до выступающей части с режущей вставкой (поз.1). Конец державки с выборкой размещен в изготовленном виде прямоугольного параллелепипеда металлическом стакане (поз.4) с одинаковыми зазорами t по его основанию и стенками, при этом зазоры t заполнены вставкой (поз.5) из материала с высоким демпфированием, а державка установлена без возможности контактирования со стаканом. Это позволяет:

Инструменты собственного изготовления

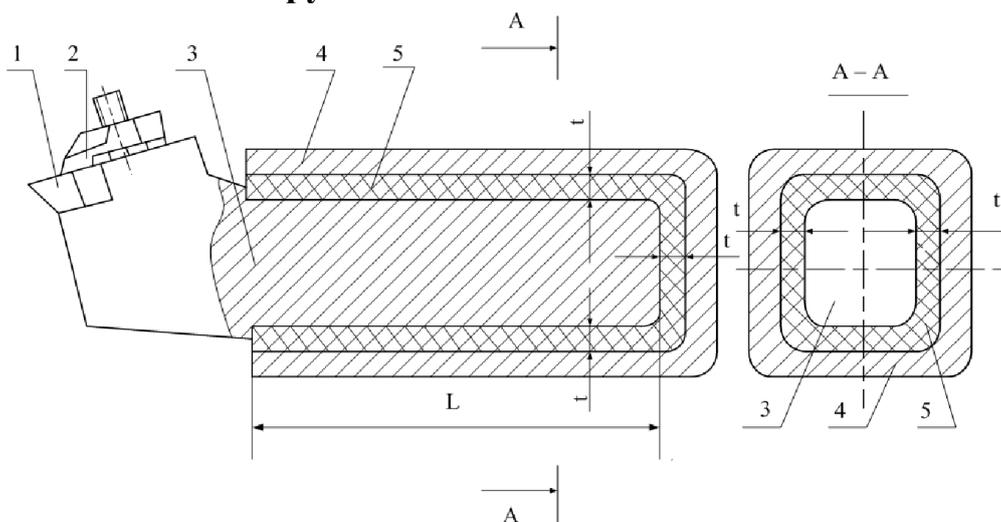


Рис. 1. Демпфирующий резец [8]

1. Повысить надежность устойчивого процесса резания за счет возможности минимизации воспринимаемых державкой сил резания путем подбора жесткости материала с высоким демпфированием вставки.

2. Повысить качество обработки конструктивно сложных поверхностей деталей, так как державка без возможности контактирования со стаканом размещена во вставке, заполняющей зазоры между основанием, стенками стакана и державкой. Поэтому происходит высокоэффективное демпфирование продольных и поперечных вибраций и ударных нагрузок, возникающих в процессе резания.

Таким образом, демпфирующий резец позволяет достичь заданного результата по повышению надежности устойчивого процесса прерывистого резания и качеству обработки.

2. Универсальный демпфирующий резец

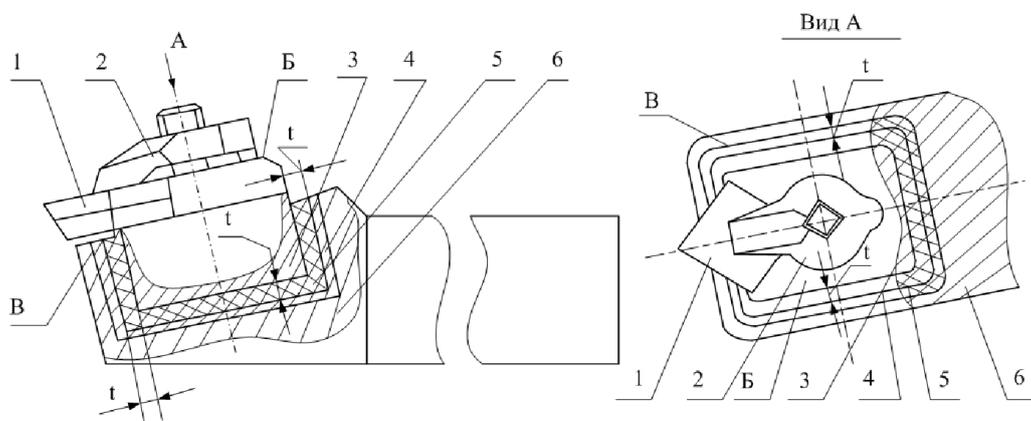


Рис. 2. Универсальный демпфирующий резец [9]

Оригинальностью универсального демпфирующего резца является то, что режущая вставка (поз.1) узлом ее крепления (поз.2) жестко фиксирована на верхней поверхности Б металлической оправки (поз.3), изготовленной в виде прямоугольного параллелепипеда и размещенной в тонкостенном контейнере (поз.4) с равномерными зазорами t по его основанию и стенкам. Зазоры заполнены вставкой (поз.5) из материала с высоким демпфированием, а оправка установлена выступающей над контейнером без соприкосновения с ним режущей вставки и узла ее крепления, в выборке, выполненной по форме контейнера и ориентированной по нормали к верхней плоскости В переднего конца державки (поз.6). Контейнер неподвижно закреплен в державке резца с обеспечением отсутствия контактирования режущей вставки и узла ее крепления на оправке с державкой и возможностью обработки режущей вставкой материала изделия. Это позволяет:

1. Повысить качество обработки эффективным демпфированием возникающих в процессе резания конструктивно сложных поверхностей вибраций за счет того, что оправка с жестко фиксированной на ней узлом крепления режущей вставки размещена в державке из материала с высоким демпфированием без возможности контактирования режущей вставки и узла ее крепления с контейнером и державкой.

2. Повысить надежность устойчивого процесса прерывистого резания, так как материал с высоким демпфированием виброизолирует ударные нагрузки как в направлении от детали и режущей вставки к державке и резцедержателю, так и в обратном – от резцедержателя и державки к режущей вставке и детали.

Таким образом, универсальный демпфирующий резец позволяет достичь технического результата по повышению качества обработки и надежности устойчивого процесса прерывистого резания.

3. Демпфирующий резец с регулируемой жесткостью

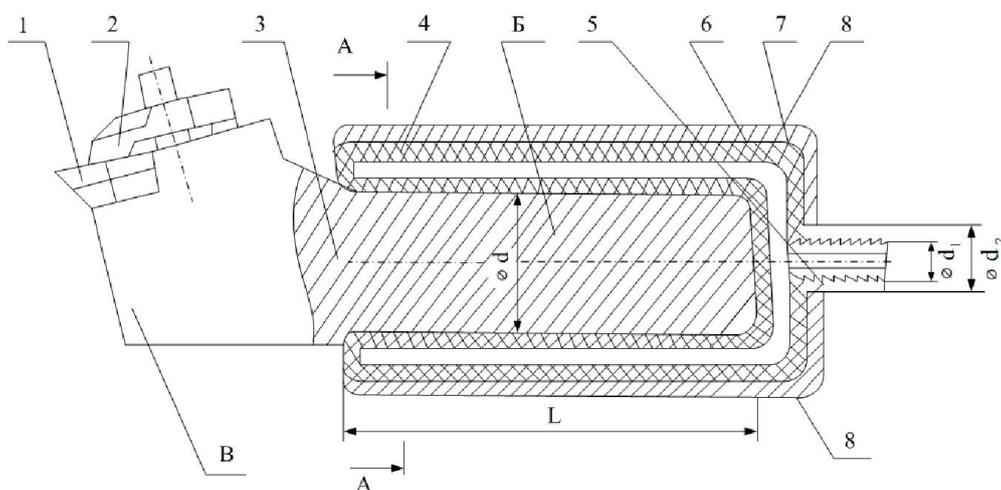


Рис.3. Демпфирующий резец с регулируемой жесткостью

Оригинальностью конструкции резца является то, что выборка выполнена с образованием цилиндрической поверхности Б державки (поз.3) на длине L от ее торца до выступающей части с режущей вставкой (поз.1). Цилиндрический конец державки размещен в замкнутой эластичной оболочке из вулканизированного материала, изготовленной в форме стакана (поз.4) с сообщающимися полыми стенками и днищем, снабженным с внешней стенки цилиндрическим штуцером (поз.5). Внутренний диаметр стакана и его высота от внутренней стенки днища равны соответственно диаметру d державки и длине L ее цилиндрической части. Стакан с державкой по всей его высоте свободно с зазорами установлен в цилиндрическом металлическом контейнере (поз.В) имеющем в дне сквозное отверстие (поз.7) диаметром d2 и расположенные с диаметрально противоположных сторон внешней поверхности контейнера две параллельные лыски (поз.8). Через штуцер, закачан сжатый воздух в днище и стенки стакана до заполнения ими зазоров и создания необходимого избыточного давления с возможностью регулирования жесткости резца за счет дополнительного закачивания воздуха в замкнутую эластичную оболочку стакана или сбрасывания его из оболочки без контактирования поверхностей державки и штуцера с контейнером и расположения лысок контейнера параллельно нижней поверхности В конца державки с режущей вставкой.

Это позволяет:

1. Улучшить эксплуатационные характеристики резца за счет дистанционного бесступенчатого регулирования его жесткости изменением давления в замкнутой эластичной оболочке стакана.

2. Повысить стойкость резца, так как днищем и стенками стакана осуществляется высокоэффективное демпфирование соответственно продольных и поперечных вибраций и ударных нагрузок за счет виброизоляции режущей вставки с узлом ее крепления в державке от резцедержателя.

Выводы: Демпфирующие резцы прошли производственные испытания при производстве образцов конструктивно сложной техники машиностроительного назначения на ОАО Научно-исследовательский инженерный институт, г. Балашиха Московской области.

В результате испытаний достигнуто повышение надежности устойчивого процесса резания и качество обработки в пределах: точность обработанных поверхностей деталей Т7 при Ra 0,32...0,63 мкм.

Список литературы

1. Кудряшов Е.А. Обработка деталей инструментом из композитов в осложненных технологических условиях. – Чита: ЧитГУ, 2002. – Том 1. – 257 с.
2. Кудряшов Е.А. Обработка деталей инструментом из композитов в осложненных технологических условиях. – Чита: ЧитГУ, 2002. – Том 2. – 290 с.

3. Кудряшов Е.А. Технологические особенности лезвийной обработки комбинированных поверхностей деталей композитами //Обработка металлов. – Новосибирск. – 2002. - №1(14). – С. 26 – 228.

4. Кудряшов Е.А. Технология лезвийной обработки деталей повышенной конструктивной сложности //Фундаментальные и прикладные проблемы технологии машиностроения. Технология – 2003. Материалы Международной научно-технической конференции, Орел, 25-27 сентября 2003; - ОрГТУ. – Орел, 2003. – С. 209-213.

5. Кудряшов Е.А. Обработка деталей из разнородных конструкционных материалов инструментом из композитов //Станки и инструменты. СТИН. - 2008. - №12. – С. 26-28.

6. Кудряшов Е.А., Емельянов С.Г., Локтионова О.Г. Обработка пакетов из разнородных материалов инструментом из композитов //Труды Арсеньевского технологического института (филиала) ДВГТУ. – Арсеньев: АрТИ ДВГТУ, 2009. – Вып. 2. – С. 12-17.

7. Смирнов И.М. Повышение эффективности процессов механической обработки конструктивно сложных деталей машин. – М.:Триумф, 2012. – 224 с.

8. Патент на изобретение № 2457077. Демпфирующий резец /Е.В. Павлов, Е.И. Яцун. – Оpubл. 2012. Б. Н. № 21.

9. Патент на изобретение № 2457078. Универсальный демпфирующий резец /Е.А. Кудряшов, Е.В. Павлов. – Оpubл. 2012. Б.Н. № 21.

10. Патент на изобретение № 2479385. Демпфирующий резец с регулируемой жесткостью /Е.А. Кудряшов, Е.И. Яцун. –Оpubл. 2013. Б. Н. № 11

Tool ensuring processes of fair turning of structurally difficult surfaces of details with cutters from the composite

E.A. Kudryashov, I.M. Smirnov, E.I. Yatsun

Results of research work of determination of operability of tools from superfirm materials are considered when processing structurally difficult surfaces of details of machine-building appointment.

Key words: technological process, operation turning, a cutter, the composite, a difficult processed surface, quality, accuracy, efficiency.

УДК 621.791.75

ПОСТРОЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ НАПЛАВКИ

*Е.В. БЕРЕЖНАЯ, канд. техн. наук, ст. преп.,
А.В. РАЗЖИВИН, канд. техн. наук, доцент
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)*

84313, Украина, г. Краматорск, ул. Шкадинова, 72,
Донбасская государственная машиностроительная академия,
e-mail: amm@dgma.donetsk.ua

Предложена интеллектуальная система управления процессом электроконтактной наплавки с последовательным включением программного и нейронного регулятора, позволяющая адаптировать систему управления к изменяющимся величинам тепловых потерь и параметрам режима электроконтактной наплавки.

Ключевые слова: интеллектуальная система, электроконтактная наплавка, информативность базы данных.

1. Введение

Перспективным направлением повышения эксплуатационных характеристик деталей машин является формирование на их поверхности слоя с особыми свойствами, отличающимися от свойств основного материала. К методам модификации поверхностного слоя металлов относятся: химические и химико-термические (цементация, азотирование, нитроцементация), термические (закалка ТВЧ), обработка изделий концентрированными потоками энергии (пучки электронов, плазменные потоки, лазерное излучение), механические (поверхностное пластическое деформирование). Помимо модификации материала детали можно изменить свойства поверхности путем нанесения покрытия из другого материала, обладающего требуемыми свойствами, что обеспечивает широкий диапазон варьирования характеристиками поверхности для различных условий эксплуатации.

Важной задачей при электроконтактном нанесении покрытий со сложным взаимодействием силовых и температурных параметров представляется автоматическое регулирование указанных параметров процесса с помощью интеллектуальной системы управления режимом электроконтактной наплавки.

2. Результаты исследования

Разработка системы управления режимом электроконтактной наплавки предполагает адаптивное управление технологическим процессом с целью компенсации возмущающих воздействий (тепловых потерь) и вариации параметров объекта (состава наплавочного материала, металла детали). Синтез системы автоматизации целесообразно проводить с использованием математической модели объекта. Обеспечение соответствия создаваемых АСУ

предъявляемым требованиям, включая их адаптивные свойства при случайных возмущениях, предполагает разработку и использование нетривиальных законов управления. Перспективные пути решения этой проблемы связаны с комплексным применением современных интеллектуальных технологий для создания принципиально нового поколения систем автоматизации сложными динамическими объектами. Практическое применение интеллектуальной технологии нейросетевого регулирования позволяет разработать регулятор, обладающий высокими адаптивными свойствами и большой функциональной гибкостью. Высокую эффективность работы регулятора предполагается достичь путем использования алгоритма оценки возмущающих воздействий и обоснованного выбора информации из базы знаний. Для решения задачи адаптации математической модели к особенностям технологического процесса электроконтактной наплавки компактного и эффективного управления процессом по заданному режиму целесообразно применение нейронного регулятора.

При построении нейрорегулятора возможно применение уже известных методов синтеза нейронных сетей (НС). Алгоритм обучения нейронной сети задается набором обучающих правил. Обучающие правила определяют, каким образом изменяются межнейронные связи в ответ на входное воздействие. Существует несколько правил обучения НС: обратного распространения ошибки, квазиньютоновские методы, различные градиентные методы и т.д. Простейший способ обучения нейронной сети – поочередно изменять коэффициенты сети (вес связи) таким образом, чтобы оптимизировать критерий качества работы сети (среднеквадратичное отклонение). Этот способ является малоэффективным. Более эффективным способом настройки сети является определение градиента ошибки по весам связей. По этому способу все веса изменяются сразу на величину, пропорциональную соответствующей производной. Одним из известных алгоритмов, позволяющих вычислить градиент ошибки, является алгоритм обратного распространения ошибки.

В настоящее время имеется несколько подходов для построения нейроконтроллеров на базе многослойной НС прямого и обратного распространения. Все они представляют собой последовательную или параллельную схему нейроуправления. Для разрабатываемой интеллектуальной системы наиболее подходящей является последовательная схема включения нейрорегулятора. Данная схема стала уже традиционной при построении систем управления на базе нейронных сетей и основывается на предварительном обучении. Обучение проводится на множестве соотношений вход-выход объекта, полученных при проведении эксперимента на объекте и его модели. Задачей использования нейронного регулятора является выдача скорректированного управляющего входного сигнала (силы тока наплавки), полученного из базы данных (знаний). Данная задача решается путем обучения НС на примерах из обучающего множества. Критерием обучения является

среднеквадратичная ошибка обучения E .

Для получения ошибки обобщения и оценке времени прогнозирования поведения объекта управления необходима адаптация НС по тестовой выборке. В этом случае вычисляемая ошибка E будет внешним критерием, позволяющим оценить время прогнозирования по ошибке моделирования (скорости нагрева металла). В связи с этим можно сформулировать следующие требования к функционированию нейрорегулятора температурного режима:

- нейрорегулятор должен задавать силу тока наплавки электроконтактной машины с учетом усилия на ролике-электроре и времени импульса тока наплавки;

- нейрорегулятор должен сформировать сигнал коррекции управляющего воздействия с учетом величины тепловых потерь в процессе электроконтактной наплавки.

При решении поставленной задачи управления тепловым процессом электроконтактной наплавки используется накопленная в базе данных информация. Эта информация необходима для корректирующих воздействий. Она представлена в виде численных данных, сформированных двумя путями:

– с помощью пассивного эксперимента при изменении скорости нагрева наплавочного материала, величины силы тока и длительности импульса протекания тока;

– с помощью моделирования мощности тепловых полей.

Таблично заданные параметры, с помощью которых регламентируются действия операторов и обеспечиваются требуемые результаты процесса, достаточно широко применяются в практике управления сложным и уникальным оборудованием. Такой подход целесообразно использовать также и для управления процессом электроконтактной наплавки. При этом таблица, содержащая значения параметров процесса, должна охватывать все ситуации, возникновение которых вероятно. Однако практическая реализация такой задачи требует определенных ограничений в смысле достаточности. При этом под достаточностью следует понимать определенный объем информации, использование которого гарантирует благоприятный исход процесса.

Рассмотрим решение поставленной задачи. Мерой неопределенности сообщения какого-либо источника является информационная энтропия. Сообщения описываются множеством переменных x_1, x_2, \dots, x_n , которые отражают признаки наличия или отсутствия информации, а также соответствующими этим признакам вероятностями p_1, p_2, \dots, p_n . В дискретном статистическом равномерном распределении вероятностей p_k информационной энтропией называют величину:

$$H_u = -\sum_{k=1}^n p_k \ln p_k, \quad (1)$$

при условии, что $\sum_{k=1}^n p_k = 1$.

Значение H_u равно нулю, если какое либо из p_k равно 1. При этом неопределенность информации отсутствует. Энтропия принимает наибольшее значение, когда p_k равны между собой. В этом случае неопределенность информации максимальна. Принимая понятие энтропии как меру неупорядоченности информации, можно прийти к выводу, что в решении поставленной задачи большую информативную ценность дает не само значение энтропии, а её интегральное выражение, позволяющее наглядно представить процесс изменения энтропии по мере наполнения таблицы информацией.

Сформулируем поставленную задачу следующим образом. Таблица данных, состоящая из n ячеек, заполнена m параметрами и $n-m$ пробелами. Требуется определить величину энтропии H и сформулировать решение относительно достаточности информации для положительного исхода процесса. Практическое использование таблично заданных параметров показывает, что в ходе управления технологическим процессом из таблицы извлекается информация, находящаяся в определенных ячейках объемом k значений (рис. 1). Поставим условие, что число ячеек с необходимой информацией, равное k , не превосходит чисел m и $n-m$. В таком случае технологический процесс может иметь k различных исходов, соответствующих тому, что среди извлекаемых значений окажется $1, 2, \dots, k$ данных. Обозначим благоприятные исходы через $A_0, A_1, A_2, \dots, A_k$, неблагоприятные через $\bar{A}_0, \bar{A}_1, \bar{A}_2, \dots, \bar{A}_k$, соответственно, их вероятности будут иметь обозначения p_{A_i} и $p_{\bar{A}_i}$. Предположим, что нам известен исход A_i . Тогда в таблице данных после извлечения информации из ячейки может остаться $(m-i)$ значений и $(n-m-k+i)$ пробелов. Тогда после изъятия информации вероятности p_{A_i} и $p_{\bar{A}_i}$ последующего исхода извлечения данных из ячеек принимают следующие значения:

$$p_{A_i} = \frac{m-i}{n-k}, \quad p_{\bar{A}_i} = \frac{n-m-k+i}{n-k}. \quad (2)$$

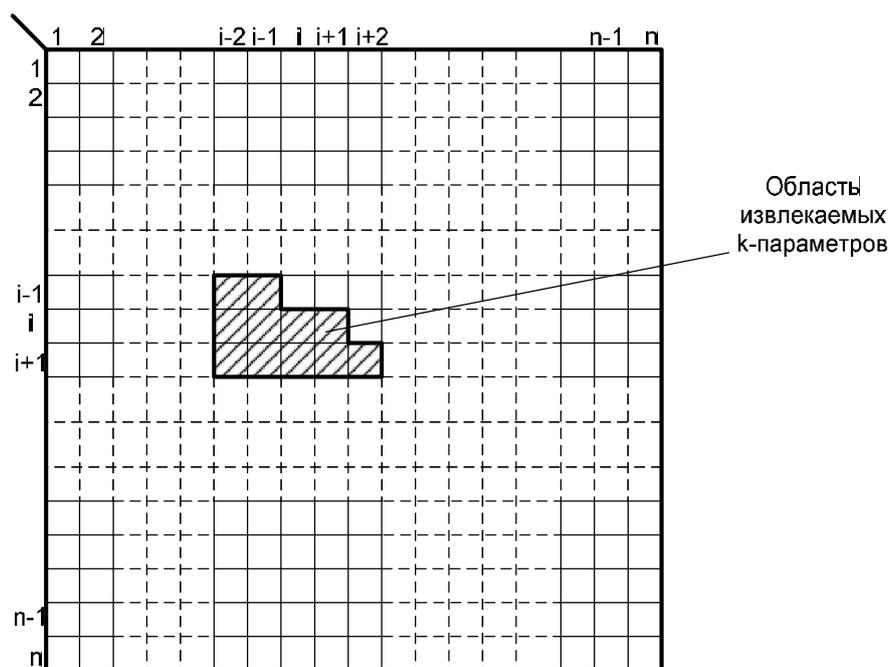


Рис. 1 Положение области извлекаемых из таблицы параметров

С учетом этого интегральное представление информационной энтропии при последовательном извлечении информации определится следующим образом:

$$H_{u_1} = \sum_{i=1}^k -p_{A_i} \log(p_{A_i}) = \sum_{i=1}^k \left(-\frac{m-i}{n-k} \log\left(\frac{m-i}{n-k}\right) \right). \quad (3)$$

Выражение (3) описывает закон изменения энтропии в выборке k значений из таблицы. В качестве меры информативности воспользуемся функцией желательности Харрингтона:

$$d = e^{-e^{-y}}, \quad (4)$$

где y – относительный параметр масштаба аргумента функции.

Для перехода от энтропии к мере информативности d преобразуем функцию желательности Харрингтона в следующий вид:

$$d = \sum_{i=1}^k \left(-e^{\frac{-1}{p_{A_i}}} \log e^{\frac{-1}{p_{A_i}}} \right). \quad (5)$$

График изменения меры информативности приведен на рис. 2. На оси ординат нанесена шкала меры информативности d , с диапазоном от 0 до 1, а на оси абсцисс – количество ячеек таблицы. Шкала меры информативности d имеет стандартные для функции Харрингтона отметки (табл. 1) способом формализации достаточности количества информации в таблице для успешного проведения технологического процесса.

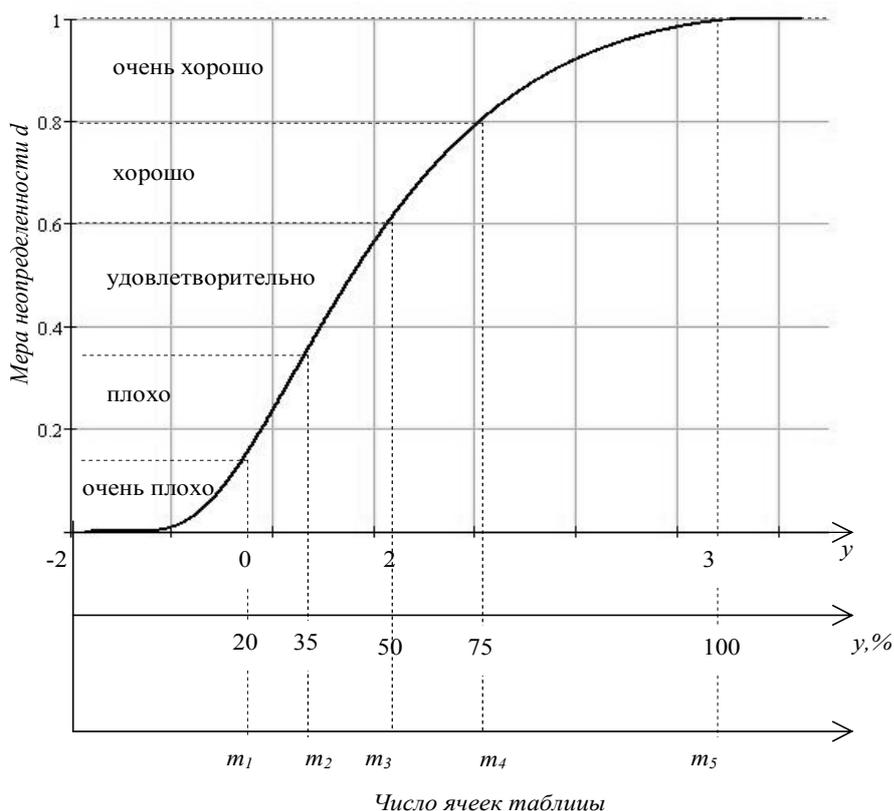


Рис. 2 График изменения меры информативности d от числа ячеек таблицы с информацией

Таблица 1

Оценка информативности по шкале меры информативности

Оценка информативности	Уровень d	Резюме
Очень плохо, менее 20% данных	0-0,17	Проведение технологического процесса невозможно, необходимо дополнить таблицу данных
Плохо, менее 35% данных	0,17-0,37	Проведение технологического процесса нежелательно, необходимы дополнительные данные
Удовлетворительно, до 50% данных	0,37-0,60	При проведении технологического процесса возможны не верные действия из-за отсутствия достаточного количества значений
Хорошо, от 51 до 75% данных	0,60-0,80	Возможен хороший результат проведения технологического процесса, количество параметров занесенных в ячейки таблицы достаточно
Очень хорошо, свыше 75% данных	0,80-1,00	Успешное управление технологическим процессом

При необходимости стандартные отметки могут быть изменены экспертной группой. Оценка информативности (обучающей выборки) таблицы с помощью энтропии и функции желательности Харрингтона позволяет формализовать процедуру принятия решения о достаточности информации при проведении экспериментальных исследований.

Таким образом, для синтезируемой интеллектуальной системы управления процессом электроконтактной наплавки предлагается ввести последовательное включение программного и нейронного регулятора, что позволит адаптировать систему управления к изменяющимся величинам тепловых потерь и параметрам режима электроконтактной наплавки.

3. Выводы

Применение математических моделей процесса электроконтактной наплавки, а также метода адаптивного управления технологическим процессом при построении интеллектуальной системы управления процессом электроконтактной наплавки позволит скомпенсировать возмущающие действия тепловых потерь и учесть вариации параметров объекта, что обеспечит высокую стабильность процесса электроконтактной наплавки. Разработана структура, алгоритм заполнения, коррекции и оценки информативности информационных баз данных технологического процесса электроконтактной наплавки.

Building of intelligent process control system of electrocontact deposition

O.V. Berzshnaya, A.V. Razshivin

Proposed intelligent control system of electrocontact deposition process with sequential enabling software and neural controller, which allows the control system to adapt to the changing values of the heat loss and regime parameters of electrocontact deposition.

Key words: intelligent, electrocontact deposition, informative database.

УДК 621.762.047

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ПРОКАТКИ ПОРОШКОВОЙ ЛЕНТЫ

*Э.П. ГРИБКОВ, к.т.н., доцент,
В.А. ДАНИЛЮК, аспирант,
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)*

84313, Украина, г. Краматорск, ул. Шкадинова, 72,
Донбасская государственная машиностроительная академия,
e-mail: amm@dgma.donetsk.ua; viktoriya1987@yandex.ru; edik_gribkov@mail.ru

Проведено автоматизированное проектирование технологических режимов прокатки порошковой ленты на основе разработанной математической модели напряженно-деформированного состояния. Получены результаты для прокатки железного порошка в стальной оболочке, которые позволяют определить обжатия в зависимости от результирующих характеристик процесса.

Ключевые слова: порошковая лента, прокатка, математическая модель, очаг деформации, плотность.

1. Введение. При производстве порошковых лент необходимо обеспечить уплотнение сердечника, чтобы он не высыпался из оболочки, сохранение её прочности и геометрических размеров профиля.

Основным недостатком существующих математических моделей процесса прокатки порошковой ленты является отсутствие учёта возможности пластической деформации монометаллической оболочки, что снижает точность определения таких результирующих параметров, как конечная плотность порошкового сердечника и его конечная толщина.

Целью данной работы является разработка математического аппарата, позволяющего определять исходные параметры прокатки при заданных результирующих характеристиках процесса.

2. Теория. В основу предлагаемой математической модели положено численное рекуррентное решение конечно-разностной формы условий статического равновесия каждого отдельного выделенного элементарного объема, полученных путем разбиения зоны пластического формоизменения на их конечное множество. Используемая в этом случае расчетная схема интегрального очага деформации представлена на рисунке 1.

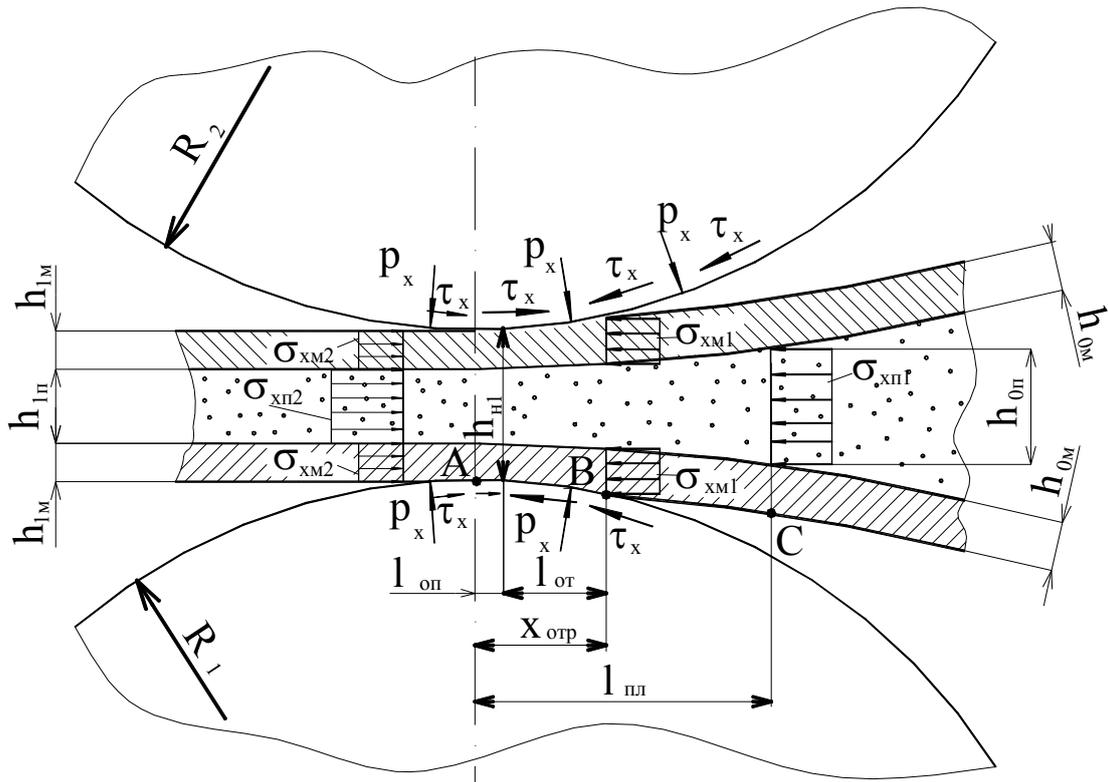


Рис. 1. Расчетная схема интегрального очага деформации

Текущие значения показателей, характеризующих, согласно закону Амонтона, условия трения на контакте порошковой и монометаллической составляющей $f_x = \tau_x / p_x$, а также между слоями $f_{хпм} = \tau_{хпм} / p_x$ (см. рис. 2), определяли с учетом реального характера их распределений по длине очага деформации:

$$f_x = \tau_x / p_x = f_{от} \left[\frac{x - l_{он}}{l_{пл} - l_{он}} \right]^{a_f} \text{ при } l_{он} < x \leq l_{пл}; \quad (1)$$

$$f_x = \tau_x / p_x = -f_{он} \left[\frac{l_{он} - x}{l_{он}} \right]^{a_f} \text{ при } 0 < x \leq l_{он}; \quad (2)$$

$$-f_{хпм} = f_{хпм} = -\tau_{хпм} / p_x = \tau_{хпм} / p_x = f_{0мп} \left[\frac{x}{l_{пл}} \right]^{a_{фпм}}, \quad (3)$$

где $f_{от}$, $f_{он}$, $f_{0мп}$ – опорные значения, соответствующие значениям соответствующих коэффициентов трения в сечении на входе ($x=l_{пл}$) и в сечении на выходе ($x=0$) из зоны уплотнения; a_f , $a_{фпм}$ – степенные показатели, характеризующие форму эпюры распределения коэффициентов трения по длине очага деформации ($a_f=0.2...0.5$); п, м – индексы, обозначающие порошковую и монометаллическую составляющие прокатываемой порошковой ленты; $l_{он}$ – протяженность зоны опережения.

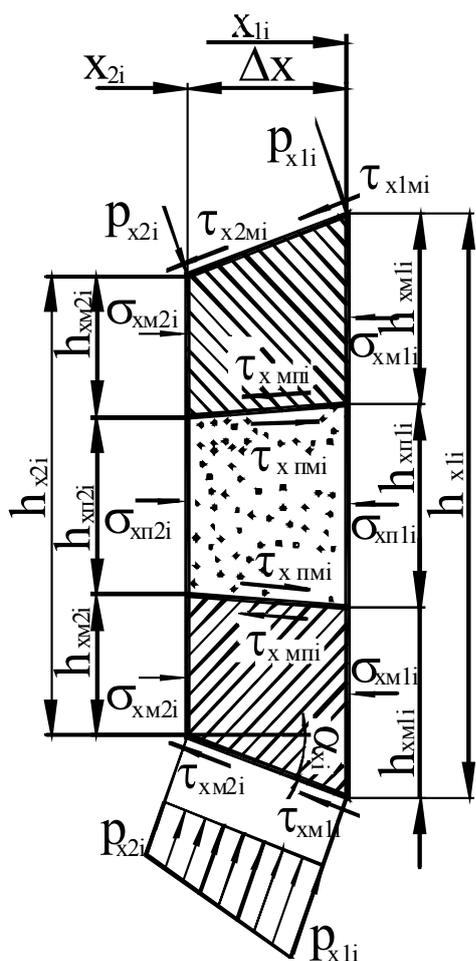


Рис. 2. Расчетная схема выделенного элементарного объема

В случае прокатки композиции порошок – монометаллическая оболочка при отсутствии полученных предварительно межслойных связей скорости перемещения составляющих полосы в очаге деформации будут гарантировано эквивалентны только при условии произошедшей сварки давлением, а, следовательно, только в сечениях, близких к выходу из очага деформации: $V_{1п}=V_{1м}=V_1$, в то время как в остальных сечениях они будут несколько отличаться друг от друга: $V_{хп} \neq V_{хм}$ и $V_{0п} \neq V_{0м}$. Следовательно, кинематические $V_{хпi}$, $V_{хмi}$, а вместе с ними и геометрические $h_{хпi}$, $h_{хмi}$ параметры процесса прокатки в этом случае являются неизвестными и подлежат определению. Известными в этом случае являются только значения исходных толщин порошковой $h_{0п}$ и монометаллической $h_{0м}$ составляющих.

Согласно используемой рекуррентной форме решения, при которой компоненты $\sigma_{x_{m1i}}$, $\sigma_{x_{п1i}}$ и $p_{x_{1i}}$ являются известными исходя из результатов расчета предыдущего (i-1)

элементарного объема. Полный расчет напряженно-деформированного состояния для i-го выделенного элементарного объема сводится к определению нормальных $\sigma_{x_{п2i}}$, $\sigma_{x_{м2i}}$ и нормальных контактных напряжений $p_{x_{2i}}$ на основе целенаправленного перебора толщин $h_{хп2i}$, $h_{хм2i}$ исходя из условия равновесия конечного граничного сечения:

$$p_{x_{2i}} = p_{хп2i} = p_{хм2i} \cdot \tag{4}$$

С целью определения нормальных контактных напряжений $p_{x_{2i}}$ рассмотрим условия статического равновесия элементарного объема очага деформации, которые будут иметь вид:

для монометаллической оболочки:

$$\sum F_{хм} = \sigma_{x_{м2i}} h_{хм2i} - \sigma_{x_{м1i}} h_{хм1i} - 0.5 \Delta x \cdot (p_{x_{1i}} f_{хм1i} + p_{x_{м2i}} f_{хм2i}) - 0.5 \Delta x (p_{x_{1i}} f_{хп1i} + p_{x_{м2i}} f_{хп2i}) + (p_{x_{1i}} + p_{x_{м2i}}) (h_{хм1i} - h_{хм2i}) / 2 = 0; \tag{5}$$

для порошкового слоя:

$$\begin{aligned} \Sigma F_{xn} = & \sigma_{xn2i} h_{xn2i} - \sigma_{xn1i} h_{xn1i} - \Delta x \left(P_{x1i} f_{xmi} + P_{xn2i} f_{xmi} \right) + \\ & + \left(P_{x1i} + P_{xn2i} \right) \left(h_{xn1i} - h_{xn2i} \right) / 2 = 0, \end{aligned} \quad (6)$$

где за положительные значения нормальных напряжений σ_x приняты напряжения сжатия, а направление действия касательных контактных $\tau_{хп(м)}$ и межслойных $\tau_{хпм}$ напряжений учтено знаками в функциональных описаниях (1) – (3).

Нормальные напряжения монометаллической составляющей σ_{x2m} будут подчиняться условию пластичности для сплошных сред, а именно:

$$\sigma_x = P_x - 2K_x, \quad (7)$$

где $2K_x$ – коэффициент удвоенного сопротивления деформации сдвига, который можно определить по формуле:

$$2K_x = 1.155 \left(a_0 + a_1 \varepsilon_x + a_2 \varepsilon_x^2 + a_3 \varepsilon_x^3 \right) \quad (8)$$

a_0, a_1, a_2, a_3 – коэффициенты регрессии, характеризующие интенсивность деформационного упрочнения металла подложки; ε_x – относительная деформация монометаллической составляющей.

Подставив в уравнение (5)) условие пластичности для сплошных сред (7)) можно определить нормальные контактные напряжения, действующие в монометаллической составляющей на выходе из элементарного объема очага деформации:

$$\begin{aligned} P_{xm2i} = & \left[2K_{xm2i} h_{xm2i} + \sigma_{xmi} h_{xmi} + \frac{1}{2} P_{xmi} f_{xmi} \Delta x + \frac{1}{2} P_{xmi} f_{xpmi} \Delta x - \right. \\ & \left. - \frac{1}{2} P_{xmi} \left(h_{xmi} - h_{xm2i} \right) \right] / \left[\frac{1}{2} f_{xm2i} \Delta x - \frac{1}{2} f_{xpmi} \Delta x + \frac{1}{2} \left(h_{xmi} + h_{xm2i} \right) \right] \end{aligned} \quad (9)$$

Нормальные σ_x и нормальные контактные p_x напряжения функционально связаны между собой еще и условием пластичности [6, с. 42]:

$$f = \frac{1}{2} \left[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \right] + \alpha_x (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)^2 - \beta_x \sigma_{sx}^2 = 0, \quad (10)$$

где $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – главные напряжения, действующие на деформируемый порошковый сердечник; σ_{sx} – условный предел текучести материала основы порошкового материала. При плоском деформированном состоянии будут иметь силу соотношения: $\sigma_3 = \sigma_x; \sigma_1 = p_x$. В ходе дальнейших математических преобразований условие пластичности принимает вид:

$$p_{xn2i}^2 - 2 \cdot \frac{1 - 2\alpha_{xn2i}}{1 + 4\alpha_{xn2i}} p_{xn2i} \sigma_{xn2i} + \sigma_{xn2i}^2 = \frac{4}{3} \cdot \frac{1 + \alpha_{xn2i}}{1 + 4\alpha_{xn2i}} \beta_{xn2i} \sigma_{sxn2i}^2, \quad (11)$$

где $\alpha_{xn2i}, \beta_{xn2i}$ – текущие по длине очага деформации значения коэффициентов, учитывающих специфику деформации именно порошковой среды; σ_{sxn2i} –

текущее значение предела текучести твердой фазы данной порошковой композиции.

Количественно значения коэффициентов α_{xn2i} и β_{xn2i} , согласно рекомендациям работы [3] могут быть определены как:

$$\alpha_{xn2i} = a(1 - \gamma_{x2i})^m; \quad \beta_{xn2i} = \gamma_{x2i}^{2n}, \quad (12)$$

где $\gamma_{x2i} = \rho_{x2i} / \rho_0$ – текущее по длине очага деформации значение относительной плотности; ρ_{x2i}, ρ_0 – текущая плотность и плотность твердой фазы данной порошковой композиции; a, m, n – постоянные для каждого конкретного состава порошка значения коэффициентов, характеризующих интенсивность изменения α_{xn} и β_{xn} в зависимости от изменения показателя относительной плотности γ_x . Данные коэффициенты могут быть определены из анализа напряжений и деформаций, действующих в очаге деформации при прессовании порошка определенного состава и плотности в закрытой матрице.

Выразив из уравнения (11) величину нормальных напряжений и подставив его в уравнение статического равновесия (6) можно определить нормальные контактные напряжения:

$$p_{xn2i} = \frac{\sqrt{t_{1n}^2 t_{2n}^2 - (t_{1n}^2 - t_{3n})(t_{2n}^2 - t_{4n})} - t_{1n} t_{2n}}{t_{1n}^2 - t_{3n}}, \quad (13)$$

где $t_{1n} = \frac{1 - 2\alpha_{xn2i}}{1 + 4\alpha_{xn2i}} h_{xn2i} + \frac{1}{2} (h_{xn1i} - h_{xn2i} - 2f_{xmn2i} \Delta x)$;

$$t_{2n} = 0.5 p_{x1i} (h_{xn1i} - h_{xn2i} - 2f_{xmn2i} \Delta x) - \sigma_{xn1i} h_{xn1i};$$

$$t_{3n} = h_{xn2i}^2 \left[\left(\frac{1 - 2\alpha_{xn2i}}{1 + 4\alpha_{xn2i}} \right)^2 - 1 \right]; \quad t_{4n} = \frac{4}{3} h_{xn2i}^2 \frac{1 + \alpha_{xn2i}}{1 + 4\alpha_{xn2i}} \beta_{xn2i} \sigma_{sxn2i}^2. \quad (14)$$

По мере определения P_{xn2i} и P_{xm2i} конечную толщину h_{x2ni} определяли итерационно исходя из условия, как это было уже указано ранее, равенства нормальных контактных напряжений $P_{xn2i} \approx P_{xm2i}$:

$$h_{x2ni(k+1)} = h_{x2nik} - A_h \cdot \text{sign}\{p_{x2nik} - p_{x2mik}\}, \quad (15)$$

где в первом цикле k -ой итерационной процедуры исходя из первоначального предположения о равенстве вытяжек принимали $h_{xn2ik}|_{k=1} = h_{xn1i} h_{x2i} / h_{x1i}$; A_h – шаг изменения толщины слоя, величина которого в зависимости от степени приближения к исходному результату была принята переменной; $\text{sign}\{p_{xn2i} - p_{xm2i}\}$ – градиентная оценка направления следующего приращения.

Помимо определения текущих толщин составляющих порошковой ленты необходимо также определение текущего значения относительной плотности порошка. Для этого, воспользовавшись зависимостями между главными

скоростями пластической деформации $\dot{\varepsilon}_1, \dot{\varepsilon}_3$ и главными напряжениями $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ предоставляемыми теорией течения пористых материалов и исходя из условия сохранения массы, результирующее в рамках данного объема значение относительной плотности порошковой среды может быть определено как:

$$\gamma_{x2i} = \gamma_{x1i} h_{xn1i} / [h_{xn2i} (1 + \varepsilon_{lxn2i})], \quad (16)$$

$$\text{где } \varepsilon_{lxn2i} = \frac{\sigma_{xn2i} (1 + 4\alpha_{xn2i}) - p_{x2i} (1 - 2\alpha_{xn2i})}{p_{x2i} (1 + 4\alpha_{xn2i}) - \sigma_{xn2i} (1 - 2\alpha_{xn2i})} \cdot \frac{h_{xn1i} - h_{xn2i}}{h_{xn1i}}.$$

В целом, представленная совокупность аналитических описаний в сочетании с организацией последующего численного интегрирования и определением таких важнейших интегральных показателей исследуемого процесса прокатки, как величина силы P , среднеинтегральное значение нормальных контактных напряжений p_{cp} и моменты прокатки на каждом из рабочих валков M_1, M_2 составили полный алгоритм по одномерному численному математическому моделированию процесса прокатки порошковой ленты.

Конечной целью процесса прокатки порошковой ленты будет являться получение проката с заданной плотностью порошка и обеспечение требуемых толщин порошкового сердечника и оболочки.

Для определения указанных показателей качества готовой металлопродукции было выполнено автоматизированное проектирование технологических параметров прокатки. В качестве критериев проектирования при этом были выбраны необходимые значения $[h_1], [\gamma_1]$. В качестве параметров проектирования – $h_{0\Sigma}$. В качестве целевых функций – полученные ранее регрессионные описания. Собственно решение включало внутренний цикл на основе итерационной процедуры по определению h_0 , обеспечивающих требуемые результирующие значения h_1 :

$$h_{0\Sigma(k+1)} = h_{0\Sigma k} + A_{h_0} \text{sign}\{h_1\} - h_1 \}_k, \quad (22)$$

а также внешний цикл, основанный на итерационном определении h_0 , обеспечивающий требуемое значение γ_1 :

$$h_{0(t+1)} = h_{0t} + A_{h_0} \text{sign}\{\gamma_1\} - \gamma_1 \}_t. \quad (23)$$

3. Результаты и обсуждение. При определении оптимальных исходных параметров был использован метод целенаправленного перебора. В качестве примера на рис. 3 представлены расчетные зависимости, позволяющие определять необходимую исходную толщину порошкового сердечника при заданных конечной относительной плотности порошка, результирующих толщин порошковой ленты и исходной толщины материала оболочки. Такие же зависимости можно получить для различных материалов оболочки и порошкового сердечника, а также для различных исходных значений плотности порошка. С практической точки зрения результаты автоматизированного проектирования технологических режимов прокатки позволяют без

использования разработанного математического аппарата определить все исходные параметры процесса для получения заданного типоразмера порошковой ленты.

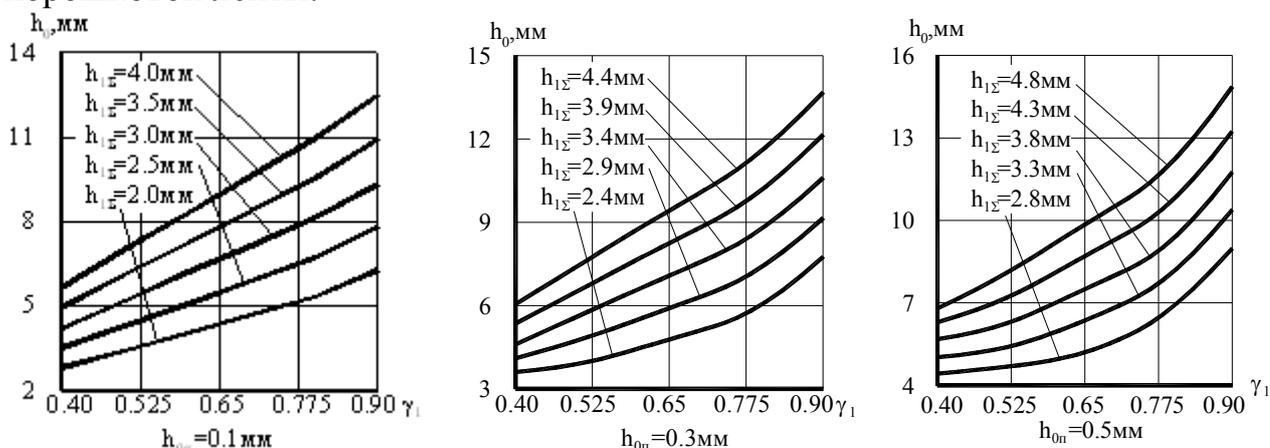


Рис. 3. Результаты автоматизированного проектирования технологических режимов процесса прокатки порошковой ленты.

$b = 100\text{ мм}; R = 100\text{ мм}; V_0 = 0.05\text{ м/с}; a_f = 0.35; f_{nn0} = 0.2; f_{gn0} = 0.09; \gamma_{0m} = 0.25; a = 0.44; m = 1;$

$$n = 2.5; \sigma_{s0} = 458\text{ Н/мм}^2; a_1 = 1130.6; a_2 = -1138.9; a_3 = 555.6; \sigma_{ns0} = 240\text{ Н/мм}^2$$

4. Выводы. Численная реализация разработанной математической модели процесса прокатки порошковой ленты позволяет осуществить автоматизированное проектирование технологических режимов, то есть определить обжатия при заданных значениях конечной толщины ленты и относительной плотности порошкового сердечника. Результаты проектирования показывают монотонный характер зависимости исходной толщины порошкового сердечника ленты от его конечной относительной плотности.

The automated design of technological modes of rolling powder tape

E.P. Gribkov, V.A. Danilyuk

The automated design of technological modes of rolling powder tape on the basis of the developed mathematical model of stress-strain state is carried out. Results for rolling of iron powder in a steel cover which allow to define sinkings depending on resultant characteristics of process are received.

Key words: powder tape, rolling, mathematical model, deformation center, density.

УДК 621.787.4

ОТДЕЛОЧНО-УПРОЧНЯЮЩАЯ ОБРАБОТКА ВАЛОВ РОЛИКОМ С КЛИНОВЫМ ПРОФИЛЕМ

*Ю.К. ДОБРОНОСОВ, канд. техн. наук, доцент
А.В. ГУЩИН, канд. техн. наук
(ДГМА, г. Краматорск)*

Добронос Ю.К. – 84313, Донецкая обл., г. Краматорск, ул. Шкадинова, 72,
Донбасская государственная машиностроительная академия,
e-mail: amm@dgma.donetsk.ua

Гущин А.В. – 84313, Донецкая обл., г. Краматорск, ул. Шкадинова, 72,
Донбасская государственная машиностроительная академия,
e-mail: tiur@dgma.donetsk.ua

Рассматривается способ поверхностного пластического деформирования рабочих поверхностей деталей машин с использованием ролика с клиновым профилем. Расчет напряженно-деформированного состояния осуществляется на основе метода полей линий скольжения при внедрении клинового инструмента в жесткопластическое полупространство. Указанная методика максимально близко адаптирована к условиям реализации рассматриваемого процесса.

Ключевые слова: поверхностная деформация, ролик, накатка, упрочненный слой, клин, линии скольжения, годограф.

Работоспособность и надежность деталей машин обеспечиваются путем достижения требований прочности, жесткости, износа, стойкости к различным воздействиям (вибрации, температуре и т.п.). Обеспечение требований прочности деталей при статическом, циклическом и ударном нагружении снижает возможность их разрушения, а также возникновения недопустимых остаточных деформаций.

Выполнение требований по повышению долговечности деталей машин в условиях рыночной экономики можно обеспечить не только разработкой новых конструктивных решений и применением современных сверхпрочных материалов, что требует значительных капиталовложений, но и путем изменений поверхностного слоя деталей. Особый интерес это представляет для малого бизнеса, где объемы выпуска продукции редко превышают мелкие серии, и значительные финансовые издержки зачастую являются трудноокупаемыми.

Известно достаточно способов поверхностно-пластической деформации, среди которых выглаживание, вибровыглаживание, накатка сферическим, цилиндрическим и круговым роликом, которые обеспечивают достаточно жесткие требования по шероховатости, твердости поверхности и увеличивают износостойкость деталей машин. Создание поверхностного наклепа для повышения усталостной прочности и долговечности используется для большой номенклатуры изделий машиностроения (коленчатые валы, шестерни, цапфы

валов, шейки осей, валков, шатуны, пружины и др.), а также изделий из цветных металлов [1-3].

Однако есть такие детали, к которым предъявляются более жесткие требования к усталостной прочности и долговечности, нежели к рассмотренным выше изделиям, которые традиционные схемы ППД обеспечить не могут, в частности, это касается деталей, имеющих конструктивные или технологические концентраторы напряжений, выточки, галтели и др. [4].

Для отделочно-упрочняющей обработки рабочих поверхностей таких деталей способами ППД необходим поиск новых технических решений, позволяющих осуществлять указанную обработку без значительного увеличения себестоимости изготовления, а то и, вообще, снизить ее. С этой целью на кафедре технологии машиностроения, ДГМА в качестве финишной обработки поверхностей деталей машин предложен способ поверхностно-пластического деформирования основанный на использовании накатного ролика со специальным профилем рабочей поверхности [5].

Среди известных способов поверхностно-пластической деформации, таких как накатка цилиндрическим роликом, выглаживание, дробеструйная обработка и т. д., предлагаемый способ имеет несколько особенностей. В качестве деформирующего инструмента выступает ролик, имеющий специальный клиновидный профиль, который прижимают к обрабатываемой поверхности с определенным усилием P (рис. 1). Угол конуса α накатного ролика составляет порядка $170...175^\circ$, а его ось находится под углом $\gamma = 10...15^\circ$ по отношению к оси детали.

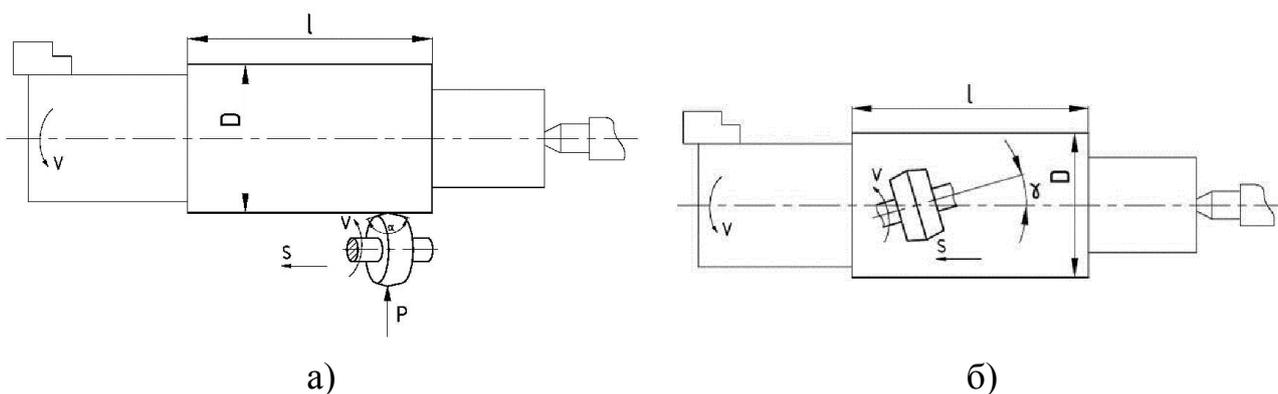


Рис. 1. Схема накатывания клиновым роликом

Реализация такой схемы упрочнения приводит к появлению в приповерхностных слоях кроме сжимающих напряжений еще и напряжений среза, что способствует повышению остаточных сжимающих напряжений на поверхности детали и увеличению глубины упрочненного слоя. Это придает детали более высокую усталостную прочность, твердость и износостойкость за счет снижения влияния внутренних растягивающих напряжений, действующих

в приграничных зонах упрочненного слоя. Таким образом, предложенный метод способен обеспечить необходимые механические свойства и качество поверхности детали и не предусматривает последующего проведения термической обработки, а реализация данного способа возможна на действующих металлорежущих станках токарной группы.

Для расчета напряженно-деформированного состояния и определения остаточных напряжений в приповерхностных слоях используется методика расчета, основанная на методе полей линий скольжения при рассмотрении процесса внедрения клинового инструмента в жесткопластическое полупространство [6], применяемая для описания процессов поперечной и поперечно-клиновой прокатки [7, 8], которые аналогичны по своей сути рассматриваемому процессу ППД. Поэтому адаптируя расчетную модель указанных процессов прокатки к процессу поверхностного упрочнения клиновым роликом, можно построить математическую модель, которая в полной мере описывала бы деформационные процессы, происходящие в приповерхностном слое при упрочнении.

Геометрия рабочего инструмента такова, что при упрочнении в процессе пластической деформации возникает зона жесткопластического равновесия (рис. 2) или зона прилипания 148 [6], которая остается недеформируемой и по окончании обработки должна уйти в заусенец. Заусенец впоследствии удаляется механическим путем.

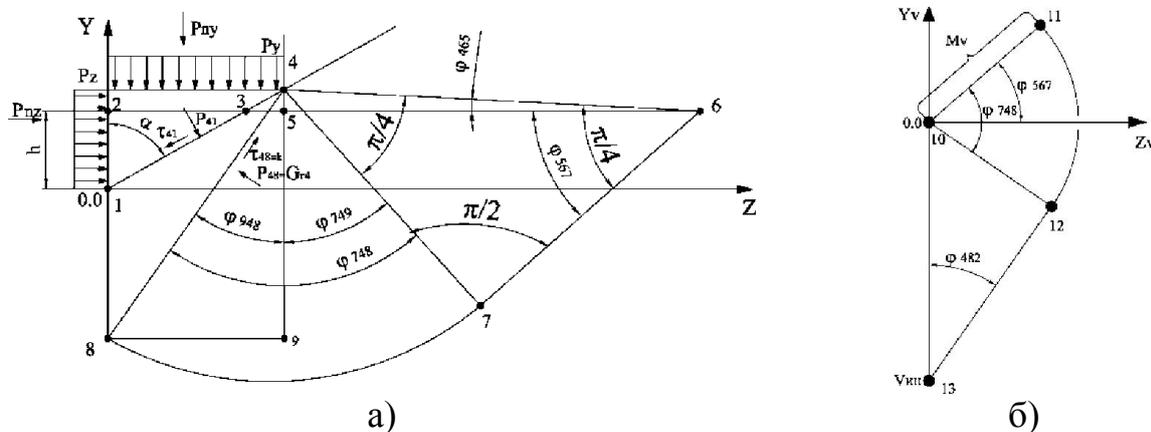


Рис. 2. Расчетные схемы полей характеристик в физической плоскости (а) и в плоскости годографа скоростей (б) процесса внедрения клинового инструмента в жесткопластическое полупространство

В отличие от процесса внедрения клина, где глубина внедрения h меняется с течением времени, при поверхностном упрочнении эта величина остается постоянной и геометрические параметры очага деформаций носят постоянный характер. Это позволяет осуществлять процесс с достаточно стабильными результатами.

Выводы. Таким образом, способ поверхностного пластического упрочнения с использованием клинового ролика, ось которого повернута на определенный угол по отношению к оси детали, за счет появления в очаге деформаций напряжений среза обеспечивает необходимую глубину упрочненного слоя для ответственных поверхностей деталей машин. Благодаря этому, влияние внутренних растягивающих напряжений, действующих в приграничных зонах упрочненного слоя, заметно снижается, что способствует повышению качества упрочненных поверхностей и обеспечивает необходимые свойства деталей машин.

Список литературы

1. Ежелев А. В. Анализ способов обработки поверхностно-пластическим деформированием / А. В. Ежелев, И. Н. Бобровский, А. А. Лукьянов // *Фундаментальные исследования*. – 2012. – № 6 (часть 3). – С. 642–646.
2. Кабатов А. А. Анализ финишных методов обработки поверхностным пластическим деформированием [Электронный ресурс] / А. А. Кабатов // *Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии*. – 2013. – № 58. – С. 49–54. – Режим доступа : <http://www.khai.edu/csp/nauchportal/Arhiv/OIKIT/2013/OIKIT58/p49-54.pdf>
3. Одинцов Л. Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием : справочник / Л. Г. Одинцов. – М. : Машиностроение, 1987. – 328 с.
4. Тулупов В. І. Підвищення якості робочих поверхонь деталей машин на основі удосконалення точіння з електроімпульсним нагрівом : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08 Тулупов Володимир Іванович. – Донецьк, 2012. – 128 с.
5. Ковалевский С. В. Поверхностно-пластическая деформация наружных цилиндрических участков валов роликом со специальным профилем / С. В. Ковалевский, А. В. Гуцин // *Материалы V научно-технической конференции молодых специалистов «Энергомашспецсталь 2013»*. – Краматорск, 2013. – С. 129.
6. Численное математическое моделирование напряженно-деформированного состояния при внедрении клинового инструмента в жесткопластическое полупространство / Ю. К. Доброносков, С. В. Капорович, А. В. Гуцин, Е. Г. Литвинова // *Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : тем. зб. наук. праць*. – Краматорськ : ДДМА, 2006. – С. 149–153.
7. Численное математическое моделирование напряженно-деформированного состояния металла и расчет энергосиловых параметров при поперечной прокатке шаровых втулок / Ю. К. Доброносков, А. В. Гуцин, Е. Г. Литвинова, О. Ю. Неня // *Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : тем. зб. наук. пр.* – Краматорськ : ДДМА, 2008. – С. 303–307.

8. Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния металла при производстве осесимметричных деталей с утоненным торцом / А. В. Сатонин, А. В. Гущин, С. М. Романов, Г. А. Хайкин // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні : зб. наук. пр. – Луганськ : Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2009. – С. 107–113.

Finishing-strengthening shafts treatment with wedge roller

Y.K. Dobronosov, A.V. Gushchin

The method of surface plastic deformation of machine components working surfaces using a wedge roller is considered. Calculation of the deflected mode is based on the slip-line field method when impressing a wedge indenter into a stiff-plastic half-space. The above mentioned method is adapted to implementation conditions of process in question as close as possible.

Key words: surface deformation, roller, knurling, strengthened layer, wedge bar slip line, hodograph.

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДСТВ**

*А.А. ДОРОХОВ, аспирант,
С.А. ЕГОРОВ, зав. кафедрой, канд. техн. наук, доцент,
Н.А. ДЕМЕНТЬЕВА, канд. хим. наук
кафедра Технологии машиностроительного производства
Текстильного института ФГБОУ ВПО
Ивановского государственного политехнического университета, г. Иваново,
tmp@igta.ru*

В современном машиностроении на операциях механической обработки используется большое количество высокоэффективных смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС) [1]. Не все из них удовлетворяют запросы производства. Поэтому, с появлением новых обрабатываемых материалов, видов обработки, интенсификацией режимов резания возникает необходимость в разработке более подходящих по свойствам СОТС.

Кроме этого ужесточаются требования по экологической безопасности, сроку службы, коррозионной активности, утилизации.

На предприятиях автомобильного машиностроения для лезвийной обработки труднообрабатываемых материалов применяются жидкости Мультиан 70-40 и Мультиан 46-81, выпускаемые фирмой Хенкель.

Мультиан 70-40 используется для обработки стали, чугуна и алюминия, как на операциях лезвийной обработки, так и на операциях шлифования.

Мультиан 46-81 используют в основном для шлифования. Жидкость 70-40 готовится на основе минерального масла, а 46-81 на основе синтетических компонентов. Применяют их в виде водных эмульсий с концентрацией от 3 до 4 % для шлифования, до 5 % для сверления, точения, резки, до 8 % для фрезерования.

Цель работы состояла в замене применяющихся СОТС на отечественные, обладающие такими же физико-химическими свойствами, эффективностью и меньшей стоимостью.

На основании патентного поиска были подобраны компоненты обеспечивающие плотность, кинематическую вязкость, кислотное число, стабильность, коррозионную стойкость, биологическую стойкость и пр.

Были изготовлены несколько концентратов для проведения физико-химических исследований. Были проведены испытания на стабильность, коррозионную стойкость, биологическую стойкость, химические свойства. В результате были отобраны наиболее близкие по характеристикам на каждый из заменяемых составов.

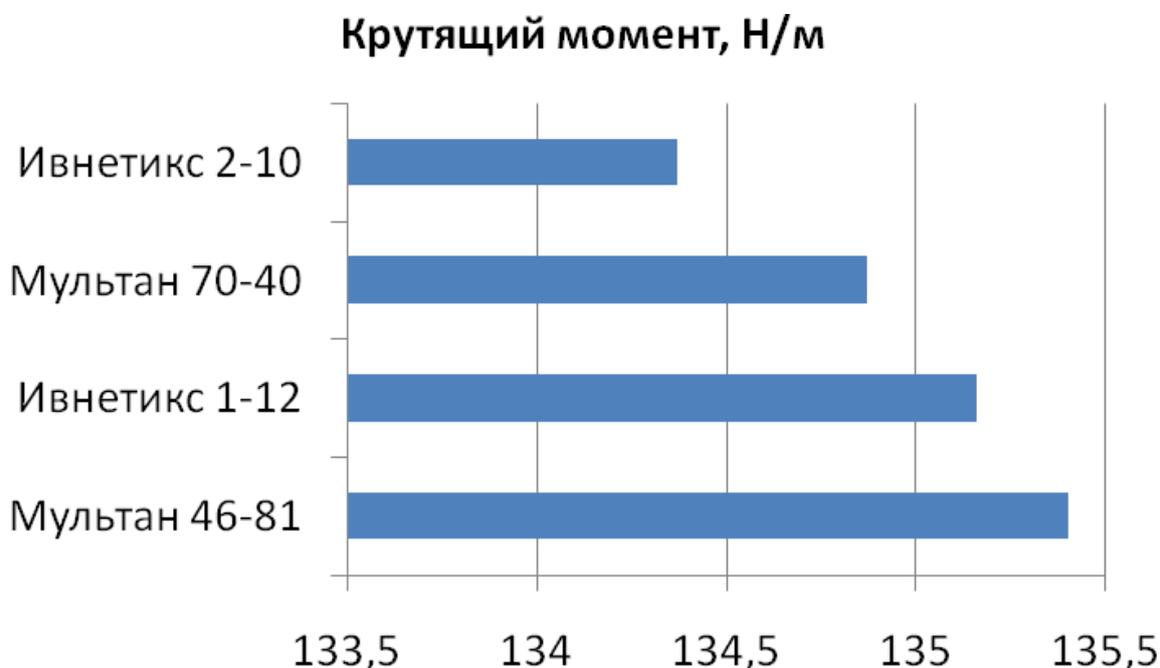
Далее по методу Зейделя-Гаусса были спланированы для изготовления концентрации ставов для проведения триботехнических испытаний. Оценивали

смазочное действие на машине трения СМТ-1 по коэффициенту трения при ступенчатом изменении нагрузки до задира. Данные испытаний показали, что коэффициент трения исследуемых жидкостей имеет область минимума при давлении в контакте от 2 до 5 МПа. Выбирали те из составов, которые обеспечивают наименьшее трение при высоких нагрузках для дальнейшего изменения концентрации компонентов.

Следующим этапом испытаний были эксперименты по определению крутящего момента на операции сверления. Методика проведения испытаний описана в работе [2]. На сверлильном станке проводили операцию сквозного сверления материала из стали 45 толщиной 10 мм сверлом Р6М5 диаметром 6,7 мм с заводской заточкой. Скорость резания 21,9 м/мин. Концентраты смешивали с водопроводной водой, получая 3% эмульсии. СОТС подавалась капельным способом. Фиксировали крутящий момент и время обработки. Затем рассчитывали работу, затрачиваемую на обработку одного отверстия.

Наиболее эффективные, по энергии расходуемой на резание, составы концентратов были испытаны на влияние на износ инструмента. Для этого были изготовлены 5 % эмульсии, которые подавали в зону обработки на операции наружного точения стали.

Сравнительные результаты испытаний СОТС приведены на рис. Крутящий момент приведен средний по десяти опытам.



Таким образом, были получены новые высокоэффективные составы СОТС, позволяющие заменить применяемые в промышленности жидкости. Концентрат 2-10 предлагается применять взамен 70-40, а концентрат 1-12 – взамен 46-81. Они обладают лучшими смазочными свойствами, чем аналоги.

Эмульсия, приготовляемая на основе концентратов, имеет стабильность 100%, пенообразование отсутствует, коррозия отсутствует, водородный показатель от 9 до 10, резерв щелочности от 40 до 50.

Список литературы

1. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием: Справочник/ Под ред. С.Г. Энтелиса, Э.М. Берлинера. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1995. – 496 с.
2. Маршалов М. С. Улучшение технологических свойств СОТС для сверления конструкционных сталей за счет присадок мезогенных соединений холестерина: дисс ... канд. техн. наук. – Иваново, 2012. – 161 с.

The development and study of cutting fluids

A.A. Dorohov, S.A. Egorov, N.A. Dementeva

There are many cutting fluids high efficient in modern machine building on operation of the mechanical treatment is used. The new compositions of cutting fluid were designed for change high-priced import analogue. Explored compositions be up to quality on safety and efficiency of the use. Proposed cutting fluids have a best lubricating characteristic than analogues.

УДК 62.004.

ВЫЯВЛЕНИЕ ОТНОШЕНИЙ И УСТАНОВЛЕНИЕ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ КОНСТРУКТОРСКИМИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

*С.Ю. КАЛЯКУЛИН, аспирант,
В.В. КУЗЬМИН, доктор техн. наук, профессор,
(ФГБОУ ВПО МГТУ «СТАНКИН», г. Москва)*

Калякулин С.Ю. –431449, г. Рузаевка, ул. Юрасова, 15,
Московский государственный технологический университет «Станкин»,
e-mail: rim-tm@mail.ru

В статье рассматривается вопрос отношений между конструкторскими p_k и технологическим p_t параметрами технологического процесса и установление связей между ними. Связи, установленные между параметрами служат для разработки математических моделей расчета параметров технологического процесса в системах автоматизированного проектирования САПР ТП.

Ключевые слова: Конструкторские параметры, технологические параметры, связи, отношения, чертеж, базы данных.

1. Введение

Решение задач по разработке информационной модели конструкторско-технологических параметров технологического процесса производится на основе анализа эмпирических формул таблиц и выражений. Процедура решения данной задачи заключается в установлении явных или скрытых связей между параметрами технологического процесса.

Математическое соотношение, отражающее количественную сторону связи объектов, в общем виде можно записать как: $p = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, где p – конструкторский параметр технологического процесса, x – аргументы рассматриваемого параметра.

2. Теория

Для установления отношений между параметрами, конструкторский чертеж должен быть выполнен в параметрическом режиме. После чего каждому требуемому параметру чертежа необходимо присвоить имя переменной, которое в дальнейшем будет использоваться, в стандартной математической формуле, применяемой для нахождения того или иного технологического параметра.

Использование этих переменных в САПР ТП в виде отношений, используемых в математических формулах, позволяют в автоматическом режиме находить требуемое значение технологического параметра.

Основное достоинство чертежа изображенного в параметрическом режиме заключается в том, что при изменении, какого либо значения чертеж автоматически перестраивается и данные об изменившемся чертеже

автоматически поступают в систему САПР ТП. В том случае, когда данное изменение приводит к смене не только явного (например, линейный размер) параметра, но и скрытому его значению (допуск) необходимо установить отношение линейного размера к допускам. Установление данного отношения может быть реализовано при помощи табличного изображения размера с соответствующим ему допуском. Такие таблицы будут являться базами данных, поэтому для их составления необходимо специальное программное обеспечение позволяющее создавать и управлять необходимыми базами данных. В САПР ТП СИТЕП МО, базы данных создаются в программе Database Desktop, которая работает с табличными данными формата *.db, *.dbf. Поддерживается строковый (A) или числовой (N) тип полей (рис. 1).

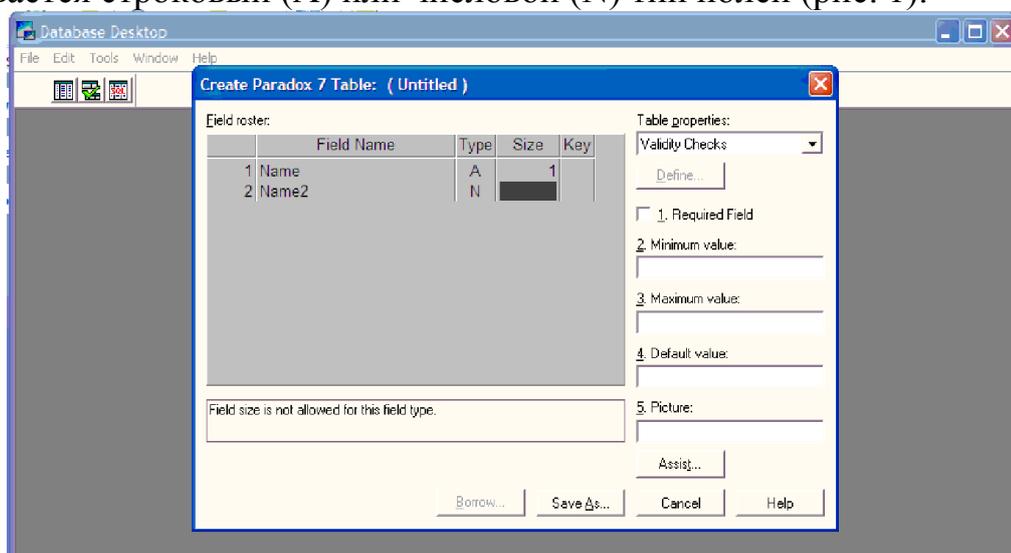


Рис. 1. Создание базы данных в программе Database Desktop.

Часто для того чтобы программа в автоматическом режиме правильно подбирала значение переменной какого либо параметра из базы данных, необходимо описать его отношение в виде логического выражения. Например, при выборе габаритных размеров заготовки для тел вращения необходимым условием является то, что диаметр (D_1) и длина (L_1) детали должна быть меньше или равны длине (L_{max}) и диаметру (D_{max}) заготовки выбираемых из стандартизированного ряда. Таким образом, одновременно, должно выполняться следующее условие:

$$\sim D_1 \sim \leq D_{max} \text{ and } \sim L_1 \sim \leq L_{max}$$

Данное логическое отношение позволит в автоматическом режиме подбирать необходимые размеры заготовки, используя табличные данные баз данных.

Последним видом установлением отношений между конструкторскими и технологическими параметрами будут являться программные модули, написанные на любом языке высокого уровня: C++, Perl, Бейсик, Фортран,

Паскаль и т.д. Данные модули используются в случае когда необходимо произвести наиболее сложные и трудоемкие расчеты.

Все перечисленные виды отношений, реализуемые между конструкторскими и технологическими параметрами, позволяют создавать практически любую подсистему автоматического расчета параметров технологического процесса.

Связь между конструкторскими и технологическими параметрами в системах САПР ТП устанавливается при помощи переменных. На примере САПР ТП СИТЕП МО можно говорить, что существуют следующие виды переменных.

1. Переменная, результат которой указывается явно.

Как правило, это переменная является константой, и задается путем ввода данного конкретного значения. Создадим переменную «Диаметр вала» (рис. 2), для чего нажмем кнопку «Создать» в редакторе переменных и введем в поле имени переменной «Диаметр вала».

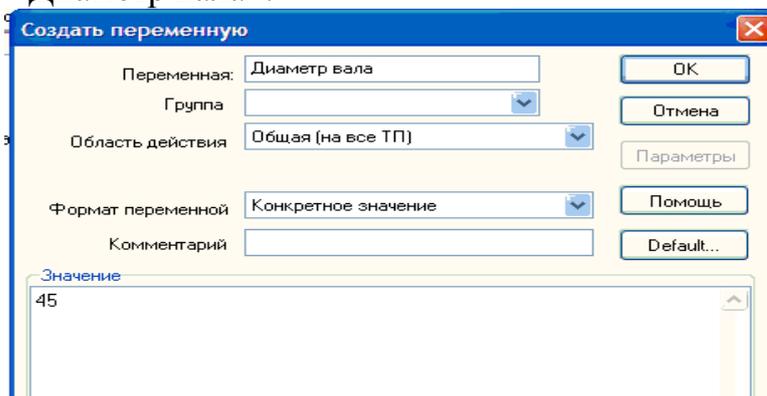


Рис.2. Явное задание переменной в виде константы

2. Переменная – ссылка на переменную в T-FLEX.

В системе СИТЕП МО существует возможность создание ссылок на переменную T-FLEXCAD (рис. 3).

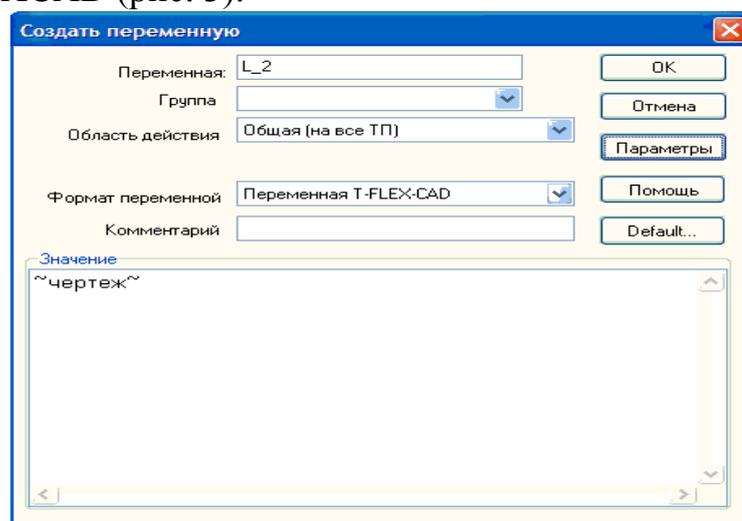


Рис. 3. Создание ссылки на переменную T-FLEX

3. Переменная, результат которой будет получен из арифметического выражения либо из математической функции (рис. 4).

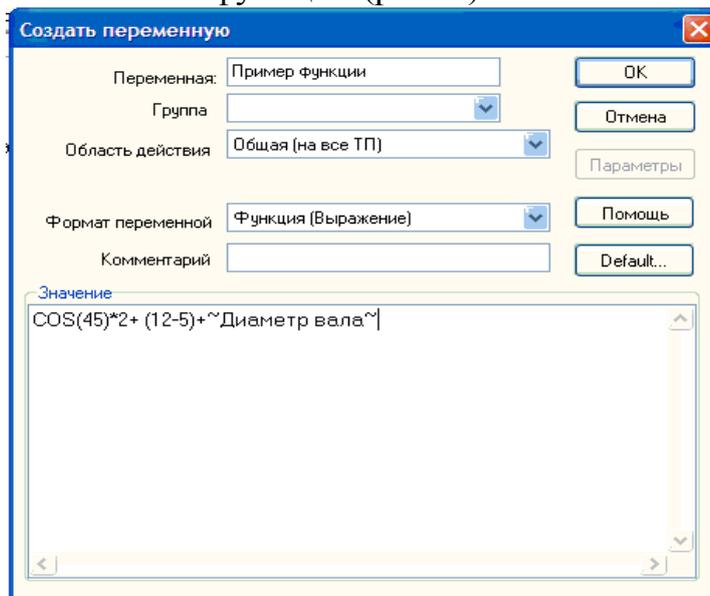


Рис. 4. Создание переменной – математической функции

4. Переменная – запрос на языке SQL к базе данных. Значение такой переменной будет получено в результате обращения к базе данных (рис. 4).

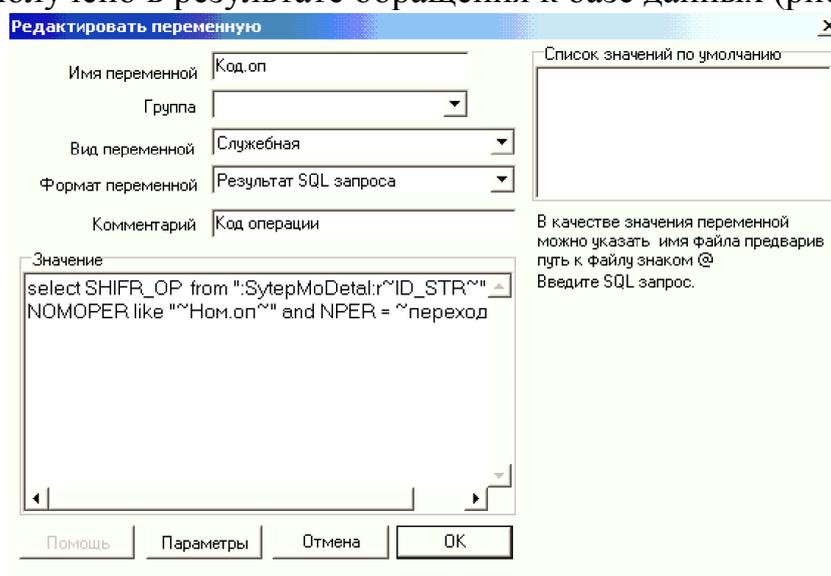


Рис. 4 Переменная «х», получаемая в результате SQL-запроса для заданного наименования

5. Переменная – результат внешней программы. Обработка данных возможна внешней программой (*.exe), читающей файл (в котором также возможно использовать переменные) и записывающая в файл результат, который и является значением этой переменной.

Иногда для особо сложных вычислений требуется подключить программу расчета, написанную на языках высокого уровня таких как: Фортран, Си,

Паскаль, Бейсик, и т.п. Причем программа не всегда написана под операционную систему MS Windows. В системе технологического проектирования СИТЕП предусмотрена возможность работы и обмен данными с внешней программой написанной как под MS-DOS так и MS Windows. Кроме этого, вместе с системой СИТЕП поставляется интерпретатор языка Perl (`..\SytepMO\Utils\Perl`), который знаменит своим мощным инструментальными средствами обработки строковой информации и большой схожестью в написании программ с таким языком как Си. Следовательно, можно задавать переменным СИТЕП значения, полученные в результате работы как внешней подпрограммы (*.exe) так и подпрограмме на языке Перл (*.pl) (рис. 6).

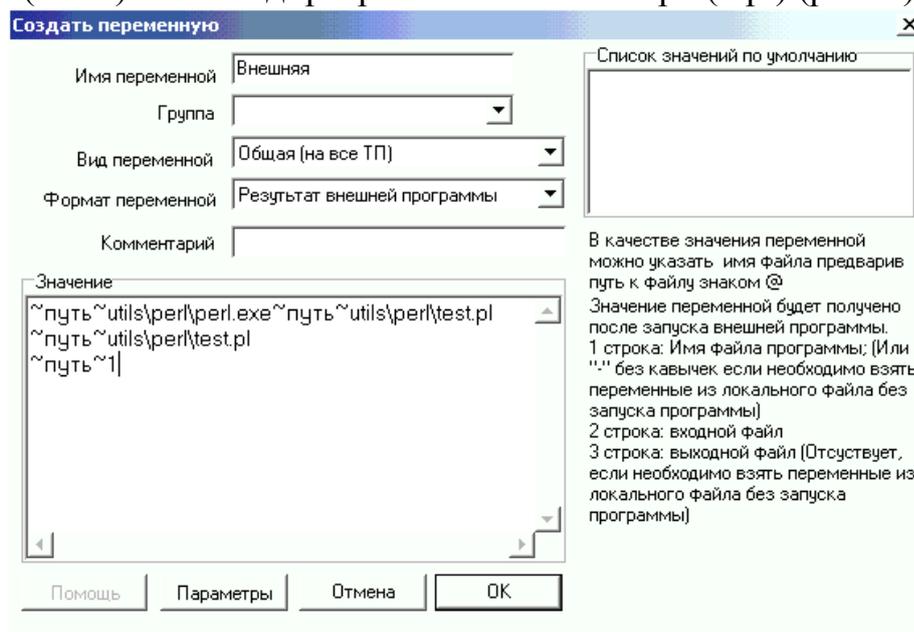


Рис. 6 Три параметра переменной «Внешняя программа»

6. Переменная – параметры объекта T-FLEX. Значение переменной будет получено из параметров примитива T-FLEXCAD.

Любой конструкторский параметр, присутствующий на электронном чертеже детали помимо своего типа (размер, шероховатость, допуск формы и т.д.) имеет индивидуальный номер, так называемый ID детали, например (ID: 0x1000001). Перенос данного ID элемента из САПР в САПР ТП систему дает возможность последней, считывать значение с примитива чертежа (рис. 7).

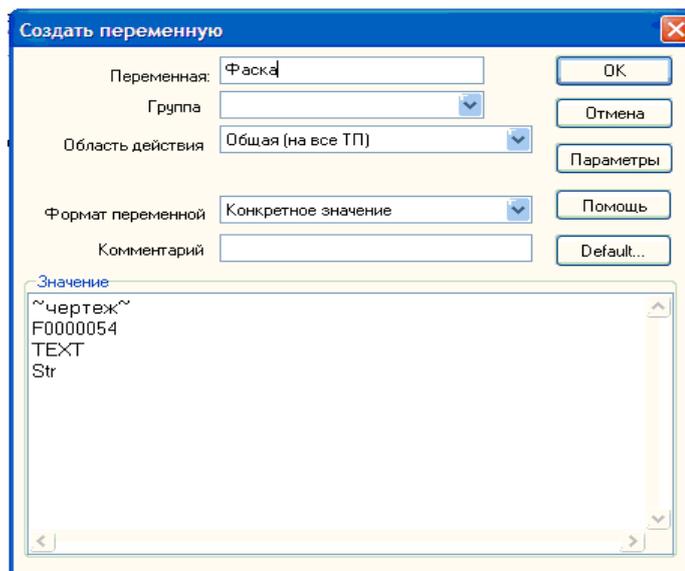


Рис. 7 Характеристики свойства примитива «Фаска»

Значение переменных может быть задано как явно так ссылкой на файл. Для задания параметров переменных ссылкой на файл, в значении переменной следует ввести имя файла, предварив путь знаком “@”.

Таким образом, с помощью переменных – «ссылка на переменную в T-FLEX» и «параметры объекта T-FLEX», формируемых в СИТЕП, осуществляется автоматическая передача информации с чертежа детали в среду СИТЕП и далее с помощью различных операторов преобразования конструкторской информации (математических функций, SQL запросов к таблицам базы данных и использования внешних программ) осуществляется расчет параметров ТП МО и автоматическая вставка их в таблицу ТП и карты технологической документации.

3. Результаты и обсуждение

Основным результатом данной работы служит описание отношений и связей между конструкторскими и технологическими параметрами ТП на приме системы автоматизированного проектирования технологических процессов «СИТЕП МО».

4. Выводы

Таким образом, с помощью переменных – «ссылка на переменную в T-FLEX» и «параметры объекта T-FLEX», формируемых в СИТЕП, осуществляется автоматическая передача информации с чертежа детали в среду СИТЕП и далее с помощью различных операторов преобразования конструкторской информации (математических функций, SQL запросов к таблицам базы данных и использования внешних программ) осуществляется расчет параметров ТП МО и автоматическая вставка их в таблицу ТП и карты технологической документации.

Reveal the attitude and networking among designing and technological parameters of technological process

S.Y. Kalyakulin, V. V. Kuzmin

The article considers relationships between design and technological parameters technological process and the establishment of links between them. Ties established between the parameters serve to calculating the development of mathematical models parameters of technological process in the computer-aided design CAPP.

Key words: Design parameter, technological parameter, connection, relationship, drawing, database.

УДК 621.9.01

ОБРАБОТКА С РАЦИОНАЛЬНОЙ СИЛОЙ РЕЗАНИЯ

Л.П. КОЛОТ, канд. техн. наук, доцент
С.Г. ОНИЩУК, канд. техн. наук, доцент
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Колот Л.П. - 84331, г. Краматорск, ул. Парковая, 24, кв. 7,
Донбасская государственная машиностроительная академия,
e-mail: tiup@dgma.donetsk.ua

Онищук С.Г. - 84112, г. Славянск, ул. Королева, 23, кв. 17,
Донбасская государственная машиностроительная академия,
e-mail: tiup@dgma.donetsk.ua

В работе рассмотрены методы прогнозирования и предупреждения погрешностей формы поверхностей деталей типа столов фрезерных станков, станин открытого типа, стоек. Погрешности возникают вследствие перераспределения внутренних напряжений при обработке резанием и упругих отжатий в сечениях, имеющих низкую жесткость. Разработан метод предупреждения погрешностей формы деталей, основанный на принципе взаимокompенсации коробления от перераспределения остаточных напряжений после удаления припуска и упругих отжатий под действием составляющей силы резания P_y , ввиду того, что они направлены в противоположные стороны.

Получена зависимость влияния исходных параметров обрабатываемых деталей на составляющую силы резания P_y , которую выразили через режимы резания. Самой варьируемой величиной служит величина горизонтальной подачи s , с помощью которой осуществляется управление погрешностью формы.

Ключевые слова: погрешность формы, внутренние напряжения, жесткость, припуск, сила резания

Введение. Производство нежестких деталей занимает особое место в современном машиностроении. Это обусловлено сложностью их обработки вследствие коробления поверхностей от перераспределения внутренних остаточных напряжений. К таким деталям относятся базовые детали станкостроительного производства, а именно столы фрезерных станков, станины открытого типа, стойки и т.п. По своему служебному назначению эти детали являются основными в станке, и от точности их несущих поверхностей зависит качество сборки и в дальнейшем эксплуатация изделия.

Поскольку такие детали имеют большую металлоемкость, технологический процесс их изготовления должен гарантировать минимальный процент брака. Сочетание указанных факторов определило специфичность производства этих деталей, в частности управление силами резания при механической обработке ответственных поверхностей.

Теория. При обработке деталей, которые по конструктивной форме являются нежесткими, например, типа столов фрезерных станков, станин

открытого типа возникают погрешности, обусловленные как короблением их поверхностей вследствие перераспределения внутренних остаточных напряжений, так и упругим отжатием в сечениях, имеющих меньшую жесткость, чем жесткость инструментального блока суппорта. Одним из факторов, влияющих на величину упругих отжатий, в данном случае является составляющая силы резания P_y .

Разработан метод упреждения погрешности формы деталей коробчатого сечения (типа стоек, столов фрезерных станков), основанный на принципе взаимокompенсации коробления, вследствие перераспределения остаточных напряжений после удаления припуска f_{σ_3} и упругих отжатий под действием f_y под действием составляющей силы резания P_y , в виду того, что имеют противоположные направления.

Как известно [1], при обработке резанием нежестких деталей коробчатой формы возникает погрешность f_y обработанной поверхности, вызванная действием составляющей силы резания P_y

$$f_y = \frac{P_y l^3}{8EJ_y}, \quad (1)$$

где l – длина обрабатываемой поверхности;

E – модуль упругости обрабатываемого материала;

J_y – момент инерции поперечного сечения обрабатываемой заготовки.

Для обеспечения прямолинейности обрабатываемой поверхности необходимо равенство противоположно направленных прогибов

$$\vec{f}_{\sigma_3} = \vec{f}_y. \quad (2)$$

Следовательно, для уменьшения коробления поверхностей таких деталей их обработку необходимо осуществлять с силой резания P_y , равной

$$P_y = \frac{8EJ_y f_y}{l^3}. \quad (3)$$

Учитывая выражение (2) и подставив в формулу (3) значение f_{σ_3} для деталей прямоугольного сечения [2]:

$$f_{\sigma_3} = f_H \frac{3ha}{(h-a)^2}, \quad (4)$$

где f_H – погрешность заготовки от предыдущей обработки;

h – толщина обрабатываемой заготовки;
 a – величина удаляемого припуска.

Приняв допущения, что момент инерции сечения деталей в процессе удаления припуска остается постоянным, получим

$$P_y = f_n \frac{2Eb^4 a}{l^3 (h-a)^2}, \quad (5)$$

где b – ширина обрабатываемой поверхности.

Величина составляющей силы резания P_y определяется режимами резания по формуле [3]

$$P_y = C_p a^x s^y v^n K_p, \quad (6)$$

где значения коэффициентов C_p , K_p и показателей степеней определяются по справочным таблицам [4];

v – скорость резания.

Анализ формул (5) и (6) показывает, что при постоянстве припусков на обработку и геометрических параметров режущих инструментов, единственной варьируемой величиной служит величина горизонтальной подачи s . Следовательно, значение рациональной подачи, обеспечивающее упреждение коробления в процессе обработки, определяется по формуле

$$s = \sqrt[y]{f_n \frac{2Eh^4 a^{1-x} b}{l^3 (h-a)^2 C_p K_p v^n}} \quad (7)$$

В соответствии с вышеизложенным, порядок обработки деталей коробчатого сечения при реализации этого метода следующий:

- определяют измерением значение f_n величины погрешности формы после удаления припуска на черновом рабочем ходе;
- по формуле (1) с учетом (6) определяют величину упругого отжатия обрабатываемой поверхности под действием составляющей силы резания P_y

$$f_y = \frac{3C_p a^x s^y v^n l^3}{2Eb^4} K_p \quad (8)$$

- определяют величину «чистого» коробления поверхности после удаления припуска на первом черновом рабочем ходе по формуле

$$f_{\sigma z} = f_y - f_n; \quad (9)$$

если f_n имеет отрицательное направление (выпуклость обрабатываемой поверхности), и по формуле

$$f_{\sigma z} = f_y + f_n \quad (10)$$

при положительном направлении f_n (вогнутость обрабатываемой поверхности);
- определяют значение рациональной подачи s по формуле

$$s = \sqrt[3]{(f_y \pm f_n) \frac{2E(h-a_1)^4 a_2^{1-x} b}{l^3 [(h-a_1) - a_2]^2 C_p K_p v^n}} \quad (11)$$

где a_1 – величина припуска на черновую обработку (на первом рабочем ходе);

a_2 – величина припуска на чистовую обработку (на втором рабочем ходе).

Результаты и обсуждение. В производственных условиях произведена обработка станин открытого типа номенклатуры адьюстажного оборудования ЗАО «Новокраматорский машиностроительный завод» по предложенной технологии с рациональными режимами резания, в частности, за счет варьирования только величиной подачи, что позволило повысить точность формы названной номенклатуры деталей в 4...5 раз.

Выводы. Рассмотрен, теоретически и практически проверен метод прогнозирования погрешностей формы нежестких деталей при их обработке резанием и управление этими погрешностями путем применения рациональных режимов резания, в частности подачей.

Список литературы

1. Корсаков В.С. Точность механической обработки. – М.: Машгиз, 1961. – 372 с.
2. Колот В.А. Управление кораблением нежестких плоскостных деталей при их механической обработке. Автореферат дис. ... канд. техн. наук. – Мн, 1983. – 16 с.
3. Ящерицын П.И., Еременко М.Л., Жигалко Н.И. Основы резания материалов и режущий инструмент: учебник для машиностр. спец. вузов. – Мн.: Выш. школа. – 1981. – 580 с.
4. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.1 / под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 2001. – 912 с.

Treatment with rational cutting force

L.P. Kolot, S.G. Onishchuk

The paper considers the methods of forecasting and anticipation of the errors of the form of surfaces of details of type of table milling machines, frames open-type racks. Errors due to redistribution of internal stresses during cutting and elastic wringing out in sections with low rigidity. Developed a method of pre-emption of the errors in the form of parts, based on the principle of inter-compensation of distortion from the redistribution of residual stresses after removal allowance and elastic wringing out under the action of the component cutting force P_y , because they point in opposite directions.

Dependence of influence of the initial parameters of the processed parts of the component cutting force P_y expressed through cutting modes. The variable value is the value of the horizontal feeder's, with the help of which the control of the error of the form.

Key words: error of the form, internal tension, stiffness, allowance, cutting force

УДК 621.9.015

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИГНАЛА ТЕРМОЭДС ПРОБНОГО ПРОХОДА В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ РАСЧЕТЕ ВЫСОТЫ МИКРОНЕРОВНОСТИ ПРИ ТОЧЕНИИ КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ

*А.Л. ПЛОТНИКОВ, доктор техн. наук, профессор,
А.С. СЕРГЕЕВ, канд. техн. наук, ст. преподаватель,
Н.Г. ЗАЙЦЕВА, аспирант,
(ВолГТУ, г. Волгоград)*

Зайцева Н.Г. – 400005, г. Волгоград, пр. В.И. Ленина, 28,
Волгоградский государственный технический университет,
e-mail: zaicevang@mail.ru

Приведены математические зависимости по расчету параметров шероховатости при механической обработке коррозионностойких сталей на токарных станках с ЧПУ. Представленные результаты могут быть использованы как на базе универсального оборудования, так и при построении алгоритмов функционирования модуля САПР ТП для автоматизированных станочных систем.

Ключевые слова: точение, коррозионностойкие стали, сменные многогранные пластины (СМП), термоЭДС, параметр шероховатости.

Введение

Основным и главным этапом, определяющим эффективность работы механообрабатывающей системы, является этап проектирования технологического процесса. При этом функциональная и технологическая составляющая всего процесса будет во многом определяться режимами механической обработки, которые были заложены технологом на начальном этапе проектирования технологического процесса. В условиях серийного производства, активной смены номенклатур изделий и повышения качества изготавливаемой продукции, важно обеспечить гибкость переналадки всего оборудования и адаптацию автоматизированной станочной системы к изменению характера производства. Данная задача может быть решена за счет автоматизации проектирования технологического процесса на начальном этапе и создания станочных САПР, функционирующих по заранее заданным алгоритмам работы системы. Одной из подсистем работы такой САПР ТП может являться модуль расчета параметра шероховатости R_a при точении.

Коррозионностойкие стали нашли широкое применение в современном машиностроении, в особенности за счет специфики применения изделий из таких сталей в агрессивных средах. Одной из распространенных операций при обработке деталей типа тел вращения является токарная операция. Однако до сих пор задача автоматизации начального этапа проектирования технологического процесса токарной обработки заготовок из коррозионностойких сталей является труднореализуемой.

В современной справочно-нормативной литературе изложены определенные подходы для расчета параметра шероховатости R_a при точении труднообрабатываемых сталей, таких как коррозионностойкие стали, на основе математических зависимостей, используемых при расчете углеродистых сталей с изменением лишь поправочных коэффициентов. Однако как показали исследования в этой области характер изменения теплофизических свойств, определяющих показатели микрогеометрии поверхностного слоя металла коррозионностойких сталей не столь однозначен, в отличие от углеродистых сталей, что накладывает определенные ограничения на применение математических моделей по расчету параметра R_a , выведенных для операций точения углеродистых сталей.

Теоретические аспекты проблемы

При анализе теплофизических свойств углеродистых и коррозионностойких сталей был выявлен различный характер изменения их теплопроводности с изменением температуры в зоне резания – у углеродистых сталей теплопроводность уменьшается с ростом температуры при точении, а у коррозионностойких наоборот возрастает [1] и [2].

В лаборатории кафедры «Автоматизация производственных процессов» Волгоградского государственного технического университета были проведены эксперименты по токарной обработке твердым сплавом коррозионностойких сталей. В процессе точения проводились замеры термоЭДС пробного прохода [3] и величины шероховатости R_a . По итогам экспериментов было выявлено, что на скоростях резания $V = 30 - 50$ м/мин, показатель шероховатости R_a достигал минимального значения, а с дальнейшим увеличением скорости резания $V > 50$ м/мин, снова возрастал (рис. 1). Этот факт связан с изменением порога хладноломкости обрабатываемых сталей, при котором характер разрушения из хрупкого переходит в вязкое [1].

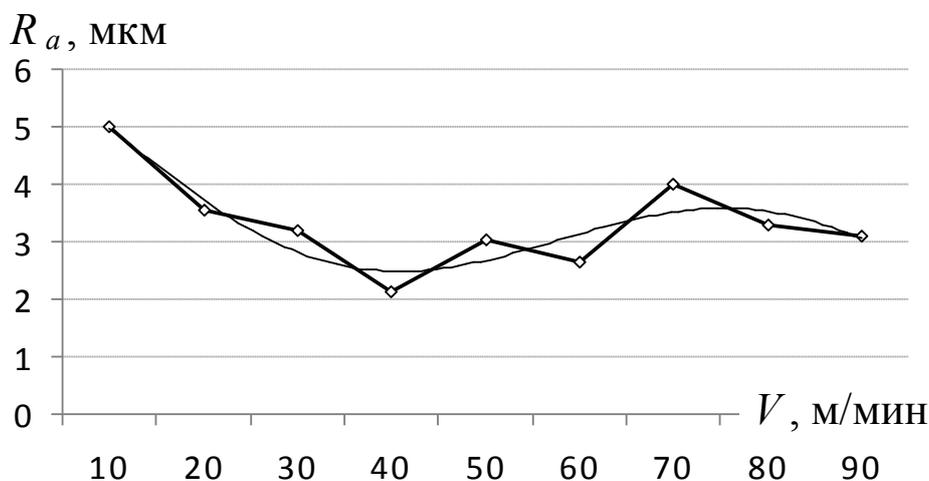


Рис. 1. Зависимость параметра шероховатости R_a от скорости резания V при обработке коррозионностойкой стали ЭИ – 961

Установлено, что интенсивность теплообмена инструмента и обрабатываемой заготовки зависит от их коэффициентов теплопроводности $\lambda_{и}$ и $\lambda_{з}$ [4], соотношение которых определяет коэффициент теплоусвоения контактной пары «инструмент – заготовка». При смене марки твердосплавного инструмента изменяется его теплопроводность. Количество тепла, усвоенного объемом срезаемого металла, определяет долю хрупкого и вязкого разрушения в механизме стружкообразования и оказывает влияние на механизм образования микронеровностей и количественное значение параметра шероховатости R_a через температурную прочность металла. Чем ниже коэффициент теплопроводности инструментального материала, тем ниже интенсивность теплообмена, при этом большая концентрация тепловых потоков с интенсивным тепловыделением способствует возрастанию температуры в зоне резания. Таким образом, коэффициент теплоусвоения связан с показателем термоЭДС пробного прохода контактной пары «инструмент – заготовка» (см. табл. 1, по данным источника [2]), определяет характер перераспределения температур в зоне резания и влияет на показатели качества поверхностей при лезвийной обработке металлов.

Таблица 1

Показатели теплопроводности инструмента, заготовки и термоЭДС пробного прохода

Номер пластины	Марка инструмента	Теплопроводность $\lambda_{и}^*$, $\frac{Вт}{м \cdot К}$	Теплопроводность стали 20Х13 $\lambda_{з}^*$, $\frac{Вт}{м \cdot К}$	Неполный коэффициент теплоусвоения $\frac{\lambda_{з}}{\lambda_{и}}$	ТермоЭДС пробного прохода E , мВ	Шероховатость поверхности R_a , мкм
1	ВК8	52	26	0,5	24,1	2,57
2	T5K10	38		0,7	19,3	3,04
3	T15K6	27		0,9	16,2	3,47

Таким образом, основной задачей настоящего исследования является получение адекватных математических зависимостей по расчету параметра шероховатости R_a на базе дополнительного диагностического параметра (термоЭДС пробного прохода), в полной мере отражающего механические и теплофизические свойства контактной пары «инструмент – заготовка», при обработке заготовок из коррозионностойких сталей на различных режимах резания.

Методика экспериментального исследования

Экспериментальные исследования проводились на токарном патронно-центровом станке с ЧПУ модели 16К20Ф3. В ходе выполнения экспериментальных исследований в качестве диагностического параметра, определяющего физико-механические свойства контактной пары, был выбран сигнал термоЭДС пробного прохода, используемый не как информация о

температуре резания, а как информация о свойствах каждой контактной пары [3]. Режимы пробного прохода, постоянные для всех контактных пар ($V = 100$ м/мин; $S = 0,1$ мм/об, $t = 1$ мм)

В качестве прибора для регистрации сигнала термоЭДС использовался цифровой осциллограф Velleman модели PCS500 с частотой дискретизации измеряемого сигнала 0,001...50 МГц, совместимый с персональным компьютером через LPT порт. Сигнал термоЭДС фиксировался на участке электрической цепи, образуемой при замыкании участка на шпинделе станка с помощью сухого токосъемника скользящего типа с механическим поджатием электрических контактов и на изолированную инструментальную оправку [3], [5].

Профилограммы микронеровностей обработанных поверхностей и значения показателей шероховатости после токарных операций регистрировались с помощью профилографа-профилометра «АБРИС – ПМ 7» – преобразователь первичный по ГОСТ 19300 – 86, степень точности 1.

Эксперименты проводились при токарной обработке твердым сплавом титано-вольфрамо-кобальтовой (Т5К10, Т15К6) и вольфрамо-кобальтовой (ВК6, ВК8) групп, коррозионно-стойких сталей мартенситного, аустенитного и мартенситно-ферритного классов (20Х13, 12Х18Н10Т, 14Х17Н2, ЭИ-961).

Методика построена на основе использования регрессионного анализа, в качестве математических спецификаций были выбраны полиномиальная, степенная и показательная модель [6].

В табл. 2 приведены факторы и уровни факторов для составления плана эксперимента при токарной и фрезерной обработке соответственно.

Таблица 2

Уровни факторов и интервалы варьирования

Факторы	Обозначение	Единица измерения	Уровни факторов			Интервал варьирования
			-1	0	+1	
Получистовая обработка						
ТермоЭДС пары «инструмент – заготовка»	E	мВ	15,5	20,5	25,5	5,0
Глубина резания	t	мм	0,5	1,0	1,5	0,5
Подача на оборот	S	мм/об	0,09	0,15	0,21	0,06
Скорость резания	V	м/мин	40	80	120	40
Чистовая обработка						
ТермоЭДС пары «инструмент – заготовка»	E	мВ	15,5	20,5	25,5	5,0
Глубина резания	t	мм	0,5	1,0	1,5	0,5
Подача на оборот	S	мм/об	0,09	0,15	0,21	0,06
Скорость резания	V	м/мин	10	25	40	15

Технологические режимы получистовой и чистовой токарной обработки выбирались в соответствии с современной литературой [7], [8] и с учетом особенностей изменения теплопроводности коррозионностойких сталей с изменением температуры в зоне резания. Как показали экспериментальные данные (рис. 1) требуемый показатель шероховатости поверхности, например, $R_a = 3,5$ мкм, может быть обеспечен на двух скоростях резания $V_1 = 20$ м/мин и $V_2 = 65$ м/мин. В первом случае технологом может решаться задача обеспечения стойкости режущего инструмента, а во втором производительность механообработки с обеспечением требуемого параметра шероховатости. Учитывая характер влияния скорости резания на величину R_a диапазон скоростей от 10 до 40 м/мин можно отнести к чистовым режимам, а диапазон от 40 до 120 м/мин к получистовым режимам обработки коррозионностойких сталей. Для оценки точности моделирования процесса по трем математическим моделям, в табл. 3 приведены сводные результаты сравнения регрессионных моделей при получистовой и чистовой токарной обработке. Наиболее эффективной стоит считать степенную модель, поскольку средняя относительная ошибка расчета параметра шероховатости R_a по степенной модели минимальна.

Таблица 3

Сравнение регрессионных моделей при получистовом и чистовом точении

Оцениваемый параметр	Спецификация модели		
	Линейная	Степенная	Показательная
Получистовая обработка			
Достоверность модели, %	99,7	99,7	99,7
Табличное значение F -критерия	1,448	2,014	2,014
Расчетное значение f -критерия ($f' = f''$)	2,593	2,749	2,548
Адекватность модели	адекватна	адекватна	адекватна
Максимальная относительная погрешность, %	58,33 %	28,52 %	32,06 %
Средняя относительная погрешность, %	11,58 %	9,31 %	9,65 %
Чистовая обработка			
Достоверность модели, %	99,7	99,7	99,7
Табличное значение F -критерия	1,448	2,014	2,014
Расчетное значение f -критерия ($f' = f''$)	2,535	2,961	3,012
Адекватность модели	адекватна	адекватна	адекватна
Максимальная относительная погрешность, %	25,2 %	25,53 %	29,97 %
Средняя относительная погрешность, %	8,1 %	6,82 %	6,94 %

Результатом экспериментальных исследований по разработке математического обеспечения модулей САПР ТП являются математические модели расчета параметра шероховатости поверхности R_a :

1. При получистовом точении коррозионностойких сталей (диапазон скоростей резания от 40 до 120 м/мин):

$$R_a = 10,8 \cdot \frac{t^{0,7} \cdot S^{0,239} \cdot V^{0,322}}{E^{0,756}}, \text{ мкм.}$$

2. При чистовом точении коррозионностойких сталей (диапазон скоростей резания от 10 до 40 м/мин):

$$R_a = 109 \cdot \frac{t^{0,189} \cdot S^{0,279}}{E^{0,647} \cdot V^{0,298}}, \text{ мкм;}$$

где E – значение термоЭДС пробного прохода контактной пары «инструмент – заготовка», мВ; t – глубина резания, мм; S – подача, мм/об; V – скорость резания, м/мин.

Выводы

Применение аппарата регрессионного анализа позволило получить адекватные математические модели, для расчета параметра шероховатости R_a при точении коррозионностойких сталей, обеспечивающие совпадение расчетного и измеренного значения, с ошибкой не превышающей 10%.

На базе полученных математических моделей могут быть разработаны алгоритмы автоматизированного расчета параметра шероховатости R_a при точении заготовок из коррозионностойких сталей аустенитного, мартенситного, ферритно-мартенситного класса твердосплавным инструментом различных марок.

Список литературы

1. Гуляев, А. П. *Металловедение: учебник* / А. П. Гуляев. – 5-е изд. перераб. – М.: Металлургия, 1977. – 648 с.
2. *Стали и сплавы. Марочник: справочник* / В. Г. Сорокин [и др.]; под ред. В. Г. Сорокина, М. А. Гервасьева. – М.: Интермет инжиниринг, 2001. – 608 с.
3. Плотников, А. Л. *Управление режимами резания на токарных станках с ЧПУ: монография* / А. Л. Плотников, А. О. Таубе; ВолгГТУ. – Волгоград: Политехник, 2003. – 184 с.
4. Талантов, Н. В. *Физические основы процесса резания, изнашивания и разрушения инструмента* / Н. В. Талантов. – М.: Машиностроение, 1992. – 240 с.
5. Сергеев, А.С. *Математическая модель формирования шероховатости поверхности при точении сталей на основе оперативного сигнала термоЭДС* / А. С. Сергеев, Н. Г. Зайцева, А. Л. Плотников // *Обработка металлов*. – 2012. – № 7. – С. 20-23.
6. Чигиринский, Ю. Л. *Стахостическое моделирование в машиностроении: учеб. пособие* / Ю. Л. Чигиринский, Н. В. Чигиринская, Ю. М. Быков; ВолгГТУ. – Волгоград: Политехник, 2002. – 68 с.

7. Ralston, Patricia A. S. Mathematical models used for adaptive control of machine tools / Patricia A. S. Ralston, T. L. Ward // Mathematical and computer modelling. – 1988. – Vol. 11. – P. 1151-1155.

8. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т.1: справочник / А. М. Дальский [и др.]. – 5-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение-1, 2001. – 912 с.

The using of signal thermoemf in automated calculation of roughness when turning stainless steels

A.L. Plotnikov, A.S. Sergeev, N.G Zaitseva

Mathematical formulas for the calculation of roughness parameters for machining stainless steels on CNC lathes are presented. The results presented may be used both on the basis of universal equipment, and for the construction of algorithms of functioning CAD TP module for automated machine tools.

Key words: turning, stainless steels, replaceable multisided plates (RMSP), thermoEMF, roughness parameter.

УДК 621.7.023.1

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПОД НАПЫЛЕНИЕ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ*

*Ю.С. ЧЁСОВ, канд. техн. наук, доцент,
Е.А. ЗВЕРЕВ, канд. техн. наук, доцент,
П.В. ТРЕГУБЧАК, ассистент,
Н.В. ВАХРУШЕВ, магистрант,
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Зверев Е.А. – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: egor_z@ngs.ru

Приведены результаты сравнительных испытаний различных методов механической обработки, используемых на этапе предварительной подготовки поверхности изделий под газотермическое напыление покрытий. Получена функциональная зависимость шероховатости поверхности от параметров процесса струйно-абразивной обработки.

Ключевые слова: предварительная механическая обработка, шероховатость поверхности, струйно-абразивная обработка, адгезионная прочность.

Введение

Предварительная механическая обработка поверхности изделий производится на начальной стадии нанесения газотермических покрытий (газопламенных, плазменных, электродуговых и детонационных). Её назначение состоит в активации поверхности детали: очищение от грязи, масел, и окисных пленок, а также формирования требуемого микрорельефа, поскольку прочность сцепления покрытия с основой (так называемая адгезионная прочность) существенным образом зависит от чистоты и шероховатости поверхности изделия. Сцепление покрытия с основой при газотермическом напылении происходит за счет приваривания расплавленных частиц порошка и сил механического зацепления, величина которых зависит от высоты микронеровностей. При этом необходимо по возможности максимально сократить промежуток времени между операцией предварительной механической обработки и реализацией собственно процесса напыления покрытий (с целью сохранения поверхности в энергетически активном состоянии).

* Работа выполнена при финансовой поддержке проекта, выполняемого в рамках гранта РФФИ в 2013 г. и в плановом периоде в 2013-2015 гг. (Номер проекта 13-08-01102 А "Проектно-исследовательская разработка технологической установки для плазменно-механической обработки деталей машин").

Все известные методы предварительной механической обработки поверхности деталей под нанесение покрытий можно разделить на методы со снятием и без снятия стружки [1]. В практике машиностроения наибольшее распространение получила первая группа методов: шлифование, точение, фрезерование (в том числе иглофрезерование) и струйно-абразивная обработка (CAO).

1. Методика проведения экспериментов

При проведении сравнительной оценке шероховатости поверхности были использованы такие виды механической обработки, как очистка металлической щеткой, шлифование абразивной лентой и CAO.

Очистку металлической щеткой осуществляли на угловой шлифовальной машине модели *Makita 9558 NM* при частоте вращения шпинделя 8000 мин^{-1} . В качестве инструмента использовали чашеобразную щетку диаметром 80 мм серии "Атака" со стальной проволокой сечением 0,5 мм.

Обработку поверхности абразивной лентой производили на плоскошлифовальную машину модели *Hitachi SB 10S2* при линейной скорости движения ленты, равной 2,5 м/с. Абразивный материал – карбид кремния зернистостью 100 мкм.

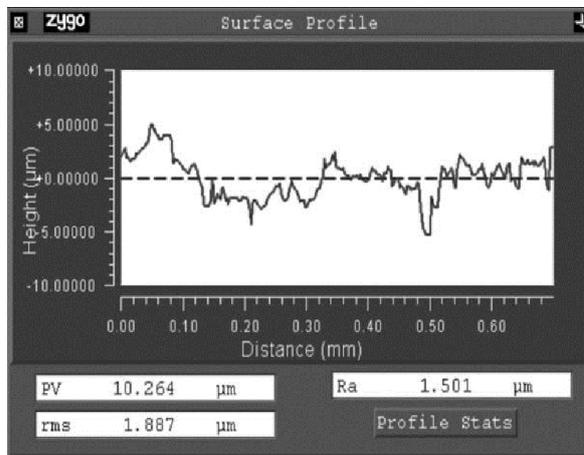
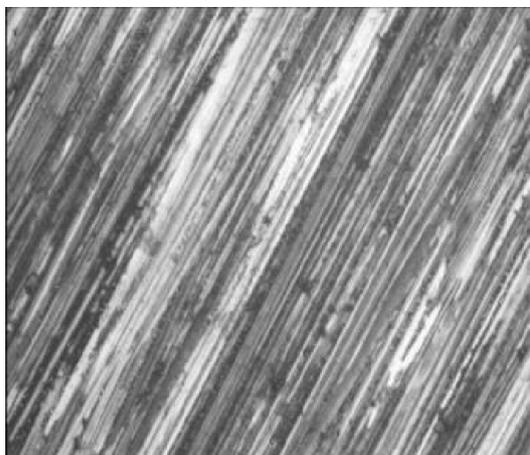
Исследование процесса CAO проводили в струйно-абразивной камере типа КСО-110-ИФВ-РМ, исполнительным органом которой является пневматический пистолет. При CAO энергетическое воздействие на обрабатываемую поверхность зависит от давления и расхода воздуха, расстояния от сопла пистолета до поверхности, длительности обработки, так называемого угла атаки, а также от материала абразивного порошка, его формы и физико-механических свойств. В качестве абразивного материала использовали электрокорунд марки 13А зернистостью 120. Давление и расход сжатого воздуха были приняты по данным справочной литературы, а также на основе предварительных экспериментов.

Измерение шероховатости поверхностей перед напылением производили в соответствии со стандартной методикой по ГОСТ 2789. Исследования выполнялись на базе комплекса изучения топографии модели *Zygo New View 7300* с дополнительным применением профилометра *Elcometer 223*.

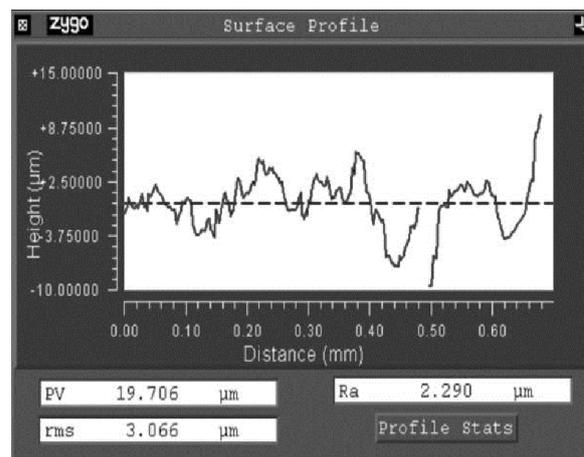
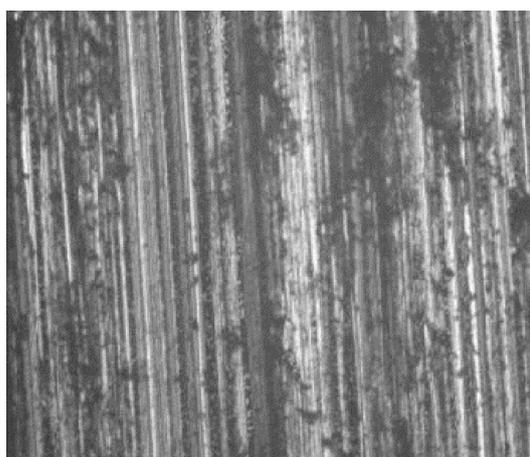
2. Результаты исследований

На рис. 1 представлены полученные с помощью интерферометра снимки типовых поверхностей и соответствующие им изображения микропрофилей после различных видов обработки.

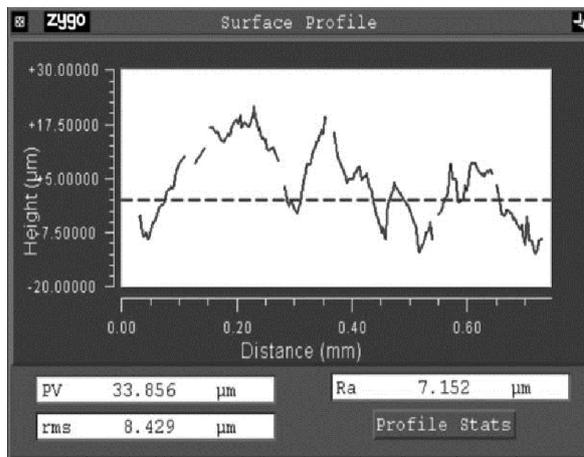
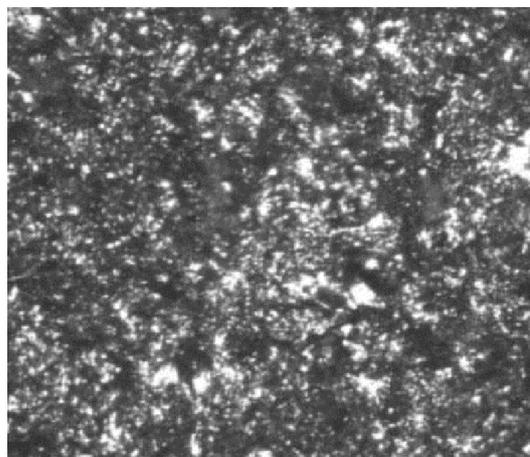
Сопоставляя полученные результаты можно отметить, что поверхности после САО присущ значительно более высокий уровень микронеровностей по сравнению с остальными.



а



б



в

Рис. 1. Поверхности образцов (×50) и соответствующие им профилограммы после:
 а) обработки щеткой; б) шлифования; в) САО

На снимках также отчетливо видно, что поверхности, обработанные металлической щеткой и шлифованием, имеют параллельное направление неровностей, а САО дает точечные неровности, которые расположены хаотично.

Анализируя полученные данные можно сделать однозначный вывод: процесс САО является наиболее эффективным с точки зрения получения в дальнейшем высокой адгезионной прочности, так как поверхность изделий будет обладать рельефом с более развитой шероховатостью. К тому же САО является, пожалуй, самым производительным и экономичным методом очистки деталей сложной формы из практически всех материалов, которые применяются в машиностроении. В качестве абразивного порошка может быть использован любой из выпускаемых промышленностью. Поэтому процесс САО и был принят в качестве объекта для дальнейших исследований: определения наиболее рациональных режимов обработки.

Целью исследований является разработка инженерной модели процесса. С учетом рекомендаций [1, 2] и предварительных экспериментов были приняты следующие режимные условия [3]: давление сжатого воздуха – 0,5 МПа, расход воздуха – 2,1 м³/мин (при диаметре сопла пистолета, равном 12 мм), расход абразива порядка 93 кг/час. Согласно данным работы [2] скорость частиц в этих условиях находится в пределах 40...60 м/с. В процессе обработки обеспечивалось перпендикулярное направление струи к поверхности детали при линейной скорости движения пистолета, равной 180 мм/мин. Образцы – пластины из стали 20.

В качестве управляемых режимных параметров были приняты расстояние от сопла пистолета до поверхности пластин (дистанция) l (60...150 мм) и длительность обработки τ (30...120 с). Оценка величины микронеровностей производилась с помощью профилометра по критерию R_z .

Данные двухфакторного эксперимента были обработаны с использованием программного продукта *Table Curve 3D v 4.0*. На рис. 2 приведена графическая зависимость величины шероховатости поверхности от параметров обработки.

Данная поверхность хорошо описывается функцией, представленной ниже с коэффициентом корреляции равным 0,97.

$$R_z(l, \tau) = 131,6 - \frac{2351,2}{l} - 3,72\tau + 0,07\tau^2 - 3,44 \cdot 10^{-4} \tau^3$$

С увеличением дистанции наблюдается рост величины микронеровностей. Это обусловлено изменением интенсивности обработки вследствие увеличения площади контакта и возможности разгона частиц до большего значения. Зависимость показывает, что выбранный диапазон изменения не превышает критического значения удаления пистолета, при котором происходит снижение эффективности обработки.

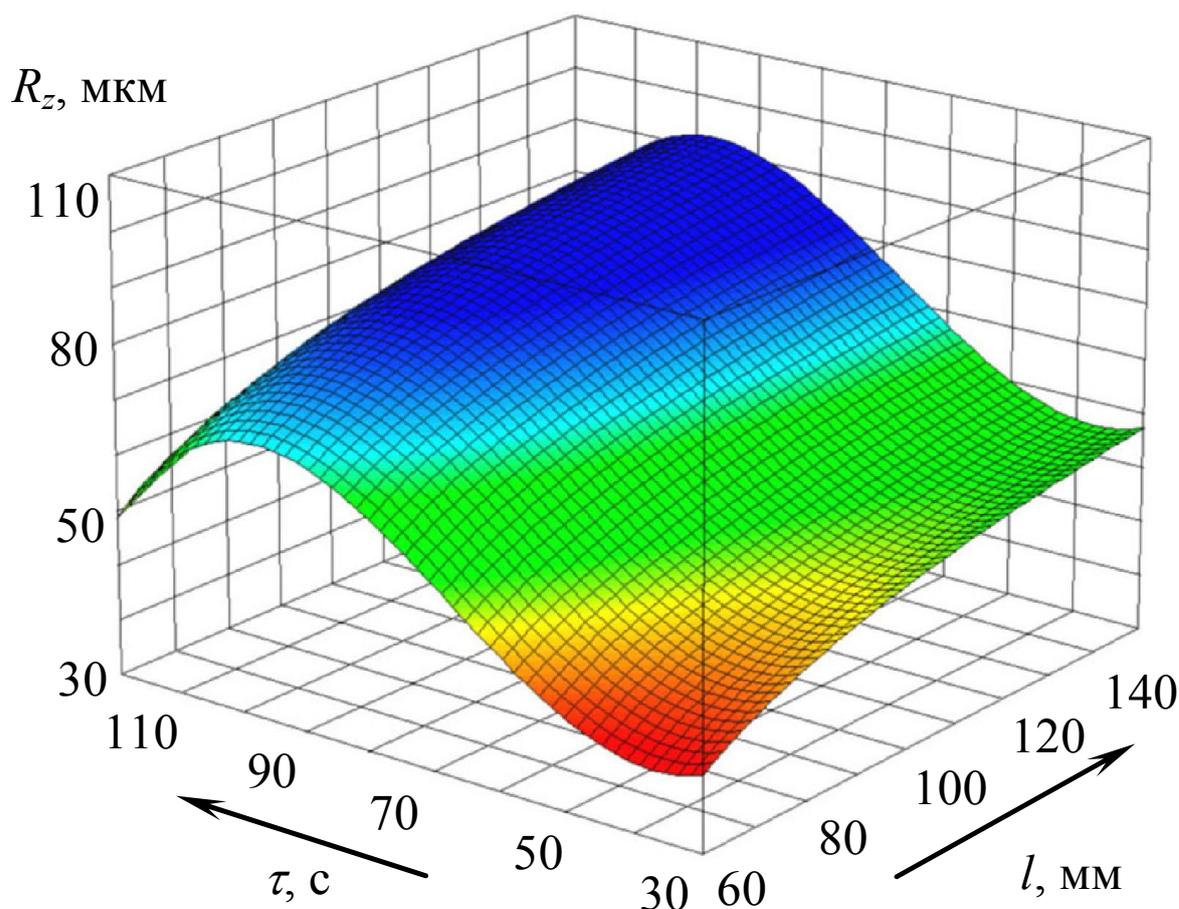


Рис. 2. Зависимость шероховатости поверхности от параметров процесса

При увеличении же времени воздействия значение R_z сначала возрастает, а потом снижается. Это связано с тем, что в процессе обработки происходит откалывание микровыступов и образуется новая поверхность с меньшей шероховатостью и пластически деформированным слоем.

Выводы

Полученное уравнение по сути является инструментом при решении задачи по поиску оптимального уровня шероховатости с позиции обеспечения максимальной прочности сцепления газотермических покрытий с основой. Совместный анализ принятых условий обработки позволяет сформировать шероховатость поверхности в пределах $R_z = 30 \dots 100$ мкм. Продолжительность обработки, при которой достигается максимальное значение шероховатости поверхности, соответствует времени, равному 90 с. Применение более длительного процесса нецелесообразно, поскольку при этом не только уменьшается значение R_z , но и повышается вероятность появления наклепа поверхностного слоя.

Список литературы

1. Газотермические покрытия из порошковых материалов : справочник / Ю. С. Борисов и др. – Киев : Наукова думка, 1987. – 544 с.
2. Пузряков А. Ф. Теоретические основы технологии плазменного напыления / А. Ф. Пузряков. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008. – 357 с.
3. Зверев Е. А. Влияние режимов струйно-абразивной обработки на шероховатость поверхности деталей под плазменное напыление // Сборник научных трудов НГТУ. – Новосибирск: Изд-во НГТУ. – 2008. – № 2(52). – С. 109-114.

Research of mechanical preprocessing necessary for spraying of gas-thermal coatings

Yu.S. Chesov, E.A. Zverev, P.V. Tregubchak, N.V. Vakhrushev

Results of comparative tests of various methods of the mechanical preprocessings used at a stage of preliminary preparation of details surface for spraying of gas-thermal coatings are given. The functional dependence of a surface roughness from process parameters of sandblasting was received.

Key words: mechanical preprocessing, surface roughness, sandblasting, adhesive strength.

УДК 621.78

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВРЕМЕНИ НА ВЕЛИЧИНУ ПРУЖИНЕНИЯ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ПРАВКИ ПЛОСКОЙ ПЛАСТИНЫ ИЗ СПЛАВА 04X13N4MC

*В.В. ЛУКЬЯНОВ, аспирант,
Н.В. БЕРДИН, младший научный сотрудник,
В.К. БЕРДИН, канд. техн. наук, доцент,
А.М. СМЫСЛОВ, доктор техн. наук, профессор,
(УГАТУ, г.Уфа)*

Лукьянов В.В. – 450000, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12,
Уфимский государственный авиационный технический университет,
e-mail: lukianovv@bk.ru

В работе рассмотрен вопрос влияния температуры и времени на величину пружинения при термической правки плоской пластины из сплава 04X13N4MC. Было проведено, конечно-элементное моделирование, по результатам которого была выбрана необходимая степень деформации, которая не превышает величину упругих напряжений материала.

Ключевые слова: коробление, термическая обработка, внутренние напряжения.

В настоящее время актуальной проблемой машиностроения является коробление сложнопрофильных изделий при выполнении таких операции как сварка, термическая и механическая обработка. Сварные конструкции наиболее подвержены короблению, как в процессе сварки, так и после термической обработке для снятия внутренних напряжений сварных швов. Однако избежать либо минимизировать это коробление можно используя стапели при сварке и термообработке. При механической обработке тяжело использовать такого рода приспособления, а иногда не возможно. Тем самым риск коробления готового изделия повышается. Так же возможно коробление изделия в процессе эксплуатации при повышенных температурах возникает это вследствие не равномерно распределенных дефектов внутреннего строения, возникающих в ходе обработки изделия после окончательной термической обработки.

Целью данной работы является определение температуры и времени термической правки заготовок из сплава 04X13N4MC.

Исследование проводили в лабораторной печи, обеспечивающей поддержание температуры на уровне рабочей температуры с точностью $\pm 1,0$ °C в среде газообразного Ar технической чистоты.

На рисунке 1, представлен результат влияния температуры отжига в течении 1,0 часа на величину пружинения при изгибе консольно закрепленной пластины на величину 1,0 мм. Величина смещения свободного торца пластины была выбрана на основании результатов численного моделирования, таким образом, чтобы упругие напряжения в пластине не достигали величины напряжений течения при температуре обработки. Расчеты показывают, что при

таким нагружением в области закрепления формируется симметричное относительно оси плоской пластины напряженное состояние с величиной упругих напряжений равных $\sim 75,0$ МПа.

Из зависимости изменения величины пружинения в консольной закрепленной пластине (Рис.1) следует, что относительная величина пружинения Δ (%) с увеличением температуры изменяется неравномерно. Полученные результаты измерений хорошо аппроксимируются S-образной кривой. При этом основные изменения величины пружинения наблюдаются в интервале температур $400\dots 650^\circ\text{C}$.

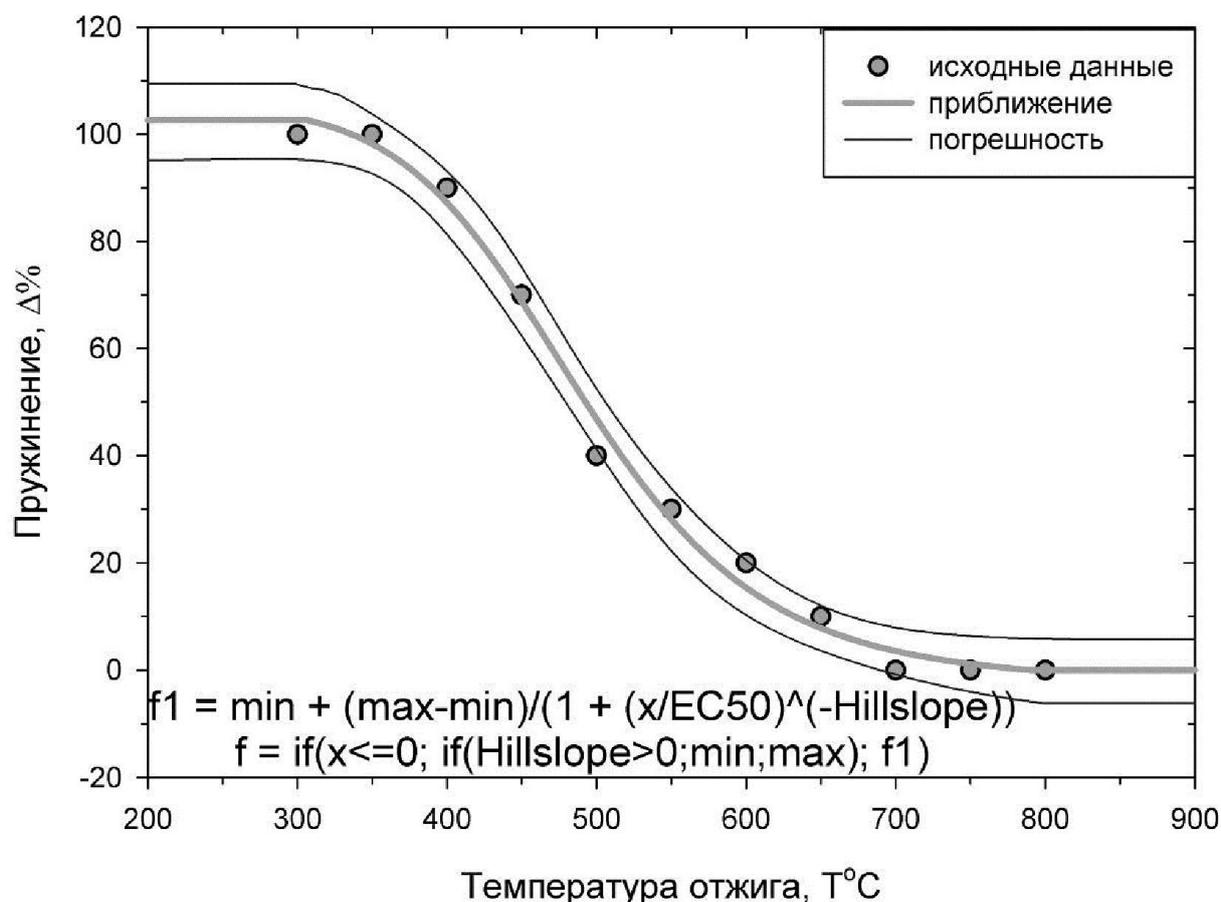


Рис. 1. Изменение величины пружинения в консольно закрепленной пластине в зависимости от температуры при изгибе пластины на величину 1,0 мм. Время выдержки при рабочей температуре равно 1,0 час.

Интенсивное изменение пружинения прекращается в области температур $600-700^\circ\text{C}$. Измерение пружинения в деформируемых пластинах осуществлялось с применением окуляр - микрометра с ценой деления 0,1 мм. Инструментальная погрешность измерения в этом случае была равна 0,05 мм.

Из результатов, выполненного исследования с учетом инструментальной ошибки измерения следует, что время выдержки образцов в интервале $1,0\dots 2,0$ часа не оказывает существенного влияния на значение пружинения. В

интервале температур 550⁰С..650⁰С, увеличение температуры приводит к стабилизации величины пружинения на уровне 0,05, что соответствует 5% от заданной величины изгиба (1,0 мм) упругого деформирования свободного конца консольно закрепленной пластины.

В результате выполненной работы было установлено:

1. Интенсивное изменение пружинения прекращается в области температур 600-700⁰С.
2. Увеличение времени выдержки в интервале 1,0...2,0 часа не способствует изменению величины пружения.

Список литературы

1. И.И. Новиков Теория термической обработки металлов. Учебник для втузов. 4-е изд., Металлургия, 1986, 480 с.
2. Титановые сплавы. Металлография титановых сплавов. Под ред. Борисова Е.А. М.: Металлургия, 1980, 464 с.
3. Abaqus/CAE User's Manual, 2010.

Influence of temperature and time on value at springing thermal straightening flat plate alloy 04X13H4MC

V.V. Lukyanov, N.V. Berdin, V.K. Berdin, A.M. Smyslov

A question of the influence of temperature and time on the value of springing with thermal straightening flat plate alloy 04X13H4MC. Was conducted, finite element modeling, the results of which was chosen the necessary degree of deformation that does not exceed the elastic stress of the material.

Key words: warping, heat treatment, the internal stresses.

РАСЧЕТ ОПЕРАЦИОННЫХ РАЗМЕРОВ НА ЭТАПАХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ

Б.А. КРАСИЛЬНИКОВ, к.т.н., профессор каф. ТМС

Ю.С. СЕМЕНОВА, к.т.н., доцент каф. ТМС

М.А. САУТКИНА, магистрант

В.А. СКРЫННИК, магистрант

(НГТУ, г. Новосибирск)

Семенова Ю.С. – 630073, г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: nahat@yandex.ru

Рассмотрены особенности назначения операционных размеров в технологическом процессе обработки деталей с покрытиями при подготовке поверхности перед нанесением покрытия ультразвуковым пластическим деформированием.

Ключевые слова: операционные размеры, припуск, ультразвуковое пластическое деформирование, нанесение покрытий.

Введение

При разработке технологического процесса нанесения покрытия необходимо назначать размеры на каждом из этапов обработки: подготовка поверхности основы, нанесение покрытия и его последующая механическая обработка.

Определение промежуточных размеров при механической обработке сводится к расчету припусков по известной формуле [1]:

$$2Z_{i\min} = 2 \left(R_{z\ i-1} + T_{i-1} + \sqrt{p_{i-1}^2 + \varepsilon_{yi}^2} \right) \quad (1)$$

Здесь $R_{z\ i-1}$ – высота неровностей профиля; T_{i-1} – глубина дефектного поверхностного слоя; p_{i-1} – суммарное значение пространственных отклонений для элементарной поверхности на предшествующем переходе; ε_{yi} – погрешность установки заготовки при выполняемом переходе.

$$2Z_{i\max} = 2Z_{i\min} + \delta D_{i-1} - \delta D_i \quad (2)$$

где δD_{i-1} и δD_i – допуск по размеру на предшествующем переходе.

Однако на операции нанесения покрытий размер не уменьшается, как при механической обработке, а увеличивается за счет толщины нанесенного покрытия. В работах Ситникова А.А. [2] для расчета размера детали с покрытием и припуска на его механическую обработку предлагается использовать следующие зависимости (3):

$$[P_n] = r_n - r_{\text{осн}} \pm (\rho_n + \rho_{\text{осн}}),$$

где P_n - толщина покрытия, r_n – размер детали с нанесенным покрытием; $r_{очн}$ – размер готовой детали; ρ_n – радиальное биение детали с нанесенным покрытием; $\rho_{очн}$ – радиальное биение поверхности после обработки основы.

$$[Z_n] = r_n + r_d \pm (\rho_n + \rho_d),$$

где Z_n - припуск на обработку покрытия r_n – размер детали с нанесенным покрытием; r_d – размер готовой детали; ρ_n – радиальное биение детали с нанесенным покрытием; ρ_d – радиальное биение детали с обработанным покрытием.

$$H_{п min} = f + Z_{о min} + |\bar{\rho}_3' + \bar{\rho}_3'' + \bar{\varepsilon}_0| + \Delta$$

где: $H_{п min}$ - минимально достаточная величина напыляемого покрытия f – минимальная достаточная толщина покрытия после окончательной обработки, является требованием чертежа, должна обеспечивать работоспособность детали; $Z_{о min}$ – минимальный общий припуск на обработку покрытия; $\bar{\rho}_3'$ – исходное пространственное отклонение расположения поверхности раздела основного материала детали с покрытием относительно базовых поверхностей; $\bar{\rho}_3''$ – пространственное отклонение этой поверхности, возникающее в процессе получения покрытия; Пространственные отклонения определяются измерением детали в нескольких сечениях (рис. 2); $\bar{\varepsilon}_0$ – погрешность установки детали на операции окончательной размерной обработки покрытия; Δ – толщина переходного слоя между основным материалом детали и покрытия.

В данной работе на этапе подготовки поверхности основы предлагается использовать метод ультразвукового пластического деформирования (УЗПД). Его преимущества перед традиционными методами описаны в работе [3]. В настоящее время не существует рекомендаций по назначению припусков на обработку ультразвуковым пластическим деформированием. В связи с этим необходимо проведение экспериментального исследования точности обработки после УЗПД.

Методика экспериментальных исследований

Для исследования выбраны цилиндрические образцы диаметром 40мм, изготовленные из стали 40Х13 (твердость НВ≈1700МПа). В образцах выполнены центровые отверстия для обработки в центрах.

Режимы предшествующей токарной и последующей ультразвуковой обработки были назначены на основании ранее проведенных исследований [4-6]. Совокупность выбранных режимов обеспечивает формирование полностью нового регулярного микрорельефа в процессе УЗПД без следов предшествующей токарной обработки. Режимы токарной обработки: число оборотов 720 об/мин, подачи – 0,065 мм/об. Режимы ультразвуковой обработки: частота колебания инструмента 22кГц, амплитуда 25 мкм, диаметр инструмента 8 мм, число оборотов 720 об/мин, подача 0,228 мм/об, статическое усилие 80Н.

Нанесение покрытия (порошок электрокорунд марки М28 (Al_2O_3), размер частиц 25...35 мкм) на поверхность основного металла производилось методом плазменного напыления с режимами: расход порошка: 18 л/мин, расход воздуха: 3,6 кг/час, напряжение 180 В, ток 190-200 А, дистанция 100 мм, температура напыления ≈ 4000 °С; частота вращения вала – 75 об/мин, подача: 0,36 м/мин.

Перед нанесением покрытия на отдельные участки образцов специально наносилась масляная пленка, благодаря которой покрытие на этих участках легко отслаивалось (рис.1). Этот прием позволяет без трудоемкого изготовления шлифов измерить толщину слоя покрытия на участке его отслоения. Измерение проводилось на автоматическом структурном анализаторе «ЕРІQUANT». Толщина покрытия определялась как разность уровней фокусировки объектива на исходной поверхности (под отслоившимся покрытием) и на поверхности нанесенного покрытия (рис.2).



Рис.1. Вид исследуемого участка

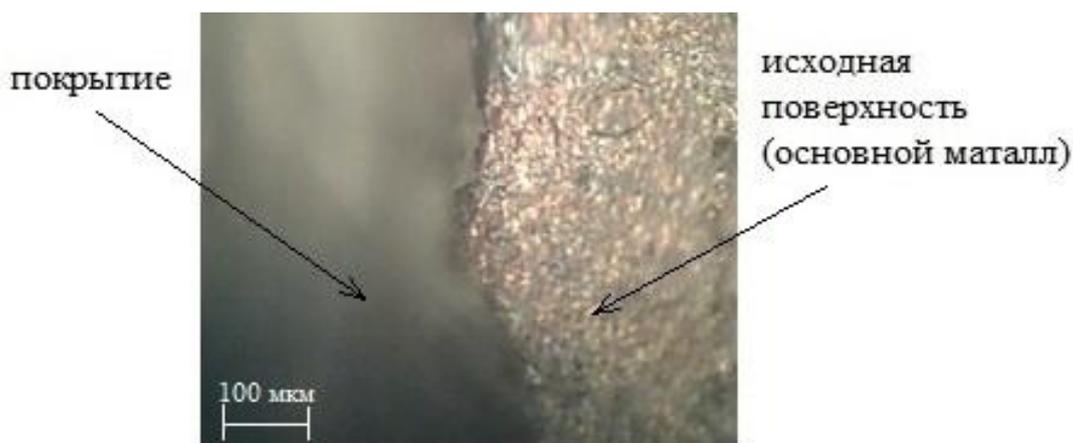


Рис.2. Увеличенное изображение исходной поверхности на границе отслоенного участка покрытия

После каждого из этапов ТП при помощи индикатора произведено измерение диаметров в четырех сечениях (8 точек) для определения отклонения от круглости, необходимого для расчетов, (рис. 3).

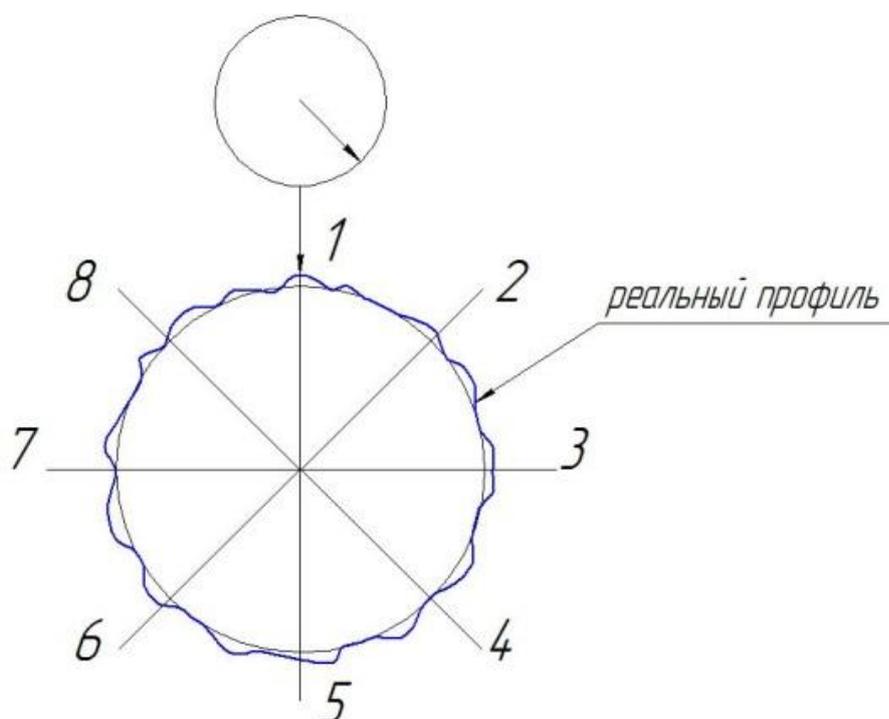


Рис.3. Схема измерений отклонения от круглости образцов

Шлифование проводилось кругом 1 200-20-50 25А 40-П СМ 6 К при режимах: окружная скорость детали 20м/мин, скорость вращения шлифовального круга 35 м/с, поперечная подача 0,001 мм/об, продольная подача 0,4 мм на ширину круга.

Для расчета минимальной величины припуска под механическую обработку покрытия составлена размерная цепь (рис. 4). Здесь $H_{3\max}$ – максимальный размер покрытия до обработки; h_1 – размер детали после токарной обработки; $Z_{1\min}$ – минимальный общий припуск на токарную обработку; $Z_{1\max}$ – максимальный общий припуск на токарную обработку; $Z_{3\min}$ – минимальный общий припуск на обработку покрытия; Δ_1 – допуск на размер детали после токарной обработки; Δ_3 – допуск на толщину покрытия до обработки; Δ_4 – допуск на окончательный размер детали; $h_{4\min}$ – минимальная толщина покрытия после обработки; $h_{4\max}$ – максимальная толщина покрытия после обработки; f – минимально достаточная величина покрытия на эксплуатацию детали; $d_{2\min}$ – минимальный размер детали после УЗПД; $d_{2\max}$ – максимальный размер детали после УЗПД; Ra_1 – шероховатость поверхности покрытия после токарной обработки; Ra_3 – шероховатость поверхности покрытия до обработки; Ra_4 – окончательная шероховатость детали.

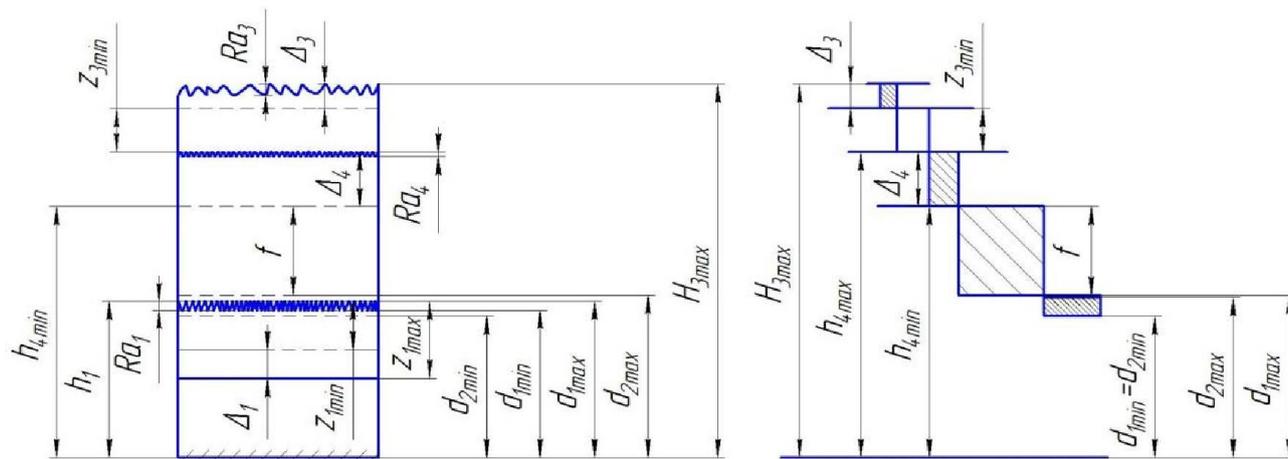


Рис. 4. Звенья размерной цепи на обработку покрытия

Результаты и обсуждения

На основании проведенных исследований для данных условий работы ниже представлены рекомендации по расчету припусков на каждом из этапов технологического процесса изготовления деталей с покрытиями.

Припуски токарной обработки предложено рассчитывать по формулам (1-2), с учетом необходимой величины шероховатости для дальнейшей обработки методом УЗПД.

Экспериментально установлено, что при заданных условиях ультразвуковой обработки изменение размеров происходит в пределах величины шероховатости, полученной на этапе точения (не более 7 мкм), т.е. в пределах допуска на токарную обработку. Таким образом, при точности предшествующей токарной обработки до 9 качества припуск на УЗПД назначать не следует.

Поскольку после нанесения покрытия его шероховатость составляет Ra 4 мкм, что не удовлетворяет техническим требованиям, предъявляемым к реальным деталям, требуется его последующая обработка. При шлифовании образцов с покрытием необходимо не допускать возникновения радиального биения детали, закрепленной на станке, так как в случае его возникновения слой покрытия снимается неравномерно. Результат такой ошибки показан на рис.5. Как видно из рисунка, покрытие толщиной 100 мкм полностью было снято на участке образца. В данном случае биение возникло в результате несоблюдения принципа постоянства баз при закреплении образцов на операции шлифования. Отклонение от круглости детали измерялось на каждом этапе обработки и составило не более 70 мкм на каждом из этапов.

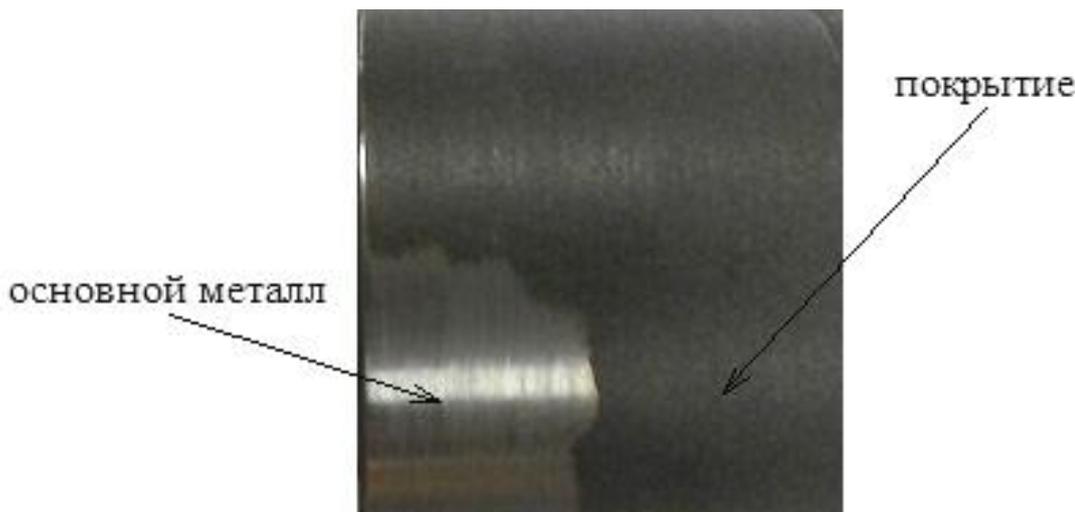


Рис.5. Неравномерное удаление слоя покрытия

Соблюдение принципа постоянства баз позволяет достичь необходимой шероховатости в соответствии и характеристиками самого покрытия (условия нанесения, размер элементов покрытия, его твердость и др.) при обеспечении постоянства толщины покрытия после шлифования.

По проведенным исследованиям можно представить единый расчет размеров на каждом из этапов технологического процесса нанесения покрытий:

1. Для токарной обработки: $d_{1min} = d_{0max} - Z_{1min}$; $d_{1max} = d_{1min} + \Delta_1$; d_{0max} – исходный максимальный размер детали; Z_{1min} – минимальный припуск на токарную обработку; Δ_1 – допуск на размер детали после токарной обработки.

2. Для УЗПД: $d_{2min} = d_{1min} + 0$; $d_{2max} = d_{1max} + 0$.

3. Для этапа нанесения покрытия: $d_{3min} = d_{2max} + f$; $d_{3max} = d_{3min} + \Delta_3$; Δ_3 – допуск на толщину покрытия при его нанесении.

4. Для этапа шлифования: $d_{4min} = d_{3max} - Z_{4min}$; $d_{4max} = d_{4min} + \Delta_4$; Z_{4min} – минимальный припуск на шлифование; Δ_4 – допуск на окончательный размер детали.

Выводы

Данная работа представляет собой экспериментальное исследование размеров технологического процесса нанесения покрытия (электрокорунд М28) на образцы из стали 40Х13. Полученные результаты могут быть использованы и для других материалов при дополнительных исследованиях.

Так же дополнительного изучения требует определение минимальной толщины покрытия, зависящей от условий работы, требуемых нагрузок, условий нанесения и материала покрытия.

Припуск на ультразвуковую обработку лежит в пределах допуска на предыдущую операцию (точение) и не участвует в расчете операционных размеров.

Список литературы

1. Справочник технолога машиностроителя. В 2-х т. Т. 1 / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – 4-е изд. – М.: Машиностроение, 1986. 656с.
2. Ситников А.А. Технологическое обеспечение точности изготовления деталей с покрытиями. – Барнаул: 2004 г.
3. Обеспечение качества поверхности деталей машин ультразвуковым пластическим деформированием перед нанесением покрытия/ Х. М. Рахимьянов, Ю. С. Семенова, М.А. Сауткина, В.А. Скрынник, А.П.Лихачев// Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. Новосибирск, 2013. - С.4-7.
4. Выбор режимов ультразвукового пластического деформирования для обеспечения геометрического состояния поверхности при ее подготовке перед нанесением покрытия/ Х. М. Рахимьянов, Ю. С. Семенова, М.А. Сауткина, В.А. Скрынник, А.П.Лихачев// Инновации в машиностроении: материалы 4-й Международной научно-практической конференции 2-4 октября 2013 / Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова, БТИ. - Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2013. - С. 198-203.
5. Х. М. Рахимьянов Моделирование процесса формирования регулярного микрорельефа при ультразвуковом пластическом деформировании / Ю. С. Семенова, Х. М. Рахимьянов // Упрочняющие технологии и покрытия. М.: Машиностроение. 2010 № 2. С. 3-9.
6. Исследование геометрических параметров обработки на этапах подготовки поверхности и напыления покрытия М.А. Сауткина, В.А. Скрынник, А.П.Лихачев// Наука Технологии Инновации: материалы всероссийской научной конференции молодых ученых 21-24 ноября 2013 в 10-ти частях/ НГТУ. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2013. - С. 33-36.

Calculation of operating sizes on coating process stages

B.A. Krasilnikov, Yu.S. Semyonova, M.A. Sautkina, V.A. Skrinnik

The features of the operating sizes destination in the technological process of coated machine parts treatment with surface preparation prior to coating by ultrasonic plastic deformation are considered.

Key words: operating sizes, allowance, ultrasonic plastic deformation, coating.

УДК 621.914

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРАТЕГИЙ ФРЕЗЕРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ
ТИПА «ЛОНЖЕРОН»**

*А.С. СМУТКИН, студент 5-го курса,
Г.А СЫРЕЦКИЙ, к.т.н., доцент
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Сырецкий Г.А. – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: sga-2002@mail.ru

Представлены результаты исследования эффективности стратегий фрезерования деталей типа «лонжерон». Показана необходимость обоснованного выбора приемлемой стратегии механообработки

Ключевые слова: стратегия обработки, фрезерование, лонжерон

1. Введение

Проблемы повышения производительности труда и снижения производственных затрат всегда были и остаются актуальными, так как они определяют стратегию развития промышленности в любой стране мира. Решение этих задач возможно только при использовании высокопроизводительного автоматизированного технологического оборудования, в первую очередь металлообрабатывающих станков и комплексов, являющихся основой современного машиностроения. При оценке целесообразности повышения производительности необходимо исходить не только из технического уровня автоматизированных технологических машин, но и конкретных условий их использования на производстве.

В авиастроении имеет место механообработка длинных профильных заготовок. На получение из них деталей нужной формы, в том числе и типа «лонжерон», требуется несколько часов технологического времени. Так как с экономической точки зрения избыточное время механообработки невыгодно, то возникает проблема поиска путей сокращения времени, затрачиваемого их на изготовление. Цель настоящих исследований, детально рассматриваемых в докладе, состоит в том, чтобы установить степень влияния стратегий фрезерования лонжеронов на общее время механообработки и выбор наиболее эффективной из них.

2. Методика экспериментальных исследований

Современное технологическое оборудование, оснащенное СЧПУ, предполагает использование технологических управляющих программ. Они могут быть подготовлены как оператором станка, так и созданы технологом с помощью инструментов системы автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП, САМ). Использование САПР ТП эффективно для получения сложных деталей, включая детали типа «лонжерон» (рис.1). Современные САПР ТП обладают множеством инструментов, позволяющих технологу решать разнообразные технологические задачи. К такому виду инструментальных средств относится САМ-система NX CAM корпорации Siemens, принятая в наших исследованиях.

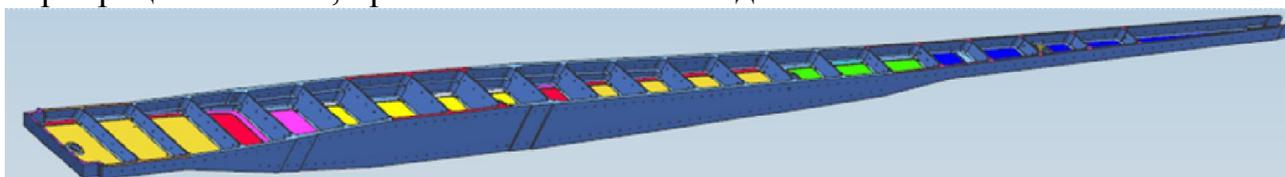


Рис. 1. Электронная модель детали типа «лонжерон»

Решение поставленной задачи осуществлялось с использованием шаблонов глубинного фрезерования NX CAM (рис. 2) для портального обрабатывающего центра Gantry CS 650/200 фирмы Handtmann A-Punkt Automation GmbH.

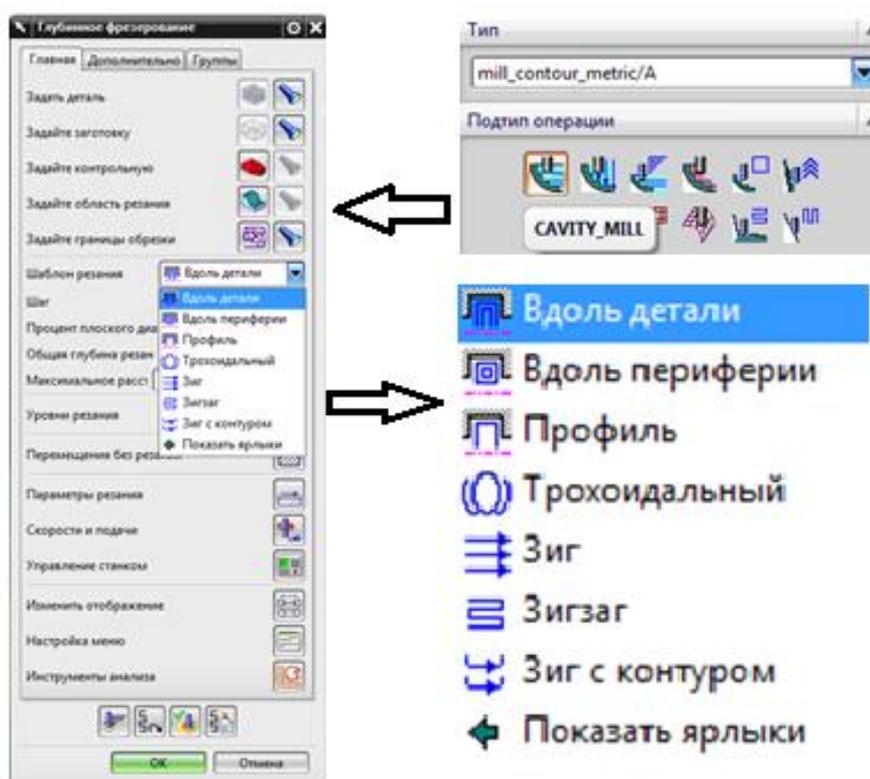


Рис.2. Стратегии глубинного фрезерования: шаблоны подтипа «CAVITY_MILL» операции типа «mill_countour_metric/A»

Итогом работы с NX CAM служил отчет. В нем зафиксированы многие данные механообработки, включая технологическое время, затрачиваемое на фрезерование и вспомогательные движения.

3. Результаты и обсуждения

Исследованию эффективности стратегий фрезерования был подвергнут профиль из алюминиевого сплава марки В95пчТ2 с габаритными размерами 110x200x3300мм. Выбранный инструмент и принятые режимы резания приведены в табл. 1.

Таблица 1

Инструмент и режимы резания

№ операции	Инструмент	Режимы резания		
		S _m , мм/мин	N, об/мин	V, м/мин
0_1/3_1	Режущий: фреза Ø100R0.4 LV80LP10Z6 R590-100HA06-11M шифр D100R0.4_N001LV80LP10z6_A Пластина R590-110504H-NL H10	4200	6000	1884
1_1A/4_1D/7_1AC/7_1AE 7_1AF/10_1C/10_1D/10_1E 15-1A/15-1C/15-1E/17-1R	Режущий: корпус Ø32R2.4 LV128LP12Z3 S790-429495 шифр D32R2.4_001LV128LP12Z3 Пластина R790-160424PH-NM H13A	1600	18000	1809
5_1	Вспомогательный: патрон 392.410HMD-63 20 077 Цанга 393.CG- 20 16 52 Режущий: фреза Ø16R2.5 LV75LP20Z2 R216.32-16025-AP20A H10F R2.5 шифр D16R2.5_N001LV75LP20Z2_A	4400	18000	1809

На рис. 3 приведены некоторые результаты экспериментальных исследований. Из них следует, что стратегии существенно влияют на как на время фрезерования, так и время холостого движения. Полное представление полученных данных и детальное их обсуждение проводится в докладе.

№	№ операции	исан	Вдоль детали				Вдоль периферии				Зиг						
			Резание	Без резания	Общее, 100%		Резание	Без резания	Общее		Резание	Без резания	Общее				
1	1уст.0_1	Фр	0:13:10	99,25%	0:00:06	0,75%	0:13:16	0:13:10	99,25%	0:00:06	0,75%	0:13:16	0:13:11	70,63%	0:05:29	29,38%	0:18:40
3	2уст.3_1	Фр	0:13:10	99,25%	0:00:06	0,75%	0:13:16	0:13:10	99,25%	0:00:06	0,75%	0:13:16	0:06:11	33,13%	0:10:16	55,00%	0:18:40
4	4_1D	Фр	1:03:37	28,05%	2:43:11	71,95%	3:46:48	1:17:34	50,80%	1:15:07	49,20%	2:32:41	1:18:14	28,92%	3:12:18	71,08%	4:30:32
5	5_1	вар	0:02:23	85,12%	0:00:25	14,88%	0:02:48	0:02:23	85,12%	0:00:25	14,88%	0:02:48	0:02:01	67,60%	0:00:58	32,40%	0:02:59
6	3 уст.7_1АС	раб	0:11:55	24,07%	0:37:35	75,93%	0:49:30	0:14:01	86,88%	0:02:07	13,12%	0:16:08	0:12:02	24,80%	0:36:29	75,20%	0:48:31
7	7_1АЕ	ие г	0:06:01	32,61%	0:12:26	67,39%	0:18:27	0:06:33	35,50%	0:08:39	46,88%	0:18:27	0:06:22	17,99%	0:29:01	82,01%	0:35:23
8	7_1АГ	ости	0:10:18	29,74%	0:24:20	70,26%	0:34:38	0:09:45	74,43%	0:03:21	25,57%	0:13:06	0:07:36	35,19%	0:14:00	64,81%	0:21:36
9	10_1С	и р	0:02:04	63,27%	0:01:12	36,73%	0:03:16	0:02:02	72,19%	0:00:27	15,98%	0:02:49	0:01:59	34,29%	0:03:48	65,71%	0:05:47
10	10_1D	под	0:06:18	30,26%	0:14:31	69,74%	0:20:49	0:04:47	86,19%	0:00:46	13,81%	0:05:33	0:04:52	42,20%	0:06:40	57,80%	0:11:32
11	10_1Е	ание	0:00:27	45,00%	0:00:33	55,00%	0:01:00	0:00:26	74,29%	0:00:09	25,71%	0:00:35	0:00:35	29,41%	0:01:24	70,59%	0:01:59
12	15-1А	в. Сл	0:00:30	51,72%	0:00:28	48,28%	0:00:58	0:00:29	70,73%	0:00:12	29,27%	0:00:41	0:00:28	29,17%	0:01:08	70,83%	0:01:36
13	15-1С	с др	0:00:23	54,76%	0:00:19	45,24%	0:00:42	0:00:22	68,75%	0:00:10	31,25%	0:00:32	0:00:22	30,56%	0:00:50	69,44%	0:01:12
14	15-1Е	бок	0:01:32	42,99%	0:02:02	57,01%	0:03:34	0:01:27	64,93%	0:00:47	35,07%	0:02:14	0:01:37	26,94%	0:04:23	73,06%	0:06:00
15	17-1R	ы б.	0:01:28	52,07%	0:01:21	47,93%	0:02:49	0:01:24	52,83%	0:01:15	47,17%	0:02:39	0:01:32	18,33%	0:06:50	81,67%	0:08:22
	Всего		2:13:16	34,01%	4:18:35	65,99%	6:31:51	2:27:33	60,29%	1:33:37	38,25%	4:04:45	2:17:02	30,26%	5:13:34	69,25%	7:32:49

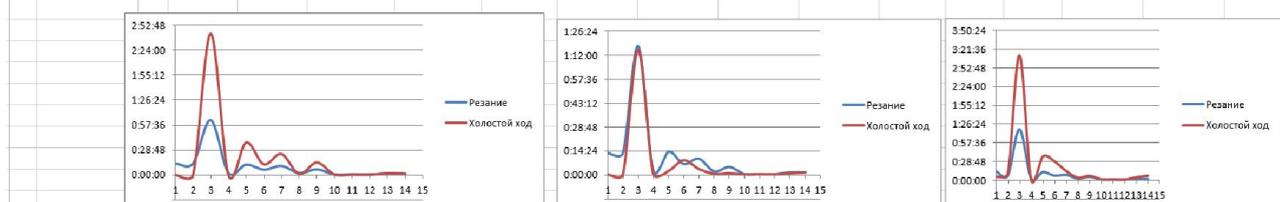


Рис. 3. Фрагмент данных, иллюстрирующих эффективность стратегий фрезерной обработки

4. Выводы

Проведенные исследования показали возможность сокращения технологического времени фрезерования деталей типа «лонжерон» за счет выбора технологом эффективной стратегии фрезерования на этапе проектирования технологической программы управления в среде САПР ТП.

A research of efficiency strategy milling of parts like «Longeron»

A.G. Smutkin, G.A. Syretskiy

Results of research efficiency strategy of milling details «longeron» are submitted. Need of a reasonable choice of acceptable strategy of mechanoprocessing is detected

Key words: processing strategy, milling, longeron

УДК 621.9.044

ИЗМЕНЕНИЕ ХАРАКТЕРА SLS-СПЕКАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ ПОСЛЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ МЕХАНОАКТИВАЦИИ

*А.А. САПРЫКИН, канд. техн. наук, зав. кафедрой,
Е.А. ИБРАГИМОВ, ст. преподаватель,
Е.В. БАБАКОВА, аспирант,
(ЮТИ ТПУ, г. Юрга)
В.И. ЯКОВЛЕВ, канд. техн. наук, доцент
(АлтГТУ г. Барнаул)*

Ибрагимов Е.А. – 652050, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26,
Юргинский технологический институт Томского политехнического университета,
e-mail: egor83@list.ru

Представлены результаты эксперимента, описывающие влияние предварительной механоактивации порошка Cu и Ni на характер их спекания методом SLS. Описаны изменения структуры и насыпной плотности порошков.

Ключевые слова: Механоактивация, спекание, SLS-метод, свойства порошка

1. Введение

Развитие методов послойного и построчного синтеза готовых функциональных изделий и прототипов из порошковых материалов позволяет использовать данные технологии в различных сферах деятельности, начиная от легкой и заканчивая военной промышленностью и медициной.

Среди большого разнообразия методов синтеза изделий особое место занимает метод послойного лазерного синтеза (Selective laser sintering – SLS) [1]. Принцип данной технологии заключается в том, что мелкодисперсный порошковый материал, либо смесь материалов подвергают тепловой обработке лучом лазера, в результате которой происходит синтез материалов со сложной структурой. Данная технология позволяет быстро создавать либо прототип детали, либо деталь с заданными функциональными свойствами практически из любых материалов, любой геометрической сложности.

Строительным материалом в данной технологии является порошок, следовательно можно утверждать, что его первоначальные физико-химические свойства непосредственно определяют технологические режимы и условия при которых будет проходить синтез изделия. К таким свойствам можно отнести: гранулометрический состав, форма частиц, температура плавления, насыпная плотность, теплопроводность материала и др. Одним из способов изменения первоначальных свойств порошка является его активация методом механоактивации.

Механизмы, происходящие в процессе механоактивации, достаточно подробно описаны в работах [2, 3]. С определенными допущениями можно сказать, что метод механоактивации сводится к внедрению точечных дефектов в структуру материала, накоплению дислокаций, увеличению площади поверхности контакта под действием внешних механических сил.

2. Методы и оборудование экспериментального исследования

Было предложено проанализировать влияние предварительной механоактивации металлического порошка на изменение его структуры, насыпной плотности и характера спекания SLS-методом. Обработке подвергались порошки двух марок: ПМС-1 (ГОСТ 4960-75) и ПНК-УТ1 (ГОСТ 9722-97). Механоактивацию проводили в планетарной шаровой мельнице. В водоохлаждаемый размольный стакан засыпали порцию порошка вместе со стальными шариками. Время активации порошка ПМС-1 составило 1,5 и 3 минуты; ПНК-УТ1 составило 1, 2 и 3 минуты.

Изменение структуры порошка наблюдали при помощи металлографического микроскопа ЛабоМет-1.

Изменение насыпной плотности порошков проведено методом «Воронки» [4].

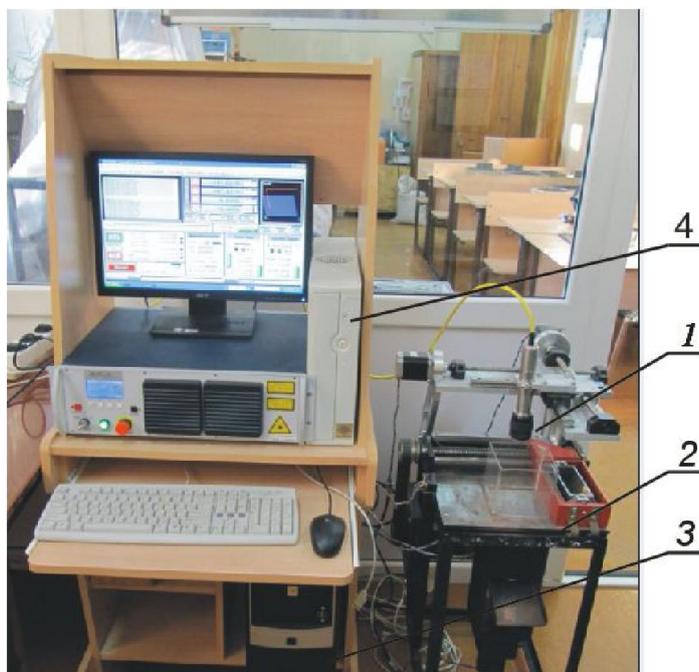


Рис. 1. Установка послойного лазерного спекания: 1– лазер, 2 – трехкоординатный стол, 3 – персональный компьютер, 4 – система ЧПУ

Спекание SLS-методом проводили на экспериментальной установке послойного лазерного синтеза оригинальной конструкции, позволяющей регулировать все технологические параметры спекания порошка. Установка, (рис. 1), представляет собой технологический лазерный комплекс формирования поверхностей деталей сложной пространственной формы. Она состоит из иттербиевого волоконного лазера ЛК–100–В, позиция 1, трехкоординатного стола, позиция 2, персонального компьютера, позиция 3, системы ЧПУ, позиция 4 и специального программного обеспечения.

Изготавливались образцы квадратной формой со сторонами 10 мм и толщиной 5 мм. Технологический режим спекания образцов задавался следующими параметрами: мощность излучения лазера для порошка ПМС-1 составляла 15 и 30 Вт; для порошка ПМК-УТ1 – 15; 30; 45; 60 Вт; скорость сканирования менялась в диапазоне 2000–3000 мм/мин.; шаг сканирования (x, y, z) 0,2 мм; начальная температура порошка 27°C. Все образцы порошков спекались в защитной среде аргона. В качестве подложки использовалась стальная пластина.

3. Результаты и обсуждение

результате предварительной механоактивации порошка наблюдается значительное изменение насыпной плотности порошка, как ПМС-1 так и ПМК-УТ1, (рис. 2). Изменение структуры порошков можно наблюдать на (рис. 3, 4).

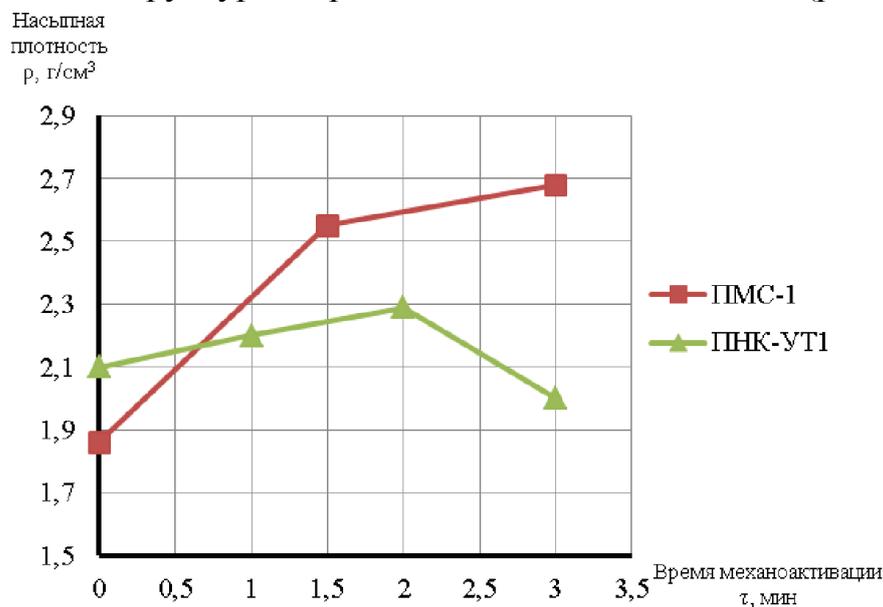


Рис. 2. Изменение насыпной плотности порошков

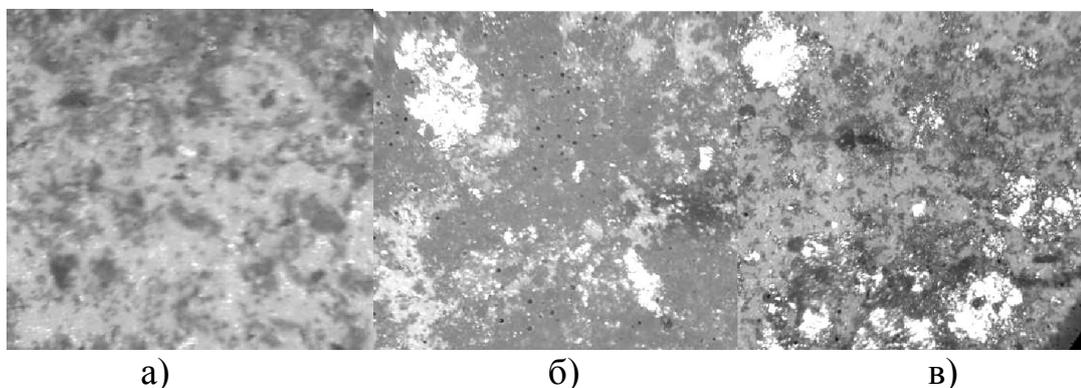


Рис. 3. Структура порошка ПМС-1 (×40)
 а) неактивирован, б) активация 1,5 мин, в) активация 3 мин.

Из рис. 3. видно, что с увеличением времени активации порошка ПМС-1 увеличивается и количество крупных металлических уплотнений пластинчатой формы. Этим можно объяснить и соответствующее увеличение насыпной плотности порошка.

При активации порошка ПНК-УТ1 в начальный момент времени наблюдается увеличение насыпной плотности, а после 2 минут обработки некоторое уменьшение, (рис.2). Проанализировав (рис.4), видно что в начальный период обработки формируются металлические укрупнения пластинчатого типа, а после 2 минут обработки, они исчезают.

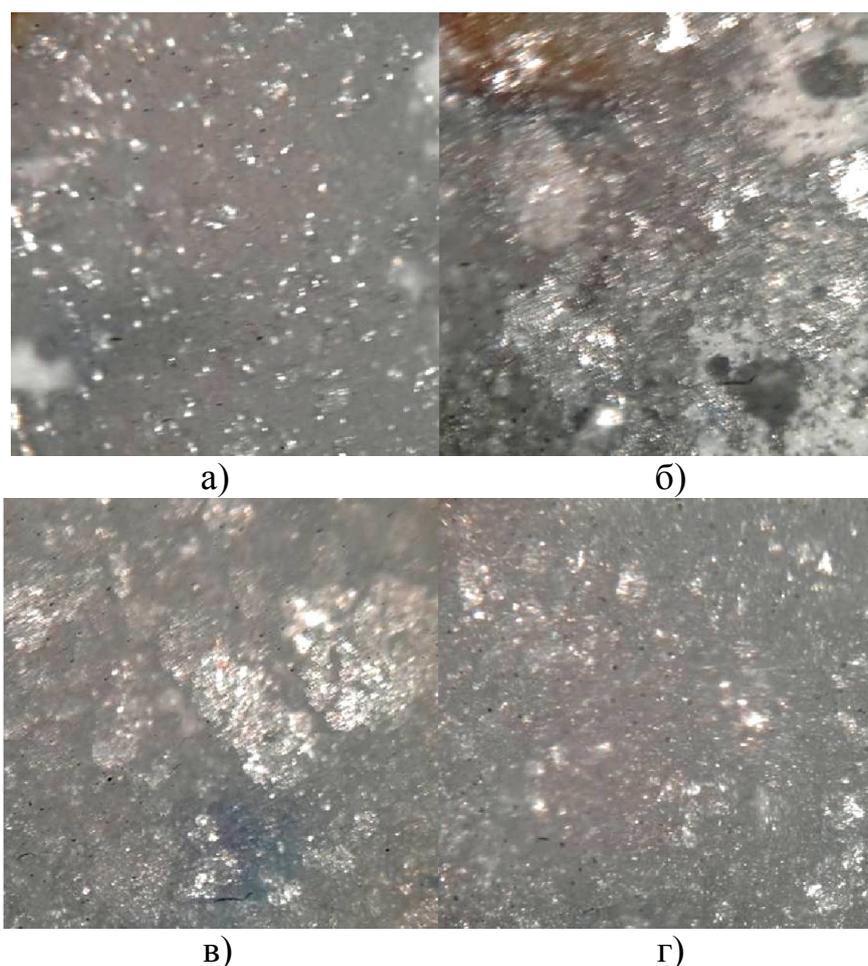


Рис. 4. Структура порошка ПНК-УТ1 (×40)

а) неактивирован, б) активация 1 мин, в) активация 2 мин, г) активация 3 мин

Подобные эффекты механоактивации можно встретить в работах [5, 3]. В начале процесса активации преобладает процесс образования дефектов, концентрация которых в объеме материала частиц возрастает, активность частиц возрастает (происходит пластическая деформация частиц, образуются укрупнение частиц). При достижении некоторого предельного значения дефекты и поля напряжений начинают релаксировать, и при дальнейшей обработке частицы начинают вновь измельчаться за счет разрушения.

При спекании образцов из предварительно активированных порошков особенно значительные изменения наблюдались у порошка марки ПМС-1 при мощности лазера 30 Вт. Спеченные образцы представлены на рис. 5.

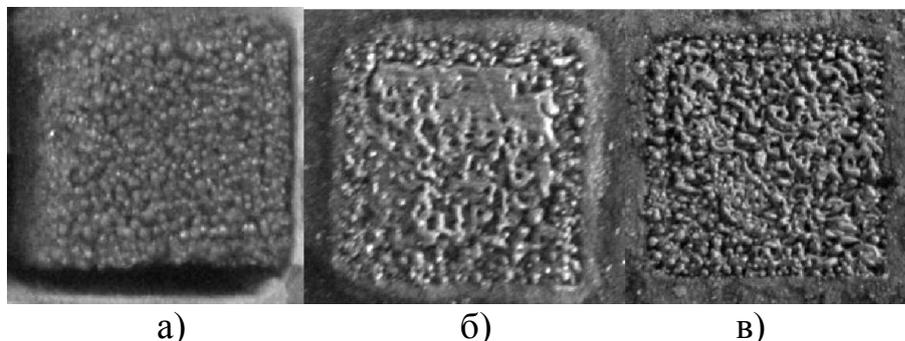


Рис. 5. Спеченные образцы при мощности лазера 30 Вт
а) неактивирован, б) активация 1,5 мин, в) активация 3 мин

Образцы без предварительной активации (рис 5, а) получились очень хрупкими и разрушались при незначительном воздействии на них, осыпались, крошились. Образцы после предварительной активации (рис. 5, б, в), напротив, оказались достаточно крепкими, осыпания краев не наблюдалось, разрушались при значительном внешнем воздействии на них. Так же необходимо отметить, что в момент формирования образца (рис. 5, б) визуально наблюдались процессы, как спекания, так и сплавления частиц порошка, причем зона сплавления преимущественно наблюдается во второй половине периода формирования слоя. Можно предположить что данный эффект связан как с увеличением насыпной плотности материала, так и увеличением его теплопроводности, что приводит к более быстрому нагреву области сканирования до температуры плавления материала. Однако данное предположение требует ряда дополнительных исследований.

При спекании порошка марки ПНК-УТ1 характерных отличий визуально обнаружено не было, лишь незначительно увеличилась пористость спеченных образцов.

4. Выводы

Проведенные эксперименты показали, что механоактивация порошков приводит к укрупнению их частиц, и, как следствие, к увеличению насыпной плотности материала. Так же исследования показали, что существует некоторое оптимальное время механоактивации порошков, превышение которого ведет к снижению эффектов активации. Например, для порошка марки ПМК-УТ1 это время составило порядка 2 минут.

Механоактивация порошка марки ПМС-1 в течении 1,5 минут значительно изменила физико-химические свойства порошка, что подтверждается

возникновением процессов спекания и сплавления частиц при формировании спеченного слоя образца.

Таким образом, можно сделать вывод, что механоактивация порошковых материалов для SLS может оказывать существенное влияние на свойства и структуру спеченного материала, а также на технологические условия и режимы при синтезе изделий методом селективного лазерного спекания.

Список литературы

1. Galenko P.K., Danilov D.A. Local nonequilibrium effect on rapid dendritic growth in a binary alloy melt // *Phys. Lett. A.* – 1997. – V. 235. – P. 271-280.
2. Авакумов Е.Г. Механические методы активации в переработке природного и техногенного сырья / Е.Г.Авакумов, А.А.Гусев; Рос. акад. наук, Сибирское отд-ние, Ин-т хим. тв. тела и механохимии. – Новосибирск : Академическое изд-во «Гео», 2009. – 155 с.
3. Болдырев В.В. Механохимия и механическая активация твердых веществ // *Успехи химии.* – 2006. – №75. – С. 203-216.
4. ИСО 4490-78 Порошки металлические. Определение текучести с помощью калиброванной воронки (прибора Холла). – М.: Издательство стандартов, 2001. – 10 с.
5. Малкин А.И., Киселев М.Р., Ключев В.А., Лознецова Н.Н., Топоров Ю.П. Влияние механоактивации на теплоемкость порошкообразного вольфрама // *Письма в ЖТФ.* 2012. – том 38. – №11. – С. 26-30.

The changing nature of SLS-sintering of metal powders after preliminary mechanical activation

A.A. Saprykin, E.A. Ibragimov, E.V. Babakova, V.I. Yakovlev

Experimental results describing the effect of the preliminary mechanical activation of powder Cu and Ni on the nature of their sintering method SLS. Describes the changes in the structure and bulk density powders.

Key words: Mechanoactivation, sintering, SLS-method, properties of the powder.

УДК 621.7.044.7

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ
ОБРАБОТКИ НА КАЧЕСТВО БУРОВОГО ТВЕРДОСПЛАВОВОГО ИНСТРУМЕНТА**

*А.Г. ОВЧАРЕНКО, профессор, доктор техн. наук,
БТИ Алт ГТУ, г. Бийск*

В. В. МАРУСИН, профессор, д. ф-м. н.

Институт Теоретический и Прикладной Механики СО РАН

В. Ю. УЛЬЯНИЦКИЙ, профессор, д. т. н.

Институт Гидродинамики СО РАН

А.Ю. КОЗЛЮК, доцент, канд. техн. наук,

М.О. КУРЕПИН, аспирант,

БТИ Алт ГТУ, г. Бийск

Овчаренко А.Г. - 659305, Бийск, ул. Трофимова, 27

Бийский технологический институт Алтайского государственного технического университета,
e-mail: pbuk@bti.secna.ru

Для повышения износостойкости бурового инструмента из твердого сплава предложен метод предварительного нагрева и последующего воздействия импульсного магнитного поля. Приведены экспериментальные результаты для бурового инструмента из твердого сплава ВК8.

Ключевые слова: магнитно- импульсная обработка, твердость, буровой инструмент, твердый сплав, упрочнение поверхностного слоя, эрозионный износ.

Повышение износостойкости породоразрушающего инструмента является значительным резервом увеличения производительности труда при бурении скважин. Увеличение его ресурса сокращает затраты времени на непроизводительные операции, повышает непрерывность рабочего процесса, снижает энергозатраты и материальные затраты на сооружение скважин.

Существующие способы упрочнения твёрдых сплавов и композиционных алмазосодержащих материалов из-за большой сложности и малой эффективности не нашли широкого применения при создании породоразрушающего инструмента. Практически отсутствуют способы повышения износостойкости серийно выпускаемого инструмента. Поэтому создание породоразрушающего инструмента с высокими эксплуатационными показателями является актуальной проблемой и её решение станет существенным резервом дальнейшего роста эффективности буровых работ.

В настоящее время одним из перспективных способов поверхностного упрочнения является комбинированная магнитно-импульсная обработка (КМИО). КМИО основана на воздействии импульсного магнитного поля высокой напряженности на предварительно нагретую обрабатываемую поверхность с целью улучшения ее механических и физических свойств [1].

Новизна и эффективность предлагаемого способа подтверждается патентом РФ на изобретение №2339704 «Способ комбинированной магнитно-импульсной обработки поверхностей инструментов и деталей машин», зарегистрированным в Государственном реестре изобретений РФ 27.11.08 [2].

В качестве объектов для исследования КМИО были взяты зубки из твердого сплава ВК8.

Обработка инструмента проводилась в следующей последовательности.

1. Установка инструмента в комбинированный индуктор.
2. Предварительный нагрев инструмента токами высокой частоты.
3. Обработка инструмента импульсным магнитным полем.
4. Выдержка инструмента.

Выдержка инструмента на неметаллической подложке необходима для завершения в металле превращений 1-го и 2-го рода и уменьшения избыточной энергии. Время выдержки обработанных образцов составляла 24 ч [3]. После выдержки проводились исследования износостойкости на оборудовании для эрозионного тестирования бурового инструмента согласно ASTM стандарту G76 «Стандартная методика проведения испытаний на эрозионный износ с ударной струей твердых частиц». На основе полученных данных были построены графики (рисунок 1) зависимости эрозионного износа m от времени испытания образцов τ .

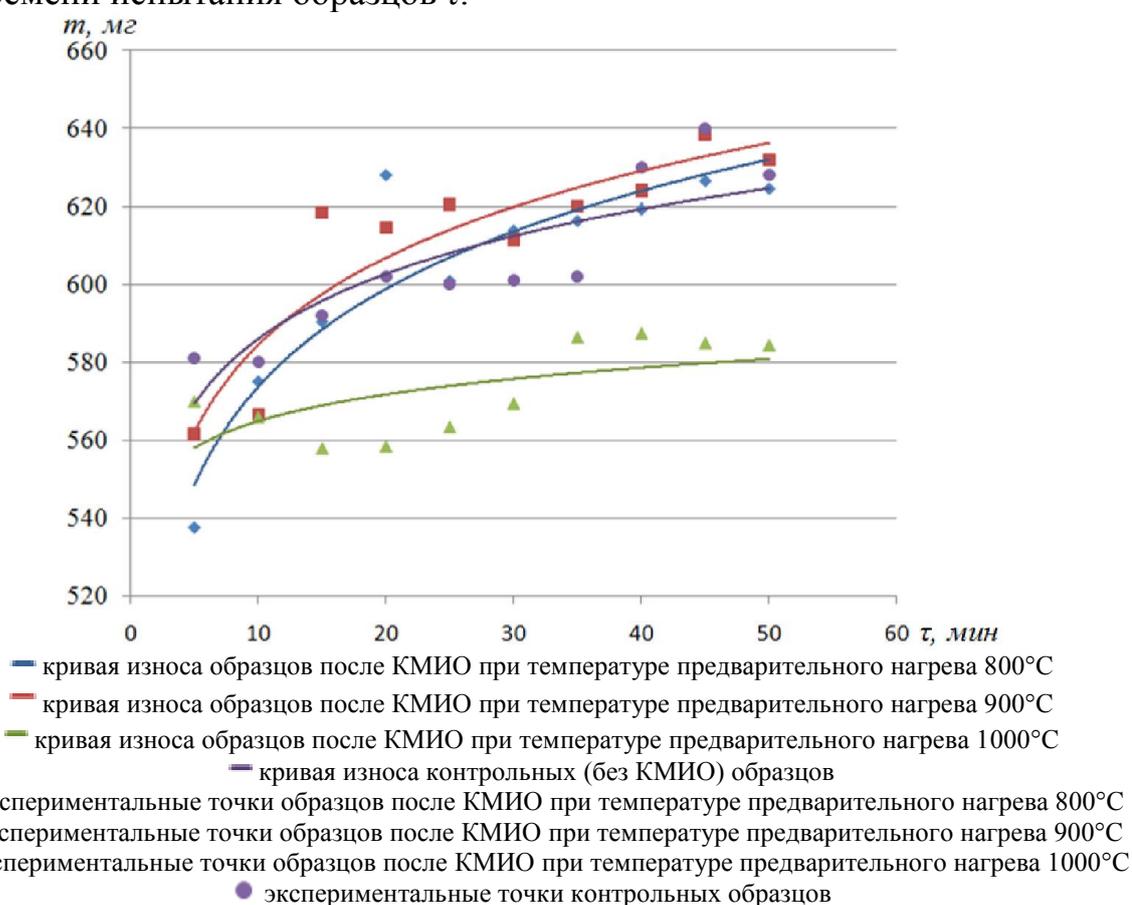


Рис. 1. Кривые износа образцов из твердого сплава ВК8

Из рисунка 1 видно, что износ образцов после КМИО при температуре предварительного нагрева равной 1000°C на исследованном отрезке кривой износа в 2,5 раза меньше, чем износ контрольных образцов и образцов, обработанных при других режимах. Данный эффект можно объяснить некоторым увеличением микротвёрдости поверхностного слоя образца и уменьшением остаточных и усталостных напряжений в структуре материала [4,5]. Значительный разброс экспериментальных точек позволяет предположить, что для исследования были использованы образцы, полученные при разных технологических режимах (возможно из разных партий).

На основании проведенных экспериментальных исследований упрочнения бурового твердосплавного инструмента необходимо отметить, что данное направление работ является перспективным и требует расширения для поиска оптимальных режимов КМИО.

Список литературы

1. Овчаренко А.Г., Козлюк А.Ю. Эффективная магнитно-импульсная обработка режущего инструмента/ Обработка металлов.- 2009.- №1. - С.4-7.
2. Патент РФ №2339704. Овчаренко А.Г., Козлюк А.Ю. Способ комбинированной магнитно-импульсной обработки поверхностей инструментов и деталей машин / Бюл. № 33, 2008. – 6 с.
3. Овчаренко А.Г., Козлюк А.Ю. Повышение износостойкости деталей комбинированной магнитно-импульсной обработкой / Обработка металлов. 2006. №2. С.24.
4. Овчаренко, А.Г. Повышение износостойкости пластин из твердого сплава/ А.Ю. Козлюк, М.О. Курепин //Обработка металлов. – 2010. - №2. – С.13-15.
5. Овчаренко, А. Г., Козлюк А. Ю., Курепин М. О. и др. Исследование влияния комбинированной магнитно-импульсной обработки на качество твердосплавного инструмента / Обработка металлов. – 2011. - №3. – С.95-98.

The research influence of the combined magnetic-pulse processing on quality of the boring tool from a hard alloy

Ovcharenko A.G., Marusin V.V., Ul'janickij V.Yu., Kozljuk A.Yu., Kurepin M.O.

Method of preliminary heating and subsequent exposure to pulsed magnetic field to increase the wear resistance of the boring tool from a firm alloy is proposed. Experimental results for the boring tool from firm alloy BK8 are presented.

Key words: magnetic pulse processing, hardness, boring tool, firm alloy, hardening surface coating, erosive wear.

УДК 621.7.002

**ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПОСЛОЙНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЕКАНИЯ
НА КАЧЕСТВО СПЕЧЕННОГО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ
ИЗ КОБАЛЬТХРОММОЛИБДЕНОВОГО ПОРОШКА**

*А.А. САПРЫКИН, канд. техн. наук, доцент,
Н.А. САПРЫКИНА, ст. преподаватель,
(ЮТИ НИТПУ, г.Юрга)*

Сапрыкина Н.А. – 652055, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26,
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
e-mail: nat_anat_sapr@mail.ru

Приведены результаты экспериментальных исследований влияния условий послойного лазерного спекания на качество спеченного поверхностного слоя из кобальтхроммолибденового порошкового материала DSK-F75.

Ключевые слова: послойное лазерное спекание, режимы спекания, качество спеченного поверхностного слоя.

В настоящее время перспективным направлением для создания функциональных изделий является метод послойного лазерного спекания, позволяющий создавать изделия из различных порошковых материалов любой формы и заданной точности на основе 3D CAD-модели без предварительных затрат на подготовку средств технологического оснащения. Для выполнения своего функционального назначения спеченное изделие должно обладать необходимым качеством. Основными показателями качества являются: точность, долговечность, физико-механические свойства, состояние поверхностного слоя. Прогнозирование этих показателей на протяжении всех этапов создания изделия является сложной и актуальной задачей [1].

Одной из проблем обеспечения качества поверхностного слоя является наличие напряжений в спеченном единичном слое, которые препятствуют равномерному нанесению следующего слоя порошкового материала и искажают форму изделия [2].

Для решения этой проблемы изучалось изменение уровня деформаций и толщины спекания в зависимости от технологических режимов: скорости перемещения луча лазера V , мощности лазера P , шага сканирования S и температуры подогрева порошкового материала t [3]. Исследования проводились по спеканию кобальтхроммолибденовой композиции DSK-F75 с помощью созданной экспериментальной установки. Данный порошок имеет температуру плавления $1350-1450\text{ C}^0$, номинальный размер частиц $0,1\text{ м.м.}$ В процессе эксперимента были получены образцы спеченного единичного слоя длиной 20 м.м. , шириной 10 и 5 м.м. Области технологических режимов послойного лазерного спекания были определены в результате поисковых

экспериментов. Для получения образца из порошка DSK-F75, обладающего некоторой механической прочностью рациональными режимами являются: $P=(10-20)$ Вт, $V=(100-300)$ мм/мин, $S=(0,1-0,15)$ мм, $t=(26-200)C^0$. Анализ геометрического состояния спеченной поверхности проводился по специально разработанной методике с применением инструментального цифрового микроскопа [4].

На рисунках 1-3 показано влияние мощности лазерного излучения на качество спеченного поверхностного слоя. Изменение мощности с 10 до 20 Вт, при постоянных значениях скорости $V=300$ мм/мин, температуры подогрева порошкового материала $t=26$ °С и шага сканирования $S=0,1$ мм приводит к увеличению шероховатости спеченного поверхностного слоя с 425 до 625 мкм, диаметру коагулированных частиц с 175 до 325 мкм и толщине спеченного слоя с 0,65 до 1,0 мм, рисунок 1.



а – $P=10$ Вт, б – $P=20$ Вт

Рис. 1. Внешний вид спеченной поверхности DSK-F75 (x2), режимы спекания $V=300$ мм/мин, $t=26$ °С, $S=0,1$ мм

При увеличении мощности с 10 до 20 Вт и шаге сканирования до $S=0,15$ мм при $V=300$ мм/мин, $t=26$ °С, толщина спеченного слоя увеличивается с 0,4 до 0,6 мм, Rz с 300 до 570, рисунок 2. Образец, представленный на рисунке 2, а имеет низкую механическую прочность и рассыпается от прикосновения.



а – $P=10$ Вт, б – $P=20$ Вт

Рис. 2. Внешний вид спеченной поверхности DSK-F75 (x2), режимы спекания $V=300$ мм/мин, $t=26$ °С, $S=0,15$ мм.

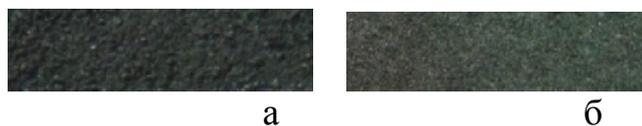
Увеличение мощности с 10 до 20 Вт, при $V=300$ мм/мин, $t=200$ °С, $S=0,15$ мм приводит к увеличению Rz с 280 до 540 мкм, толщины слоя с 0,65 до 1,2 мм, рисунок 3. Образцы обладают низкой механической прочностью.



а – $P=10$ Вт, б – $P=20$ Вт

Рис. 3. Внешний вид спеченной поверхности DSK-F75 (x2), режимы спекания $V=300$ мм/мин, $t=200$ °С, $S=0,15$ мм.

На рисунках 4-7 представлены фотографии изменения внешнего вида спеченной поверхности DSK-F75 в зависимости от скорости перемещения луча лазера. Увеличение скорости перемещения луча лазера со 100 до 300 мм/мин, при $P=10$ Вт, $t=26$ °С, $S=0,1$ мм привело к уменьшению шероховатости поверхности с 560 до 425 мкм и толщины спеченного слоя с 0,88 до 0,65 мм, рисунок 4.



а – $V=100$ мм/мин, б – $V=300$ мм/мин

Рис. 4. Внешний вид спеченной поверхности DSK-F75 (x2), режимы спекания $P=10$ Вт, $t=26$ °С, $S=0,1$ мм

На рисунке 5 увеличение скорости со 100 до 300 мм/мин, при $P=20$ Вт, $t=26$ °С, $S=0,1$ мм приводит к уменьшению толщины спеченного слоя с 1,27 до 1,0 мм, шероховатости Rz с 850 до 625 мкм.



а – $V=100$ мм/мин, б – $V=300$ мм/мин

Рис. 5. Внешний вид спеченной поверхности DSK-F75 (x2), режимы спекания $P=20$ Вт, $t=26$ °С, $S=0,1$ мм

Увеличение скорости, рисунок 6, со 100 до 300 мм/мин при $P=20$ Вт, $t=26$ °С, $S=0,1$ мм приводит к уменьшению шероховатости Rz с 850 до 625 мкм, толщина спеченного слоя Z изменяется с 1,27 до 1,0 мм.



а – $V=100$ мм/мин, б – $V=300$ мм/мин

Рис. 6. Внешний вид спеченной поверхности DSK-F75 (x2), режимы спекания $P=10$ Вт, $t=26$ °С, $S=0,15$ мм

При изменении скорости с 100 до 300 мм/мин, рисунок 7 при $P=20$ Вт, $t=26$ °С, $S=0,15$ мм диаметр коагулированных частиц уменьшается с 600 до 375 мкм, Rz с 625 до 570, толщина слоя с 0,9 до 0,6 мм.



а – $V=100$ мм/мин, б – $V=300$ мм/мин

Рис. 7. Внешний вид спеченной поверхности DSK-F75 (x2), режимы спекания $P=20$ Вт, $t=26$ °С, $S=0,15$ мм

Сравнение образцов показывает, что увеличение скорости перемещения луча лазера приводит к уменьшению коагуляции, шероховатости и толщины спеченного слоя. На всех режимах спекания образцы получались без дефектов.

На рисунках 8-9 представлено сравнение внешнего вида спеченной поверхности DSK-F75 при изменении шага сканирования.

Увеличении шага сканирования с 0,1 до 0,15 мм, при режимах спекания $P=10$ Вт, $t=26$ °С, $V=300$ мм/мин, на рисунке 8 приводит к уменьшению шероховатости поверхности с 425 до 300 мкм, толщины спеченного слоя с 0,65 до 0,4 мм, диаметра коагулированных частиц со 175 до 150 мкм.



а – $S=0,1$ мм, б – $S=0,15$ мм

Рис. 8. Внешний вид спеченной поверхности DSK-F75 (x2), режимы спекания $P=10$ Вт, $t=26$ °С, $V=300$ мм/мин

У образцов, полученных на режимах спекания $P=20$ Вт, $t=26$ °С, $V=300$ мм/мин изменение шага сканирования с 0,1 до 0,15 мм, рисунок 9 приводит к увеличению толщины спеченного слоя с 1,0 до 0,6 мм, уменьшению шероховатости Rz с 625 до 570 мкм и диаметра коагулированных частиц с 375 до 325 мкм.



а – $S=0,1$ мм, б – $S=0,15$ мм

Рис. 9. Внешний вид спеченной поверхности DSK-F75 (x2), режимы спекания $P=20$ Вт, $t=26$ °С, $V=300$ мм/мин

Увеличение шага сканирования при сравнении образцов, спеченной кобальтхроммолибденовой композиции, приводит к уменьшению коагуляции, шероховатости и толщины спеченного слоя. Образцы получались без дефектов.

На рисунке 10 представлено сравнение внешнего вида спеченной поверхности DSK-F75 по температуре подогрева порошкового материала. Увеличение температуры подогрева порошкового материала с 26 до 200 °С, при режимах $P=10$ Вт, $S=0,15$ мм, $V=300$ мм/мин, приводит к уменьшению шероховатости поверхности с 300 до 280 мкм, увеличению толщины спеченного слоя с 0,4 до 0,65 мм, уменьшению диаметра коагулированных частиц со 150 до 115 мкм.



а – $t=26$ °С, б – $t=200$ °С

Рис. 10. Внешний вид спеченной поверхности DSK-F75 (x2), режимы спекания $P=10$ Вт, $S=0,15$ мм, $V=300$ мм/мин

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о значительном влиянии мощности на качество спеченного поверхностного слоя. При

неправильном назначении мощности образцы либо рассыпаются от прикосновения, либо деформируются, или происходит возгорание порошка и процесс выходит из-под контроля. Также значительным является влияние скорости перемещения луча лазера на качество поверхностного слоя. Увеличение скорости приводит к уменьшению толщины и шероховатости спеченного слоя, в некоторых случаях она недостаточна для формирования поверхности. Снижение скорости иногда приводит к горению порошкового материала, возникновению дефектов. Не так значительно влияет на качество спеченного поверхностного слоя шаг сканирования. При спекании кобальтхроммолибденовой композиции увеличение шага сканирования приводит к уменьшению толщины спеченного слоя, Rz и диаметру коагулированных частиц. Изменение температуры подогрева порошкового материала позволяет незначительно увеличить толщину спеченного слоя, уменьшить диаметр коагулированных частиц и шероховатость, улучшить прочностные характеристики.

Список литературы

1. Отто А. Объединение лазерной обработки материалов с процессом формообразования // Фотоника. – 2007. – № 5. – С. 2 – 6.
2. Панченко В.Я. Лазерные технологии обработки материалов: современные проблемы фундаментальных исследований и прикладных разработок, монография. – М.: Физматлит, 2009. – 664 с.
3. Saprykin A. A., Saprykina N. A. Improvement of surface layer formation technology for articles produced by layer-by-layer laser sintering // Applied Mechanics and Materials. – 2013. – Vol. 379. – P. 56 – 59.
4. Сапрыкина Н. А., Сапрыкин А. А., Шигаев Д. А. Исследование факторов, влияющих на качество поверхности, полученной лазерным спеканием // Обработка металлов. – 2011. – № 4. – С. 78–82.

Influence of conditions of layer-by-layer laser on quality of surface layer sintered kobalchkhrommolibdenovy powder

A.A. Saprykin, N.A. Saprykina

The results of experimental studies of the effect of layered laser sintering conditions on the quality of the surface layer of the sintered powder material kobalthrommolibdenovogo DSK-F75.

Key words: layering laser sintering, the sintering conditions, the quality of the sintered surface layer.

УДК 621.9.06:518.4

СТРАТЕГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ СПЕЧЕННОГО СЛОЯ ПРИ СИНТЕЗЕ ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ SLS

*Н.Ф. САУШКИНА, студентка,
Е. А. ИБРАГИМОВ, ст. преподаватель,
А.А. САПРЫКИН, к.т.н., зав. каф.
(ЮТИ ТПУ г. Юрга)*

Саушкина Н.Ф. – 652050, Кемеровская область, г.Юрга, ул. Ленинградская, 26.
Юргинский технологический институт
Национального исследовательского Томского политехнического университета
e-mail: saushkinan@list.ru

В данной работе представлены экспериментальные данные, показывающие влияние стратегии формирования спеченного слоя при синтезе изделия методом SLS.

Ключевые слова: селективное лазерное спекание, стратегия, металлический порошок.

1. Введение

В последнее время в мире проводятся интенсивные опытно-конструкторские и научно-исследовательские работы по созданию технологических методик и систем послойного лазерного синтеза объемных изделий деталей машин [1]. Данные системы позволяют резко ускорить и удешевить процесс внедрения новой техники на всех этапах от конструирования и проектирования изделия до создания его первоначального макета в натуральную величину.

2. Теория

На сегодняшний день существует большое разнообразие методов спекания металлических порошков.

Селективное лазерное спекание (англ. Selective Laser Sintering, SLS) [3] – метод 3D печати, разработанный в 1986 году Карлом Декартом. Принцип создания моделей в SLS машине напоминает стереолитографию (Steriolithography Apparatus, SLA) [2] – с той лишь разницей, что в качестве исходного сырья используется не жидкий фотополимер, а порошкообразный термопластичный материал, который послойно спекается с помощью луча лазера.

Технология послойного построения в SLS предполагает использование лазерного излучения высокой мощности (например, CO₂-лазер) для того, чтобы расплавлять небольшие частицы металла или пластика (прямое лазерное спекание металла), керамические или стеклянные порошки в массу, которая приобретает желаемую трехмерную форму.

Лазер избирательно спекает порошкообразный материал путем сканирования поверхности порошка и последовательной сверки его с генерируемой в памяти компьютера 3D моделью детали (например, файлов CAD или сканированных данных в другом формате). После того как сечение детали закончено, емкость с порошком погружается на один слой ниже и процесс повторяется [3].

В отличие от некоторых других технологий таких, как стереолитография (SLA) и моделирования посредством наплавления (FDM – Fused Deposition Modeling), SLS не требует поддерживающих структур. Это связано, прежде всего, с тем фактом, что печать ведется в окружении порошка.

Некоторые машины SLS используют однокомпонентный порошок, например, машины, использующие технологию прямого лазерного спекания металла. Однако большинство SLS машин используют двухкомпонентные порошки, как правило, либо порошок с покрытием (coated powder) или либо порошок-смесь. В однокомпонентных порошках лазеры расплавляют только внешнюю поверхность частиц (поверхностное плавление), по сути, частицы сплавляются одна с другой.

По сравнению с другими методами производства, SLS может изготавливать детали из широкого диапазона доступных в продаже порошков. Физически процесс может быть представлен в виде полного плавления, частичного плавления, или жидкофазного и твердофазного спекания.

В зависимости от материала, при изготовлении деталей может быть достигнуто до 100% плотности [2], что соответствует монолитному вплавлению деталей традиционными способами.

Существенным недостатком SLS машин можно назвать большое время подготовки к работе, требуемое для нагревания порошка и стабилизации температуры. Разрешение печати меньше, чем при использовании SLA (минимальная толщина слоя – 0,1-0,15 мм), зато скорость в несколько раз выше (до 35 мм/час).

На конечное качество получаемого изделия помимо пористости и теплофизических свойств порошковых материалов, существенное влияние оказывают несколько управляемых технологических параметров, а именно: скорость сканирования, мощность лазерного излучения, шаг сканирования, предварительная температура подогрева порошка. Характер их влияния приведен в работе [5].

Помимо указанных выше технологических параметров спекания необходимо так же учитывать еще один фактор – стратегию спекания. Так в работе [6] приведены примеры влияния расположения модели в пространстве относительно направления движения устройства засыпки и выравнивания порошка. На рисунке1 представлены фотографии образцов выполненных из нержавеющей стали. Образец 1А ориентирован относительно движения под углом 90°, образец 1В под углом 45°. На верхней поверхности (рис.1, слева)

образца 1А наблюдается разрушение и деформация тонких элементов, на поверхности образца 1В таких отклонений не обнаружено. Разрушения на нижних поверхностях образцов (рис.1, справа) разрушения возникли в момент отделения образцов от подложки.

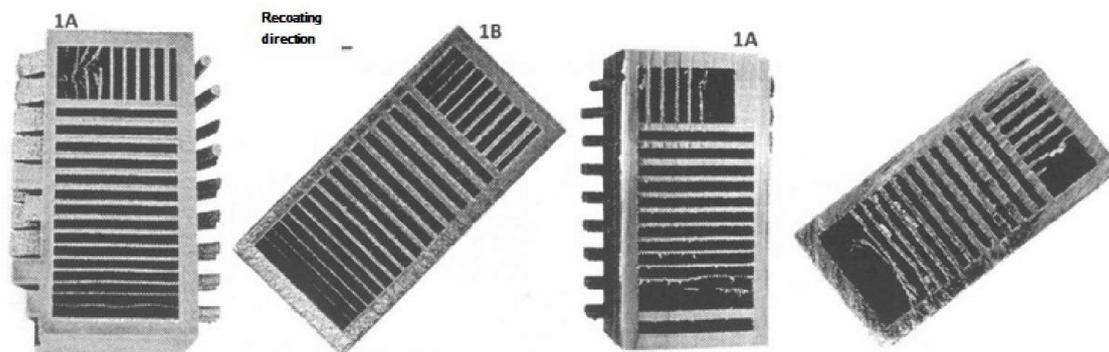


Рис.1. Вид сверху и снизу испытательных образцов 1А и 1В

В ЮТИ ТПУ проводятся эксперименты по изучению влияния стратегии сканирования лазерным лучом при формировании единичного слоя на качество получаемого образца.

Экспериментальные исследования проводились на установке послойного лазерного спекания оригинальной конструкции «ВАРИСКАФ-100», позволяющей регулировать все технологические параметры спекания. Установка, представляет собой технологический лазерный комплекс формирования поверхностей деталей сложной пространственной формы.

В качестве материала был выбран порошок медный стабилизированный ПМС-1 (ГОСТ 4960-75), который применяется в порошковой металлургии для изготовления спеченных изделий: колец, втулок и т.д., а также в приборостроении.

Изготавливались образцы в форме куба со сторонами 10мм. Технологический режим спекания образцов задавался следующими параметрами: мощность лазера – 15 Вт; скорость сканирования – 1000 мм/мин.; шаг сканирования (x, y, z) – 0,1 мм; температура порошка 27 °С. В качестве подложки использовалась стальная пластина. Стратегия сканирования лазерным лучом спекаемого слоя представлена на рисунке 3.

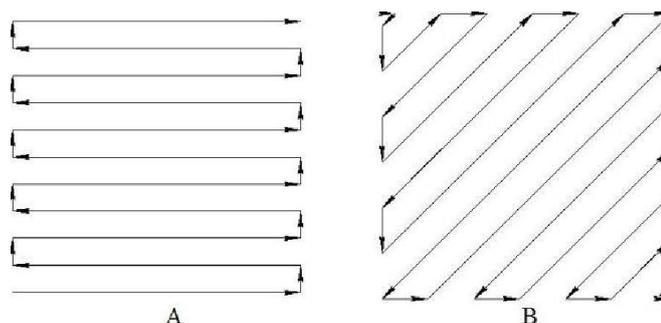


Рис. 3. Стратегия сканирования образцов А и В

При спекании последующего слоя стратегию сканирования поворачивали на 90° относительно предыдущей.

3. Результаты и обсуждения

Результаты эксперимента представлены на рисунке 4.

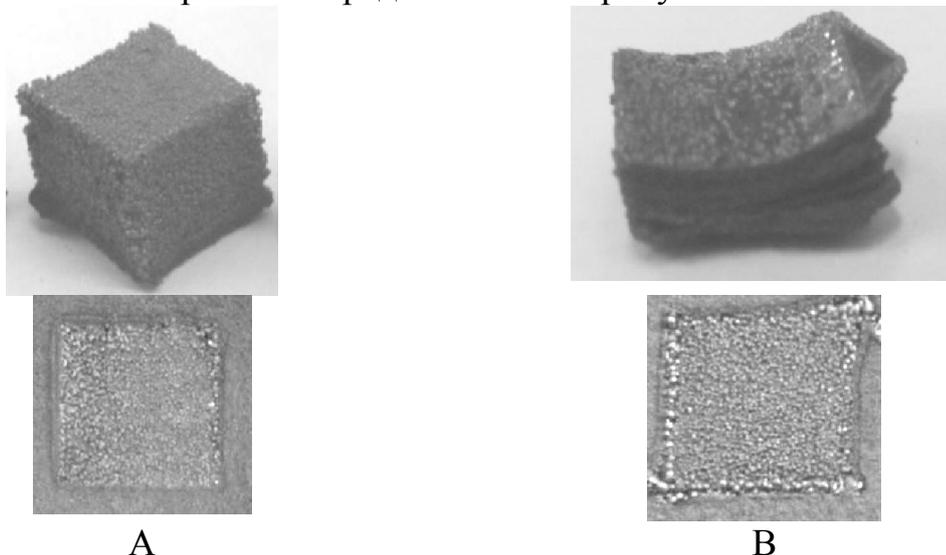


Рис. 4. Результаты экспериментов А и В:
вверху – общий вид готовых образцов, внизу – слои в процессе спекания

Анализируя полученные результаты можно отметить следующее. Полученный образец А имеет правильную геометрическую форму. В процессе спекания, полученные слои имели незначительную пористость, очертания слоя имеют правильную форму квадрата. В процессе спекания слоев по стратегии В наблюдалась значительная концентрация тепловой энергии в углах спекаемого слоя. Это в свою очередь привело к деформированию спеченного слоя. Слой приобрел ромбовидную форму. Также при толщине образца 3 мм (30 слоев) произошла его деформация с последующим отрывом от подложки (рис. 4. В). На данном этапе, в виду невозможности нанесения последующих слоев, эксперимент пришлось остановить.

4. Вывод

Результаты эксперимента показывают значительное влияние стратегии спекания образцов на конечный результат. Значительная концентрация тепла в локальной зоне может привести к деформации как поперечного слоя, так и всего образца в целом. Подобные тепловые условия могут возникать при создании деталей сложной формы с острыми углами в поперечных слоях, либо тонкостенных элементах. Данный факт необходимо принимать во внимание еще на стадии проектирования 3D-модели и последующей разработке управляющей программы для SLS машины.

Список литературы

1. Обзор технологий 3D печати: [Электронный ресурс]. URL: <http://www.orgprint.com/ru/wiki/obzor-tehnologij-3D-pechati> (Дата обращения: 11.01.2014).
2. Селективное лазерное спекание (SelectiveLaserSintering-SLS): [Электронный ресурс]. URL: <http://3dp.su/selektivnoe-lazernoe-spekanie-selective-laser-sintering-sls>(Дата обращения: 15.01.2014).
3. Galenko p. K., Danilov D. A. Local nonequilibrium effect on rapid dendritic growth in a binary alloy melt // Phys. Lett. A. – 1997. – V. 235. – P. 271–280.
4. Кривилев М. Д., Харанжевский Е. В., Гордеев Г. А., Анкудинов В. Е. Управление лазерным спеканием металлических порошковых смесей / Управление большими системами. Выпуск 31. М.: ИПУ РАН, 2010. С.299–322.
5. Сапрыкин А.А., Сапрыкина Н.А. Режимы формирования поверхности прототипа, изготовленного методом послойного селективного лазерного спекания // Инновации в машиностроении: материалы I Международной научно-практической конференции 7-9 октября 2010. – Бийск, 2010. – С. 58-60.
6. Matilainen, H.Piili, A. Salminen, O. Nyrhila Benchmark study of laser additive manufacturing of stainless steel V // Beam Technologies and Laser Application: Proceedings of the seven international scientific and technical conference. SPb.: Publishing house SPbSPU, 2013. p. 466.
7. Шишковский И. В.Селективное лазерное спекание и синтез функциональных структур/: диссертация ... доктора физико-математических наук : 01.04.17.– Самара, 2005.– 390 с.: ил. РГБ ОД, 71 06-1/76.

Strategy of formation of sintered layer in the synthesis products by a method SLS

N.F. Saushkina, A.A .Saprykin, E.A. Ibragimov

This paper presents experimental data showing the effects of the strategy of forming a sintered layer in the synthesis of products of the SLS method.

Key words: Selective laser sintering, the strategy, the metal powder.

УДК 621.7

ВЛИЯНИЕ ДОПУСКА ВЫСОТЫ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ДЕФОРМИРУЕМОЙ ВТУЛКИ НА ПРОЧНОСТЬ ТРЕХЭЛЕМЕНТНОГО ПРЕССОВОГО СОЕДИНЕНИЯ

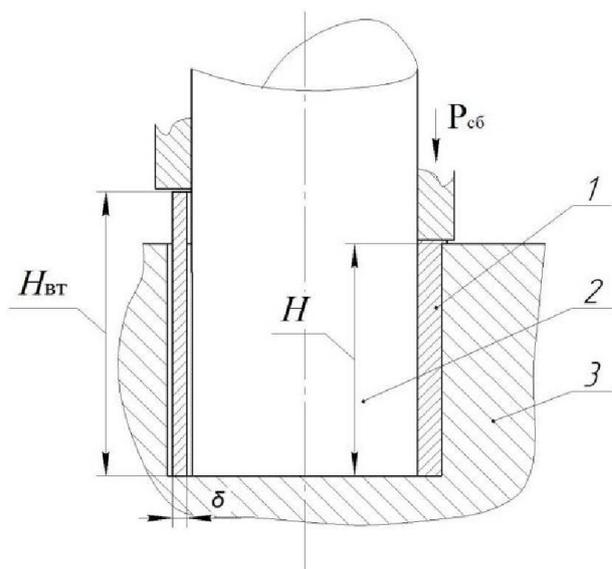
А.А. ДЕМИН, инженер,
И.А. ТИТОВ к.т.н., доцент,
(БТИ (филиал) АлтГТУ, г. Бийск)

Демин А. А. – 659307, г. Бийск, ул. Трофимова 27,
Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО АлтГТУ,
e-mail: presskov@mail.ru

Представлены результаты численных экспериментов, определяющие зависимость несущей способности трехэлементных прессовых соединений от точности изготовления промежуточной деформируемой втулки.

Ключевые слова: точность, прессовые соединения, напряжения.

Использование при сборке трехэлементных прессовых соединений (Рис. 1) позволяет снизить себестоимость, поскольку детали соединения изготавливаются с повышенными допусками. В работе [1] представлены результаты исследований влияния точности диаметральных размеров деталей в на несущую способность соединений. Однако, в процессе производства отклонения получают не только диаметральные но и продольные размеры элементов соединения, наиболее значимым из которых является размер $H_{вт}$, определяющий высоту промежуточной деформируемой втулки (рис. 1).



1 – промежуточная деформируемая втулка;
2 – охватываемая деталь; 3 – охватывающая деталь.

Рис. 1. Схема сборки трехэлементного
прессового соединения

В зависимости от требуемой точности высоты втулки $H_{вт}$ используют различные варианты технологического процесса ее изготовления. При этом трудоемкость технологического процесса может изменяться в несколько раз.

С целью удешевления производства и снижения трудоемкости необходимо определить максимальные допуски на изготовление

втулки, в пределах которых соединение будет обеспечивать требуемую несущую способность узла.

Для определения оптимальной величины допуска были проведены численные эксперименты процесса сборки трехэлементных прессовых соединений, имеющих отклонения высоты промежуточной деформируемой втулки по верхней границе квалитетов точности и полей допусков $H14$ (рис. 2б), $H16$ (рис. 2в) и $H18$ (рис. 2г) и номинальным размером втулки (рис. 2а). При этом номинальный размер $H_{вт}$ определялся по предложенной ранее эмпирической зависимости [2]:

$$H_{вт} = 2,5\delta + H,$$

где H – длина контактной поверхности при запрессовке; δ – номинальная толщина стенки промежуточной втулки.

Также при конечно-элементном моделировании было учтено неравномерное распределение механических свойств деформируемой втулки по ее высоте. Численно это было реализовано ступенчатым изменением свойств материала с помощью разбиения втулки на области, в пределах каждой из которых сохранялось постоянство механических свойств ее материала.

Как показали численные исследования наиболее равномерный характер распределения напряжений (рис. 2) по элементам соединения и наибольшую несущую способность (рис. 3) имеют соединения, полученные при использовании промежуточной втулки с номинальной высотой. С увеличением отклонения высоты втулки (рис. 2) в верхней части охватываемой детали появляются повышенные напряжения, при этом на поверхности охватываемой детали контактные радиальные напряжения снижены.

В результате этого несущая способность соединения снижается на 20-25% на границе 18-го квалитета, однако при меньших величинах отклонений, например соответствующим верхней границе 14-го квалитета точности, изменения несущей способности равные 15-17% можно считать незначительным, а соединение работоспособным.

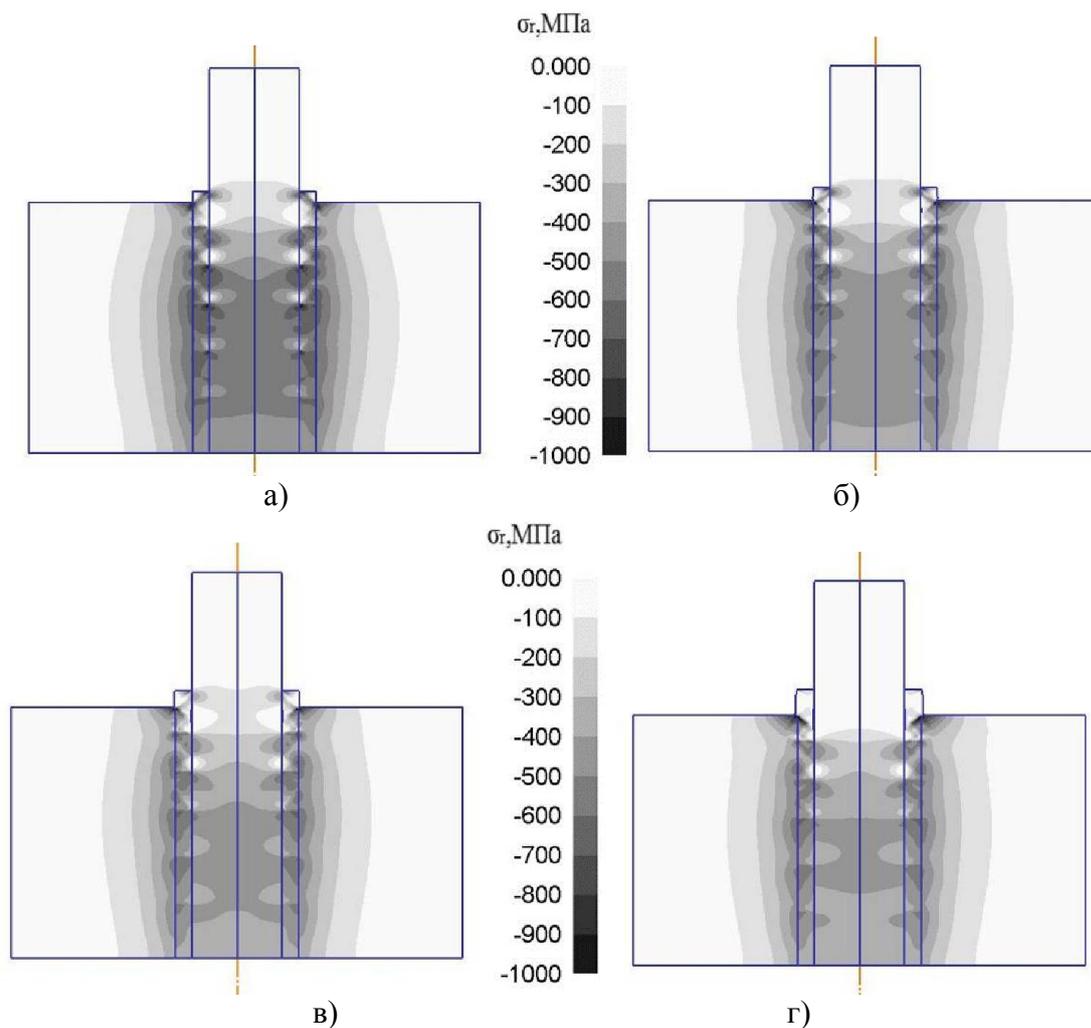
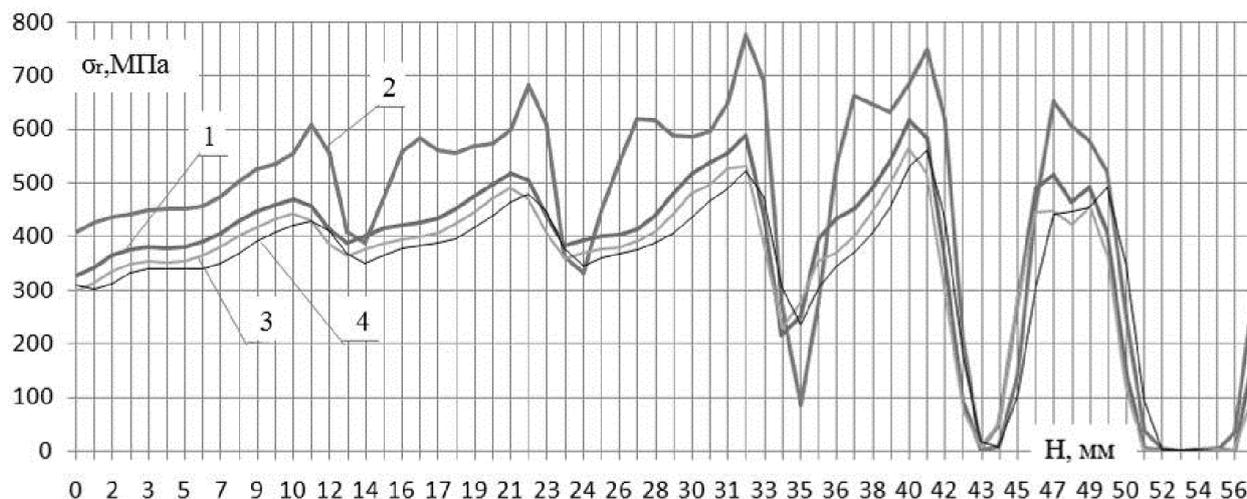


Рис. 2. Характер распределения радиальных напряжений



1 – промежуточная втулка имеет номинальную высоту; 2 – промежуточная втулка имеет высоту по крайней границе $H14$; 3 – промежуточная втулка имеет высоту по крайней границе $H16$; 4 – промежуточная втулка имеет высоту по крайней границе $H18$.

Рис. 3. Распределение радиальных контактных напряжений на поверхности охватываемой детали

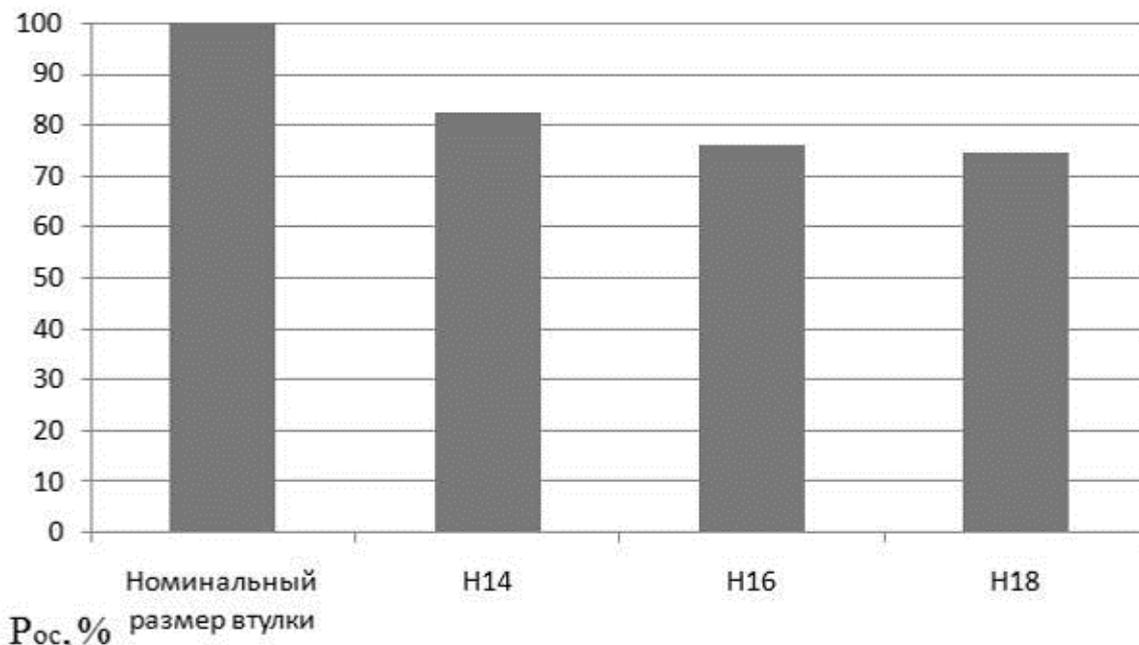


Рис. 4. Несущая способность соединений P_{oc} в зависимости от допуска высоты промежуточной втулки

Результаты численных расчетов для прессового соединения высотой и диаметром представлены на рис. 3. Нулевое значение высоты соответствует нижнему торцу прессового соединения. Как следует из графиков, наибольшие контактные напряжения возникают в центре высоты соединения. Ближе к верхнему краю соединения происходит существенное снижение контактных напряжений. Это объясняется краевым эффектом, возникающим за счет того, что промежуточная втулка в начале процесса деформирования приобретает бочкообразную форму и не успевает заполнить в процессе дальнейшей деформации зазор в верхней части соединения. Тем не менее обеспечивается высокая несущая способность соединения, так как краевой эффект проявляется только на небольшой (10-20%) высоте соединения.

Полученный при моделировании характер распределения контактных напряжений показывает, что независимо от отклонения размеров высоты втулки, предлагаемый способ сборки обеспечивает практически стабильную несущую способность соединения. Широкий диапазон допусков на высоту промежуточной деформируемой втулки позволяет снизить технологические затраты на изготовление деталей соединения.

Список литературы

1. Патент на изобретение 2481938 Российская Федерация Прессовое соединение охватываемой втулки с охватывающей корпусной деталью / Демин А. А., Титов И. А. // Бюл. – 2013. – №14.
2. Демин А. А., Титов И. А. Определение припуска высоты втулки при сборке трехэлементных прессовых соединений // Современная техника и

технологии: проблемы, состояние и перспективы: Материалы III Всероссийской научно-технической конференции 18-19 декабря 2013 г. / Под ред. к.т.н., доцента Н. И. Черкасовой / Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, – 2013. – С. 76–79.

3. Демин А. А., Титов И. А. Сборка прессовых соединений с применением промежуточных деформируемых втулок // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2013. – №11. – С. 6–12.

Influence of height tolerance sleeve strength of the three-forging connections

A.A. Demin, I.A. Titov

The results of numerical experiments which determine the dependence of bearing capacity of three-element compounds from pressing precision manufacturing intermediate deformable sleeve.

Key words: accuracy, press-fit connection, stress.

УДК 621.7

**ПОСЛОЙНОЕ ЛАЗЕРНОЕ СПЕКАНИЕ МЕДНОГО ПОРОШКА,
ОБЛУЧЕННОГО ГАММА-КВАНТАМИ Co^{60}**

*А. В. ГРАДОБОЕВ, д.т.н., профессор
А.А. САПРЫКИН, к.т.н.,
Е.В. БАБАКОВА, аспирант,
Е. А. ИБРАГИМОВ, ст. преподаватель,
(ЮТИ НИ ТПУ, г. Юрга)*

Бабакова Е.В. – 652055, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26,
Юргинский технологический институт (филиал)
Национального исследовательского Томского политехнического университета
тел. (38451)-6-26-83, E-mail: babakova@tpu.ru

Проведены исследования, описывающие влияние гамма-излучения радиоактивного изотопа Co^{60} на медный порошок, а так же на характер его спекания послойным лазерным синтезом. Выявлены изменения структуры и свойств порошка, что в целом влияет на процесс послойного лазерного спекания изделия.

Ключевые слова: эффект коагуляции, активация, гамма-излучения радиоактивного изотопа Co^{60} , послойный лазерный синтез.

1. Введение

Металлические порошки широко используются во многих современных технологиях, а так же они нашли свое применение в виде наполнителей различных композитов. В последнее время в ряде случаев, проводят предварительную активацию металлических порошков, улучшая совместимость наполнителя и матрицы. Активация порошка может повлиять на изменение физико-химических свойств, тем самым изменяя свойства композита [1].

При изготовлении композитов на основе металлических порошков возникает проблема межграничного взаимодействия металл-металл. Это образовывается в результате низкой активности поверхности материала. Особенно это хорошо наблюдается при послойном лазерном спекании и проявляется в виде эффекта коагуляции. Решить данную проблему на сегодня можно применяя различные химические и механические способы активации [2].

Однако при механической активации медного порошка происходит его расплющивание, в виде чешуек, что недопустимо для послойного лазерного синтеза. Это явление оказывает существенное, часто негативное, влияние на физико-механические свойства получаемых материалов. Поэтому необходимо применить способ активации, который позволяет изменять структуру и свойства поверхности порошка, не меняя форму [3].

2. Методика экспериментального исследования

Одним из таких способов, который может быть использован для активации порошка, является обработка материалов ионизирующим излучением. Например, известно, что гамма-излучение снимает локальные механические напряжения, которые существуют в твердом теле, без образования дефектной структуры [4]. Активация поверхности порошка осуществлялась на гамма-установке «Исследователь» на изотопе Co^{60} , представленной на рисунке 1. Работа её основана на использовании гамма-излучения радиоактивного изотопа Co^{60} со средней энергией квантов около 1,25 МэВ. Установка представляет собой свинцовый контейнер, установленный на станине, диаметром около одного метра и высотой два метра. В центре контейнера находится облучатель в виде кассеты с источником излучения Co^{60} . Объём рабочей камеры равен примерно 4200 см^3 . Активация порошка осуществлялась дозами облучения от 10^4 до 10^6 Рад. Гамма-излучению подвергался порошок марки ПМС-1 (ГОСТ 4960-75).



Рис. 1. Гамма-установка «Исследователь» на изотопе Co^{60}

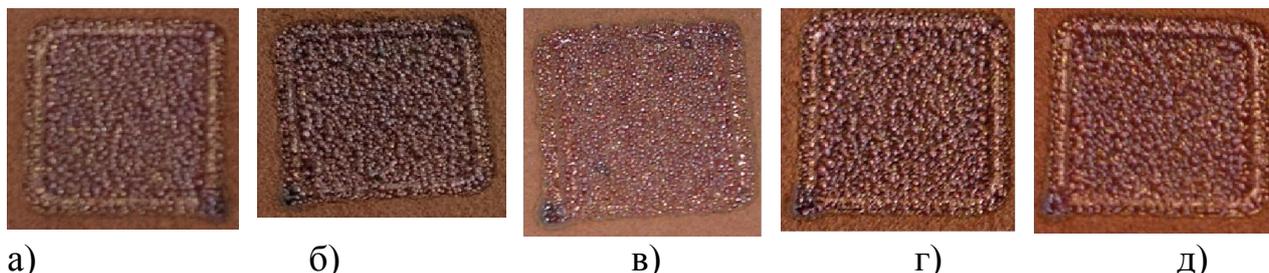
Экспериментальные исследования по спеканию активированного медного порошка проводились на установке послойного лазерного синтеза оригинальной конструкции. Установка, представляет собой технологический лазерный комплекс формирования поверхностей деталей сложной пространственной формы. Она состоит из иттербиевого волоконного лазера ЛК – 100 – В, трехкоординатного стола, персонального компьютера, системы ЧПУ, и специального программного обеспечения. Иттербиевый волоконный лазер с длиной волны 1070 нм позволяет регулировать мощность от 10 до 100 Вт.

Изготавливались образцы квадратной формой со сторонами 10 мм и толщиной 5 мм. Технологический режим спекания образцов задавался следующими параметрами: мощность лазера для порошка ПМС-1 составляла 15 и 30 Вт; скорость сканирования менялась в диапазоне 2000–3000 мм/мин.; шаг сканирования (x, y, z) 0,2 мм; начальная температура порошка 27 °С. Все образцы порошка спекались в защитной среде газа Ar. В качестве подложки использовалась стальная пластина.

3. Результаты и обсуждение

В результате предварительной активации значительного изменение насыпной плотности порошка меди не наблюдается.

При спекании образцов из предварительно активированных порошков, которые показаны на рисунках 2 и 3, значительные изменения наблюдались у порошка ПМС-1 при дозе гамма-облучения 10^5 Рад, а именно пористость спеченных образцов понижалась. При дозе гамма-облучения, равной 10^4 Рад значительных изменений в спеченных образцах, по сравнению с необлученными, не наблюдалось. Все образцы получились очень хрупкими и крошились при малейшем воздействии на них.



а) б) в) г) д)
Рис. 2. Спеченные образцы при мощности лазера 15 Вт, $V = 2000$ мм/мин
а) необлучен., б) гамма-облучение 10^4 Рад, в) гамма-облучение 10^5 Рад, г) гамма-облучение $5,7 \cdot 10^6$ Рад, д) гамма-облучение 10^6 Рад

Вследствие того, что активация происходила на воздухе, то увеличение поверхностной энергии приводит к активному взаимодействию поверхности частиц порошка с элементами воздушной среды, в частности, с кислородом. Подобные наблюдения можно встретить в работе [5]. Вероятно, снижение плотности спеченных образцов из меди с ростом дозы гамма-облучения связано с накоплением оксидов на поверхности частиц, что можно увидеть визуально (рис.3, г, д). В спеченных образцах, с увеличенным содержанием кислорода, наблюдается радужная окраска, что свидетельствует об окисленности порошка. Таким образом, предварительное гамма-облучение приводит к активации порошка, которая проявляется в диссоциации оксидов во время спекания.

Увеличение дозы облучения порошка (рис.2, г и рис.3, г) приводит к значительному уплотнению спеченных материалов. Известно, что поверхность порошка имеет разорванные связи, а гамма-облучение активизирует их. Можно

предположить, что у облученного порошка повышается избыточная энергия, что приводит к ускорению процесса спекания. Подобные наблюдения можно встретить в работе [6]. Следовательно, температура плавления облученного порошка превышает стандартную для этого порошка температуру плавления, что и приводит к процессу уплотнения порошка в спеченном образце.



а) б) в) г) д)
Рис. 3. Спеченные образцы при мощности лазера 30 Вт, $V = 3000$ мм/мин
а) необлучен., б) гамма-облучение 10^4 Рад, в) гамма-облучение 10^5 Рад, г)
гамма-облучение $5,7 \cdot 10^6$ Рад, д) гамма-облучение 10^6 Рад

4. Выводы

Доза гамма-облучения порошка меди равная $5,7 \cdot 10^6$ Р, значительно изменяет физико-химические свойства порошка, что подтверждается возникновением окисленности и уплотнению спеченного образца.

Проведенные исследования показали, что активация поверхности порошка гамма-излучением радиоактивного изотопа Co^{60} приводит к изменению свойств поверхности спеченного образца: уплотнение спеченных материалов, увеличение содержания кислорода в порошке, что свидетельствует об активации поверхности порошка.

Необходимо продолжить исследования по активации порошка меди облучением гамма-квантами в выявленной области доз, при этом необходимо дополнительно разработать систему защиты порошка от воздействия среды с повышенным содержанием озона на порошок в процессе облучения.

Список литературы

1. Полубояров В.А. Влияние механической активации металлических порошков на их реакционную способность и свойства плазменных покрытий / В.А Полубояров, А.Е Лапин, З.А. Коротаева, А.Н. Черепанов, О.П. Солоненко, Н.С. Коботаева, Е.Е. Сироткина, М.А. Корчагин // Химия в интересах устойчивого развития. – 2002. – Т. 10. – № 1-2. – С. 219-225.

2. S. Filipović. Influence of Mechanical Activation on Microstructure and Crystal Structure of Sintered MgO-TiO₂ System / S. Filipović, N. Obradović, V. B. Pavlović, S. Marković, M. Mitrić, M. M. Ristić // Science of Sintering. – 2010. – vol. 42. – S. 143-151.

3. Сапрыкина Н.А. Влияние механической активации металлических порошков на качество поверхностного слоя, полученного технологией послойного синтеза / Н.А. Сапрыкина, А.А. Сапрыкин, В.И. Яковлев // Обработка металлов. – 2012. – № 4. – С. 108–110.

4. Градобоев А.В. Облучение гамма-квантами Co^{60} светодиодов на основе гетероструктур AlGaInP с множественными квантовыми ямами / А.В. Градобоев, К.Н. Орлова, И.А. Асанов // Перспективные материалы. – 2013. – №7. – С.49-54.

5. Дорогина Г.А. Структура и физико-механические свойства спеченных материалов системы Fe-Si, полученных из механически активированных на воздухе порошков / Г.А. Дорогина, Э.С. Горкунов, Ю.В. Субачев, С.М.Задворкин, И.А.Кузнецов, Е.А.Туева, А.В.Долматов // Физика и химия обработки материалов. – 2011. – № 5. – С. 56-62.

6. Ильин А. П. Развитие электровзрывной технологии получения нанопорошков в НИИ высоких напряжений при Томском политехническом университете // Известия Томского политехнического университета. – 2003. – Т. 306. – № 1. – С. 133-139.

Layer-by-layer laser sintering of copper powder irradiated by gamma quanta Co^{60}

A. V. Gradoboev, A.A. Saprykin, E.V. Babakova, E. A. Ibragimov

The research describing the influence of gamma radiation of radioactive isotope Co^{60} on copper powder, as well as on the nature of its sintering by layer-by-layer synthesis. The changes of the structure and properties of the powder are revealed generally affecting the process of layer-by-layer laser sintering of products.

Key words: coagulation effect, activation, gamma radiation of a radioactive isotope of Co^{60} , layer-by-layer laser synthesis.

УДК 621.9 (0.45)

ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ НА ТОЧНОСТЬ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ БАЗОВЫХ ОТВЕРСТИЙ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

А.М. ФИРСОВ, зав. кафедрой, к.т.н., доцент

В.А. КАЛИСТРУ, аспирант

И.В. ТРАПЕЕВ, студент

В. Н. ДРОБЫШЕВ, студент

(БТИ АлтГТУ, г. Бийск)

Фирсов А.М. – 659305, г. Бийск, ул. Трофимова, 27
Бийский технологический институт ФГБОУ ВПО АлтГТУ,
e-mail: mrsi@bti.secna.ru

В данной работе рассматривается проблема влияния температурных деформаций на точность размеров при обработке отверстий тонкостенных цилиндрических нежестких деталей с переменной толщиной стенок на примере корпуса цилиндра двухтактного двигателя. Исследования проведены путем компьютерного моделирования процесса тепловых деформаций в среде комплекса АРМ Fem интегрированного в Компас 3D

Ключевые слова: тепловая деформация, тонкостенные цилиндры, двухтактный двигатель.

Главными задачами, стоящими перед наукой и практикой резания в условиях современного производства, являются обеспечение высокого качества изделий, размерной однородности продукции и высокой экономичности процесса обработки. Решение каждой из этих задач в той или иной мере связано с изучением закономерностей теплофизики и путей управления тепловыми процессами при резании. Качество изделий, их надежность и долговечность зависят от напряжений, остающихся в поверхностных слоях после обработки. Напряжения, помимо других факторов, тесно связаны с температурным полем, возникающим в зоне резания и в изделии. При этом требования к точности постоянно возрастают. Тем самым обеспечение повышающихся требований возможно только при широком внедрении методов математического моделирования и использовании средств вычислительной техники [1].

В процессе обработки большая часть работы сил резания переходит в тепло. Теплота, образовавшаяся в процессе резания, действует на элементы технологической системы (ТС), часть ее рассеивается в окружающей среде. Другими источниками тепла являются электродвигатели, гидроаппаратура. Под действием теплоты в ТС происходят температурные деформации. Изменение размеров элементов ТС, являющихся составляющими звеньями размерной цепи ТС приводит к изменению замыкающего звена - размера детали. Таким образом, температурные факторы, действующие в процессе обработки, оказывают влияние не только на стойкость инструмента, но и на точность.

При обработке тонкостенных заготовок из-за ухудшенных условий отвода тепла происходят существенные температурные деформации. Величина температурных деформаций заготовки в некоторых случаях может составлять до 7 квалитета.

Тепловыми явлениями при резании необходимо управлять так, чтобы выделяющееся тепло облегчало процесс деформации и, вместе с тем, не снижало стойкость инструмента и точность обработки.

В качестве объекта исследования выбран корпус цилиндра двухтактного двигателя, так как эта деталь является сложной по конструкции и имеет разную толщину стенок. Базовое отверстие этой детали определяет ресурс корпуса, поэтому была поставлена задача провести исследования по влиянию тепловых деформаций на точность заготовки. Обработка базового отверстия детали двухтактного двигателя, является самым важным этапом в технологии изготовления данного цилиндра, так как в ее процессе формируются необходимые показатели качества поверхности. Ввиду тонкостенности заготовки и сложного профиля в продольном сечения детали, аналитические методы в данном случае неприемлемы, поэтому необходимо применять численные методы.

В настоящее время разработано достаточно много универсальных численных методов, которые применяются для решения дифференциальных уравнений в частных производных. Наиболее приемлемым для решения задачи определения теплового и напряженно-деформированного состояния цилиндра является метод конечных элементов (МКЭ). Основная идея МКЭ состоит в том, что любую непрерывную величину, такую, как температура, можно аппроксимировать дискретной моделью, которая строится на множестве кусочно-непрерывных функций, определенных на конечном числе подобластей (конечных элементов). Кусочно-непрерывные функции определяются с помощью значений непрерывной величины в конечном числе точек (узлов) рассматриваемой области [2].

Таким образом, на первом этапе исследования температурных полей в процессе обработки цилиндра рассматривалось распределение температуры на инструменте. Результаты исследования представлены в виде графика рисунок 1. Из данного графика видно, что при обработке цилиндра из алюминиевого сплава АЛ-2, максимальная температура на передней поверхности инструмента составляет 945 С°.

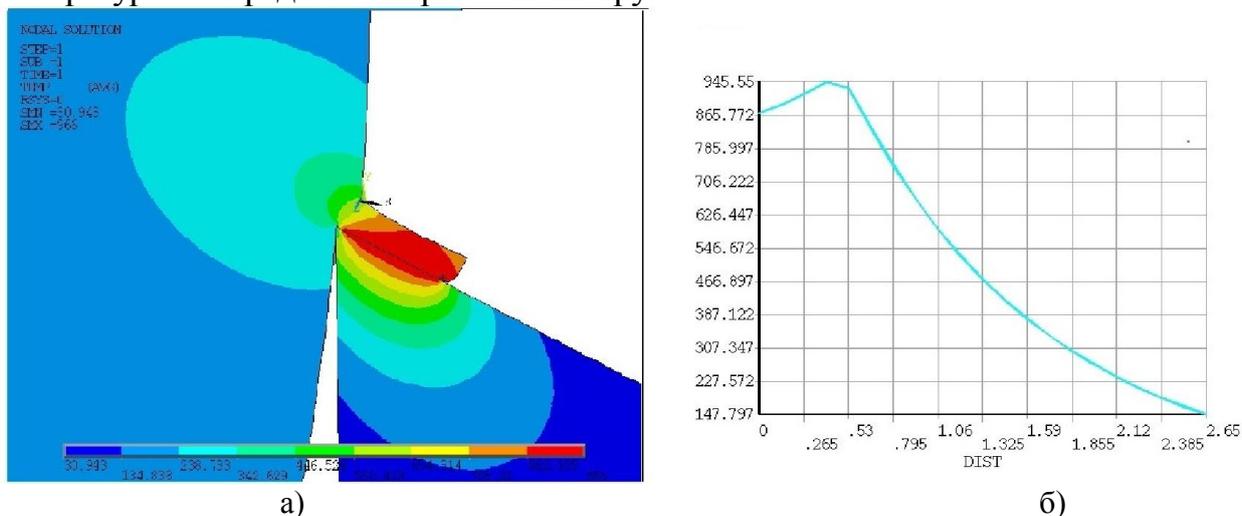


Рис. 1. Моделирование тепловых потоков в ANSYS: а) тепловые потоки в среде заготовка инструмент. б) график распределение температуры пор передней поверхности инструмента

На втором этапе проведен квазистатический деформационный расчет температурных деформаций заготовки. Для расчета использован комплекс APM Fem интегрированный в Компас 3D [3], в связи с его доступностью, относительной точностью и быстродействием. Для исследования построена 3D модель детали цилиндр бензопилы «Урал» в программе «Компас 3D», сгенерирована КЭ сетка с шагом 2,5 мм, шаг выбран в несколько раз меньше наименьшего размера элемента детали для более точного анализа.

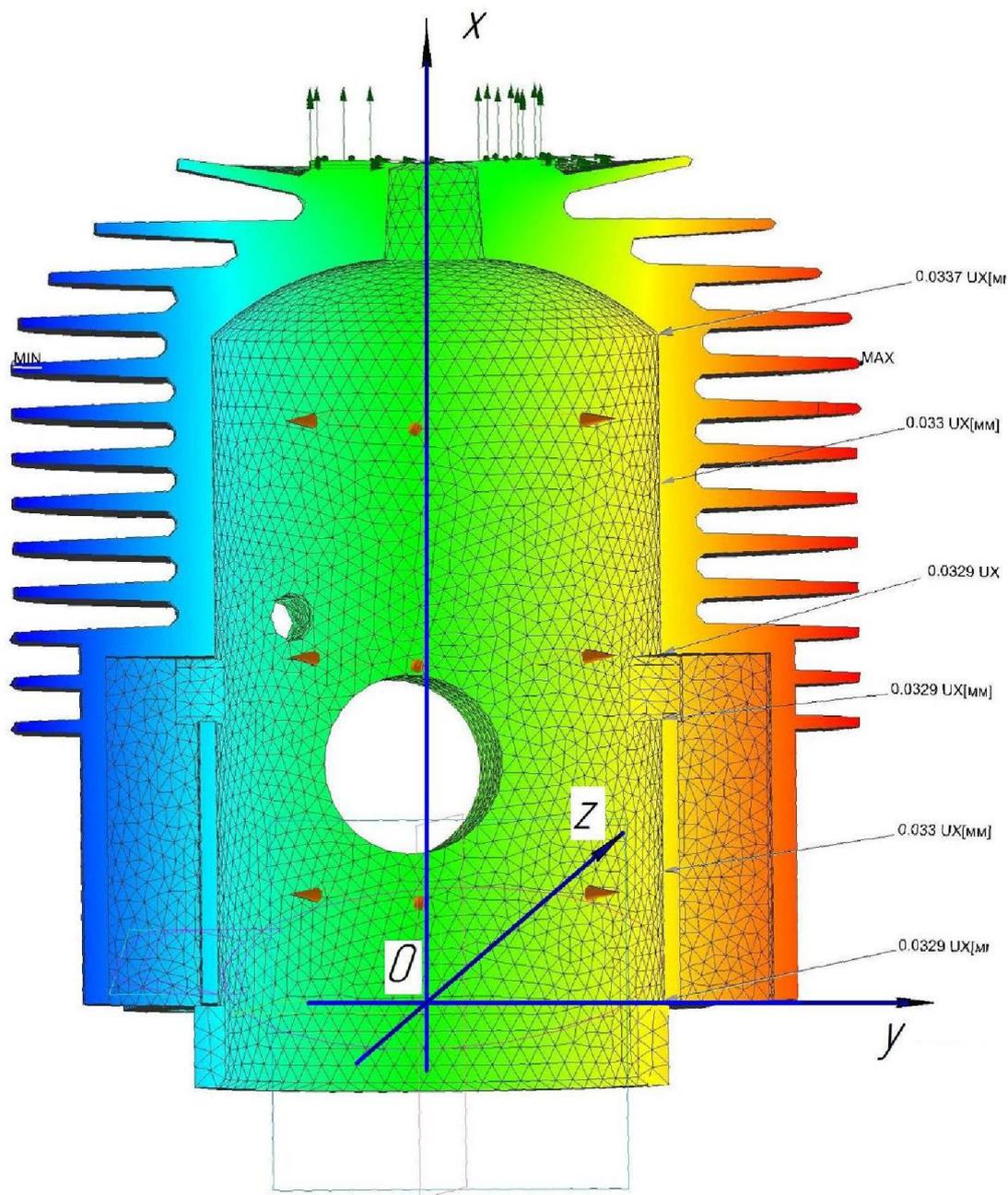


Рис. 2. Температурные деформации заготовки двухтактного двигателя выполненного в среде APM Fem

Далее заданы необходимые параметры для деформационного расчета, такие как закрепление и температура. На поверхности отверстия цилиндра, начиная от фланца, были взяты точки с определенным интервалом 0,20,42,55,75,82. По данным точкам были определены деформации при разных температурах в продольных взаимно перпендикулярных плоскостях. Максимальная деформация при температуре 100 градусов составила 0,0337 мм на радиус, при допуске на это отверстие 7 качества 0,04 мм, что говорит о том, что при обработке необходимо учитывать эти деформации. Результат моделирования представлен на рисунке 2 деформации в зависимости от температур представлены на рисунке 3.

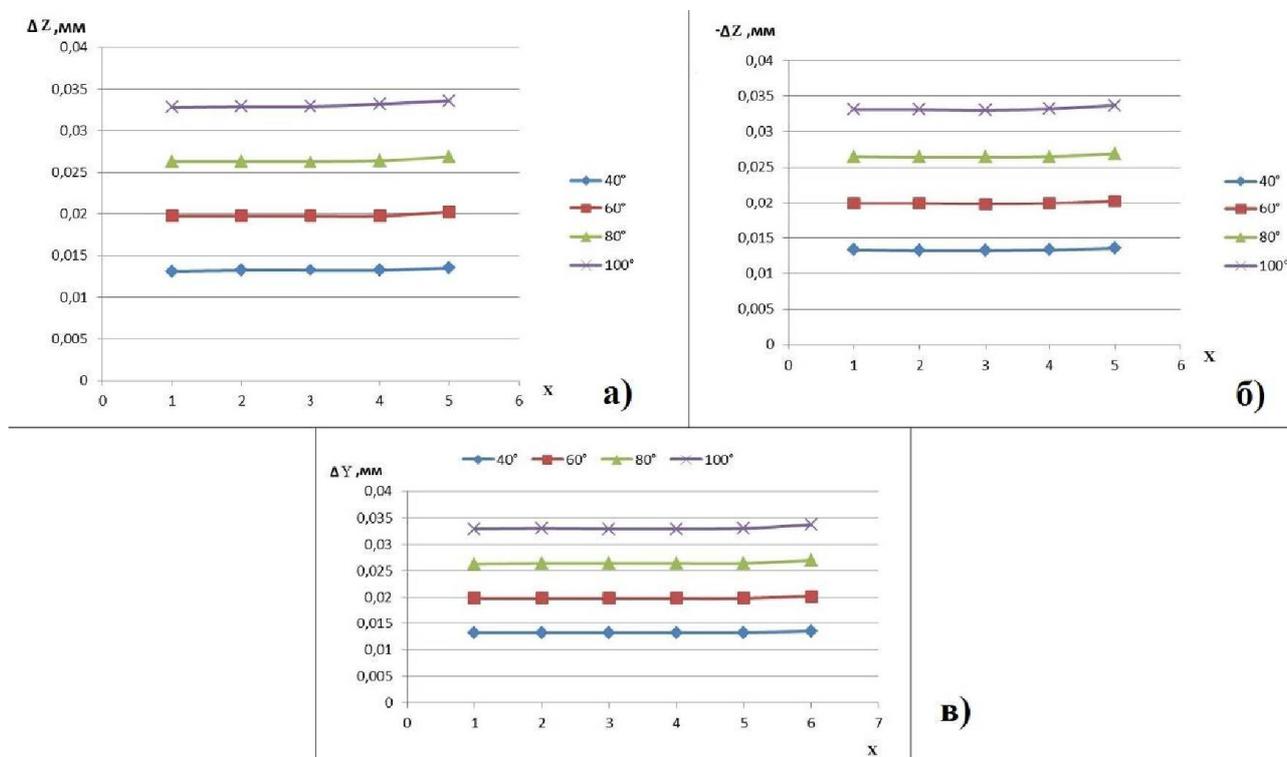


Рис. 3. Температурные деформации вдоль оси заготовки: а) со стороны выпускного окна (плоскость XOZ) б); со стороны впускного окна (плоскость XO-Z); в) со стороны перепускных каналов (плоскость XOY)

Исследуя 3D модель цилиндра бензопилы Урал, были получены значения деформаций разных точек при разных температурах, и на основе этих результатов были построены графики, проанализировав которые, можно сказать, что температурная деформация слабо зависит от толщины стенок. Из графика видно, что тепловые деформация во всех секущих плоскостях практически одинаковы, однако следует отметить, что в плоскости XOZ имеются различия, где расположено больше объем металла наблюдается незначительное деформации стенок разница в четвертом знаке такое отличие не

позволяет сделать вывод о том, что данная среда моделирования позволит адекватно произвести оценку тепловой деформации.

На следующем этапе планируется проведение дальнейших исследований при движущемся кольцевом источнике температуры.

Список литературы

1. Резников А.Н. Тепловые процессы в технологических системах [текст]./ Резников А.Н., Резников Л.А. // М.:Машиностроение, 1990. – С. 288
2. Алямовский А.А. COSMOSWorks. Инженерный анализ методом конечных элементов [текст] /Алямовский А.А. – М.: ДМК Пресс, 2004. – С. 432
3. Электронный справочник Компас-3D V14.

Influence of thermal deformation son the accuracy of machining the base holes case-shaped parts with complex shape

A.M. Firsov, V.A. Kalistru, I.V. Trapeev, V.N. Drobyshev

In this paper we consider the problem of the influence of temperature on the dimensional accuracy of the deformation when processing thin-walled cylindrical holes non rigid parts with variable wall thickness for example, two-stroke engine cylinder body. Investigations were carried out by computer simulation of thermal deformation in the environment of the complex APM Fem integrated into the 3D Compass.

Key words: thermal deformation, thin-walled cylinders, two-stroke engine.

**ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПОТОКОВ ЭНЕРГИИ В СРЕДЕ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ ЧАСТИЦ**

*W.-G. DROSSEL, PD Dr.-Ing.
V. WITTSTOCK, Dr.-Ing.
I. DUDAREV, Ing.
M. SCHUMANN, M.Sc.*

Technische Universität Chemnitz, Institute for Machine Tools and Production Processes,
Professorship for Machine Tools and Forming Technology, Chemnitz, Germany
* corresponding author: ivan.dudarev@mb.tu-chemnitz.de

Сложно представить современную науку без использования графиков или диаграмм. С их помощью можно более полно представить, раскрыть тот или иной процесс. Тем не менее, с течением времени методы представления данных модернизируются и совершенствуются. Излишне говорить, что всевозможные виды визуализации широко применяются в различных сферах, таких как образование, бизнес и экономика, промышленный сектор и т.д.

В представленной работе предложено описание методов визуализации энергетического потока машиностроительного станка в среде виртуальной реальности с предложениями нового разрабатываемого в настоящее время метода.

Ключевые слова: визуализация энергии, система частиц, диаграмма Сэнки, виртуальная реальность.

1. Введение

В настоящее время симуляция процессов и их визуализация становится неотъемлемой частью развития производства предприятия и его менеджмента. Служащие и рабочие различных уровней индустриального сектора имеют дело с обширным количеством данных, которые при корректном анализе и наиболее понятной представленной форме могут помочь в поиске подходящего решения существующих проблем. Большинство проблем решается командой предприятия, в которых персональные знания и уровень подготовленности в специализированных областях различны. Таким образом, использование визуализации данных может быть использовано для обеспечения всеобщего понимания командой организации сложных и скрытых процессов на уровне целого предприятия или же отдельного элемента системы.

Развитие высокоиммерсивных технологий визуализации, таких как виртуальная реальность, открывает всё больше новых возможностей для интуитивного и наиболее понятного восприятия визуализации данных. В связи с этим, использование виртуальной реальности становится всё более популярным в промышленности, особенно в производстве и дизайне нового машиностроительного оборудования. Посредством виртуальной реальности или среды виртуальной реальности возможно генерировать иммерсионную модель в полном масштабе. В тоже время использование виртуальной

реальности в скором будущем может позволить улучшить дизайн и технологические процессы производства новой продукции, в том числе и в машиностроительной индустрии.

Более того, визуализация данных, в том числе и в виртуальной реальности, является важным шагом для понимания принципов и процессов, лежащих в основе научных исследований на тему энергетической эффективности.

2. Методы визуализации энергии

Для процессов, которые не видны в реальности, например, электрические потоки энергии, визуализация данных в наглядном и доступном для понимания виде крайне необходима. Несомненно, то что, необработанные, не проанализированные данные будут более доступны для понимания после их трансформации и приведение к наиболее соответствующему виду, будь то диаграммы, графика или же схемы. В тоже время, необходимо отметить, что различные типы данных требуют различные подходы. В случае с использованием виртуальной реальности, приоритет отдается использованию диаграмм 3D формата.

В предыдущих работах по визуализации энергии в среде виртуальной реальности, нами были разработаны такие методы как: гистограмма (высота диаграммы ассоциируется с энергопотреблением); изменение цвета элементов в зависимости от их энергопотребления и 3D диаграмма Сэнки. Более детальное описание данных работ находится в [1].

Идентификация слабых мест, потерь энергии и потенциала для сохранения ресурсов была главной целью для реализации диаграммы Сэнки. При использовании данного типа диаграмм возможен обзор энергетических потоков и их потерь. Интенсивность энергопотока демонстрируется с помощью ветвей и их размерами. Реализуя взаимосвязи между различными элементами, потребляющими энергию, и их источниками становится возможным пронаблюдать, где и в каких количествах происходит использование энергии в машиностроительном станке.

После реализации диаграммы Сэнки в среде виртуальной реальности и других визуализационных методов (гистограмма, цветовое кодирование) они были протестированы на практичность, информативность и удобство в использовании группой внешних пользователей.

Одним из результатов данного исследования было то, что пользователи предпочли бы видеть динамическую визуализацию взамен статической. Кроме того, были выявлены другие недостатки. В предложенном методе Сэнки при слишком большой разнице энергопотребления элементов толщина ветвей слишком малая, что делает эти ветви практически невидимыми или же слишком большая, что приводит к перекрыванию частей машиностроительного

станка [2]. Для избежания данных проблем, разрабатывается новый метод на основе системы частиц.

Данный термин «Система частиц» более известен в контексте компьютерной графики. Она используется для моделирования поведения объектов или феноменов, имеющих сложную, неопределённую форму. Примеров может послужить моделирование огня, воды, облаков. Первоначально термин «Система частиц» («Particle system») был использован William T. Reeves для описания эффекта «взрыва бомб» на поверхности планет в фильме «Star Trek II: the Wrath of Khan». Он использовал множество мелких частиц, точек для изображения огня и взрывов на планете [3].

По существу, система частиц это набор точек в 3D пространстве с регулируемыми атрибутами. Структура частиц имеет общие свойства, представленные в таблице 1.

Таблица 1

Атрибуты системы частиц

Атрибут частицы	Описание свойства
Цвет	Варьируемые цвета частиц
Жизненный цикл	Время существования частиц в пределах границы системы частиц
Размер	Стандартные размер частиц
Скорость	Скорость частиц в установленном направлении
Позиция	Позиция частицы в пространстве
Насыщенность	Насыщенность частиц

3. Экспериментальные результаты

Целью реализации системы частиц было установлено создание визуализации потока энергии с течением времени внутри 3D модели станка в среде виртуальной реальности. Для достижения поставленной цели было необходимо разработать и реализовать модель, посредством которой визуализация потока энергии была бы наиболее информативной и понятной любому пользователю.

Распространение частиц начинается с их источника, где они инициализируются с необходимыми атрибутами. Далее частицы продвигаются к потребителю энергии. В случае с машиностроительным станком роли потребителей энергии принадлежат различным элементам станка.

Регулированием атрибутов системы частиц возможно добиться наиболее понятной картины потребления энергии. В данном случае было выбрано изменение цвета частиц и их насыщенность в системе. На рисунках 1 и 2 показана предварительная схема по изменению параметров частиц.

до 3kW	3kW-6kW	более чем 6kW
Green	Yellow	Red

Рис. 1. Цветовое кодирование частиц

Принимая во внимание тот факт, что различные элементы машиностроительного станка потребляют разное количество энергии, было предложено использовать атрибут насыщенность частиц, для разделения общего количества инициализированных частиц в соответствии с количеством потребляемой энергии элементами станка.

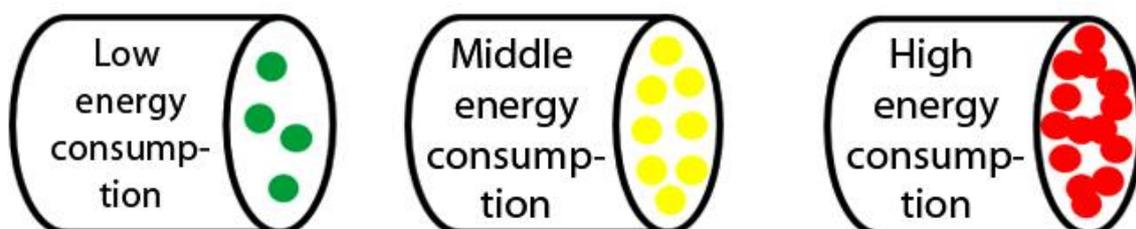


Рис. 2. Представление потребления количества энергии через насыщенность потока

В случае низкого энергопотребления в системе присутствует малое количество частиц, инициализация которых возрастает с увеличением потребления энергии элементами станка.

Главный энергоблок используется в качестве эмиттера, источника системы частиц. Начиная движение от источника частицы, постепенно разделяются, изменяя своё движение в направлении различных элементов машиностроительного станка. Каждая ветвь, представляющая границы системы частиц, соединена с потребителем энергии (ведущий вал, оси, насосы, пульт). При достижении потребителя частица исчезает, характеризуя потребленную энергию и в то же самое время в эмиттере инициализируется следующая. Схема реализации метода системы частиц представлена на рисунке 3

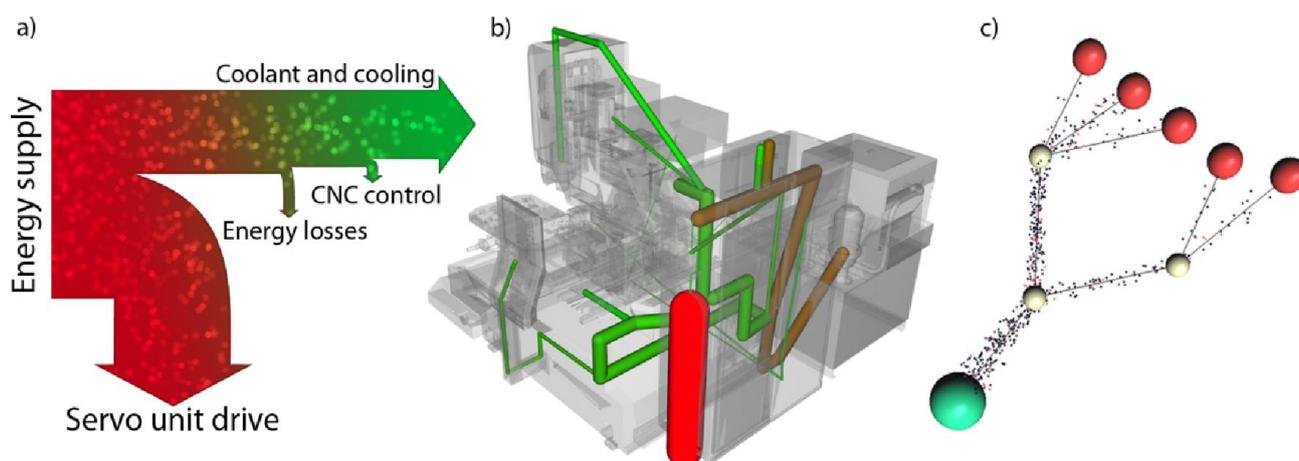


Рис. 3. Реализация метода системы частиц

Представленная система частиц была интегрирована для тестирования и оценки внешними пользователями в софтвере виртуальной реальности Instant Player, который позволяет визуализацию x3d графических файлов.

Разработанное решение, программа использует различные интерфейсы для создания и контроля виртуальных частиц. Для достижения флексибельности метода, описание схемы расположения основных узлов системы частиц (эмиттер, потребитель, промежуточные узлы) и файл с реально измеренными данными сохраняются во внешних файлах (Tree.txt, Measurement.txt). Рисунок 4. Плагин «Particle system» считывает необходимые данные из файлов и создаёт математическую модель системы частиц. Всё необходимые расчёты происходят внутри плагина. В результате создаётся набор атрибутов, характеристик для каждой частицы (позиция, цвет, размер). Основываясь на данных атрибутах, скрипт создаёт и контролирует частицы в среде виртуальной реальности. Вследствие этого функционального взаимодействия плагина и скрипта, реализуется исполнение системы частиц.

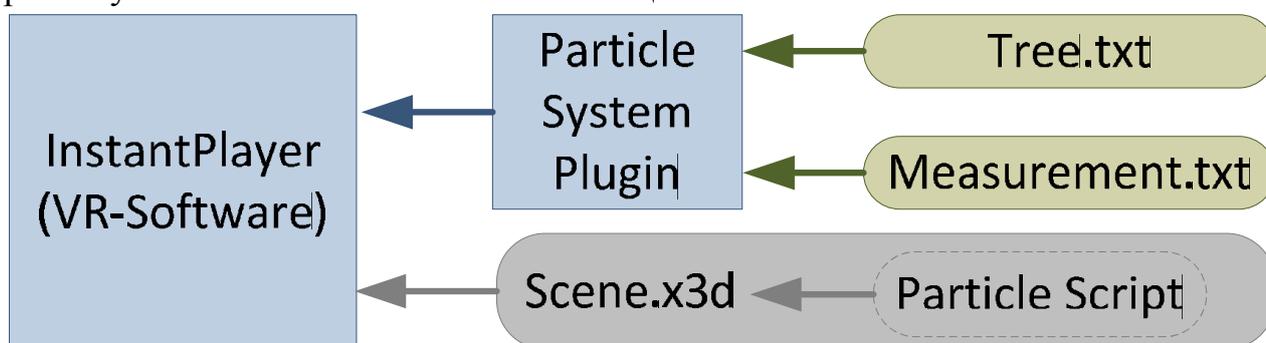


Рис.4. Программирование системы частиц

4. Выводы

В данной работе предложена методика визуализации потока энергии, которая может позволить пользователям представить процесс потребления энергии в более наглядном и понятном виде благодаря динамичности данной системы. Более того, принимая во внимание более широкое воздействие на систему частиц через её атрибуты область экспериментирования увеличивается. На данном этапе реализуется интеграция системы частиц совместно с 3D моделью машиностроительного станка Niles-Simmons N20 в среду виртуальной реальности и происходит подготовка следующего тестового исследования внешними пользователями.

Список литературы

1. **VR tools for the development of energy-efficient products** Neugebauer, R., Wittstock, V., Meyer, A., Glänzel, J., Pätzold, M. and Schumann, M.: CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, Volume 4, Issue 2, 2011, Pages 208–215.

2. Akzeptanz und Wirkung verschiedener Varianten der VR-Visualisierung von Energie-kennwerten. Wittstock, V., Klavina, E.; Schütz, A.; Pürzel, F. (2012): In: Neugebauer, R.; Götze, U.; Drossel, W.-G. (Hrsg.) Energieorientierte Bilanzierung und Bewertung in der Produktionstechnik - Methoden und Anwendungsbeispiele. 2. Methodenworkshop der Querschnittsarbeitsgruppe "Energetisch-wirtschaftliche Bilanzierung" des Spitzentechnologieclusters eniPROD. Pp91-98.

3. Particle system – A technique for modeling a class of fuzzy objects Reeves, W. T., ACM Transaction on Graphics, Vol.2, No.2, April 1983, Pages 91-108.

Energy visualization flow in the Virtual Reality environment using the particle system

W.-G. Drossel, V. Wittstock, I. Dudarev, M. Schumann

Difficult to imagine modern science without using graphs, charts or diagrams. They give the most complete picture of the processes. However, in the course of time methods for data representation are changing. Needless to say, different kinds of visualization are widely applied in various spheres such as education, computer entertainment, economics and business, industrial sector, etc.

In the follow paper are described methods for visualization energy flow through the machine tools in the Virtual Reality environment and proposed new method, which is currently developing on the base of Particle System.

Key words: energy visualization, particle system, Sankey diagram, Virtual Reality.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ
ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ПЛАСТИЧЕСКОГО СВЕРЛЕНИЯ***Р.А. АНЗЫРЯЕВ*, аспирант

Анзыряев Р.А. - Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова, Барнаул,
e-mail: kubonit@mail.ru

В докладе произведен обзор рекомендаций по выбору режимов пластического сверления. Приведены результаты экспериментальных исследований необходимых для определения оптимальных режимов пластического сверления. Основные результаты представлены в виде графиков.

Ключевые слова: пластическое сверление, работа силы трения, оптимальные режимы пластического сверления.

В настоящее время малоисследованной областью пластического сверления является обеспечение заданных конструктивно-геометрических параметров крепежного элемента. Существенное влияние на эти параметры оказывают режимы пластического сверления, которые в настоящее время приведены в литературе в виде ориентировочных значений частот вращения инструмента и подач. Существуют рекомендации по регулированию режимами обработки. Так процесс обработки может быть с постоянной подачей; с переменной подачей, увеличивающейся на протяжении всего цикла обработки; с переменной подачей, уменьшающейся по мере внедрения инструмента в заготовку до глубины равной ее толщине, а после увеличивающейся; с регулированием подачи и/или частоты вращения для постоянного значения осевой нагрузки или давления. [1] Подача инструмента, как отмечается в публикациях фирмы «Flowdrill Inc», зависит от величины осевой нагрузки – в начальный момент времени осевая нагрузка высока и поэтому необходима небольшая величина подачи, с ростом температуры обрабатываемого металла контактное давление уменьшается и соответственно подача инструмента должна увеличиваться. Указанный способ подачи достигается на обычных станках путем ручной регулировки или на станках с ЧПУ. Существует способ снижения осевой нагрузки на пуансон-сверло за счет увеличения частоты вращения. [1] Указанный способ можно использовать совместно со способом регулирования подачи, так в начальный момент времени, когда осевая нагрузка высока необходимо увеличить частоту вращения инструмента. Причиной формирования разрывов на кромке нижней части крепежного элемента может быть снижение пластичности обрабатываемого металла на фазе формообразования отверстия. Для максимального повышения пластичности обрабатываемого металла температура на поверхности трения должна быть настолько это возможно высокой, но не вызывающей перегрева или пережога. Чтобы поддерживать оптимальный температурный режим обработки,

необходимо определить закон изменения подачи и частоты вращения инструмента в процессе пластического сверления, обеспечивающие требуемое тепловыделение. На практике данный процесс реализуем на станках с системой программного регулирования режимов обработки.

Для определения оптимальных режимов пластического сверления необходимо изучить протекание различных физических процессов, происходящих в процессе обработки. Важной характеристикой при определении оптимального температурного режима обработки является работа силы трения и распределение температуры металла в объеме крепежного элемента на различных этапах процесса пластического сверления. Работа силы трения определяется по формуле:

$$A = \mu_{тр} \cdot p \cdot S_{конт} \cdot \omega \quad (1)$$

где A – работа силы трения; p – давление инструмента на металл; $S_{конт}$ – площадь контакта инструмента о металл; ω – угловая скорость вращения инструмента. На рисунке 1 представлена схема взаимодействия пуансон-сверла и металла в процессе обработки, которая поясняет формулу (1).

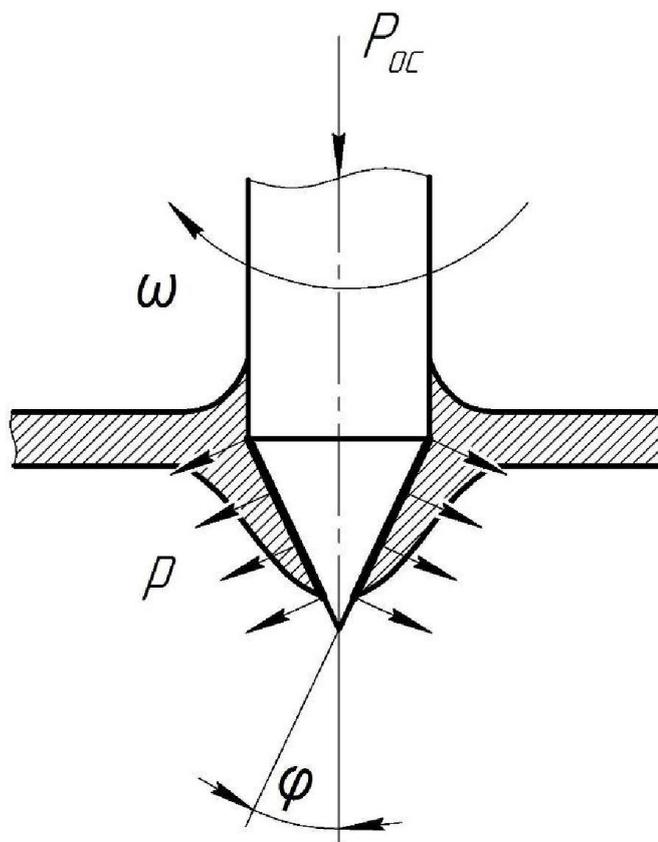


Рис. 1. Схема взаимодействия пуансон-сверла и металла в процессе пластического сверления

Неизвестной при расчете работы силы трения на различных этапах процесса пластического сверления является площадь контакта пуансон-сверла о металл. С целью определения площади контакта, а также определения соотношения объема вытесняемого металла на различных этапах пластического сверления был проведен эксперимент. Процесс пластического сверления был разделен на четыре этапа. На первом этапе пуансон-сверло внедряется в заготовку на глубину 1-2 мм до образования «купола» с обратной стороны заготовки. На втором этапе пуансон-сверло внедряется в заготовку до момента формирования отверстия в «куполе». Третий этап характеризуется выходом рабочей части инструмента из формируемой втулки наполовину. Полный цикл обработки производится на четвертом этапе. Образцы заготовок полученных на разных этапах изображены на рисунке 2.

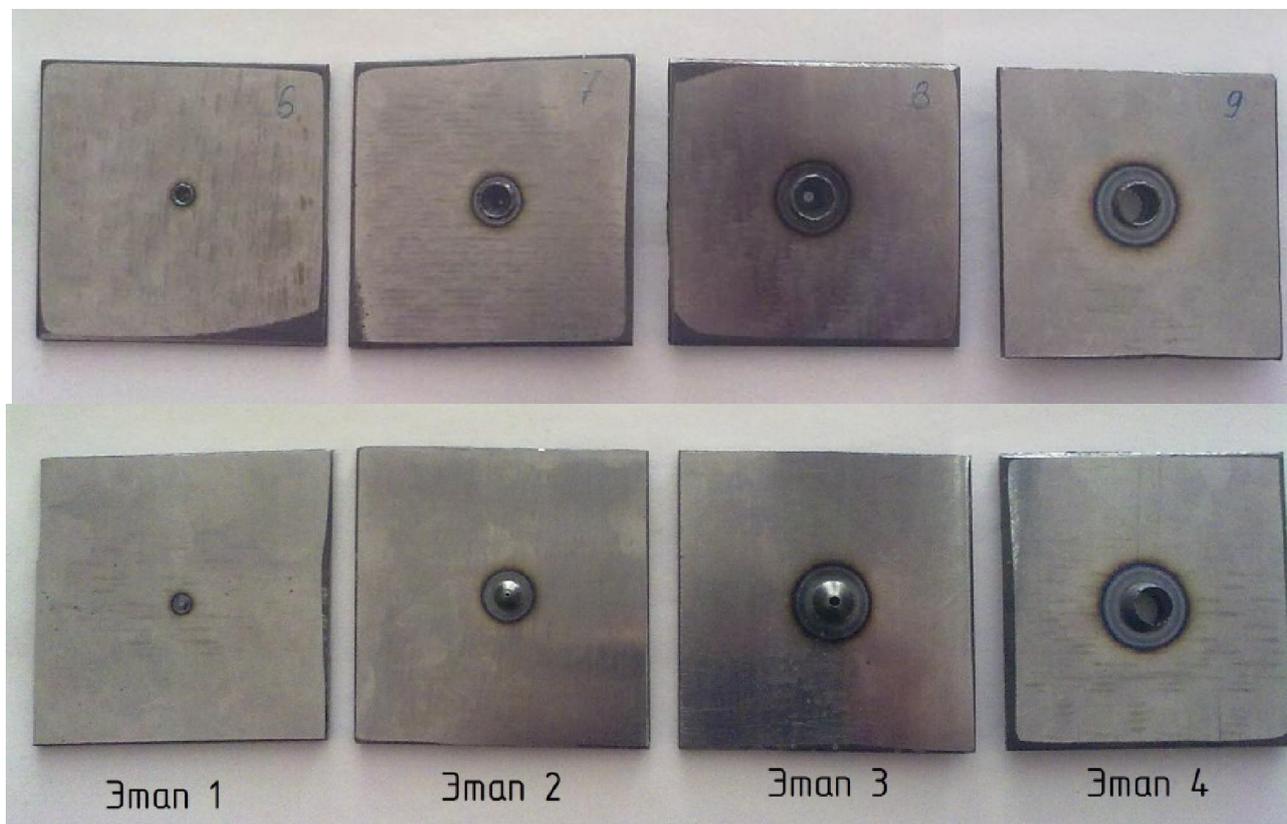


Рис. 2. Образцы верхней (вверху рисунка) и нижней (внизу) частей заготовок полученных на разных этапах обработки

После завершения всех этапов обработки произведены замеры геометрических параметров верхней и нижней втулок крепежных элементов полученных на разных этапах обработки. При расчете площади контакта пренебрегался контакт цилиндрического участка инструмента с заготовкой, поскольку контактное давление на данном участке незначительно. Таким образом, сделано допущение, что в контакте с заготовкой находится только

конический участок рабочей части пуансон-сверла. По результатам эксперимента рассчитаны значения площади контакта и давления инструмента о металл и построена зависимости площади контакта пуансон-сверла о металл от длины хода инструмента (рисунок 3), и зависимость давления пуансон-сверла на металл от длины хода инструмента (рисунок 4).

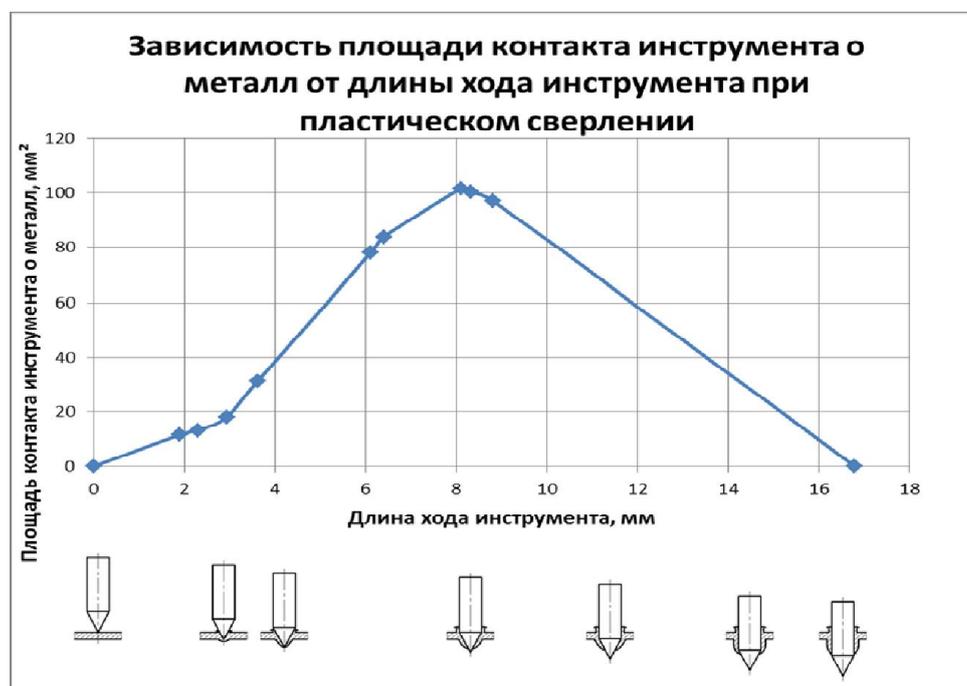


Рис. 3. Зависимость площади контакта пуансон-сверла о металл от длины хода инструмента в процессе пластическом сверлении

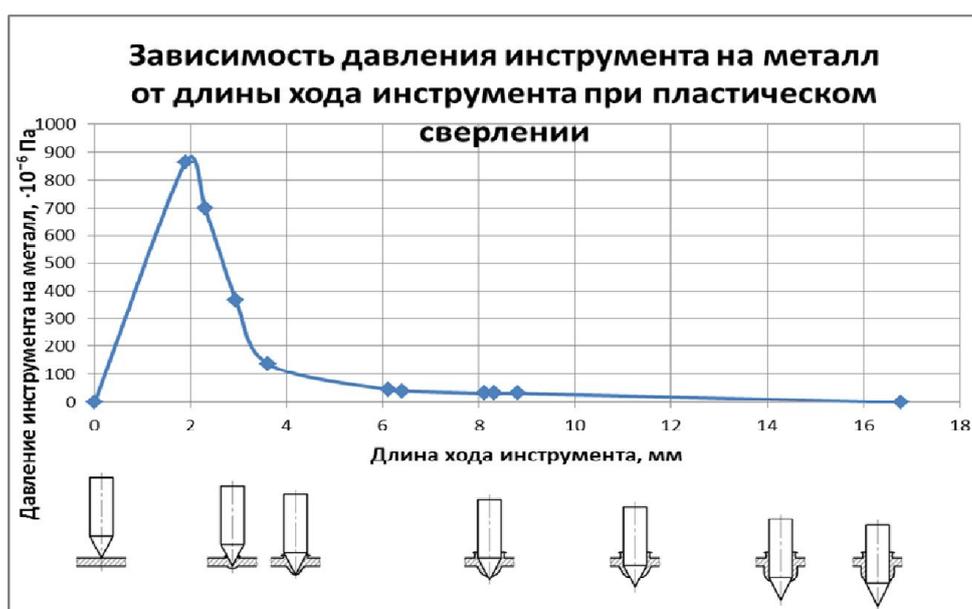


Рис. 4. Зависимость давления пуансон-сверла на металл от длины хода инструмента в процессе пластического сверления

Произведен расчет работы силы трения по формуле (1) и построена ее зависимость от длины хода инструмента (рисунок 5).

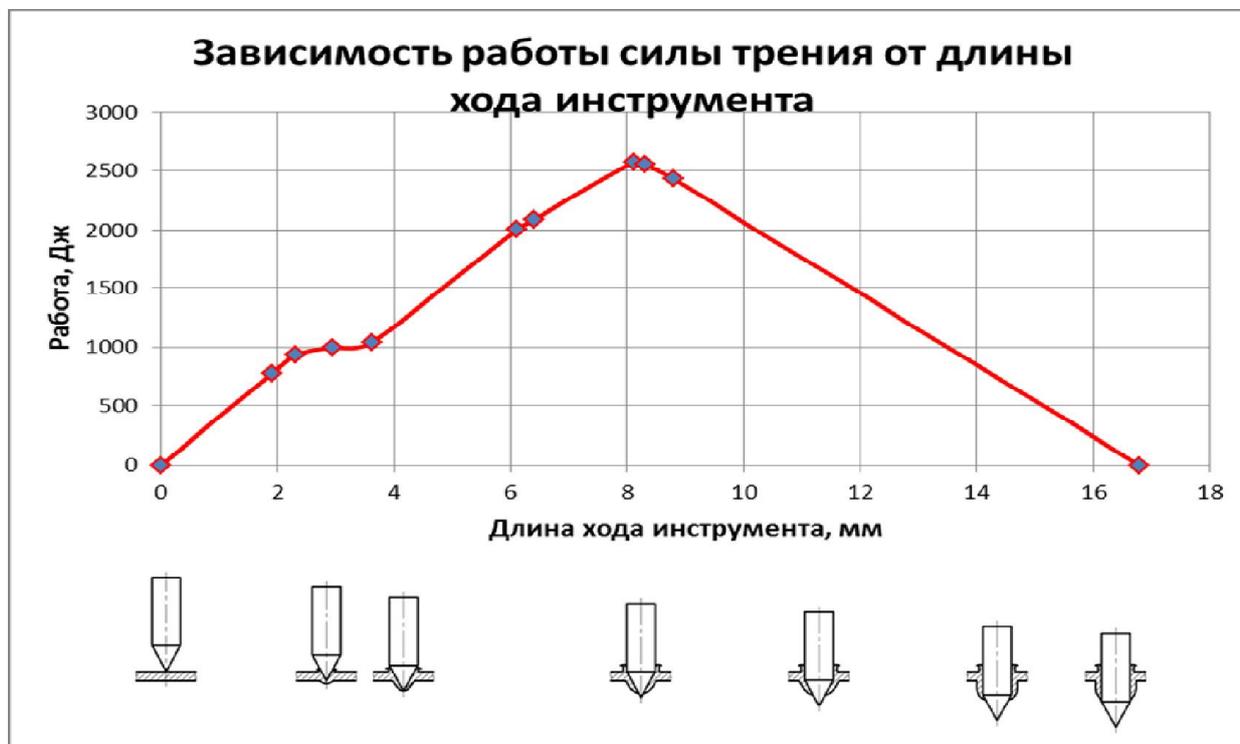


Рис. 5. Зависимость работы силы трения пуансон-сверла о металл от длины хода инструмента в процессе пластического сверления

Для определения распределения температуры металла в объеме крепежного элемента на различных этапах пластического сверления производилась видеосъемка эксперимента с полным циклом обработки. Анализ видеозаписи проводился в видео-редакторе VSDC Free Video Editor путем сопоставления цветов каления металла с табличными данными [2, стр. 97]. Температура металла определялась отдельно для нижней и верхней частей крепежного элемента. Полученные результаты приведены на графике изменения температуры металла в зависимости от длины хода инструмента, изображенном на рисунке 6. Для удобства график был совмещен с графиком изменения давления пуансон-сверла на металл.

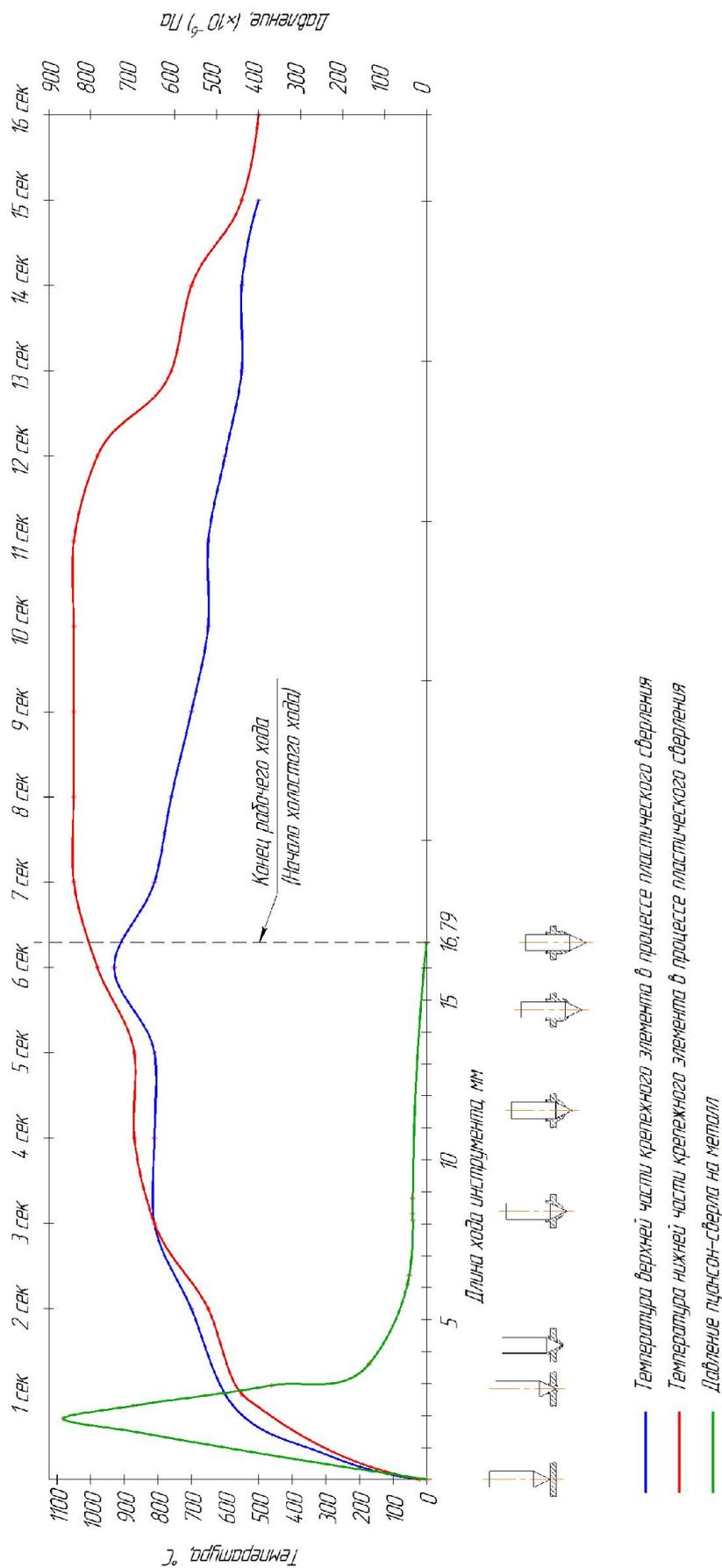


Рис. 6. Зависимость температуры металла и давления пуансон-сверла на металл от длины хода инструмента

Список литературы

1. Золотов О.В. Совершенствование технологии обработки тонкостенных деталей методом пластического сверления: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Барнаул, 2004. – 16 с.
2. Большой энциклопедический справочник.–М.: Русское энциклопедическое товарищество, 2003. – 576 с.

Experimental studies when determining optimum modes of plastic drilling

R.A. Anzyryaev

Provides an overview of recommendations for selecting modes of plastic drilling. Presented the result of experiments required to find the optimal modes of plastic drilling. Main results are shown in graphs.

Key words: plastic drilling, friction force work, optimum modes of plastic drilling,

УДК 621.9

СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ ТОЧНОСТЬЮ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НЕЖЕСТКИХ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ

А.В. БАЛАШОВ, кандидат техн. наук, доцент

А.А. ВЕРХОВСКАЯ, магистрант

И.С. ПОТАПОВ, студент

Балашов А.В. – 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова

Рассмотрены особенности разработки способов управления показателями точности при изготовлении нежестких корпусных деталей, основанные на принципах поискового конструирования. Приведен одного из способов управления показателями точности, полученного в результате комбинаторного синтеза.

Ключевые слова: Управление точностью, корпусные детали, поисковое проектирование.

Введение

Существующая тенденция к снижению материалоемкости выпускаемых изделий, возрастающие потребности промышленности в упругих устройствах обусловили непрерывный рост объема производства нежестких корпусных деталей высокой точности. Нежесткие корпусные детали применяются в широком классе машин. Анализ литературных источников, рабочих чертежей нежестких корпусных деталей позволил выявить наиболее характерные требования по точности, предъявляемые к данным поверхностям: отклонения формы и взаимного расположения главных поверхностей - от 5 мкм до 50 мкм; точность линейных размеров (толщина стенки) - 7 - 10 квалитеты; параметр шероховатости, Ra - 0,32 - 0,25 мкм. Достижение данных требований без использования специально разработанных способов достижения требуемой точности весьма затруднительно. В настоящее время существуют различные способы управления показателями точности (СУПТ), однако все они требуют систематизации, позволяющей не только выбрать способ управления из уже имеющихся, но и разработать новый способ управления точностью на основе систематизированных данных.

Теория

Для систематизации СУПТ целесообразно использовать методологию поискового конструирования и, в частности, метод синтеза технических решений (ТР) на И-ИЛИ - графе. Суть метода состоит в том, что информацию о прототипах и известных ТР представляют и записывают в виде связного графа. На основе И-ИЛИ - графа ТР и общего списка требований разрабатывается модель оценки синтезированных ТР, которая позволяет сравнить различные варианты ТР, выбрать ТР, удовлетворяющие заданному списку требований а так же получать наилучшие ТР.

Граф $G(X,U)$ включает в себя два типа множеств: множество X и множество ребер U . Вершины графа описывают элементы и признаки ТР, выявленные в результате предварительных исследований. Ребра показывают иерархическую соподчиненность между вершин X состоит из пары подмножеств $X1$ и $X2$. Вершины подмножеств $X1$ называются И-вершинами; они представляют собой элементы технических объектов, общие для всех ТР. Подмножество $X2$ составляют ИЛИ - вершины, которые объединяют альтернативные элементы и признаки, учитывающие особенности каждого из ТР. Особенности построения И-ИЛИ - графа подробно рассмотрены в [1].

После составления И-ИЛИ- графа следует синтез структуры ТР, удовлетворяющих требованиям технического задания. Данная процедура весьма трудоемка и требует использования вычислительной техники. Результатом работы служат синтезированные структуры технических решений, которые выводятся на дисплей или принтер в виде иерархической последовательности совокупности описаний их основных элементов (рисунок 2). На основе выданных решений разрабатываются принципиальные схемы из осуществления.

Результаты

На рисунке 3 приведена принципиальная схема реализации ТР, полученного в результате комбинаторного синтеза и обладающих новизной. Техническое задание формулировалось следующим образом: "Способ фрезерования нежесткой корпусной детали, в котором обеспечение заданных показателей волнистости, плоскостности и толщины стенки осуществляется автоматически, за счет изменения режима резания в процессе обработки".

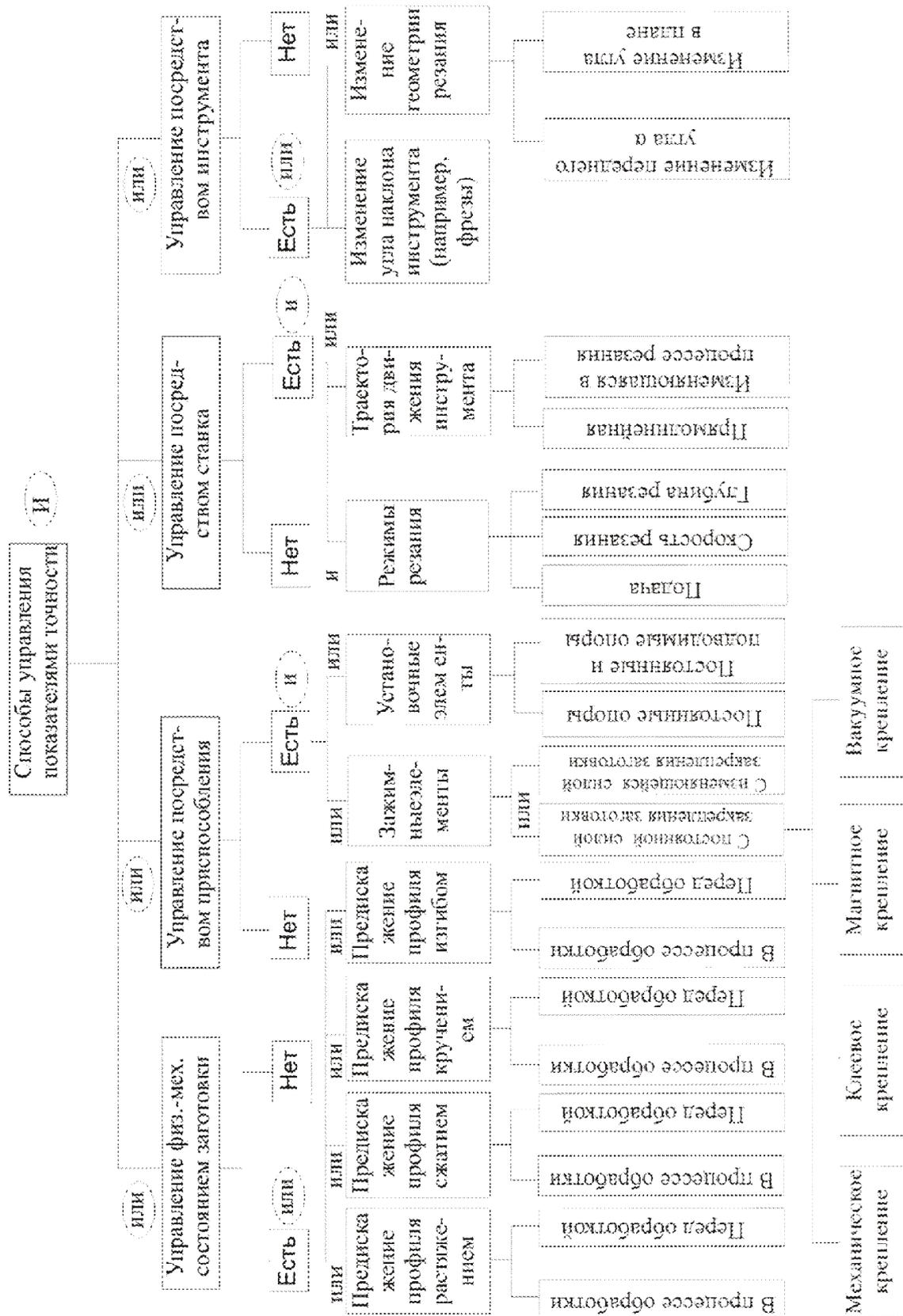


Рисунок 1 – И-ИИИ-граф способов управления показателями точности при обработке плоских поверхностей жестких деталей

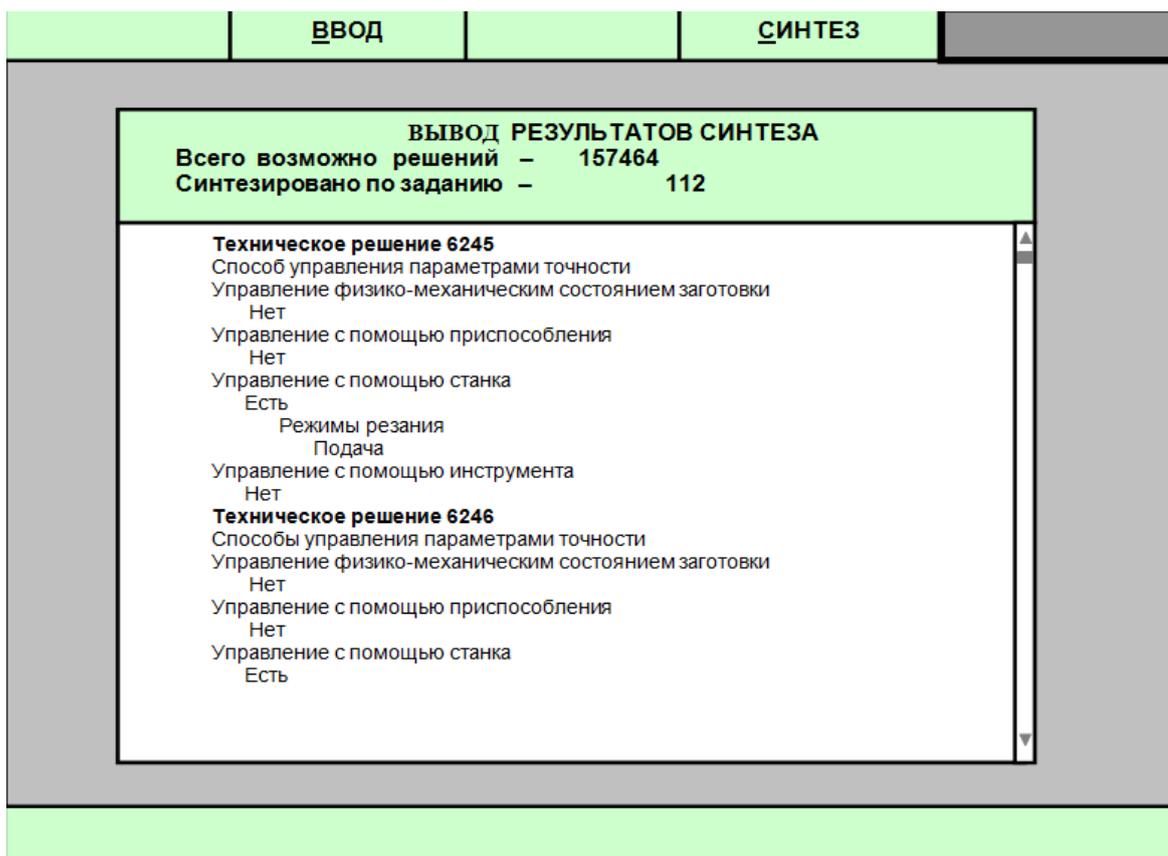


Рис. 2. Экранная форма результатов синтеза ТР

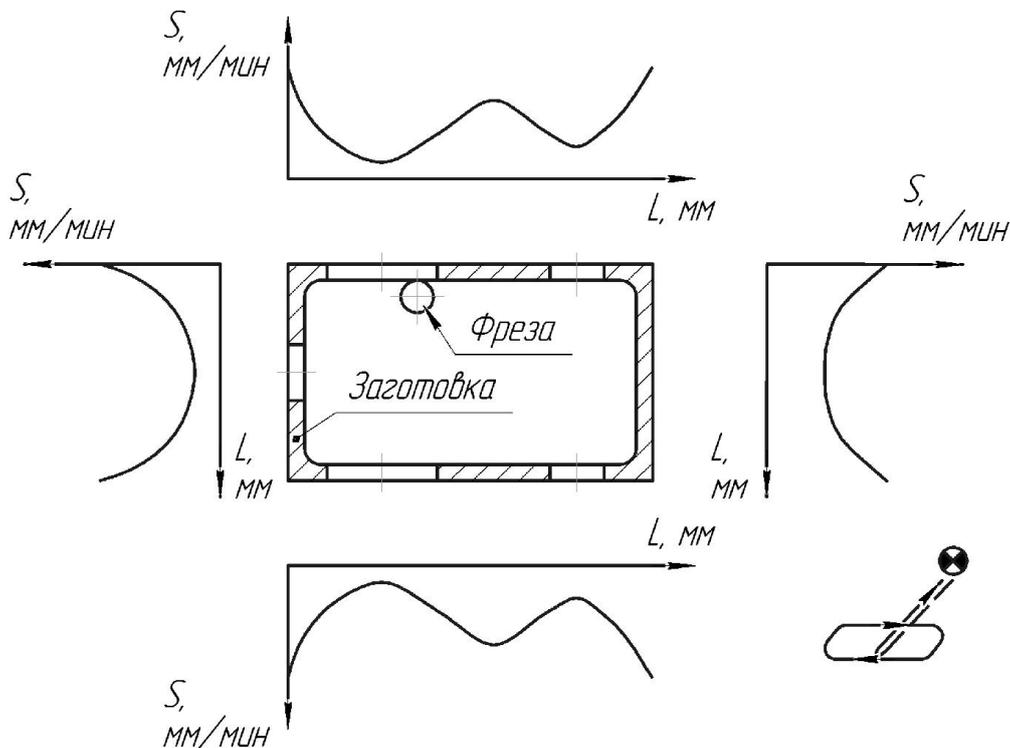


Рис. 3. Технические решения, полученные на И-ИЛИ – графе

Технические решение предусматривают возможность управление показателями точности нежесткой детали посредством управления подачей инструмента или заготовки в зависимости от положения фрезы относительно нежесткой заготовки.

Выводы.

1. Созданное методическое и информационное обеспечение для проектирования способов управления точностью обработки нежестких деталей содержит более $15 \cdot 10^4$ технических решений, отличающихся друг от друга, по крайней мере, хотя бы одним элементом или признаком.

2. Разработанный с использованием методологии поискового конструирования способ управления точностью обработки нежестких корпусных деталей при фрезеровании, основанный на изменении подачи в зависимости от положения фрезы относительно заготовки, позволяет повысить производительность обработки за счет сокращения основного времени. Предложенный способ управления точностью обладает признаком патентной чистоты.

Список литературы

1. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества. – М.: Машиностроение, 1998. – 368 с., ил.

Way of management of accuracy production of nonrigid case details

A.V. Balashov, A.A. Verhovskaya, I.S. Potapov

Features of development of ways of management are considered by accuracy indicators at production of the nonrigid case details, based on the principles of search designing. It is provided one of ways of management by indicators of the accuracy, received as a result of combinatory synthesis.

Key words: Management of accuracy, case details, search design.

УДК 621.9

**АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ЗАЗОРА
ПРИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ
ПРОСТРАНСТВЕННО СЛОЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ**

*С.Л. ЛЕОНОВ, доктор техн. наук, профессор,
А.М. ИКОННИКОВ, канд. техн. наук, доцент,
Р.В. ГРЕБЕНЬКОВ, студент,
(АлтГТУ им.И.И. Ползунова, г. Барнаул)*

Леонов С.Л. – 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
e-mail: iamagtu@mail.ru

Рассмотрена возможность автоматического регулирования рабочего зазора при магнитно-абразивной обработке пространственно сложных поверхностей. Получены Полученные передаточные функции систем автоматического регулирования.

Ключевые слова Магнитно-абразивная обработка, система автоматического регулирования, съём металла.

В машиностроительной практике часто встречаются детали, поверхности которых имеют сложную пространственную форму, что значительно затрудняет их отделочную обработку. Крыльчатки вентиляторов и насосов, лопатки турбин, режущие инструменты – эти и многие другие изделия нуждаются в полировании криволинейных исполнительных поверхностей. Применение высокопроизводительных методов магнитно-абразивного полирования затруднено вследствие необходимости обеспечения равномерного зазора между рабочей поверхностью магнитного индуктора и обрабатываемой поверхностью сложного профиля. Возникает необходимость применения дорогостоящих специальных индукторов с рабочей поверхностью эквидистантной обрабатываемой. Высокая трудоёмкость изготовления таких устройств и их низкая универсальность вынуждают разрабатывать другие способы обеспечения постоянства рабочего зазора, а как следствие равномерного съёма материала с обрабатываемой поверхности.

Для обеспечения равномерного зазора при магнитно-абразивной обработке пространственно сложных поверхностей применена система автоматического регулирования.

Система автоматического регулирования (САР) мощностью резания предназначена для стабилизации мощности при обработке поверхностей с погрешностями формы. Входным сигналом САР является напряжение, соответствующее заданному уровню выходной мощности резания. Возмущением является колебания глубины резания, вызываемые отклонениями формы, упругими отжатиями в технологической системе и износом порошка. В

соответствии с этим, структурная схема САР мощностью резания представлена на рис. 1:

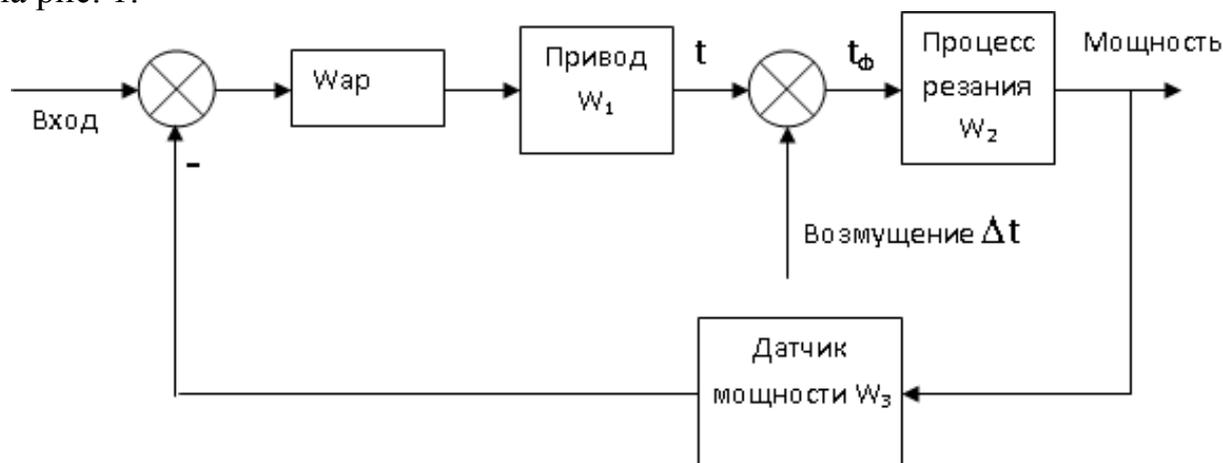


Рис. 1. Система стабилизации мощности резания

Входной сигнал – напряжение U , соответствующее заданному значению мощности.

Выходной сигнал – мощность резания.

Возмущение – изменение глубины резания за счет отклонений формы, волнистости поверхности заготовки и износ порошка: $t_{\phi} = t + \Delta t$.

W_{ap} – передаточная функция автоматического регулятора.

Передаточная функция по входу:

$$W_{01} = \frac{W_{ap} W_1 W_2}{1 + W_{ap} W_1 W_2 W_3} \quad (1)$$

Если считать входом возмущение, то структурная схема примет вид, изображенный на рис. 2.

Передаточная функция САР по возмущению:

$$W_{02} = \frac{W_2}{1 + W_{ap} W_1 W_2 W_3} \quad (2)$$

Приближенно можно считать, что мощность резания пропорциональна глубине резания. Однако наличие упругой системы (консольное крепление инструмента) предполагает математическое описание в виде колебательного звена:

$$W_2 = \frac{k_2}{T^2 s^2 + 2\xi Ts + 1} \quad (3)$$

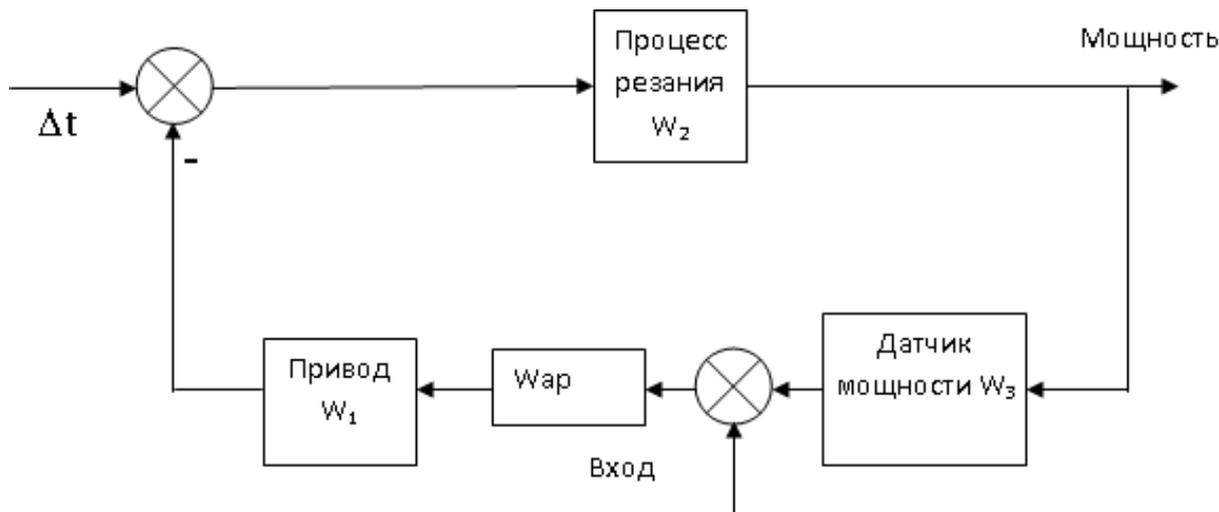


Рис. 2. Структурная схема САР по возмущению

Датчик мощности также представляет собой усилительное звено:

$$W_3 = k_3.$$

Привод включает в себя электродвигатель, который обычно описывается двойным инерционным звеном:

$$W_1 = \frac{k_1}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)}.$$

При этом T_1 – постоянная времени электрической, а T_2 – механической части.

В соответствии с этим передаточные функции САР принимают вид:

$$W_{01} = \frac{W_{ap} k_1 k_2}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)(T^2s^2 + 2\xi Ts + 1) + W_{ap} k_1 k_2 k_3},$$

$$W_{02} = \frac{k_2 (T_1s + 1)(T_2s + 1)}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)(T^2s^2 + 2\xi Ts + 1) + W_{ap} k_1 k_2 k_3}$$

Или

$$W_{01} = \frac{W_{ap} k_1 k_2}{a_4 s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + 1 + W_{ap} k_1 k_2 k_3},$$

$$W_{02} = \frac{k_2 [T_1 T_2 s^2 + (T_1 + T_2) s + 1]}{a_4 s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + 1 + W_{ap} k_1 k_2 k_3} \quad (4)$$

где

$$\begin{aligned}a_4 &= T_1 T_2 T^2, \\a_3 &= T [T (T_1 + T_2) + 2\xi T_1 T_2] \\a_2 &= T^2 + 2\xi T (T_1 + T_2) + T_1 T \\a_1 &= 2\xi T + T_1 + T_2\end{aligned}$$

Полученные передаточные функции САР используются для математического моделирования процесса регулирования при выборе вида регулятора.

Список литературы

1. Барон Ю.М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов. - Л.: Машиностроение. Ленингр. Отделение, 1986.-176с.
2. Мирошник И.В. Теория автоматического управления. Линейные системы: Учебное пособие для вузов. - СПб.: Питер, 2005. - 336 с.

Automatic adjustment of working with gap magnetic space-abrasive machining of complex surfaces

S.L. Leonov, A.M. Ikonnikov, R.V. Grebenkov

The possibility of automatic adjustment of the working gap by magnetic abrasive machining spatially complex surfaces. The resulting transfer functions obtained automatic control systems.

Key words: Magneto-abrasive treatment, cruise control, removal of metal.

УДК 621.9.06:518.4

**ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ФОРМООБРАЗУЮЩЕЙ ОСНАСТКИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ
СИНХРОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

*С.А. ПЕРЦАТЬЕВ, студент,
В.В. СМИРНОВ, канд. техн. наук, доцент,
(БТИ АлтГТУ, г. Бийск)*

Смирнов В.В. – 659305, г. Бийск, ул. Трофимова, 19,
Бийский технологический институт (филиал) АлтГТУ им. И.И. Ползунова
e-mail: mrsi@bti.secna.ru

В статье анализируются вопросы применения средств и методов компьютерного моделирования к проектированию элементов формообразующей оснастки. Предлагается методика автоматизированного проектирования пресс-форм для литья металлов по газифицируемым моделям с использованием синхронного моделирования.

Ключевые слова: Автоматизированное проектирование, формообразующая оснастка

1. Введение

Проектирование формообразующей оснастки является одной из наиболее трудоёмких задач технологической подготовки производства. Развитие и применение информационных технологий в данной области значительно облегчает и ускоряет проведение проектных работ, обуславливая более широкие возможности унификации и повторного использования проектных решений, сокращая время вывода на рынок новых продуктов. Многие современные САД-системы оснащаются специализированными приложениями, ориентированными на проектирование формообразующей оснастки (пресс-форм). Такие приложения, базирующиеся на универсальных средствах поверхностного или твердотельного моделирования, обеспечивают построение автоматизированных рабочих мест для проектировщиков оснастки с высоким уровнем автоматизации [1]. Используя специализированные САПР, проектировщик может быстро и точно создавать сложные формообразующие поверхности деталей литьевых форм и штампов (пуансоны, матрицы, вкладыши), а также разрабатывать специальные элементы (плиты, толкатели и т.д.) путем моделирования или выбора из библиотек. Вместе с тем стоимость подобным образом организованного рабочего места может оказаться слишком высока для небольших проектно-производственных организаций, что предопределяет соответствующий выбор дешёвых САПР с низким уровнем автоматизации проектирования и, соответственно, более длительными сроками ТПП. Поэтому разработка методик проектирования оснастки с использованием возможностей САПР среднего уровня является всегда актуальной. Такие

методики должны обеспечивать повышение качества, сокращение сроков и затрат в ходе компьютерной подготовки производства формообразующей оснастки. В настоящей работе представлена реализация подобной методики на примере формообразующих деталей пресс-формы для литья по газифицируемым моделям. Кроме того, разработанная методика позволяет по созданным электронным моделям получить полный комплект конструкторско-технологической документации для изготовления формообразующих частей пресс-формы на оборудовании с ЧПУ.

2. Методика автоматизированного проектирования формообразующей оснастки

Отправной точкой для разработки формообразующей оснастки обычно служит само изделие или его электронная модель (CAD-файл). В некоторых случаях используется комбинированный метод. Для оцифровки физических моделей часто используют бесконтактные лазерные сканеры, преобразующие физическую модель в цифровые данные. В дальнейшем традиционными подходами к созданию электронных моделей изделий сложной формы, каковыми являются и детали литейной оснастки, являются параметрическое (с использованием дерева построения) и прямое моделирование. Системы с деревом построения фиксируют всю последовательность операций, выполненных при создании модели и соответствующие параметры. Системы прямого моделирования обеспечивают непосредственное взаимодействие с геометрией и позволяют напрямую вносить изменения в модель, не фиксируя историю построения. Оба этих подхода заключают в себе определённые сложности. Так, прямому моделированию не хватает точности и возможности задания взаимосвязей для управления изменениями. При параметрическом моделировании процесс внесения изменений в модель (литейные уклоны, скругления и другие технологические элементы) требует знания взаимосвязей и ограничений между элементами модели; а редактирование сложных моделей выполняется медленно, так как каждый раз выполняется пересчёт геометрии и перестроение всего дерева.

Проектирование посредством традиционной технологии предусматривает необходимость заранее спланировать стратегию построения модели с учетом будущих ее изменений, в случае не сохранения истории построения ее редактирование потребует привлечения квалифицированного специалиста и значительного запаса времени. Так как создание модели выполняется методом проб и ошибок, производительность проектирования страдает, если изменения не удастся проводить достаточно быстро.

Одно из значимых нововведений последних лет в технологии автоматизированного проектирования связано с применением синхронной технологии моделирования геометрии [2]. Обратив внимание на правила 3D-

моделирования, используемые CAD-системой SolidEdge с синхронной технологией [3], следует заметить, что они позволяют быстро создавать геометрию модели, и так же быстро ее редактировать. Гибкость системы позволяет перетаскивать базовые конструктивные элементы, такие, как отверстия, при этом, вся остальная геометрия подстраивается под сделанное изменение в режиме реального времени, без длительного перестроения всех элементов.

Ключевые нововведения, которые обеспечивают эффективность моделирования элементов формообразующей оснастки, связанные с синхронной технологией:

- автоматическое распознавание взаимосвязей, таких как – параллельность, касание, соосность, горизонтальность вертикальность;
- простота изменения параметров отверстий, массивов, тонкостенных оболочек и скруглений в соответствии с концепцией поэлементного моделирования, без наложения взаимосвязей между отдельными элементами модели;
- возможность проставлять управляющие размеры на уже готовые модели и изменять их значения, для полноты контроля геометрии введены опции указания направления смещения размера;
- возможность редактирования геометрии вне зависимости от порядка создания формообразующих элементов, как в пределах отдельной детали, так и целой сборки.

Кроме того, тщательность проработки геометрии в SolidEdge обеспечивает точность описания соответствующих траекторий инструмента в САМ-системе и, в случае необходимости электроэрозионной обработке, проработку геометрии прожигающих электродов.

Таким образом, синхронная технология позволяет пользователям САПР оперировать в терминах традиционных конструктивных элементов, задавая и редактируя их привычным способом. Наряду с этим, она обеспечивает полноценное прямое редактирование геометрии, перенос конструктивного элемента в любое место модели, а не только в пределах плоскости эскиза, независимость каждого элемента от ранее созданных, возможность перегруппировки граней в другие типы элементов. Все это открывает новые возможности моделирования формообразующей оснастки, освоив которые, проектировщики могут разрабатывать свои проекты намного быстрее.

3. Результаты и обсуждение

Рассмотрим применение синхронной технологии моделирования, реализованной в учебной версии SolidEdge, при проектировании формообразующей оснастки для литья по газифицируемым моделям [4]. Объект производства – корпус поглощающего аппарата устройства для

сцепления вагонов, локомотивов и других единиц подвижного состава, трёхмерная модель которого изображена на рис. 1.

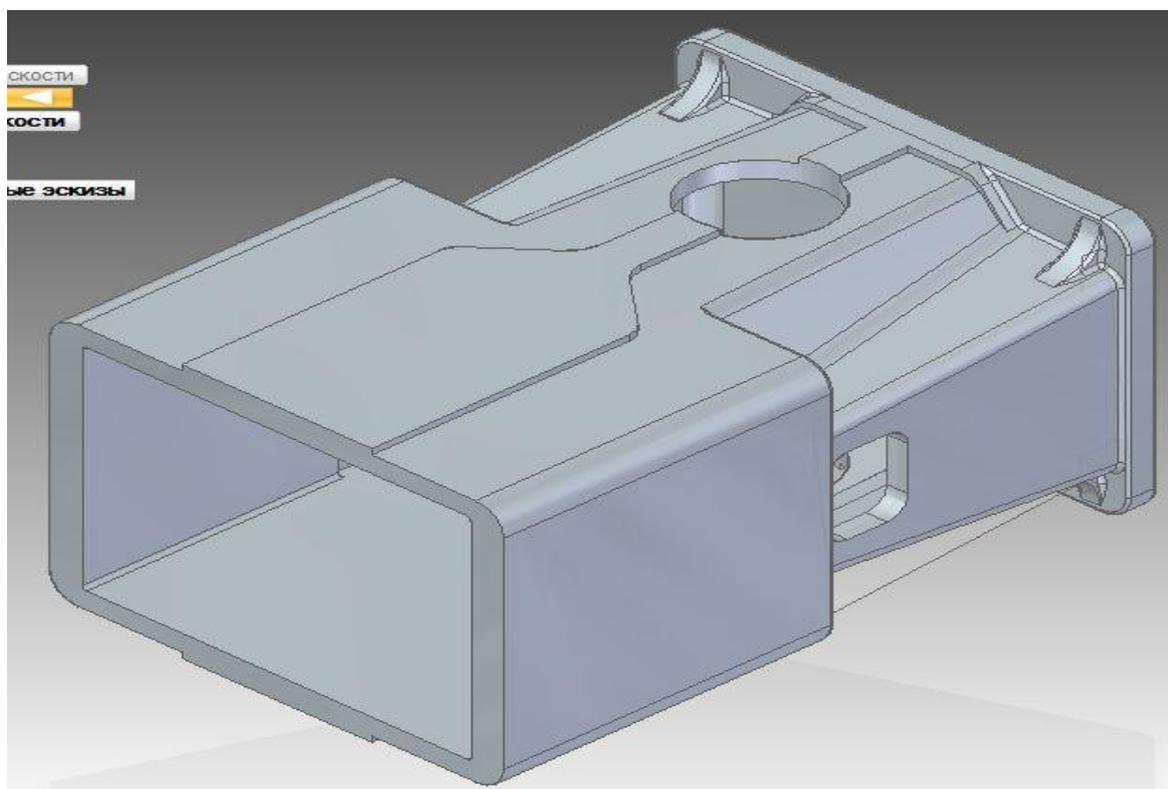


Рис. 1. Объёмная модель детали

После того как объёмная модель детали достроена и доработана с целью обеспечения эффективного литья и формовки производится моделирование набора технологической оснастки. Сюда включаются две стадии: создание моделей матриц, определяющих геометрию литейной формы и пустот, и разработку остальной части оснастки литейной формы.

Создаём файл сборки и добавляем в контекст сборки, половину отливки, определяя, соответственно будущую поверхность разъёма. Удалим автоматически созданные связи и наложим свои: совместить две любые плоскости и соединить третью. Это выполняется с помощью инструмента *Собрать компоненты*. Создадим деталь по месту, указав началом координат точку на отливке графическим вводом с привязкой к точке. Далее создаём графический примитив (параллелепипед) и вычитаем из него деталь.

Следующие этапы моделирования включают:

- выдавливание тело по модели детали с использованием булевой операцией вычитание;
- сохранение в файлах под разными именами частей матрицы с удалением лишнего материала;
- вставка деталей матрицы в сборку;
- создание части матрицы под коробчатое сечение;

- создание вкладышей в местах отверстий отливки;
- создание подставки пресс-формы и поверхностей для пролива отверстия в передней части;
- добавление вентилируемого отверстия и крепления элементов пресс-формы.

Полученный результат изображён на рис.2.

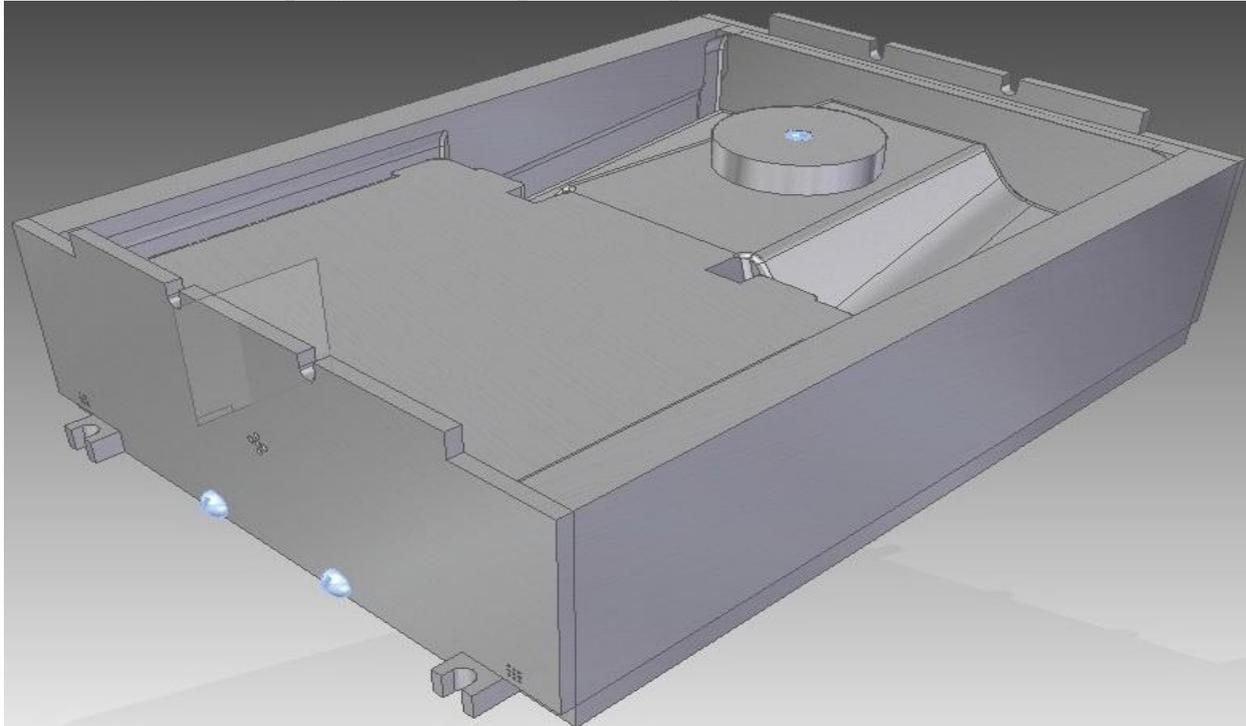


Рис.2. Конструкция матрицы

Далее генерируем ассоциативные чертежи: сборку пуансона, матрицы и других элементов оснастки. В случае каких-нибудь изменений в электронной модели изделия конструкторская документация может быть автоматически изменена, также как и траектория инструмента во взаимосвязанной САМ-файле.

4. Выводы

Выполнен обзор традиционных методик компьютерного проектирования формообразующей оснастке и выделены основные особенности технологии синхронного моделирования, позволяющие существенно сократить сроки технологической подготовки производства.

Разработана методика автоматизированного проектирования формообразующей оснастки на базе синхронной технологии трёхмерного твердотельного моделирования, учитывающая специфику организации проектных работ на небольших производственных предприятиях и позволяющая повысить их конкурентоспособность.

Список литературы

1. Яблочников Е.И., Куликов Д.Д., Молочник В.И. Моделирование приборов, систем и производственных процессов – СПб: ГУИТМО, – 2008. – 156 с.
2. Браун П., Каспрзак К.«Синхронная технология – революция в проектировании» // САПР и Графика. – 2012. – № 3. – С. 57-59.
3. Хохленков Р.В. SolidEdge с синхронной технологией. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 376 с.
4. Менгес Г., Микаэле В., Морен П. Как делать литьевые формы СПб.: Профессия, 2007. – 612 с.

Productive design of tooling with using synchronous modeling

S.A. Pertsatiev, V.V. Smirnov

The paper analyzes use of means and methods of computer modeling to design tooling components. It is proposed the technique of computer-aided design of molds for casting expanded polystyrene using synchronous modeling.

Key words: Computer modeling, tooling design.

УДК 621.9

РАСЧЕТ СЪЕМА МЕТАЛЛА ПРИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ

*Е.Ю. ТАТАРКИН, доктор техн. наук, профессор,
А.М. ИКОННИКОВ, канд. техн. наук, доцент,
В.С. СИЛИВАКИН, аспирант,
(АлтГТУ им.И.И. Ползунова, г. Барнаул)*

Татаркин Е.Ю. – 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
e-mail: iamagtu@mail.ru

Предложена геометрическая модель взаимодействия абразивной частицы с обрабатываемой поверхностью при магнитно-абразивной обработке. Произведено теоретическое исследование съема металла. Получены зависимости для определения съема металла и максимальной глубины внедрения частицы.

Ключевые слова Магнитно-абразивная обработка, единичное взаимодействие, съем металла.

Развитие машиностроения на современном этапе невозможно без постоянного повышения производительности труда и улучшения качества выпускаемых изделий. Возрастающие и расширяющиеся требования к качеству выпускаемых изделий вызывают потребность совершенствовать и создавать новые способы отделочной и упрочняющей обработки.

Совершенствуются процессы поверхностного пластического деформирования, методы обработки абразивом на гибкой связке (обработка свободным абразивом уплотненным инерционными силами, струйно-ударная обработка, виброабразивная обработка и магнитно-абразивная обработка) и многие другие виды обработки поверхностей.

Наиболее производительным способом обработки абразивом на гибкой связке является магнитно-абразивная обработка (МАО). С помощью МАО можно механизировать такие операции, как округление острых кромок и удаление заусенцев, удаление окалины и тонких оксидных пленок, полирование разных по форме поверхностей. На деталях при этом происходит упрочнение и увеличение твердости обрабатываемых поверхностей.

При исследовании основных технологических параметров обработки свободными абразивами одним из важнейших является вопрос теоретического моделирования процесса единичного взаимодействия частиц абразива с поверхностью обрабатываемой детали.

Магнитно-абразивная обработка позволяет осуществлять безразмерную обработку. Съем металла осуществляется своеобразным режущим инструментом сформированным магнитным полем из магнитно-абразивного порошка. Режущий инструмент отличается повышенной эластичностью.

Пусть абразивная частица, имеющая характерный размер r (радиус описанной окружности), движущаяся по поверхности внедряется на глубину h в материал и снимает стружку длиной L_a (рис. 1).

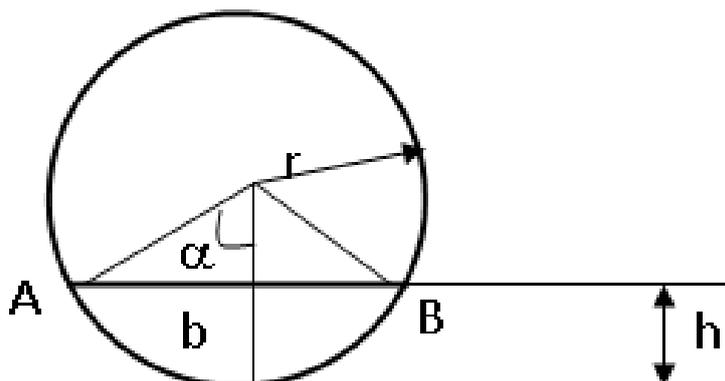


Рис. 1. Схема съема материала

Тогда объем удаляемого материала

$$V_a = k_c S * L_a = k_c \left[r^2 \arccos\left(\frac{r-h}{r}\right) - (r-h)\sqrt{h(2r-h)} \right] L_a \quad (1)$$

где k_c – коэффициент стружкообразования, равный отношению фактической площади снимаемого металла с учетом упруго-пластических деформаций обрабатываемого материала S_Φ площади сегмента S – рис. 2.

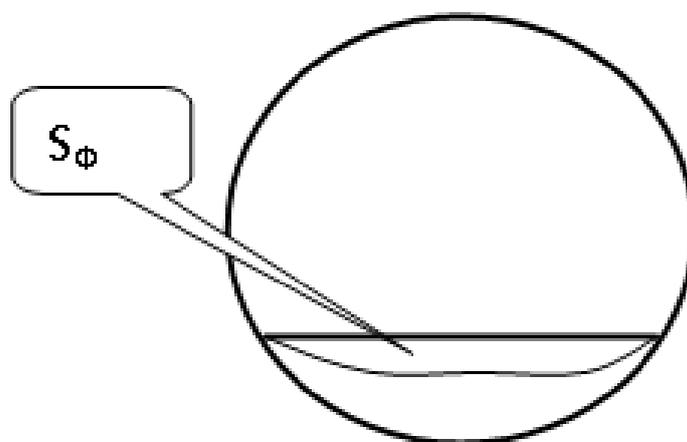


Рис. 2. Фактическая площадь срезаемого материала для расчета коэффициента стружкообразования

Глубина вдавливания зерна в металл [1]

$$h = r - \sqrt{r^2 - \frac{F_n}{\pi H_v}}, \tag{2}$$

где F_n – нормальная сила, H_v – твердость по Бринеллю.

Нормальная сила равна магнитному давлению P , умноженному на площадь поперечного сечения зерна:

$$F_n = \pi P r^2. \tag{3}$$

Длина стружки L_a в мм определяется частотой вращения индуктора n (об/мин), временем полирования t_i (с) и шириной зоны контакта индуктора с заготовкой. Считая, что магниты расположены по образующей индуктора, а ширина зоны контакта равна ширине полюса магнита B (рис. 3), суммарная длина стружки для одного зерна определяется выражением:

$$L_a = \frac{nB}{60} t_i, \tag{4}$$

где D – диаметр индуктора (мм), n – частота его вращения (об/мин).

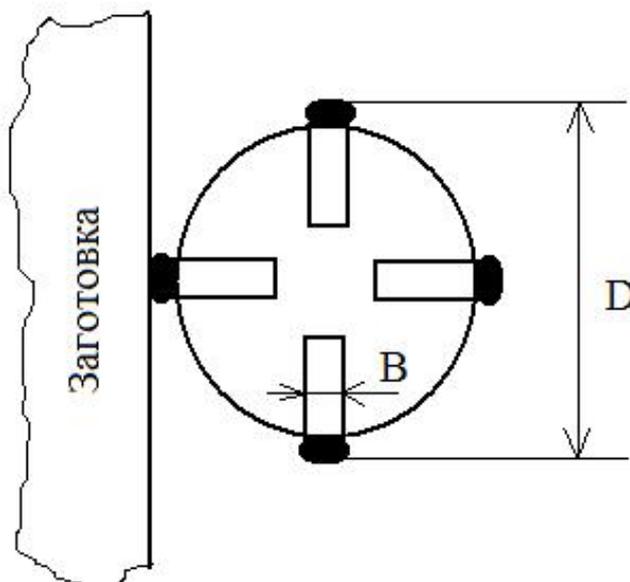


Рис. 3. Схема обработки заготовки

Обозначим диаметр магнитно-абразивных частиц D_m , а площадь полюсов магнитов – $F_{\Pi} = B \cdot H \cdot n_M$, где n_M – количество магнитов. Тогда количество работающих магнитно-абразивных частиц

$$N_M = \frac{4 B H n}{\pi D_m^2}.$$

Считая, что к одной магнитной частице прикреплено n_a режущих абразивных частиц, получим общее количество режущих зерен:

$$N = \frac{4BH}{\pi D_M^2} n_a n_i$$

Общий объем снимаемого материала

$$V_M = N * V_a.$$

Для учета динамических явлений при обработке введем дополнительный коэффициент k_d . Он позволяет учесть деформацию в зоне контакта инструмента с обрабатываемой поверхностью. Связано это с тем, что при обработке протяженных плоских поверхностей силы резания вызывают значительную деформацию как самого инструмента, так и магнито-абразивного порошка. При этом сьем металла снижается. При зоне контакта, меньшей размера полюса магнита, эти силы снижаются, уменьшая и величину деформации – рис. 4.

Коэффициент k_d всегда меньше 1, приближаясь к ней при обработке поверхностей, существенно меньших ширины полюса магнита B . Этот коэффициент зависит от значительного количества факторов. Поэтому для него предлагается эмпирическая зависимость.

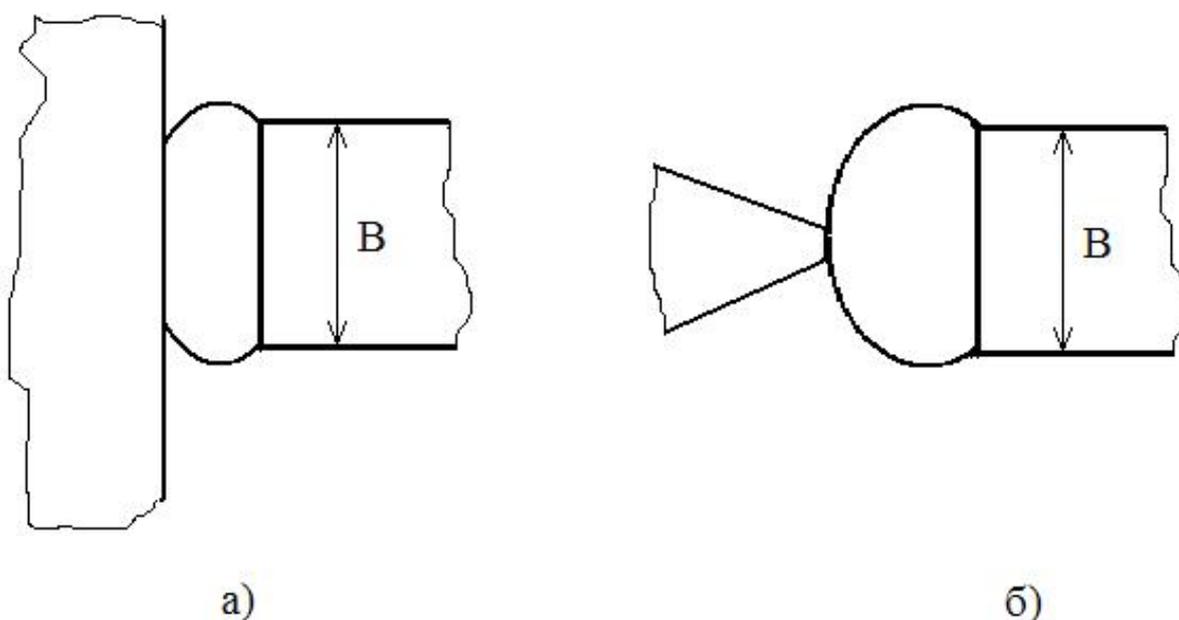


Рис. 4. Обработка плоской поверхности (а) и поверхности небольшой протяженности - выступа шероховатости (б)

Если ширина выступа шероховатости не превышает ширины магнитного полюса ($b \leq B$), то поправочный коэффициент определяется экспоненциальной зависимостью $k_d = e^{-Cb}$. При $b = 0$ $k_d = 1$, а с увеличением b значение

коэффициента снижается. При больших значениях b ($b > B$) значение коэффициента стабилизируется на уровне $k_{\dot{A}} = e^{-CB}$:

$$k_{\dot{A}} = \begin{cases} e^{-Cb}, & b \leq B \\ e^{-CB}, & b > B \end{cases} \quad (5)$$

На рис. 5 показан пример графика зависимости (5) при $B = 0,8$ и $C = 4$:

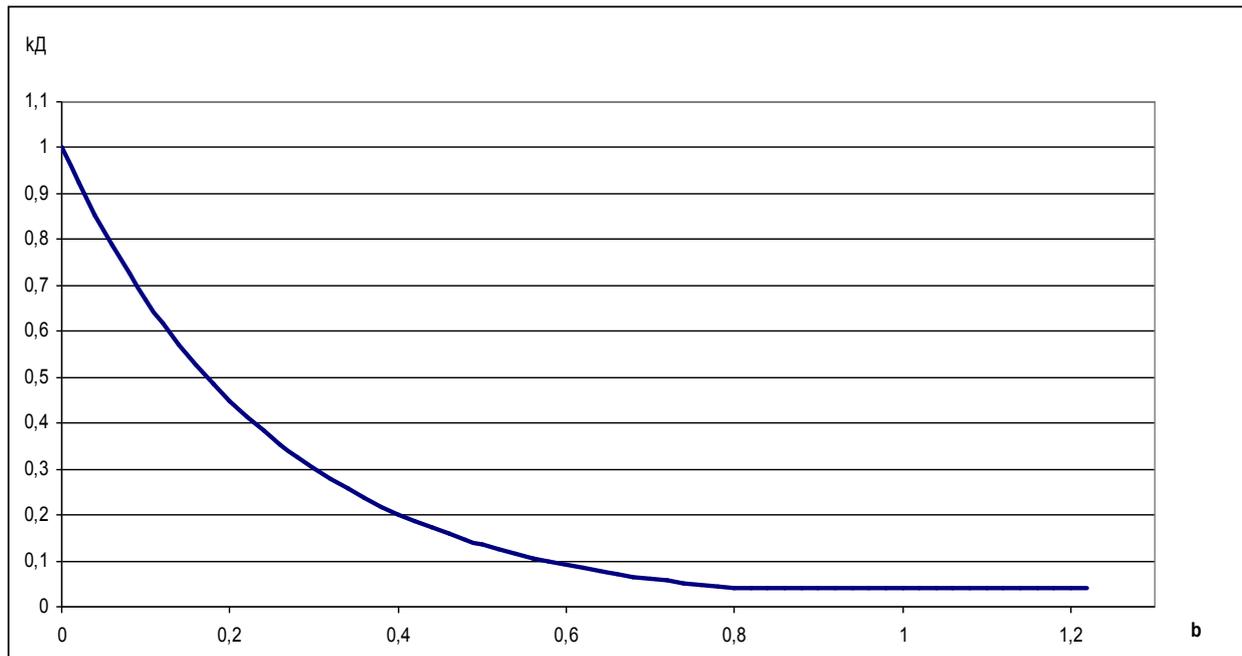


Рис. 5. Пример графика зависимости (6).

На графике хорошо виден переход при $b = 0,8$. Кривизна характеристики определяется значением коэффициента C , который зависит от конкретных условий выполнения операции.

С течением времени режущие свойства зерен снижаются в связи с их затуплением и разрушением. В связи с этим предлагается ввести в формулу еще один эмпирический коэффициент $k_{\dot{H}}(\tau)$. Для учета процесса затупления используется эмпирическая зависимость

$$k_{\dot{H}} = e^{-C_{\dot{H}}\tau} \quad (7)$$

где $C_{\dot{H}}$ учитывает изменение режущих свойств порошка во времени; τ - суммарное время работы порошка (с). Если, например, за время $\tau = 120$ с режущие свойства порошка снижаются на 20%, то $k_{\dot{H}} = 0,8 = e^{-120C_{\dot{H}}}$. Отсюда $C_{\dot{H}} = 0,00186$.

Тогда

$$V_M = \frac{B^2 H n k_c k_A k_E t_i n_a n_i}{15\pi D_M^2} \left[r^2 \arccos\left(\frac{r-h}{r}\right) - (r-h)\sqrt{h(2r-h)} \right] \quad (6)$$

Полученные зависимости могут использоваться при разработке имитационной модели процесса магнитно-абразивной обработки для расчета съема металла.

Список литературы

1. Барон Ю.М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов. - Л.: Машиностроение. Ленингр. Отделение, 1986.-176с.
2. Иконников А.М., Федоров В.А. Расчёт параметров процесса магнитно-абразивной обработки поверхностей сложного профиля. "Обработка металлов", 2003 г. №4. Новосибирск, ОАО НТП и ЭИ "ОРГСТАНКИНПРОМ". С. 10-11

Calculation metal removal in magnetic abrasive machining

E.Yu. Tatarin, A.M. Ikonnikov, V.S. Silivakin

A geometric model of the interaction of the abrasive particles from the treated surface by magnetic abrasive machining. Produced a theoretical study of metal removal. The dependencies to determine the metal removal and maximum penetration depth of the particle.

Key words: Magneto-abrasive treatment, single interaction, metal removal.

УДК 621.9 (0.45)

**КЛАССИФИКАЦИЯ СПОСОБОВ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ РЕЖУЩЕГО
ИНСТРУМЕНТА**

*А.М. МАРКОВ, доктор техн. наук, профессор,
(АлтГТУ им. И.И. Ползунова, г. Барнаул)
А.Н. РОМАШЕВ, канд. техн. наук, доцент
(БТИ АлтГТУ, г. Бийск)*

Ромашев А.Н. – 659305, г. Бийск, ул. Трофимова, 27,
Бийский технологический институт АлтГТУ,
e-mail: mrsi@bti.secna.ru

В классификации отражены три основных вида мониторинга состояния инструмента: до начала обработки, в процессе резания, после обработки. Для определенного вида реализации мониторинга используют прямой или косвенный метод определения параметров состояния инструмента. В зависимости от метода для каждого вида мониторинга указаны объекты и для каждого объекта возможные регистрируемые параметры. Подробно рассмотрено использование в качестве объекта мониторинга самого режущего инструмента при определении его состояния в процессе резания

Ключевые слова: мониторинг и контроль состояния режущего инструмента, классификация способов мониторинга, объекты мониторинга, регистрируемые параметры.

Одним из наиболее важных элементов в технологической системе механической обработки является режущий инструмент. Износ инструмента влияет на качество обработанной поверхности и получаемые размеры, в то время как отказ инструмента является основной причиной нештатных ситуаций и незапланированных перерывов во время обработки. Для современного оборудования около 20% времени общих простоев связывается с отказами инструмента, что приводит к снижению производительности и экономическим потерям.

Для мониторинга состояния инструмента возможно использование диагностических сигналов от различных частей технологической системы. На основании этого на рисунке 1 приведена классификация способов мониторинга состояния, например, токарного инструмента. В этой классификации отражены три основных вида мониторинга состояния инструмента: 1) до начала обработки; 2) в процессе резания; 3) после обработки. Первый вид направлен, прежде всего, на обеспечение соответствия режущего инструмента заданным параметрам, осуществляется обычно при смене инструмента. Второй вид предназначен для предотвращения отказов, которые могут возникнуть в процессе обработки. Третий вид предусмотрен главным образом для обеспечения требуемого качества обработки используемым инструментом на последующих операциях.

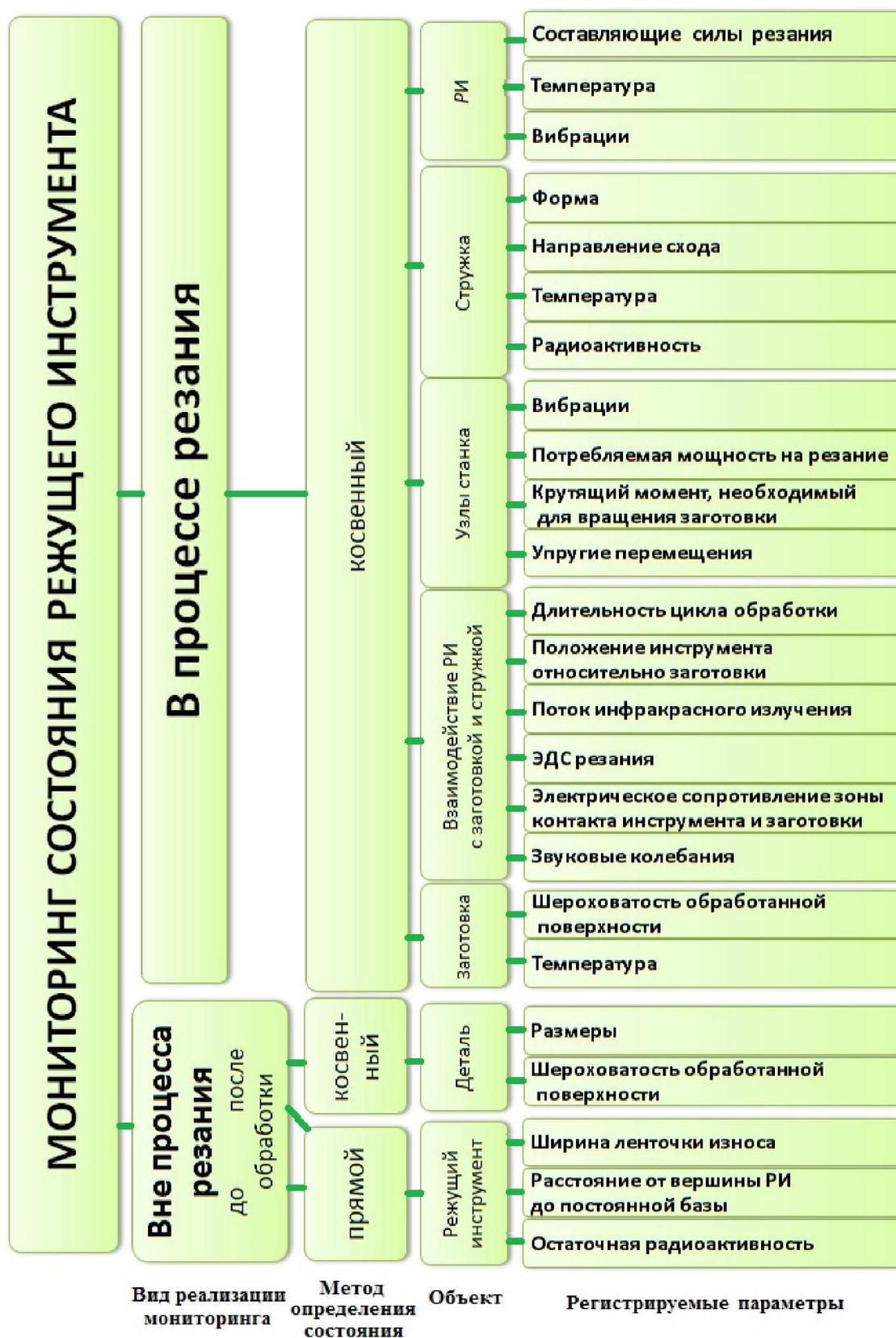


Рис. 1. Классификация способов мониторинга состояния токарного инструмента

Для определенного вида реализации мониторинга используют прямой или косвенный метод определения параметров состояния инструмента. При мониторинге после обработки возможно использование обоих методов определения параметров состояния инструмента. В зависимости от метода для каждого вида мониторинга на рисунке 1 указаны объекты и для каждого объекта возможные регистрируемые параметры.

В классификации не указаны конкретные технические средства контроля ввиду того, что для измерения значений различных параметров можно применять одни и те же средства, и в то же время с помощью различных устройств можно контролировать одинаковые параметры.

Мониторинг инструмента вне процесса резания имеет большое значение для обеспечения работоспособного состояния используемого инструмента.

В процессе производства, вследствие многократного повторения цикла обработки, виды мониторинга – до и после обработки как бы переходят друг в друга, так, например, контроль после первого цикла обработки заготовки является одновременно контролем до обработки для последующего цикла и т.д. Однако в некоторых случаях можно выделить эти виды в «чистом виде». Во-первых, это может происходить при обработке одних и тех же поверхностей заготовки несколькими инструментами. Во-вторых, мониторинг до обработки имеет место после осуществления смены инструмента на «новый», при этом производится определение начального состояния «нового» инструмента, которое служит исходным материалом для проведения последующего контроля его состояния. Мониторинг после обработки – в случае завершения обработки последней заготовки партии или при поломке инструмента. В большинстве случаев указанные виды мониторинга правильнее рассматривать не относительно какого-то определенного цикла обработки, а в отношении времени проведения обработки – процесса резания, т.е. как мониторинг вне процесса резания.

Определяя состояния инструмента вне процесса резания, в качестве объектов выступают только сам инструмент или обработанная деталь, при этом используют как прямой, так и косвенный методы определения параметров состояния инструмента (см. рисунок 1).

Мониторинг вне процесса резания позволяет осуществлять измерения с высокой точностью, потому что на используемую аппаратуру не воздействуют факторы, присущие процессу металлообработки, такие как СОЖ, температура, вибрации и др., поэтому способы мониторинга состояния инструмента вне процесса резания обладают повышенной надёжностью. Однако при этом происходит нежелательное увеличение времени полного цикла обработки вследствие выполнения дополнительных контрольных операций. Сокращения времени контрольных операций добиваются, применяя эффективные и производительные средства: оптические, оптико-электронные, телеметрические устройства прямого контроля параметров состояния инструмента.

С другой стороны, для сокращения времени, затрачиваемого на проведение мониторинга, используют технологически обусловленные промежутки в цикле обработки. Например, перемещения инструмента в исходное или рабочее положения, транспортировку обрабатываемых деталей и др. В этом случае время на осуществление операций контроля не рассматривается как потери, так как увеличения времени полного цикла обработки не происходит.

Главный недостаток способов мониторинга состояния инструмента вне процесса резания заключается в невозможности быстрого обнаружения нарушения работоспособности инструмента, происшедшего в процессе обработки, что в ряде случаев может привести к серьезным неполадкам и браку. Вследствие этого более эффективным является мониторинг инструмента в процессе резания, позволяющий, при необходимости, оперативно воздействовать на ход процесса обработки.

Мониторинг инструмента в процессе резания не увеличивает длительность цикла обработки. При этом существует вероятность того, что отказ инструмента не приведет к нарушению работоспособности других узлов технологического оборудования. Такой вид мониторинга является более эффективным и позволяет в случае необходимости вмешаться в ход процесса обработки, хотя по сравнению с мониторингом вне процесса резания в ряде случаев данный вид оказывается более трудно реализуемым и дорогостоящим.

Из представленной классификации (см. рисунок 1) видно, что рассматриваемый вид мониторинга состояния инструмента включает большее количество возможных различных регистрируемых параметров вследствие увеличения числа объектов по сравнению с видами мониторинга, осуществляемыми вне процесса резания. В качестве объекта для рассматриваемого вида можно использовать не только сам инструмент или обрабатываемую заготовку, но и образующуюся в процессе резания стружку, собственно процесс резания, иными словами взаимодействие режущего инструмента со стружкой и обрабатываемой заготовкой, а также и различные узлы металлорежущего оборудования (см. рисунок 1).

Существующие способы мониторинга состояния инструмента в процессе резания позволяют определить параметры состояния инструмента с неравнозначной степенью точности. Кроме того, вероятность обнаружения нарушений работоспособности инструмента во многом зависит от выбора места расположения измерительного преобразователя (ИП) для получения информации о значении регистрируемого параметра.

Наиболее простыми с точки зрения реализации являются способы, где в качестве объекта контроля используются различные узлы металлорежущего оборудования. При таких способах измеряются такие параметры, как мощностные и электрические параметры приводных электродвигателей или упругие перемещения и деформации элементов технологической системы (не

включая инструмент), зависящие от силовых параметров процесса резания, а также вибрации.

При измерениях, проводимых на приводных электродвигателях, ИП могут быть легко установлены на оборудовании, они не вносят искажений в процесс обработки и не изменяют технических характеристик станка

Мониторинг инструмента по силовым параметрам процесса резания получил широкое распространение вследствие получения достаточно достоверной информации о его состоянии. Возможность использования силы резания для мониторинга состояния инструмента объясняется тем, что, например, при чистовом точении с подачей менее 0,1 мм/об разброс силы резания составляет лишь 10% и быстро уменьшается с увеличением подачи. Повышенная прочность обрабатываемого материала вызывает более интенсивный износ инструмента, при этом повышается сила резания, что служит признаком скорого выхода инструмента из строя и изменения получаемого размера детали из-за большего отжима инструмента.

При измерении силовых параметров процесса резания при установке ИП на узлах металлорежущего оборудования несколько сокращается вероятность обнаружения отказов инструмента вследствие удаления ИП от зоны резания, а также ввиду того, что измеритель воспринимает не только силу резания, но и ряд других сил, имеющих место при работе металлорежущего оборудования. Влияние побочных сил приводит к увеличению погрешности измерения силы резания и это необходимо учитывать при проведении мониторинга состояния инструмента по силовым параметрам.

Исследования явлений, присущих процессу резания, позволили разработать ряд способов мониторинга состояния инструмента, при которых объектом контроля является собственно процесс резания, т.е. взаимодействие инструмента с обрабатываемой деталью и стружкой. При этом используются электрические явления, возникающие при резании, акустическое и электромагнитное излучения.

Основным достоинством мониторинга состояния инструмента по электрическим параметрам из зоны резания является отсутствие необходимости преобразования измеряемого параметра. Электрические сигналы, генерируемые при резании, регистрируют непосредственно измерительным прибором, присоединенным одним входом к инструменту, а другим – к обрабатываемой заготовке. Так называемую ЭДС резания, возникающую в зоне скользящего контакта инструмента и заготовки, измеряют в режиме как постоянного, так и переменного тока. В качестве регистрируемого параметра при определении состояния инструмента используют также величину электрического сопротивления контакта инструмента и заготовки.

Основной недостаток способов контроля по электрическим параметрам зоны резания заключается в необходимости снятия электрических сигналов с вращающихся деталей. Используемые для этого токосъемные устройства

являются основным источником искажений и помех, отмечаемых в канале измерения электрических параметров зоны резания, кроме того, такой способ применим только при обработке электропроводных материалов.

Ряд исследований был направлен на выявление возможности мониторинга состояния инструмента по акустическому излучению из зоны резания. Считается, что акустическое излучение (эмиссия) представляет собой упругую энергию, высвобождающуюся в материале при деформации или разрушении. Однако при обработке резанием генерируется не только диагностический акустический сигнал, но и шумы, мешающие выделению и расшифровке контролируемого сигнала. Шумы возникают в результате ударов стружки, из-за инородных включений в материале заготовки, вследствие работы шестерен приводов станка и прочее. Акустический сигнал зависит и от ряда технологических факторов (глубины и скорости резания, частоты вращения шпинделя, величины вылета инструмента или заготовки и др.).

Для мониторинга состояния инструмента известны немногочисленные способы с использованием в качестве объекта образующуюся при резании стружку. Состояние инструмента в данном случае оценивают по её форме, температуре, радиоактивности или направлению схода стружки. Например, температуру стружки измеряют с помощью фотодиодов.

Обрабатываемая заготовка также может быть использована в качестве объекта мониторинга состояния инструмента в процессе резания. Однако следует отметить, что использование обрабатываемой заготовки в этом качестве более рационально при проведении мониторинга состояния режущего инструмента вне процесса резания.

Более подробно рассмотрим использование в качестве объекта мониторинга самого режущего инструмента при определении его состояния в процессе резания.

При механической обработке инструмент в процессе резания находится в постоянном контакте с обрабатываемой заготовкой (не рассматривая случай прерывистого резания), поэтому использование прямого метода определения параметров его состояния практически невозможно. Судить о состоянии используемого инструмента в такой ситуации приходится, применяя косвенный метод, при этом регистрируются диагностические сигналы, формирующиеся вследствие реакции самого инструмента на изменение условий обработки из-за изменения состояния инструмента (т.е. его износа, поломки и т.д.).

Размещение измерительных устройств на режущем инструменте позволяет получать более качественную информацию о ходе процесса резания и о состоянии инструмента, но, с другой стороны, это требует некоторой доработки стандартного режущего инструмента и иногда существенной. Поэтому целесообразность применения такого инструмента требует четкого экономического обоснования.

Тело инструмента в процессе резания испытывает действия сил,

возникающих при резании, воспринимает вибрации и воздействие температур и др. На основе этого определены параметры, измеряя которые имеется возможность проводить мониторинг состояния используемого инструмента.

Исследования показывают, что, например, силовые параметры процесса резания зависят от вида инструмента, его геометрии, тенденций ее изменения в процессе использования инструмента и прочее, но в настоящее время существующие методики определения значений силовых параметров учитывают их изменения, обусловленные износом, путем введения уточняющих коэффициентов. Эти коэффициенты имеют ориентировочные значения, ограниченные некоторым интервалом, и нередко для конкретных условий обработки расчётные значения определяемых силовых параметров могут сильно отличаться от фактических. Хотя изменения силовых параметров позволяют судить о процессе изнашивания инструмента, рекомендации по назначению предельных величин, в соответствии с существующими методиками определения значений силовых параметров, носят ориентировочно-приблизительный характер, что приводит к необходимости уточнения значений предельных параметров в процессе эксплуатации устройств мониторинга.

При резании взаимодействие инструмента с обрабатываемым материалом вызывает два одновременно протекающих процесса: разрушение обрабатываемого материала и разрушение режущего инструмента. Результатом разрушения обрабатываемого материала является образование стружки и поверхностного слоя заготовки, которые характеризуются указанными на рисунке 2 параметрами состояния. Значение параметров определяются условиями резания. Разрушение инструмента проявляется в виде изнашивания его рабочих поверхностей или выкрашивания (сколов) режущей части, что изменяет параметры начального состояния инструмента. Изменяется его геометрия, а вместе с ней основные параметры состояния стружки и поверхностного слоя детали. В свою очередь, параметры состояния стружки и детали влияют на особенности разрушения инструмента и параметры его состояния.

Среди параметров первого и второго блока есть такие, которые непрерывно измеряют, осуществляя мониторинг – наблюдение за развитием во времени. Это износ, скалывание, поломка инструмента, форма стружки, нарост, шероховатость, размер детали и др.

Помимо взаимосвязанных между собой параметров состояния стружки, детали и инструмента, процесс резания характеризуется функциональными параметрами. Из параметров этого третьего блока особое место занимает сила резания. Она появляется при заданном кинематикой резания относительном движении инструмента в обрабатываемой заготовке. Поэтому сила ровно такая, которая потребна для преодоления сопротивления этому движению – сопротивления разрушению срезаемого слоя и трения, возникающего в

движении. Любые изменения условий резания, вызванные изменением параметров состояния инструмента и стружки, приводят к изменению силы. При этом в связи с нестационарностью процесса резания могут изменяться не только среднее значение силы и направление её действия \vec{R} , но и амплитуда A_R и f_R – частота её колебания.



Рис. 2. Взаимосвязь параметров в процессе резания

Возникающие в процессе резания силовые параметры в первую очередь оказывают воздействие на режущий инструмент и обрабатываемую заготовку, что вызывает их упругие перемещения и деформации, а затем и всех остальных элементов технологической системы. Поэтому существует мнение, что наиболее рациональным источником информации для измерения значений силовых параметров в процессе резания является сам инструмент, он непосредственно воспринимает возникающую нагрузку. В то же время осуществление измерений силовых параметров на самом инструменте сопряжено с рядом трудностей как конструктивного, так и организационного

характера.

Выводы

Предложенная классификация демонстрирует многообразие существующих способов мониторинга. Виды реализации мониторинга отличаются не только временем осуществления, но и своими задачами.

Рассматривая использование РИ в качестве объекта мониторинга можно сделать вывод о практическом отсутствии конструкций динамометрических устройств, выполненных в теле режущего инструмента или инструментальной системы.

В настоящее время в связи с дальнейшим развитием, как измерительной техники, так и вследствие создания принципиально новых конструкций режущих инструментов (например, для модульных инструментальных систем) имеется возможность создания совмещенных режущих инструментов-измерителей, обеспечивающих требуемые его прочностные и жесткостные характеристики.

Classification of ways of the cutting tool condition monitoring

A.M. Markov, A.N. Romashev

Three main types of monitoring of a condition of the tool are reflected in classification: prior to processing; in the course of cutting; after processing. For a certain type of realization of monitoring use a direct or indirect method of determination of parameters of a condition of the tool. Depending on a method for each type of monitoring objects and for each object possible registered parameters are specified. Use as object of monitoring of the most cutting tool is in detail considered when determining its state in the course of cutting.

Key words: monitoring and control of a condition of the tool, classification of monitoring types, monitoring objects, registered parameters.

УДК 621.9(0.45)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ СТАНКОВ С ЧПУ МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ

*В.В. РЫЖИКОВ, доцент, кандидат наук,
А.А. АНТОНОВА, студентка,
И.К. ЛУКАШ, студент,
Е.А. СУДАКОВА, студентка,
К.И. ТЕЛИЦЫНА, студентка,
(БТИ, г. Бийск)*

Рыжиков В.В. - 659305, г. Бийск, ул. Трофимова, 45,
Бийский технологический институт,
e-mail: mrsi@bti.secna.ru

В статье приведены результаты статистических исследований точности позиционирования инструментальной головки УГ9326. Расчеты выполнены с помощью методов математической статистики и научных основ метрологии. Полученные данные обработаны с использованием пакетов STATISTICA 6.1 и MICROSOFT OFFICE EXCEL. По результатам исследования намечены пути конструкторского усовершенствования инструментальной головки.

Ключевые слова: Инструментальная головка, Токарный станок с ЧПУ, точность позиционирования, статистические методы исследования точности.

Как показала практика эксплуатации станков с ЧПУ, наиболее ненадежным и, вместе с тем, сложным узлом станка является револьверная головка (РГ). Основные недостатки:

- 1) сложность установки режущего инструмента;
- 2) поломка зубьев колес редуктора;
- 3) выход из строя электродвигателя для смены инструмента.

Указанные недостатки послужили объективными причинами, чтобы выполнить исследование точности. Результаты измерений обработаны с помощью методов математической статистики, поскольку эти методы служат для получения надёжных результатов без исследования физических причин.

В ходе исследования было выполнено:

- 1) планирование эксперимента [1];
- 2) разработка конструкции оправки;
- 3) разработка управляющей программы;
- 4) выбор средств измерений [2];
- 5) обработка результатов измерений по приведенным данным [3];
- 6) проведены три эксперимента:

а. обработка при постоянном цикле позиционирования;

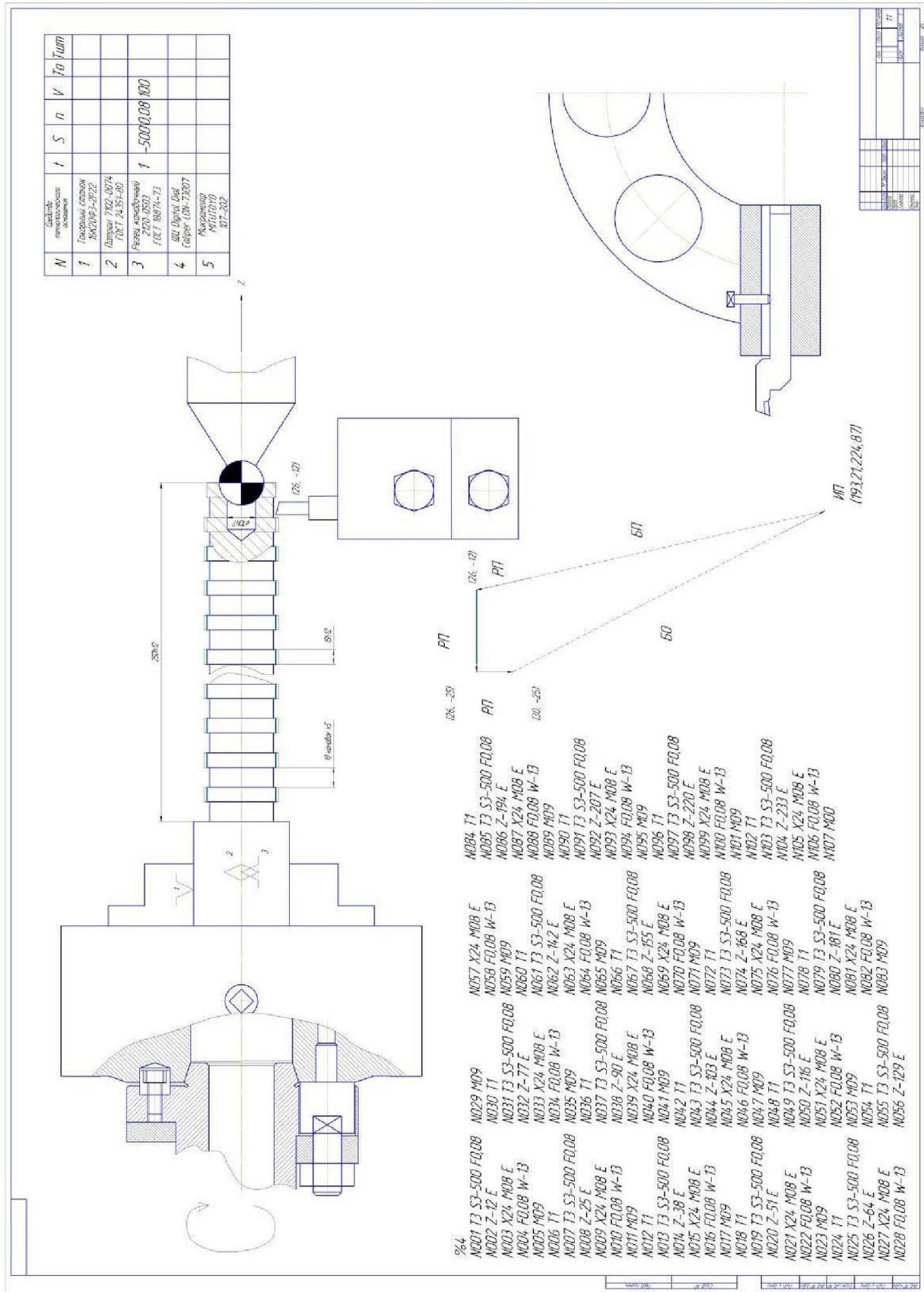


Рис.1. Конструкция оправки

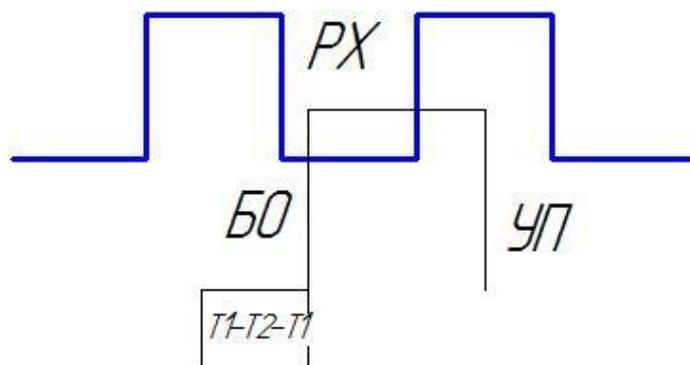


Рис.2 Схематическое изображение проведения первого эксперимента

в. обработка при переменном цикле позиционирования;

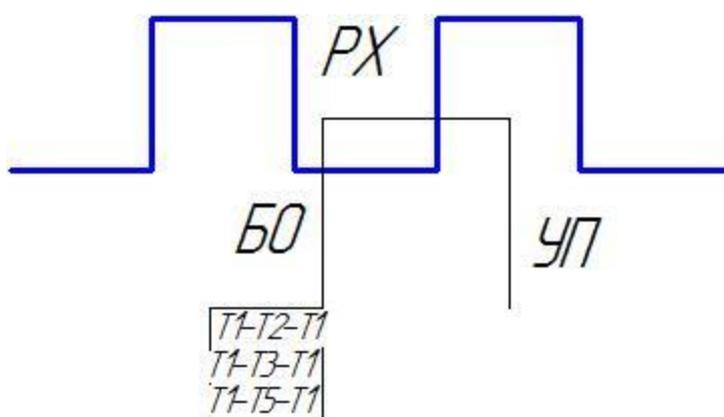


Рис.3 Схематическое изображение проведения второго эксперимента

с. обработка при принудительном отключении системы управления. (Были обработаны 6 канавок, затем отключение и снова включение станка в работу);

Обработка результатов измерений выполнена в соответствии [3] Исключение грубых погрешностей выполнено по Критерию Шовинье. Все результаты действительны.

В качестве средств измерений применены микрометр МИТUTOYO 107-202 с ценой деления 0,001 мм; электронный штангенциркуль Kraftool 34460-150 с ценой деления 0,01 мм., предварительно настроенные в соответствии с нормативно-техническими документами.

За результаты измерений приняты средние арифметические по трем измерениям.

$$\overline{x_{ap1}} = 26,67 \cdot 10^{-3}$$

$$\overline{x_{ap2}} = 25,66 \cdot 10^{-3}$$

$$\overline{x_{ap3}} = 25,33 \cdot 10^{-3}$$

Вычисление средней квадратической погрешности единичных измерений (м):

$$\sigma_1 = 0,119 \cdot 10^{-3}$$

$$\sigma_2 = 0,109 \cdot 10^{-3}$$

$$\sigma_3 = 0,089 \cdot 10^{-3}$$

По паспорту стабильность индексации головки в радиальном направлении равна $5 \cdot 10^{-6}$ м.

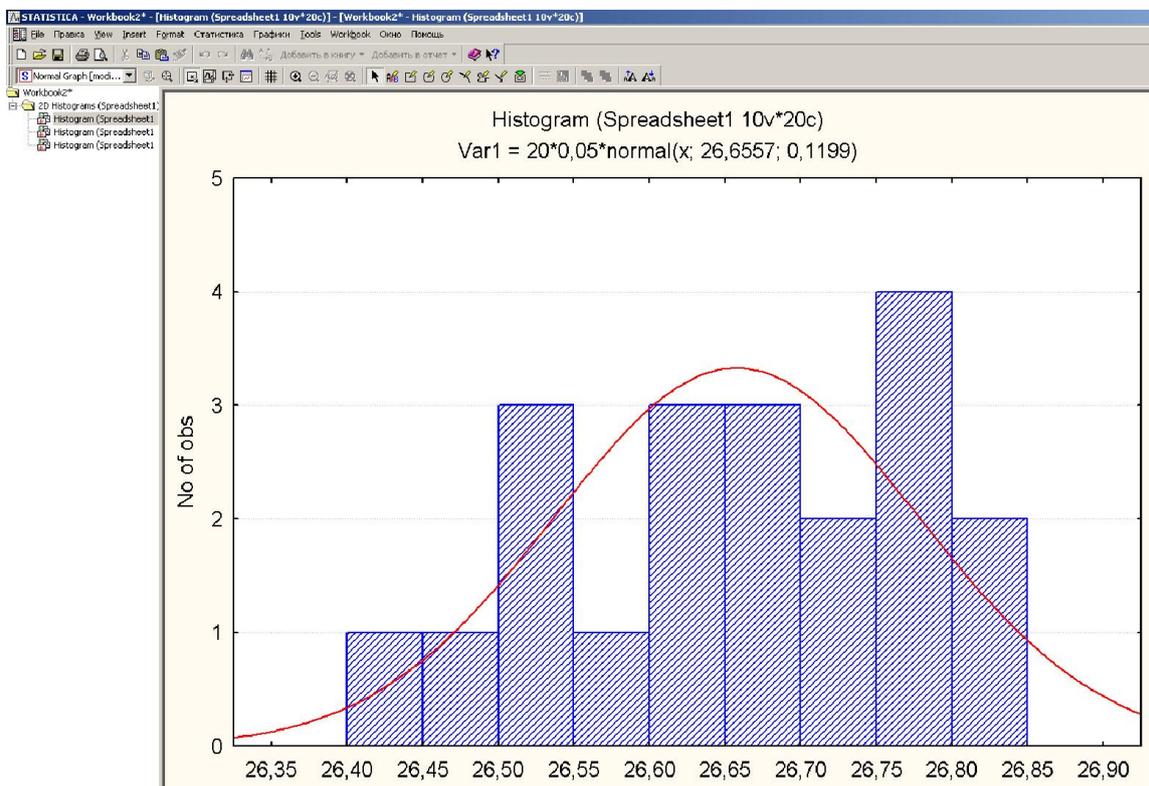


Рис.4. Гистограмма нормального распределения для первого эксперимента.

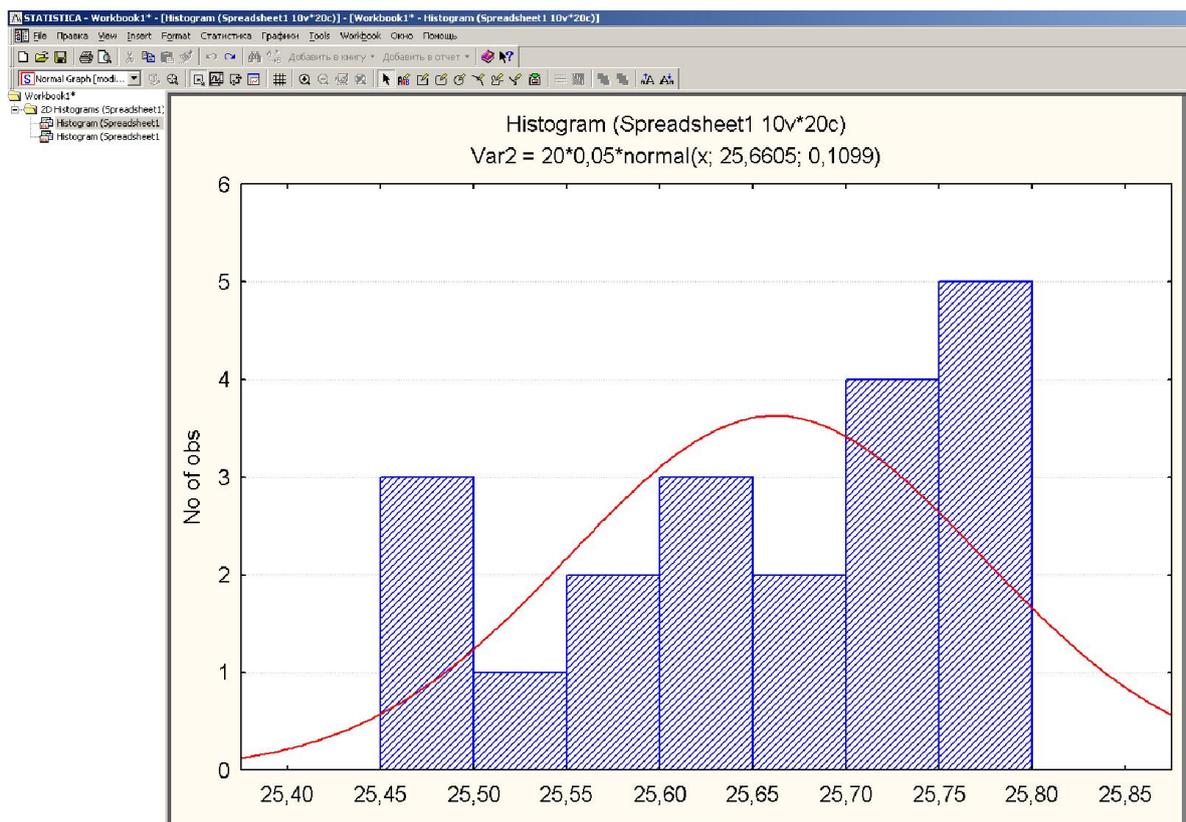


Рис. 5. Гистограмма нормального распределения для второго эксперимента.

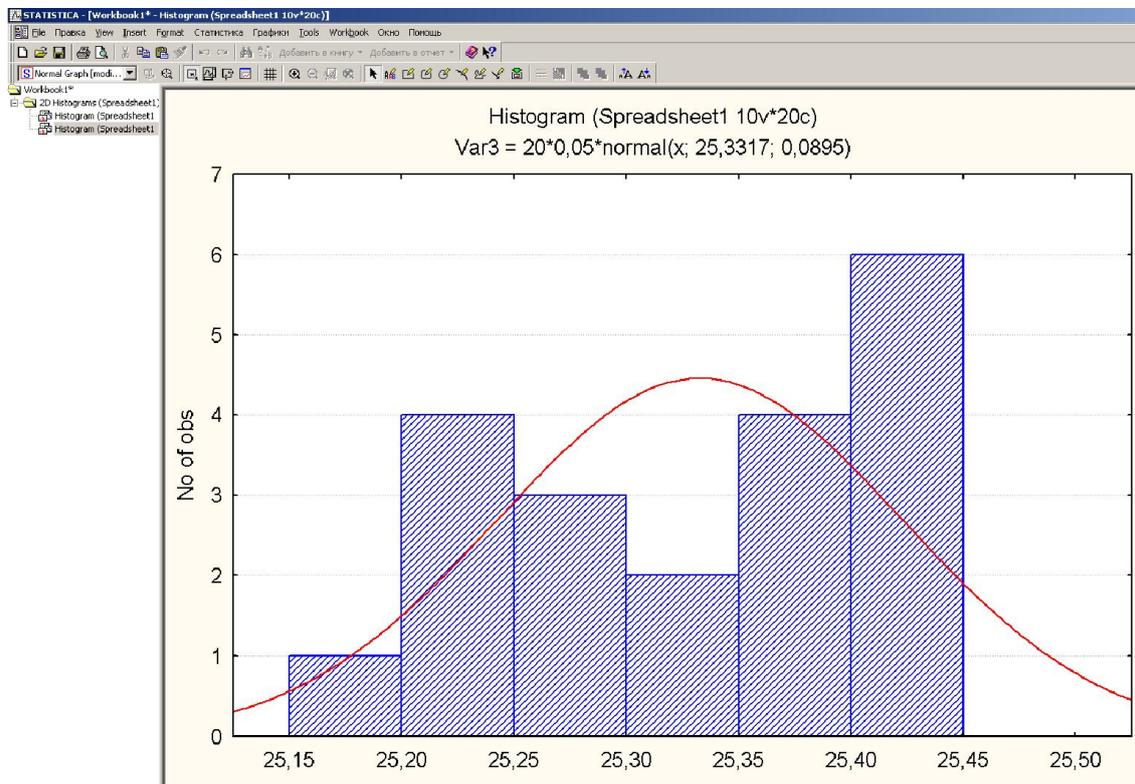


Рис. 6. Гистограмма нормального распределения для третьего эксперимента.

Данные исследования позволили сделать вывод о том, что исследуемая инструментальная головка требует реконструкции, так как не обеспечивает необходимой точности позиционирования.

Список литературы

1. Четыркин Е.М., Вероятность и статистика: // М.: Финансы и статистика, 1982. - 319 с.
2. Правиков Ю.М., Метрологическое обеспечение производства: Учебное пособие // 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Кнорус, 2009. - 240 с.
3. Ватугин В.А., Теория вероятностей и математическая статистика: Учебное пособие для вузов // М.: Дрофа, 2005. - 315 с.
4. Рыжиков, Е.С. Барышева, Ю.С. Босурманова Статистические исследования погрешности позиционирования револьверной головки // Проблемы повышения эффективности металлообработки в промышленности на современном этапе // Материалы 10-й Всероссийской научно-практической конференции 27 марта 2012 г. // Новосибирск, 2012.

Studying accuracy of numerical control lathe by using mathematically statistical method

V.V. Ryzhikov, A.A. Antonova, I.K. Lukash, E.A. Sudakova, K.I. Telitsyna

In this article, there are statistical research results of positioning accuracy of UG9326 tool head planted on 16K20F3 screw-cutting lathe. Research has been made with STATISTIKA v6.1 software and MS Office Excel. These results make possible evaluation of the tool head positioning accuracy either as its further improvement planning.

Key words: tool head, numerical control screw-cutting lathe, positioning accuracy, statistical method of accuracy research.

УДК 621.9.06:678.5

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗНОСА ИНСТРУМЕНТА НА ОПЕРАЦИЯХ ФРЕЗЕРОВАНИЯ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ

*А.М. МАРКОВ, доктор техн. наук, профессор,
П.О. ЧЕРДАНЦЕВ, канд. техн. наук, ст. преподаватель,
С.В. ГАЙСТ, аспирант,
О.А. БАРСУКОВА, магистрант
(АлтГТУ, г. Барнаул)*

Марков А.М. – 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
e-mail: andmarkov@mail.ru

В статье рассматриваются проблемы механической обработки композиционных материалов, таких как стеклопластики. Основными факторами, повышающими интенсивность износа режущего инструмента в процессе фрезерования стеклопластика, являются анизотропия свойств материала, низкая теплопроводность и высокая твердость наполнителя. Сделан вывод о необходимости экспериментальных исследований для описания характера износа. Было осуществлено планирование эксперимента и разработана методика прогнозирования износа инструмента и шероховатости обработанной поверхности в зависимости от режимов резания. Полученные результаты могут использоваться для проектирования операций фрезерования деталей из стеклопластика.

Ключевые слова: стеклопластик, фрезерование, планирование эксперимента, интенсивность износа, режимы резания

Для современного машиностроения характерно широкое использование новых конструкционных материалов. Это связано с тем, что металлы и их сплавы не всегда в состоянии удовлетворить такие требования как малая масса, повышенная жесткость и прочность, высокая надежность, низкая себестоимость.

Одним из перспективных решений в этой области является применение композиционных материалов, обладающих высокими эксплуатационными и физико-химическими свойствами: высокая прочность, стойкость к агрессивным химическим средам, низкая тепло- и электропроводность, высокие триботехнические характеристики (низкий коэффициент трения, способность работать в условиях сухого трения, высокая износостойкость).

Широкое распространение получили полимерные композиционные материалы, такие как стекло-, боро- и углепластики, находящие применение в авиа-, судо-, автомобилестроении и других отраслях промышленности. В частности, указанные материалы применяются для изготовления различных

корпусных деталей, причем чаще используются стеклопластики (рисунок 1), т.к. затраты в этом случае меньше, чем при использовании боро- и углепластиков.

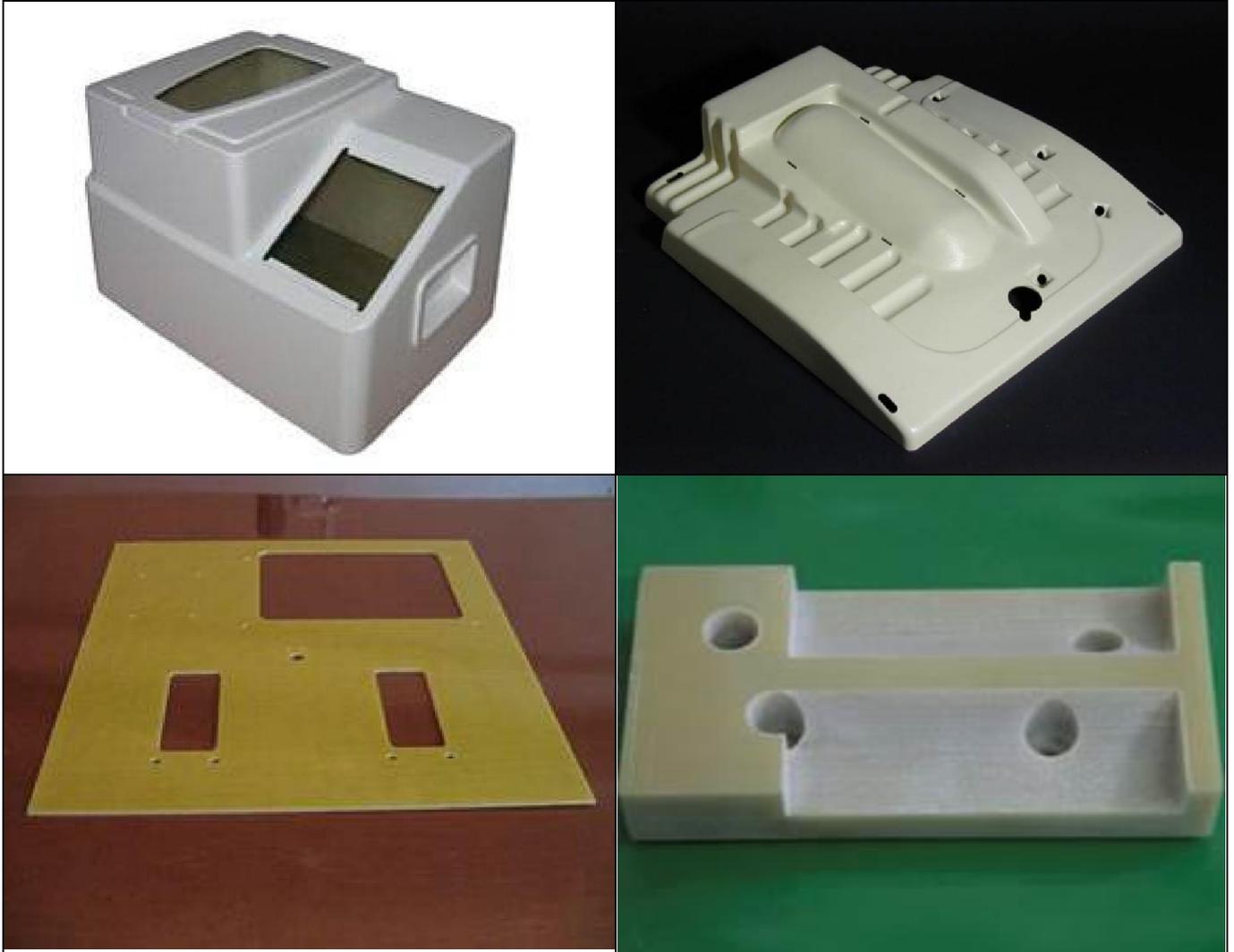


Рис. 1. Корпусные детали

Следует отметить, что существующие методы получения заготовок из стеклопластиков не обеспечивают предъявляемые требования по точности размеров, формы и взаимного расположения поверхностей. Для их обеспечения необходима дальнейшая механическая обработка.

Основным видом механической обработки корпусных деталей является фрезерование [1], применяемое для прорезки пазов, вырезки окон, получения различного рода канавок и уступов, причем при обработке стеклопластиков в основном используется фрезерование концевыми фрезами. При этом требования к точности фрезерования: 10-11 квалитет, к качеству поверхности: $Ra \leq 10$ мкм. При фрезеровании стеклопластиков необходимо учитывать такие

факторы, как анизотропия свойств материала, его низкая теплопроводность и высокие упругие свойства, высокая твердость и абразивное воздействие наполнителя, выделение мелких частиц в процессе резания. Это приводит к повышенному износу режущей части инструмента (рисунок 2) и делает невозможным обеспечение таких показателей качества, как точность размеров, формы и взаимного расположения поверхностей, а также шероховатость.

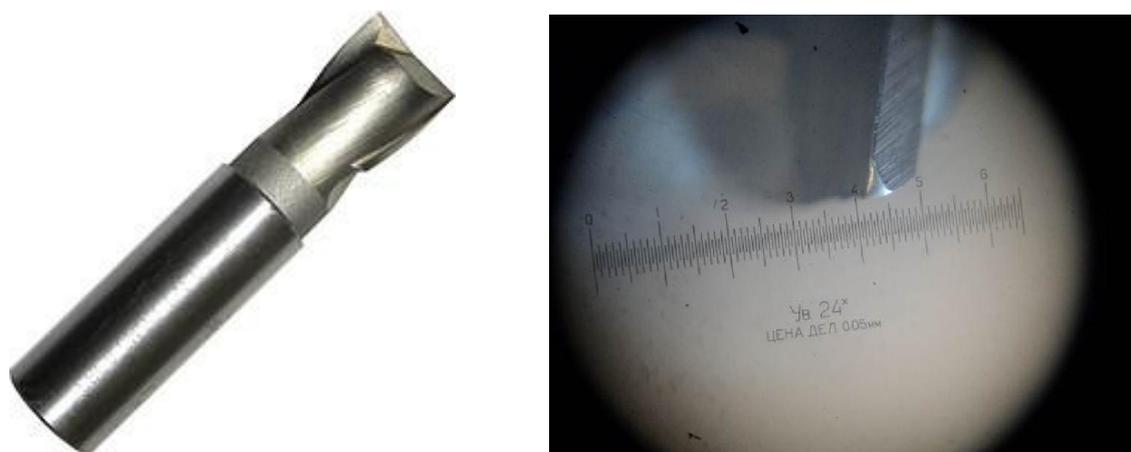


Рис. 2. Режущий инструмент, характер его износа

Существующие модели процесса фрезерования стеклопластиков, используемые при назначении режимов резания, не в полной мере учитывают указанные особенности. Таким образом, возникает необходимость проведения экспериментальных исследований, основными задачами которых являются:

- изучение влияния режимных характеристик процесса фрезерования и конструктивно-геометрических параметров инструмента на точность обработки и получаемую шероховатость;
- изучение зависимости интенсивности износа инструмента от режимных параметров процесса фрезерования.

Экспериментальные исследования проводятся в виде дробного факторного эксперимента вида 2^{3-1} [2], где варьируемыми параметрами (факторами) являются режимы резания: скорость резания V , м/мин, подача S , мм/зуб, и глубина фрезерования t , мм. Все факторы принимают в процессе эксперимента только два значения – максимальное (верхний уровень) и минимальное (нижний уровень). Повторяемость эксперимента – 3. Контролируемыми параметрами в экспериментальных исследованиях являются: износ инструмента U , мкм, шероховатость обработанной поверхности R_a , мкм, и глубина дефектного слоя h , мкм. Матрица планирования эксперимента представлена ниже.

V	S	t
+	+	+
+	-	-
-	+	-
-	-	+

Проведенный литературный обзор показал, что целесообразно принять следующие интервалы варьирования:

- скорость резания $V=120\dots200$ м/мин;
- подача $S=0,06\dots0,12$ мм/зуб;
- глубина фрезерования $t=1\dots5$ мм.

Нижние границы интервалов варьирования определяются минимальной производительностью, верхние – качеством обработанной поверхности.

Эксперимент проводится на станке ГФ2171С5, оснащенном системой ЧПУ FMS-3200. В качестве режущего инструмента выбрана концевая фреза, материал режущей части которой ВК8.

В качестве экспериментальных образцов для проведения исследований выбраны заготовки из композиционного материала марки КППН, обладающего следующими физико-механическими свойствами:

- предел прочности в тангенциальном направлении 460 МПа;
- предел прочности в осевом направлении 880 МПа;
- модуль упругости при растяжении 263 МПа;
- плотность $1,97 \times 10^3$ кг·м³.

Контроль износа инструмента U , мкм осуществляется с помощью прибора МПБ-2, цена деления которого составляет 0,05 мм. Выявление износа по передней или задней поверхности осуществляется с помощью микроскопа. Контроль шероховатости обработанной поверхности осуществляется с помощью профилографа НОММЕЛ.

В результате обработки полученных данных предполагается получить степенные зависимости, общий вид которых приведен ниже.

$$U = C \cdot V^\alpha \cdot S^\beta \cdot t^\gamma \quad (1)$$

$$Ra = C_1 \cdot V^{\alpha_1} \cdot S^{\beta_1} \cdot t^{\gamma_1} \quad (2)$$

Эти зависимости используются при разработке методики назначения экономически обоснованных режимов резания, обеспечивающих выполнение предъявляемых к изделиям требований по точности размеров, формы и взаимного расположения поверхностей.

Список литературы

1. Баранчиков В.И., Тарапанов А.С., Харламов Г.А. Обработка специальных материалов в машиностроении: Справочник. Библиотека технолога. – М.: Машиностроение, 2002. – 264 с., ил.
2. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: «Наука», 1976. – 320 с.

The research technique of tool wear during milling of fiberglass

A.M. Markov, P.O. Cherdancev, S.V. Gayst, O.A. Barsukova

The machining of composite materials, such as fiberglass, is considered in paper. The most important factors defining wear of the cutting tool during milling of fiberglass are anisotropy of its properties, low thermal conductivity and high filler hardness. It means special experiments need to describe the wear. The experimental planning was carried out and methodology of forecasting tool wear and surface quality was carried out too. The derived results can be used for designing product operations of milling parts made of fiberglass.

Key words: fiberglass, milling, experiment planning, wear rate, cutting conditions.

УДК 621.9.047

**ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО РАСТВОРЕНИЯ ПОКРЫТИЙ НА
ОСНОВЕ ПОРОШКОВОГО МАТЕРИАЛА ПС12НВК**

В.В. ЯНПОЛЬСКИЙ, канд. техн. наук, доцент,
Т.В. КОЗИЧ, магистрант,
(НГТУ, г. Новосибирск)

Янпольский В.В. – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: yanpolskiyv@mail.ru

Рассмотрены особенности растворения покрытия на основе порошковой смеси ПС12НВК в водных растворах нейтральных солей NaNO_3 , Na_2SO_4 и NaCl при фиксированных значениях потенциалов $\varphi = 0,5$ В, $\varphi = 2$ В и $\varphi = 4$ В. Показано, что с увеличением времени протекания процесса электрохимического растворения при фиксированных значениях потенциала происходит рост плотности тока.

Ключевые слова: электроалмазное шлифование, электрохимическое растворение, поляризационные исследования, покрытия.

1. Введение

На современном этапе развития машиностроения процесс нанесения покрытия сопровождается существенными энергетическими и временными затратами, степень которых варьируется в зависимости от выбранного метода получения и требуемых характеристик покрытия. Вместе с тем, себестоимость и качество изделия с покрытием во многом зависят от метода финишной обработки. Как правило, в качестве финишной обработки применяют различные виды шлифования. Однако применение традиционных способов шлифования, таких как абразивное и алмазное, приводит к снижению физико-механических характеристик поверхностного слоя, достигнутых на этапе нанесения покрытий. Снижение качества поверхностного слоя связано с тем, что твердость покрытий на основе порошковых материалов зачастую сопоставима с твердостью абразивного инструмента, что приводит к увеличению сил резания, а следовательно, и температуры в зоне обработки [1]. Повышение температуры может неблагоприятно сказываться на качестве обработанной поверхности, в частности, возможно образование дефектов в виде сетки микротрещин и прижогов, а в некоторых случаях и приводит к отслаиванию покрытия.

Одним из способов формообразования деталей с покрытиями является электроалмазное шлифование [2]. Вместе с тем для

эффективного применения метода для шлифования деталей с покрытиями, которые, как правило, состоят из нескольких различных по свойствам материалов, необходимо определить особенности электрохимического растворения обрабатываемого материала в применяемом составе электролита.

2. Методика экспериментального исследования

Исследования особенностей электрохимического растворения покрытий проводились на потенциостате IPC Pro. Потенциал анода изменялся от 0 до 4,5 В. В качестве электрода сравнения использовали платиновый электрод. Перед погружением в ячейку образцы зачищали на наждачной бумаге и промывали дистиллированной водой. Электролиты готовили из нейтральных солей NaNO_3 , Na_2SO_4 и NaCl марки «ч.д.а.» и «х.ч.». В качестве исследуемого образца применяли покрытие на основе порошкового материала ПС12НВК.

3. Результаты и обсуждение

На рисунке 1 представлены поляризационные кривые электрохимического растворения покрытия ПС12НВК в водных растворах NaNO_3 , Na_2SO_4 и NaCl . Из рисунка видно, что растворение покрытия на основе порошка ПС12НВК происходит в активном состоянии, о чем свидетельствует непрерывное увеличение плотности тока с повышением потенциала анода во всем исследуемом диапазоне

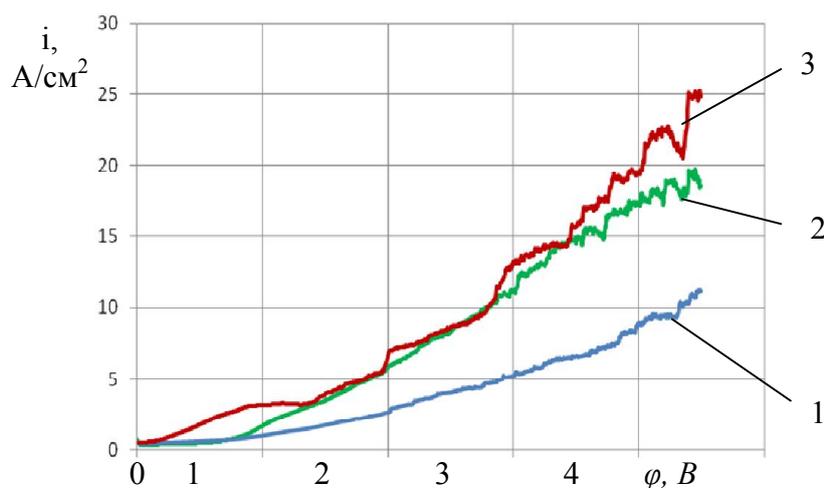


Рис. 1. Поляризационные кривые анодного растворения порошковой смеси ПС12НВК в водных растворах нейтральных солей
1 – 10% Na_2SO_4 , 2 10% NaNO_3 , 3 - 10 % NaCl

от 0 до 4,5 В для исследуемых электролитов. Данный факт также подтверждается результатами поляризационных исследований растворения порошковой смеси ПС12НВК при фиксированном значении потенциалов, а именно при $\varphi = 0,5$ В, $\varphi = 2$ В и $\varphi = 4$ В. (рис. 2).

С увеличением времени растворения при фиксированном значении потенциала практически не происходит снижения величины плотности тока, а при потенциалах $\varphi = 2$ В и $\varphi = 4$ В, наблюдается повышение значения плотности тока, что и подтверждает активное растворение материала ПС12НВК в водном растворе 10% NaNO_3 .

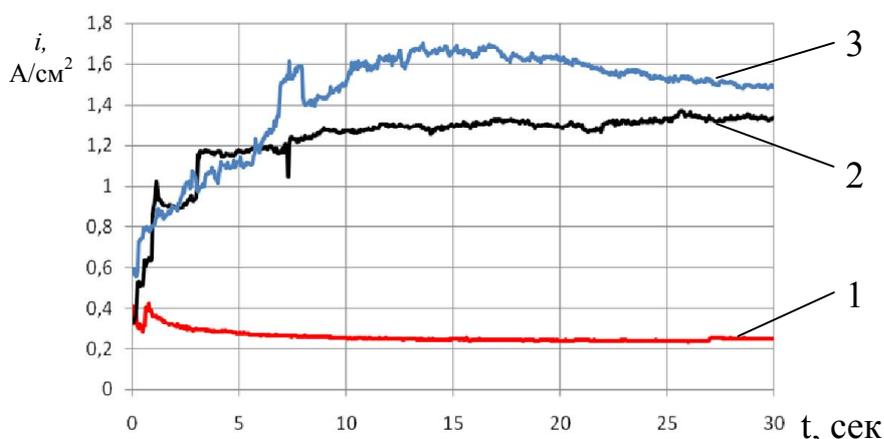


Рис. 2. Потенциостатические поляризационные кривые анодного растворения порошковой смеси ПС12НВК в водном растворе 10% NaNO_3
1 – $\varphi=0,5$ В; 2 – $\varphi= 2$ В; 3 – $\varphi= 4$ В.

Аналогичная картина электрохимического растворения исследуемой порошковой смеси наблюдается и при проведении экспериментов в водных растворах Na_2SO_4 и NaCl

4. Выводы

Анализ полученных результатов позволяет предположить, что электрохимическое растворение порошковой смеси ПС12НВК в водных растворах нейтральных солей Na_2SO_4 , NaNO_3 , и NaCl происходит в активном состоянии. Вероятно, характер растворения указанного покрытия определяется характером электрохимического поведения таких элементов как никель (Ni) и кобальт (Co), входящих в состав порошковой смеси.

Список литературы

1. Кремень З.И. Технология шлифования в машиностроении/ З.И. Кремень, В.Г. Юрьев, А.Ф. Бабошин; под общей ред. З.И. Кремня. – СПб.: Политехника, 2007. – 424 с.
2. Рахимьянов Х.М. Электрохимическое растворение покрытий из порошковых материалов. /Х.М. Рахимьянов, В.В. Янпольский, М.И. Никитенко, А.Н. Моисеенко // Обработка металлов. – 2011 - №2(51) – С. 3 – 5.

Features of electrochemical dissolution of the powder coating material based PS12NVK

V. V. Yanpolskiy, T. V. Kozich

The features based on the dissolution of the coating powder mixture PS12NVK in aqueous solutions of neutral salts NaNO_3 , Na_2SO_4 and NaCl at fixed potentials $\varphi = 0,5 \text{ В}$, $\varphi = 2$ and $\varphi = 4 \text{ В}$. It is shown that with increasing time of the process of electrochemical dissolution at fixed values of the potential growth of the current density occurs.

Keywords: electrodiamond grinding, electrochemical dissolution, polarization studies covering.

**HYBRIDE BEARBEITUNGSTECHNOLOGIEN MIT KRYOGENER KÜHLUNG ODER
LASERUNTERSTÜTZUNG***Hybrid Cutting Technologies with Cryogenic Cooling or LASER Assistance**Neugebauer, R., Dix, M., Rüger, C.*

Die Bearbeitung von hochfesten Werkstoffen mit hohen Bearbeitungsgeschwindigkeiten erfordert den Einsatz von zusätzlichen Wirkmechanismen zur Unterstützung des eigentlichen Spanprozesses. Hinsichtlich der thermischen Unterstützung des Prozesses ergeben sich zwei verschiedene Strategien. So kann zum einen das thermisch hochbelastete Werkzeug mittels einer leistungsfähigen Kühlung mit Trockeneis gekühlt werden. Zum anderen können durch ein lokales Aufheizen und Entfestigen des Werkstückmaterials vor der Schneide mittels LASER die Schnittkräfte und damit die mechanische Belastung des Werkzeuges reduziert werden. Im Rahmen des vorliegenden Beitrages werden beide Ansätze an verschiedenen Bearbeitungsfällen demonstriert. So wird bei der Hochleistungsbohrbearbeitung von Grauguss mit verschiedenen Kühlschmierstrategien die Leistungsfähigkeit der kryogenen Kühlung mit Trockeneis dargelegt. Die Möglichkeiten des laserunterstützten Fräsens werden bei der Bearbeitung von Inconel mit keramischen Schneidstoffen aufgezeigt. Dabei erlaubt der Lasereinsatz eine deutliche Reduktion der kritischen Schlagbelastung der spröden Keramikschnitten und somit eine sichere und leistungsfähige Bearbeitung.

Machining of high-strength materials under high speed machining conditions requires the application of assistance systems. Focusing on the thermal behaviors of the cutting process two different strategies will be successful. One of these is high performance cooling of the tool by frozen carbon dioxide. Another strategy is the local heating of the workpiece material for reducing its hardness. Using this method, the cutting force and the mechanical loads on the cutting edge will be reduced. In this paper both approaches will be shown for different cutting operations. The capability of cryogenic cooling will be demonstrated by high performance drilling of grey cast iron. The possibilities of cutting force reduction by LASER assistance will be shown by the milling of Inconel with ceramic tools. Thereby laser assistance allows for a significant reduction of the mechanical impact and with it a safe and efficient use of the brittle ceramic tools.

Keywords: Hochleistungsspanen, kryogene Kühlung, laserunterstützte Bearbeitung (High performance cutting, cryogenic cooling, LASER assisted machining)

1. Introduction

Eine effiziente spanende Fertigung erfordert die Wahl höchster Schnitt- und Vorschubgeschwindigkeiten um die Maschinen- und Personalkosten pro Bearbeitung auf ein Minimum zu reduzieren. Dabei treten an der wirkenden Schneide sehr hohe Temperaturen und Kräfte auf. Trotz des Einsatzes von Hochleistungsschneidstoffen mit komplexen Beschichtungen können meist nur geringe Standzeiten und Prozesssicherheiten erreicht werden. Hier gilt es durch den Einsatz von zusätzlichen Wirkquellen beziehungsweise -mechanismen eine Reduktion der Werkzeugbelastung zu erreichen. So ist der Einsatz von Ultraschallunterstützung [1], Hochdruckkühlung

mit konventionellen Kühlschmierstoffen [2] und tiefkalter kryogener Kühlung [3] bekannt. Besonders die kryogene Kühlung zeichnet sich durch eine hohe Kühlleistung und somit hohen Werkzeugstandzeiten [3] sowie deutliche Kosteneinsparungen bei der Bauteilreinigung durch ihre öl- und rückstandsfreie Charakteristik aus.

Bei der kryogenen Kühlung werden vorrangig die Kühlstoffe flüssiger Stickstoff (LN₂) und Trockeneis (CO₂) eingesetzt. Der Einsatz von Trockeneis ist hinsichtlich der Anlagentechnik und Werkzeugeinspannung unproblematischer, da durch die Anpassung des lokal vorliegenden Kühlmitteldrucks der Aggregatzustand und die Kühlwirkung gesteuert werden kann. Neben der Kühlmittelart werden noch verschiedene Arten der Zuführung unterschieden [4], welche im Bild 1 dargestellt sind.

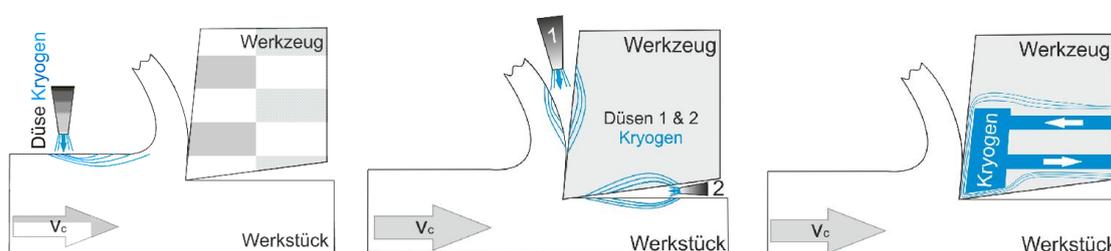


Bild 1. Arten der kryogenen Kühlung (links: Vorkühlung, mitte: Strahlkühlung, rechts: indirekte Kühlung)

Eine weitere Möglichkeit den Bearbeitungsprozess schwer spanbarer Werkstoffe positiv zu beeinflussen ist die Warmzerspanung. Dabei wird, wie in Bild 2 ersichtlich, die thermische Abhängigkeit von Festigkeit und Werkstoffhärte ausgenutzt. Der Verfahrensansatz ist hier nicht die direkte Beeinflussung des Werkzeugs, sondern die gezielte lokale Änderung der Werkstoffeigenschaften des Werkstückmaterials. Laserstrahlung bietet aufgrund der hohen Energiedichte eine ausgezeichnete Möglichkeit, das abzuspannende Material schnell, gezielt und direkt vor der Schneide aufzuheizen. Damit wird im Bereich des nächsten Zahneingriffs (Bild 2) eine lokale Entfestigung erreicht, welche wiederum zu einem erleichterten Materialabtrag führt. Haupteinsatzgebiete für die laserunterstützte Zerspanung sind hochfeste Werkstoffe wie hochlegierte Stähle, Nickelbasis- und Titanlegierungen. Während das Prinzip der laserunterstützten Zerspanung beim Drehen aufgrund der günstigen Kinematik und zumeist guten Zugänglichkeit zur Zerspanstelle bereits an der Schwelle zum industriellen Einsatz steht, beschränken sich die Anwendungen beim Fräsen mit Laserunterstützung bisher nur auf Forschungsprojekte. Hauptursachen hierfür sind der unterbrochene Schnitt, die deutlich komplizierte Kinematik und die daraus folgende Notwendigkeit zur Nachführung des Laserstrahls im Arbeitsraum.

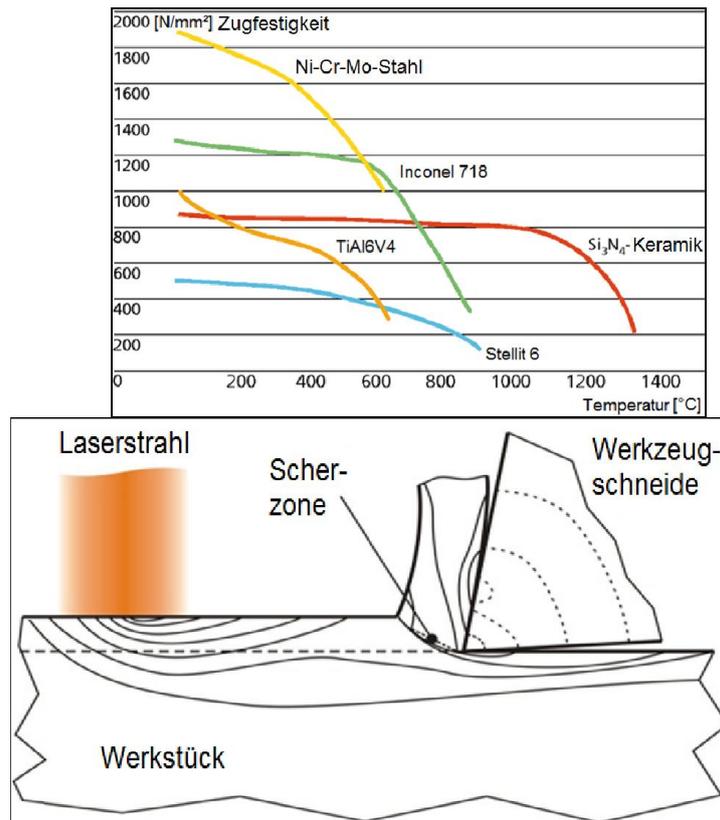


Bild 2. Diagramm Festigkeit – Temperatur [5], Verfahrensprinzip „laserunterstützte Zerspanung“ [6]

2. Erhöhung der Bearbeitungseffizienz beim Bohren mittels kryogener Kühlung

Das ausgewählte Bearbeitungsverfahren Bohren ist auf Grund der Prozesskinematik und des Spanbildungsortes im inneren des Werkstückes hinsichtlich der Kühlung und Schmierung der Prozesszone als schwierig zu betrachten. Weiterhin ist die Spanabfuhr aus der Bohrung besonders bei größeren Bohrtiefen-Durchmesser-Verhältnissen von zentraler Bedeutung für die Prozesssicherheit. Zur Durchführung der Versuche wurde eine Bearbeitungszentrum Heckert HEC400 mit Zuführsystemen für Emulsion, Minimalmengenschmierung MMS, Trockenbearbeitung mit Druckluftunterstützung und Bearbeitung mit einem kryogenen Trockeneis-Gas-Gemisch ausgerüstet. Dabei erfolgte bei allen Kühlschmierstrategien die Zuführung des Kühl- bzw. Schmierstoffes durch die Spindel der Werkzeugmaschine und Kühlkanäle im Bohrwerkzeug. Zur Verdeutlichung ist im Bild 2 der Austritt des Trockeneis-Gas-Gemisches aus dem Bohrer dargestellt.

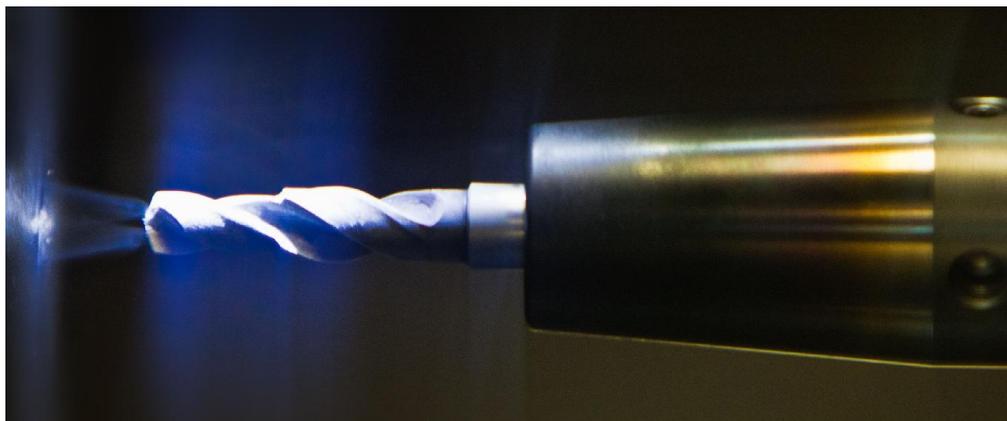


Bild 3. Kryogen gekühlter Bohrer (Kühlung mit Trockeneis)

In Analogie zur Einordnung des angewendeten Bohrens mit kryogener Kühlung hinsichtlich der Zuführung, wie im Bild 1 aufgeführt, kam eine Kombination aus einer Strahlkühlung der Prozesszone und einer indirekten Kühlung des Werkzeuges zur Anwendung.

Bezüglich der Werkzeugwahl, wurden zwei Hochleistungsbohrer mit unterschiedlichen Geometrien bei der Bearbeitung von Grauguss EN-GJL-250 getestet. So wurden neben einem Bohrer mit konventioneller Schneidenform (gerade Hauptschneiden und definierter Spitzenwinkel → kurz: Uni-Bohrer) ein Bohrwerkzeug, welches speziell für die Bearbeitung mit reduzierten Schmiermitteleinsatz entwickelt wurde, getestet. Dieser MMS-Bohrer wies verrundete Hautschneiden auf, wodurch die hochbelasteten äußeren Schneidkantenecken entfallen. In der folgenden Tabelle 1 sind die Bohrwerkzeuge vergleichend aufgeführt.

Tabelle 1

Bohrerbezeichnung	Universalbohrer kurz Uni-Bohrer	Bohrer für MMS kurz MMS-Bohrer
Herstellerbezeichnung	Ratioboherer RT100U	Ratioboherer RT100R
Werkstoff	Vollhartmetall VHM	
Beschichtung	Mehrfachbeschichtung mit Herstellerbezeichnung FIRE®	
Kühlschmierkanäle	2 Stück in den Bohrerwendeln	
Form		
Schliff	Kegelmantelanschliff mit Sekundärfreifläche	Speziell angepasster MMS-Geometrie (Anschliff, Austritt KS-Kanäle)
Spitzenwinkel	140 °	verrundeter Bohrerkopf und Hauptschneiden

Die beiden Werkzeugtypen wurden anwendungsbezogen bei den verschiedenen Kühlschmierstrategien getestet. Dabei wurden Standweguntersuchungen hinsichtlich der Standgröße Gratausbildung durchgeführt. So ist die Bohrbearbeitung mit unverschlissenenem Werkzeug durch das Auftreten von sehr kleinen tolerierbaren Ringraten am Bohreraustritt geprägt. Bei verschlissenenem Werkzeug kommt es zu einem Wechsel hin zum großen problematischen Kronengrat. Dieser Wechsel bei der Gratbildung, welcher auf dem Werkzeugverschleiß des Bohrers beruht, wurde als Standkriterium gewählt. Die ermittelten Standwege sind im Bild 4 vergleichend für die verschiedenen Kühlschmierstrategien und Bohrwerkzeuge dargestellt.

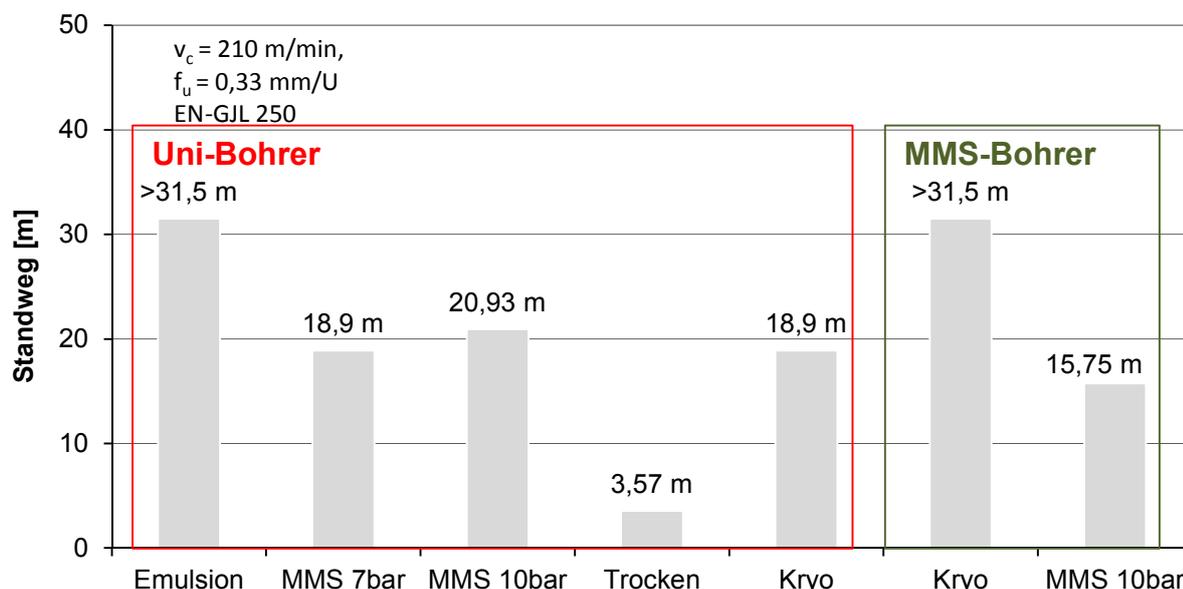


Bild 4. Standwege bei Bohrbearbeitung mit verschiedenen Kühlschmierstrategien und Bohrwerkzeugen

Die Standweganalysen zeigen, dass die Nassbearbeitung mit Emulsion (40 bar Kühlschmiermitteldruck) und dem Uni-Bohrer sowie die Bearbeitung mit kryogener Kühlung und MMS-Bohrer zu Standzeiten von mehr als 900 Bohrungen bzw. Standweg größer 31,5 m führten. Bei beiden Bearbeitungen konnte kein Standzeitende innerhalb dieser sehr großen Anzahl an Bohrungen erreicht werden. Dazu im Vergleich zeigten die Bearbeitungen mit MMS mit unterschiedlicher Druckluftunterstützung (7 und 10 bar) um mehr als 34 % reduzierte Standwege. Die Trockenbearbeitung mit einem gänzlichen Verzicht auf Kühl- oder Schmiermittel zeigte einen Standweg, welcher nur 11 % von dem der kryogenen Kühlung bzw. Nassbearbeitung entsprach.

Der Vergleich der Standwege der kryogen gekühlten Bohrbearbeitung mit Uni-Bohrer und speziellen MMS-Bohrer macht deutlich, dass die Bearbeitung mit kryogener Kühlung einer angepassten Werkzeugwahl bedarf. So konnten die langen

Standzeiten von mehr als 900 Bohrungen bzw. >31,5 m bei der Bearbeitung mit kryogener Kühlung nur beim Einsatz des MMS-Bohrers erreicht werden.

Die Standweguntersuchungen verdeutlichen, dass die kryogene Kühlung die ökologisch und ökonomisch bedenkliche Kühlschmierung mit Emulsion ersetzen kann. Dabei konnten weitere folgende Vorteile erzielt werden:

- Vermeidung der Verunreinigung der Werkstücke und Späne mit Fetten und Ölen
- Einsparung von Reinigungsaufwand
- Erreichung von identischen bis besseren Oberflächenrauheitsparametern
- Einsparung von Kosten hinsichtlich Kühlschmierung (Bereitstellung, Wartung, Entsorgung)
- Vermeidung der Belastung des Personals mit den bedenklichen Kühlschmierstoffen

3. Laserunterstütztes Fräsen mit keramischen Schneidstoffen

An der Technischen Universität Chemnitz wurde ein Versuchsstand zum laserunterstützten Fräsen (LAM – Laser Assisted Milling) entwickelt. Hierzu wurde ein 5-Achs-Bearbeitungszentrum DMU125P duoBLOCK mit einer zusätzlichen Lasereinheit ausgerüstet. Die Basis bildet dabei ein 800W Diodenlaser als Strahlquelle, welcher über ein Lichtleitkabel direkt in den Arbeitsraum der Maschine geleitet wird. Hier realisiert ein hochdynamisch arbeitender 2D-Laserscanner die Nahfeldpositionierung des Laserspots auf dem Werkstück. Auf diese Weise kann der fokussierte Brennfleck in einer genau definierten Bewegungsgeometrie verfahren werden. Die dabei stetig wiederholte Pendelbewegung des Laserspots vor dem Werkzeug führt zu einer gezielten und kontinuierlichen Erwärmung des Werkstoffs direkt vor der Schneide. Grundvoraussetzung für einen optimalen Prozess ist jedoch, dass das eben aufgeheizte Material sofort und vollständig abgespannt wird, um eine ungewollte Ausbreitung der Wärme in den nicht zu bearbeitenden Teil des Werkstücks und den damit verbundenen Verzug zu vermeiden.

An dem beschriebenen Versuchstand wurden Untersuchungen zum laserunterstützten Fräsen verschiedener Nickelbasislegierungen durchgeführt. Dafür wurde die Maschine mit einer zusätzlichen Messplattform ausgerüstet, welche die auftretenden Kräfte während der Bearbeitung in den drei orthogonalen Koordinatenrichtungen x, y und z erfasste. Bild 5 (links) zeigt schematisch die Vorwärmstrategie, den Werkzeugeingriff und die Krafrichtungen beim laserunterstützten Fräsen im Gleichlauf.

Bei der Fräsbearbeitung der Nickelbasislegierung Alloy 59 (NiCr23Mo16Al) konnte durch die zusätzliche Lasererwärmung eine deutliche Änderung im Verlauf der Aktivkraft festgestellt werden. Bild 5 (rechts) zeigt das Verhalten der Aktivkraft für einen einzelnen Schneideneingriff beim Gleichlaufräsen. Während im

konventionellen Prozess ohne Laser die Aktivkraft aufgrund der maximalen Spannungsdicke im Anschnittbereich schnell auf ein hohes Kraftmaximum ansteigt und somit eine starke mechanische Belastung für das Werkzeug hervorruft, erreicht die Schneide im laserunterstützten Schnitt schnell die direkt vorgewärmte Zone. Einhergehend mit der thermisch bedingten Entfestigung des Werkstoffs konnte hier auch eine deutliche Reduzierung der Aktivkraft im Vergleich zum konventionellen Schnitt nachgewiesen werden. Damit sinkt neben der maximalen Kraftspitze auch die mechanische Schockbelastung des Werkzeugs im Anschnittbereich, was insgesamt zu einer wesentlichen Schnittverbesserung führt. Das globale Maximum der Aktivkraft verschiebt sich im laserunterstützten Schnitt auf einen späteren Zeitpunkt im Schneidendurchgang. Dieser liegt im Regelfall hinter dem direkt vorgeheizten Bereich und kann durch die Vorwärmstrategie direkt beeinflusst werden.

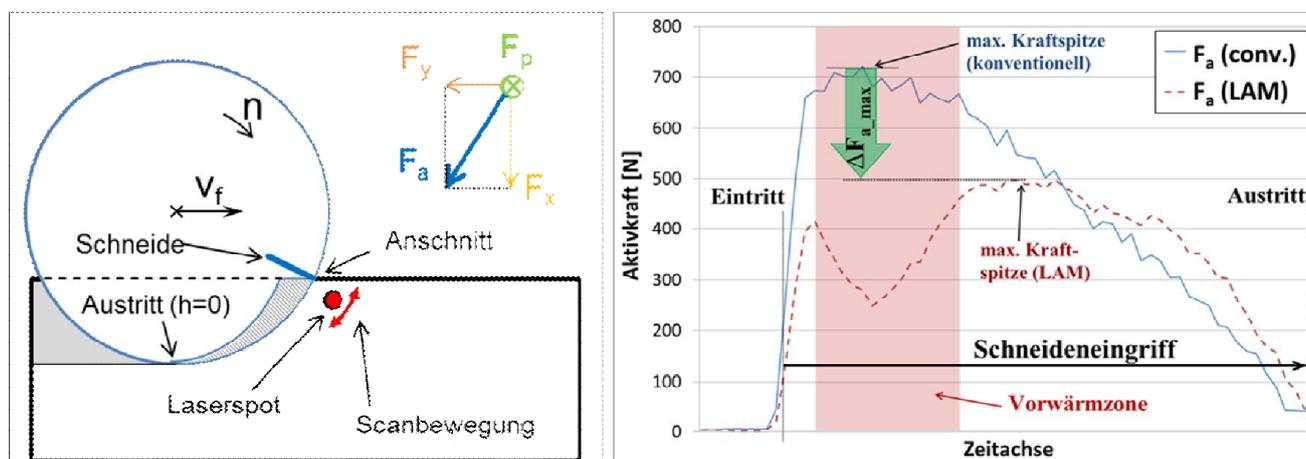


Bild 5. schematische Darstellung laserunterstützter Fräsprozess (links), Verlauf der Aktivkraft für einen Schneideneingriff (rechts)

Eine weitere Rahmenbedingung für das laserunterstützte Fräsen ist eine reine Trockenbearbeitung, da der Einsatz jeglicher Art von Kühlschmierstoffen oder MMS (Ölnebel) den Strahlengang im Maschinenraum stören und auch schnell die frei liegenden optischen Elemente wie Linsen und Spiegel verschmutzen würde. Eine Prozessunterstützung mit reiner Druckluft ist allerdings möglich und auch sinnvoll. Auf diese Weise kann gewährleistet werden, dass die anfallenden Späne schnell und sicher aus Bearbeitungszone befördert werden. Die Damit erzielte Kühlleistung für das Werkzeug ist allerdings eher gering, so dass von einer erhöhten thermischen Belastung für den Schneidstoff ausgegangen werden muss. Aus diesen Gründen ist der Einsatz hochtemperaturbeständigen Werkzeugen bei der laserunterstützten Bearbeitung sinnvoll.

Keramik bietet als Schneidstoff im Vergleich zu beschichteten Hartmetallen eine wesentlich höhere thermische Beständigkeit. Sie weist allerdings auch eine deutlich geringere Zähigkeit als diese auf, was sie wesentlich empfindlicher gegenüber dynamisch wechselnder mechanischer Belastung macht. Darum werden

keramische Schneidstoffe aufgrund der günstigeren Kinematik des ununterbrochenen Schnitts derzeit auch hauptsächlich beim Drehen eingesetzt. Beim Fräsen stellt sich ihr Einsatz als deutlich kritischer dar, da hier durch die stetige Änderung der Eingriffsverhältnisse prozessbedingt schon eine hohe mechanische Wechselbelastung auf die Schneiden wirkt.

Basierend auf den bereits erlangten Erkenntnissen zur Bearbeitungskraftreduzierung wurden Untersuchungen zum laserunterstützten Fräsen mit keramischen Wendschneidplatten an der Nickelbasislegierung Inconel 718 (NiCr19Fe19Nb5Mo3) durchgeführt. Hier konnte eine Reduzierung der maximalen Bearbeitungskräfte um ca. 20 % nachgewiesen werden. Darüber hinaus stellte sich im Vergleich zum konventionellen Prozess auch ein deutlich verringerter Werkzeugverschleiß ein.

Die Vorteile einer laserunterstützten Fräsbearbeitung können in folgenden Punkten dargestellt werden:

- Verbesserung der Zerspanungsbedingungen bei der Bearbeitung von Nickelbasislegierungen
- deutlich reduzierte Bearbeitungskräfte
- verringerte mechanische Belastung des Werkzeugs
- reduzierter Werkzeugverschleiß
- Möglichkeit zur Steigerung der Produktivität
- reine Trockenbearbeitung mit allen zugehörigen Vorteilen

4. Zusammenfassung

Die beiden aufgeführten Anwendungsfälle verdeutlichen, dass der Einsatz von zusätzlichen Wirkmechanismen zur Unterstützung des Spanprozesses zu einer deutlichen Steigerung der Leistungsfähigkeit dieser Prozesse führen und Prozessgrenzen überwunden werden können.

Der spanende Prozess führt allgemein zu einer hohen mechanischen und thermischen Belastung der Schneide. Besonders bei hohen Schnittgeschwindigkeiten und Vorschüben, welche für die Ökonomie des Verfahrens zwingend notwendig sind, kommt es zu Belastungen, welche selbst für beschichtete Hochleistungswerkzeuge nicht auf Dauer ertragbar sind. Hier gilt es diese Belastungen beziehungsweise deren Auswirkungen zu minimieren. So bietet sich zum einen eine aktive Hochleistungskühlung oder zum anderen eine indirekte Reduktion der Schnittkräfte an. Das aufgeführte Anwendungsbeispiel der kryogenen Kühlung zeigt auf, dass mittels eines Einsatzes von Trockeneis als Kühlmedium eine schmiermittelfreies Hochleistungsbohren mit höchsten Werkzeugstandwegen möglich ist. Neben reduzierten Werkzeugkosten ergeben sich hierbei noch deutliche Einsparungen hinsichtlich der direkten und indirekten Kühlschmiermittelkosten sowie bei der Bauteilreinigung.

Die Untersuchungen zum laserunterstützten Fräsen zeigten, dass durch eine lokal stark eingegrenzt Erweichung des Werkstückmaterials, die mechanische Werkzeugbelastung indirekt deutlich reduziert werden kann. So erlaubt diese Technologie die kritische Stoßbelastung des Werkzeuges im unterbrochenen Schnitt des Fräsens deutlich zu senken. Dies ermöglicht wiederum den erfolgreichen Einsatz der thermisch hochfesten, aber auch schlaganfalligen, Schneidkeramik beim Fräsen von Inconel.

Quellen

1. R. Muhammad, et al., “Analysis of a free machining $\alpha+\beta$ titanium alloy using conventional and ultrasonically assisted turning”, *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 214, Issue 4, April 2014, Pages 906–915, 2014.
2. A. Stoll, K. Arnold, K., “Economic and energy-efficient cutting assisted by high pressure cooling, using the example of titanium alloys”, *Sustainable production for resource efficiency and ecomobility: Manufacturing Colloquium*, September 29-30, 2010 Chemnitz; ICMC 2010.
3. F. Klocke, D. Lung, C. Nobel, “Tools and Technology Optimization for HSM Processes”, 10th International Conference on HIGH SPEED MACHINING, pp. 252-267 26.09.2013, Darmstadt, Germany, 2013.
4. Y. Yildiz , M. Nalbant, “A review of cryogenic cooling in machining processes”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture* ,Volume 48, Issue 9, July 2008, Pages 947–964, 2008.
5. C. Brecher, et al., “Laser-assisted Milling of Advanced Materials”, *Physics Procedia*, vol. 12, pp. 599-606, 2011
6. F. Klocke, W. König, „Fertigungsverfahren 3 – Abtragen, Generieren und Lasermaterialbearbeitung“, 4. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007

УДК 621.791.75.037

ВЛИЯНИЕ ГАЗОДИНАМИКИ НА ГЕОМЕТРИЮ ШВА И СВОЙСТВА СОЕДИНЕНИЙ ПРИ СВАРКЕ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ

*Д.А. ЧИНАХОВ, канд. техн. наук, доцент,
Е.И. МАЙОРОВА, аспирант
(ЮТИ ТПУ, г. Юрга)*

Чинахов Д.А. – 652055, г Юрга ул Ленинградская,26
Юргинский технологический институт
Национального исследовательского Томского политехнического университета
e-mail: chinakhov@tpu.ru

В работе рассмотрено газодинамическое влияние на геометрию шва при сварке плавящимся электродом и показано, что защитный газ можно рассматривать, как инструмент управления процессами, протекающими при сварке.

Ключевые слова газодинамика, сварной шов, режим сварки, защитный газ, сварочная дуга.

Последние десятилетия ведутся работы по обеспечению высокого уровня эксплуатационной надежности, безопасности и экономичности изделий машиностроения. Одним из основных показателей качества процесса дуговой сварки плавящимся электродом является его стабильность, с которой тесно связаны такие показатели качества, как разбрызгивание и качество формирования сварного шва.

Основную роль при формировании сварного соединения играют металлургические процессы, протекающие в расплавленном металле сварочной ванны. Также известны другие подходы к управлению свойствами сварных соединений: технологические (применение различных способов сварки, технологических приемов, защитных сред), энергетические (различные способы управления термическим циклом сварки), конструкционные (форма разделки, пространственное положение).

Наряду с традиционными методами формирования сварного шва существует газодинамическое воздействие струи защитного газа на процессы сварки плавящимся электродом. В настоящее время вопросу газовой динамике уделяют мало внимания.

Газодинамика (или газовая динамика) – раздел механики, изучающий законы движения газообразной среды и её взаимодействия с движущимися в ней твёрдыми телами. Газовая динамика возникла как дальнейшее развитие аэродинамики и имеет дело с ситуациями, в которых условия существенно отличаются от нормальных.

В отличие от классической аэродинамики, газовая динамика имеет дело с такими задачами, в которых сжимаемость газа становится существенным фактором, влияющим на его поведение. Например, процессы в газовых средах, сопровождающиеся экзотермическими (горение, взрыв) или эндотермическими (диссоциация) химическими реакциями. В этих случаях из-за изменения средней молекулярной массы газа и процессов энерговыделения модель идеального газа неприменима.

Возникновение газовой динамики относится к середине и второй половине XIX века и связано с основополагающими работами Х. Допплера, Г. Римана, Э. Маха, У. Дж. Ранкина и П.А. Гюгонио [1].

Цель данной работы – анализ влияния газодинамики на геометрию сварного шва при сварке плавящимся электродом.

Согласно проведенным ранее исследованиям [2] вылет электрода влияет на распределение микротвердости в сечении сварных соединений. Уменьшение вылета электрода приводит к увеличению пика микротвердости. Это объясняется повышением плотности и скорости истечения защитного газа (при одном и том же расходе), что приводит к возрастанию скорости охлаждения металла под сварочным соплом и, соответственно, увеличению микротвердости в ЗТВ. Также вылет электрода в сочетании с расходом защитного газа и сварочным током влияет на ширину шва и глубину проплавления. При увеличении скорости подачи газа наблюдается уменьшение глубины проплавления и усиления шва, увеличение ширины шва [2].

Согласно другим исследованиям [3] защита сварочной дуги двухслойным кольцевым потоком газов в составе 25 % Ar и 75 % CO₂ обеспечивает стабильный процесс ее горения со струйным переносом металла, чего не наблюдается при сварке в смеси газов такого же состава без двойной газовой защиты. Так же двухслойная защита снижает турбулентность газа, исключает контакт с атмосферой.

Способ и состав газовой защиты оказывает влияние на стабильность горения сварочной дуги, а также на свойства сварного шва и его геометрию. Управляя геометрией сварного шва можно повысить надежность изготавливаемой сварной конструкции.

При дуговой сварке плавящимся электродом в среде защитных газов форма геометрии сварного шва и его размеры зависят от мощности сварочной дуги, характера переноса металла через дуговой промежуток, а также от взаимодействия газового потока и частиц металла, пересекающих дуговой промежуток, с поверхностью расплавленного металла, химического состава и теплопроводности основного и присадочного металла [4].

При увеличении сварочного тока размер каплей электродного металла уменьшается, но при этом вследствие давления сварочной дуги произойдет более интенсивное вытеснение жидкого металла из-под электрода. При определенных условиях защитный газ можно рассматривать как инструмент

управления процессами, протекающими при сварке. Сила действия струи защитного газа на каплю электродного металла при двухструйной газовой защите в 12 раз больше по сравнению с одноструйной. С увеличением силы действия струи защитного газа на каплю электродного металла при двухструйной газовой защите возрастает частота и стабильность перехода капель в сварочную ванну за счет придания капле соосного с электродом положения [2].

Двухструйная газовая защита вызывает сжатие столба дуги. Это увеличивает концентрацию тепла, повышает к.п.д. нагрева и уменьшает зону термического влияния.

Для полноценного решения данной задачи нужно выявить причины влияющие на изменение геометрических размеров шва при сварке в защитных газах, разработать методику расчета геометрических размеров сварного шва в зависимости от режима сварки плавящимся электродом, способа газовой защиты и т.д. Для определения зависимости геометрических размеров сварного шва от газодинамических параметров струи защитного газа планируется провести серию экспериментальных исследований.

По результатам проведенных ранее исследований [4, 5, 6] установлено, что изменение газодинамики в зоне сварки оказывает воздействие на процессы в зоне сварки, свойства сварного соединения, химический состав и геометрию шва. Это дает предпосылки для более детального изучения возможностей управления геометрией сварного шва струей защитного газа.

Список литературы

1. Годунов С. К., Забродин А. В., Иванов М. Я., Крайко А. Н., Прокопов Г. П. Численное решение многомерных задач газовой динамики. – М.: Наука, 1976. – 400 с.
2. Д. А. Чинахов Газодинамическое влияние на микротвердость и геометрию шва при сварке в условиях двухструйной газовой защиты // Вестник инженерной школы ДВФУ. – 2013. – № 2(15). – С. 61–66.
3. Грибовский Г., Кравчук Б., Ленивкин В.А. Влияние двухслойного кольцевого потока защитных газов на процесс сварки плавящимся электродом// Сварочное производство. – 1996. – № 4. – С. 6–8.
4. Потапьевский А.Г. Сварка сталей в защитных газах плавящимся электродом. Техника и технология будущего: монографии/ А.Г. Потапьевский, Ю.Н. Сараев, Д.А. Чинахов; Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 208 с.
5. Федько В.Т., Киянов С.С., Шматченко В.С., Сапожков С.Б. Применение двухструйных сопловых устройств для сварки в среде защитных газов / Автоматизация и современные технологии. 2003. № 3. – С. 12-18.

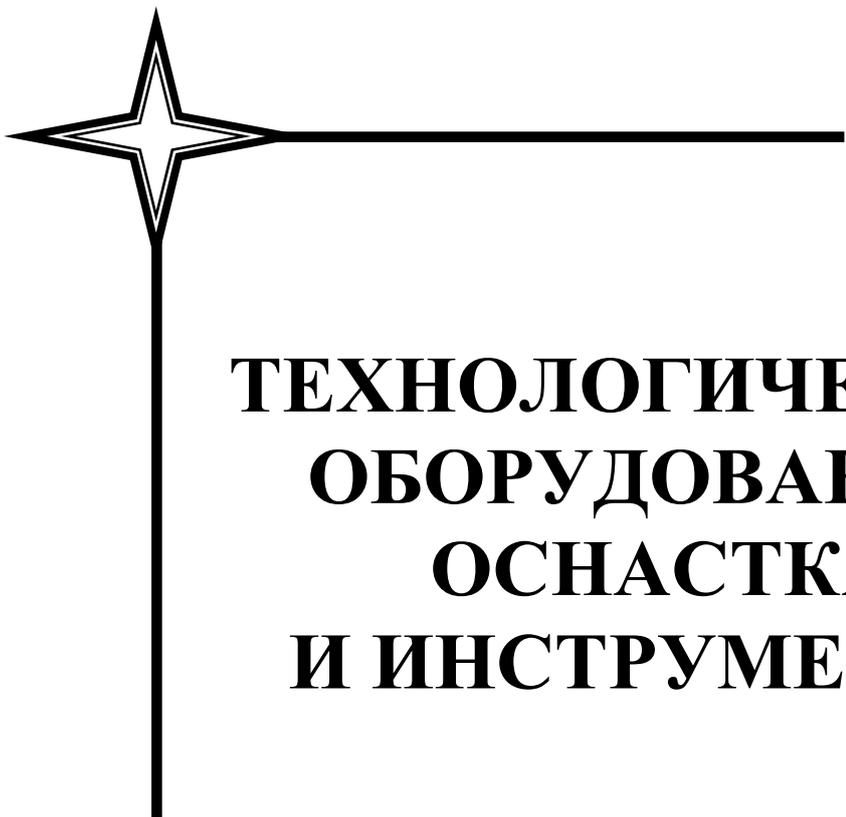
6. Штрикман М.М., Павлов А.С., Сабанцев А.Н., Егоров В.Н. Дуговая сварка с воздействием на сварочную ванну направленных газоструйных потоков/ Сварочное производство. – 1999. – № 12. – С. 3-6.

The influence of gas dynamics on the weld geometry and welded joints properties in consumable electrode welding

D.A. Chinakhov, E.I. Mayorova

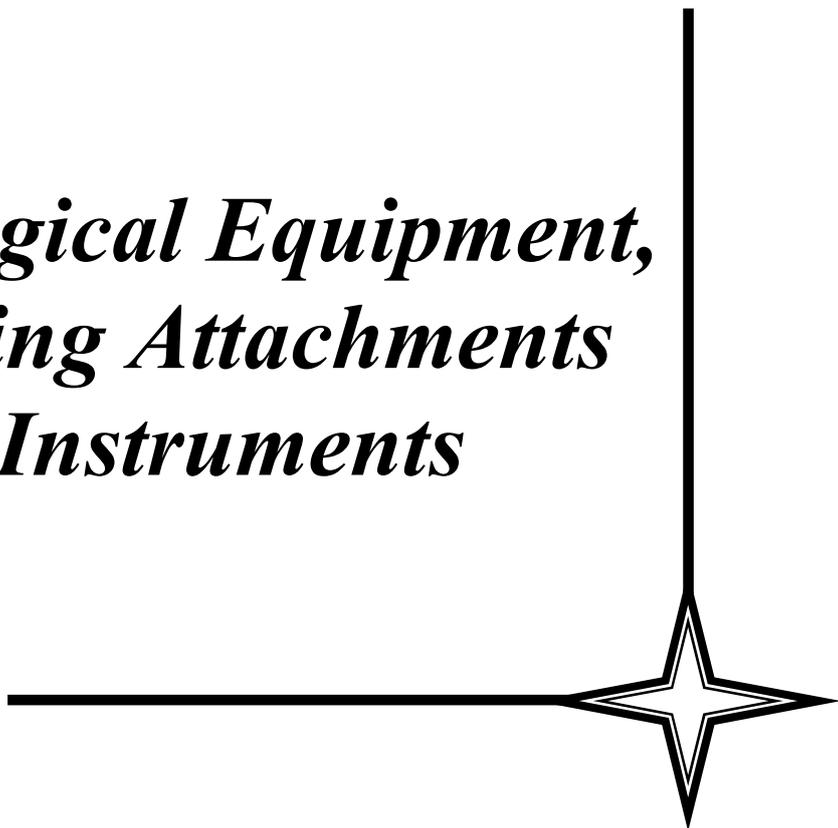
The paper considers gas-dynamic influence on the weld geometry in consumable electrode welding. It is demonstrated that the shielding gas can be considered as a tool to control processes taking place in welding.

Key words: gas dynamics, welded joint, welding conditions, shielding gas, welding arc.



**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ
ОБОРУДОВАНИЕ,
ОСНАСТКА
И ИНСТРУМЕНТЫ**

*Technological Equipment,
Machining Attachments
and Instruments*



УДК 621.9.06

МОДЕЛИ ДЛЯ РАСЧЕТА КОНТАКТНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ В СТЫКАХ ТЯЖЕЛОГО МНОГОЦЕЛЕВОГО СТАНКА

*В.Г. АТАПИН, доктор техн. наук, профессор
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Атапин В.Г. – 630073 г.Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: metal_working@mail.ru

Рассматривается расчет контактных деформаций в стыках тяжелого многоцелевого станка на основе технического расчета, моделей шероховатой поверхности и модели стыка в ANSYS.

Ключевые слова: многоцелевой станок, контактные деформации, моделирование.

Введение. Для тяжелых многоцелевых станков, у которых стойки достигают высоты 10–15 м, перемещения инструмента в зоне резания определяются как сумма перемещений упругих деформаций несущей системы и контактных деформаций в стыках. Целью исследования является обоснование модели для расчета контактных деформаций в соединениях тяжелого многоцелевого станка, предназначенного для обработки корпусных деталей массой до 200 т, в условиях автоматизированного проектирования.

Модели

■ **Эмпирические зависимости** (Левина З.М., Решетов Д.Н.) [1]. Для центрального нагружения неподвижных плоских стыков малой площади (до $(3...5)10^{-3} \text{ м}^2$) используются следующие зависимости:

$$a = c(F/A)^m, \quad \varphi = c_k(M/I)$$

где a , φ – линейное и угловое контактное перемещение; c , c_k – коэффициенты контактной податливости; F , M – сила и момент, действующие в стыке; A , I – площадь и момент инерции сечения стыка; m – показатель степени.

При расчете упругих перемещений в направляющих несущих конструкций принимается, что упругие сближения a в стыке в любой точке при общем виде нагружения пропорциональны нормальным давлениям p :

$$a = kp$$

■ **Модели шероховатой поверхности** (Демкин Н.Б., Крагельский И.В.) [2, 3]. В настоящей работе рассматривается сближение тел со значительной номинальной площадью контакта. В этом случае различают сближение за счет деформации микронеровностей a , сближение за счет деформации волн a_B и суммарное сближение вследствие деформации выступов и волн: $a_c = a + a_B$.

Стержневая модель. Для двух волнистых и шероховатых поверхностей

$$a = \left[\frac{1,5\pi J^{0,5} H_{\max}^{\nu}}{K_3 b} \right]^{2/(2\nu+1)} \times \left[\frac{H_B^{0,5}}{2,94 J_B^{0,5}} \right]^{8/(10\nu+5)} \times (I p_a)^{2/(10\nu+5)}, \quad a_B = 1,54 H_B^{4/5} I_B^{1/5} (I p_a)^{2/5},$$

где $I = (1 - \mu_1^2)/E_1 + (1 - \mu_2^2)/E_2$ – упругая постоянная материала для двух деформируемых поверхностей; μ_i, E_i – коэффициент Пуассона и модуль упругости i -ой поверхности; $J = r_1 r_2 / (r_1 + r_2)$ – приведенный радиус неровностей, $r_i = (r_{\Pi} r_{\text{пр}})^{1/2}$, $r_{\Pi}, r_{\text{пр}}$ – радиус неровности в поперечном и продольном сечениях соответственно; $\nu = \nu_1 + \nu_2$ – параметры опорной кривой для контакта двух поверхностей, $K_2 = \Gamma(\nu_1 + 1) \Gamma(\nu_2 + 1) / \Gamma(\nu_1 + \nu_2 + 1)$, ν_i, b_i – параметры опорной кривой i -ой поверхности, Γ – гамма-функция; K_3 – коэффициент, зависит от ν ; $H_{\max} = H_{\max 1} + H_{\max 2}$ – наибольшая высота неровностей профиля, $H_B = H_{B1} + H_{B2}$ – высота волны для двух поверхностей; $J_B = R_1 R_2 / (R_1 + R_2)$ – приведенный радиус волны, $R_i = (R_{\Pi} R_{\text{пр}})^{1/2}$, $R_{\Pi}, R_{\text{пр}}$ – соответственно радиус волны в поперечном и продольном направлениях; p_a – номинальное давление.

Сферическая модель. Для двух волнистых и шероховатых поверхностей

$$a = 3,4 R_a (p_c / p_r)^{1/3}, \quad a_B = 1,8 H_B^{0,85} I^{0,3} J_B^{0,15} p_a^{0,3},$$

где p_c, p_r – контурное и фактическое давления в стыке соответственно; для случая $H_{\max} \geq 0,1 H_B$:

$$p_c = \frac{1}{K_w K_B} \left[\frac{H_B}{2 J_B I^2} \right]^{v_B / [2(v_B + \delta)]} \times p_a^{\delta / (v_B + \delta)}, \quad p_r = \frac{0,61}{I^{0,86}} \left[\frac{R_a}{J} \right]^{0,43} \times p_c^{0,14}.$$

Модель стыка в ANSYS. В разделе Contact для моделирования шероховатой поверхности использовалась модель соединения Frictionless.

Результаты и обсуждение. Исследование проведено на примере компоновки вертикального подвижного стыка «стойка – шпиндельная бабка» (рис.1). Вычислялось перемещение точки O

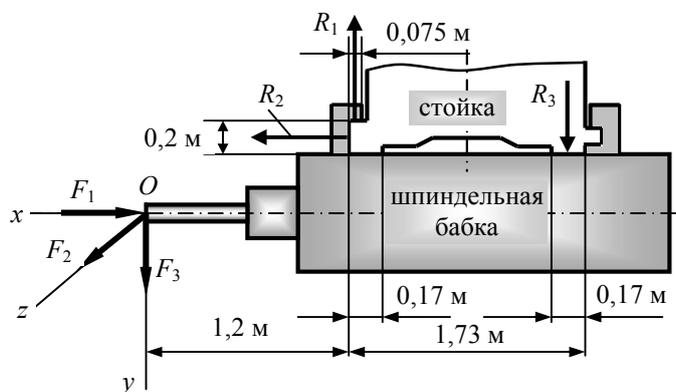


Рис. 1. Расчетная схема подвижного стыка «стойка – шпиндельная бабка»

(торец шпинделя) по оси y . Исходные данные для расчета:

- материал направляющих имеет модуль упругости $E = 0,8 \cdot 10^5$ МПа, коэффициент Пуассона $\mu = 0,25$;
- класс шероховатости поверхности направляющих 7, $R_a = 0,63$ мкм;
- составляющие силы резания для чистового торцового фрезерования $F_1 = 1,5$ кН, $F_2 = 2,1$ кН, $F_3 = 3,0$ кН;
- средние давления на грани $p_1(R_1) = 0,0691$ МПа, $p_2(R_2) = 0,0065$ МПа, $p_3(R_3) = 0,0153$ МПа.

На рис. 2 приведено моделирование стыка в ANSYS. Результаты расчетов, приведенные в таблице, показывают, что для расчета контактных деформаций в соединениях несущей системы тяжелого многоцелевого станка, отличающихся большой площадью контакта поверхностей, предпочтительно использовать стержневую модель шероховатой поверхности и модель Frictionless ANSYS.

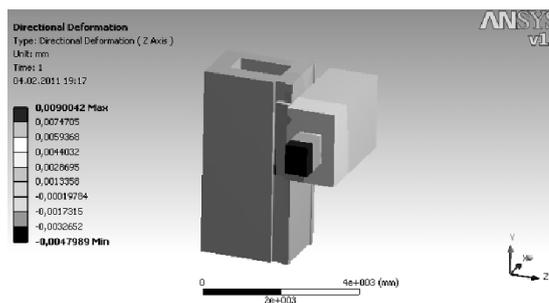


Рис. 2. Моделирование и результаты расчета подвижного стыка «стойка – шпиндельная бабка» в ANSYS

Результаты сравнения методов расчета контактных деформаций в подвижном стыке «стойка – шпиндельная бабка»

Метод	Перемещение т.О по оси y , мкм	Нормальное сближение поверхностей a , мкм	
		Грань R_1	Грань R_3
Технический расчет [1]	3,11 [4]	1,45	0,43
Сферическая модель [3]	4,53 [4]	1,96	1,46
Стержневая модель [2]	5,26 [4]	2,33	2,04
Модель ANSYS	5,21	—	—

Выводы. Как известно из литературы, стержневая модель адекватна экспериментальным данным. Расчет на основе эмпирических зависимостей (технический расчет) ориентирован на средние значения контактной податливости k , что отражается на перемещении т. О. В условиях автоматизированного проектирования следует использовать модель Frictionless, дающую практически тот же результат, что и стержневая модель.

Список литературы

1. Левина З.М., Решетов Д.Н. Контактная жесткость машин. – М.: Машиностроение, 1971. – 264 с.
2. Демкин Н.Б. Контактное взаимодействие шероховатых поверхностей.– М.: Наука, 1970.–227 с.
3. Трение, изнашивание и смазка: справочник/ Под ред. И.В. Крагельского и В.В. Алисина. – М.: Машиностроение, 1978. – Кн.1. 400 с.

Calculation models of contact deformations of carrier system machining center

V.G. Atapin

Application of known models for calculation of contact deformations in connections of carrier system of machining center at a design stage is consider.

Keywords: machining center, contact models, contact deformations, design.

УДК 621.09

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНДАМЕНТА ТЯЖЕЛОГО МНОГОЦЕЛЕВОГО СТАНКА

*В.Г. АТАПИН, доктор техн. наук, профессор
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Атапин В.Г. – 630073 г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: metal_working@mail.ru

Исследуются деформации фундамента тяжелого многоцелевого станка на жестком и упругом основаниях. Установлено, что в рассматриваемых условиях минимальная высота фундамента составляет 2 м.

Ключевые слова: многоцелевой станок, фундамент, метод конечных элементов, деформация.

Постановка задачи. Фундамент для многоцелевого станка (МС) представляет собой пространственное массивное тело (рис. 1). Основной расчетной нагрузкой для фундамента являются:

- нагрузка от подвижных частей (стойка, шпиндельная бабка, противовес) станка общей массой 140 т,
- нагрузка от обрабатываемой детали массы 200 т,
- давление распределенной нагрузки от станины 40 кН/м для станка и стола.

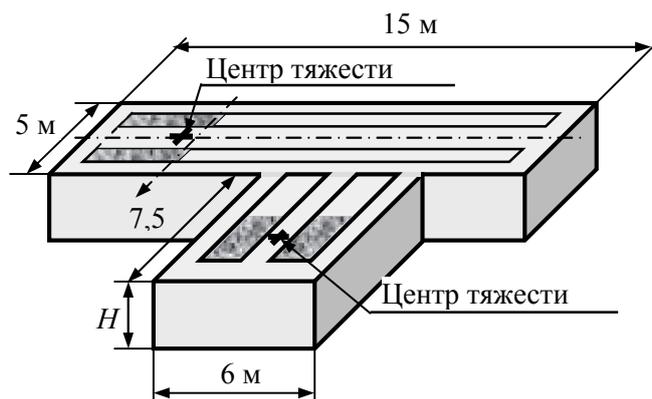


Рис. 1. Компоновка фундамента

Размеры фундамента в плане (длина и ширина) зависят от рабочей зоны станка и назначаются из конструктивных соображений. Поэтому основной целью исследования является определение рациональной толщины H фундамента. При расчете фундамент рассматривается как на абсолютно жестком основании, так и на упругом винклеровом основании коэффициентом постели $k = 10$ МПа/м [1]. Модель фундамента строилась в системе проектирования Solid Works, конечно-элементный анализ модели проводился средствами программного комплекса ANSYS, а также на базе собственных разработок [2].

Результаты и обсуждение. Основные результаты расчета представлены на рис.2–4 на примере деформирования фундамента от действия веса станка. Качественная картина деформирования фундамента от веса стола с деталью аналогичная, количественно – перемещения больше: так, при абсолютно

жестком основании имеем при $H = 2$ м – max 16 мкм, $H = 4$ м – max 31 мкм, $H = 6$ м – max 35 мкм. На рис. 5 представлена общая картина деформации фундамента для случая крайнего расположения станка и стола на фундаменте.

Результаты расчетов показывают, что в общем балансе вертикальных перемещений поверхности фундамента на упругом основании можно выделить перемещения от жесткого поворота фундамента как единого целого и перемещения от деформирования фундамента. Характер зависимости вертикальных перемещений для фундамента на упругом и жестком основаниях качественно одинаков, однако численные результаты различны:

высота фундамента H , м	2	4
перемещение, мм	0,00913/0,00717	0,01276/0,01157

Здесь: в числителе – вертикальные перемещения фундамента на жестком основании, в знаменателе – на упругом основании.

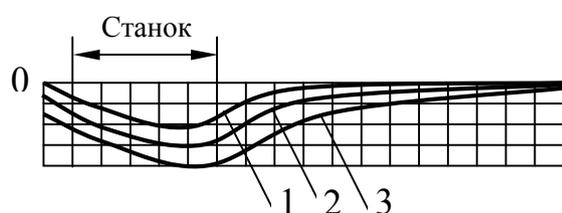


Рис. 2. Вертикальные перемещения поверхности фундамента на абсолютно жестком основании на примере станка по сечению действия внешней нагрузки: 1 – $H = 2$ м, max 0,00913 мм; 2 – $H = 4$ м, max 0,01276 мм; 3 – $H = 6$ м, max 0,01578 мм.

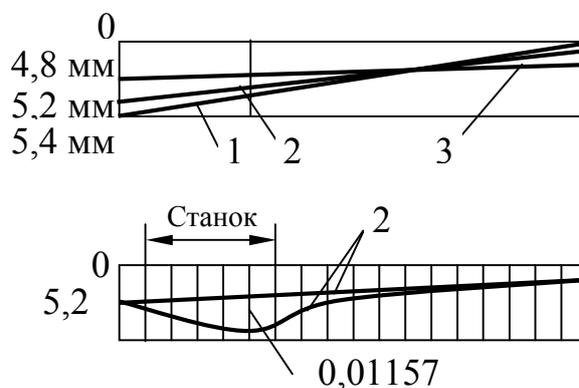


Рис. 3. Вертикальные перемещения поверхности фундамента на упругом основании: 1 – $H = 2$ м, 2 – $H = 4$ м, 3 – $H = 6$ м.

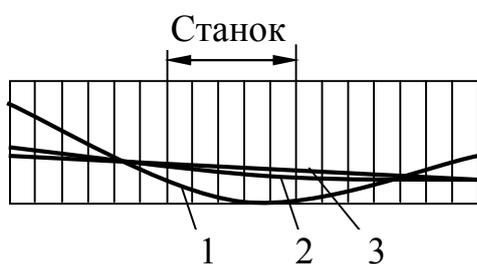


Рис. 4. Влияние толщины H фундамента на упругом основании на вертикальные перемещения поверхности фундамента: 1 – $H = 1$ м, 2 – $H = 2$ м, 3 – $H = 4$ м.

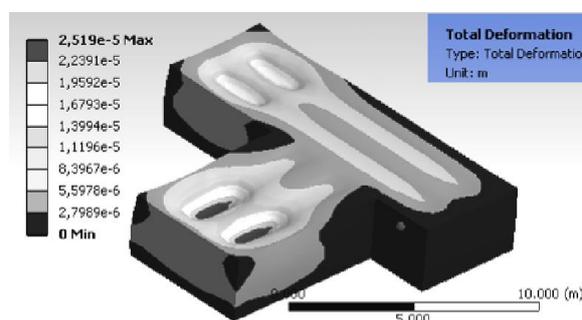


Рис. 5. Деформированное состояние фундамента на абсолютно жестком основании для $H = 3$ м при расположении станка и стола в крайних положениях.

Таким образом, в общем балансе упругих перемещений МС следует

учитывать лишь часть перемещений, вызванных деформацией собственно фундамента на упругом основании (перемещения от жесткого поворота фундамента не влияют на взаимное расположение конструкций несущей системы). Следует отметить затухающий характер перемещений по мере удаления от места приложения основной нагрузки.

Сравнительный анализ деформированного состояния фундамента на упругом основании при различных положениях подвижных частей несущей системы показал, что для фундамента наиболее неблагоприятным является расположение подвижных частей по краям фундамента. При высоте фундамента $H = 4$ м наибольшие перемещения равны 0,0108 мм для нагрузки по рис. 5 и 0,01157 мм для нагрузки по рис. 4.

На рис. 4 приведены результаты для случая, когда центр тяжести станка находится посередине рабочего хода, а стола в крайнем правом положении (для стола не показано, характер поведения аналогичен). Прогиб поверхности фундамента в области приложения нагрузки равен при $H = 1$ м – 6,09 мм, $H = 2$ м – 5,09 мм, $H = 3$ м – 5,06 мм, $H = 4$ м – 5,00 мм.

Выводы. Таким образом, для рассмотренных условий минимальная толщина фундамента составляет 2 м (рис. 5). Для принятия окончательного решения по толщине фундамента следует учесть жесткость станины, которая может оказать существенное влияние на толщину фундамента. Так, учет жесткости обрабатываемой детали на столе позволяет существенно снизить массу несущей системы стола [3].

Список литературы

1. Горбунов-Посадов М.И., Маликова Т.А., Соломин В.И. Расчет конструкций на упругом основании. – М.: Стройиздат, 1984. – 679 с.
2. Атапин В.Г., Гапонов И.Е., Павин А.Г. Автоматизация проектирования тяжелых многоцелевых станков / Материалы I Всесоюзного съезда технол.-машиностроителей. – М., 1989. – С. 42–43.
3. Атапин В.Г. Расчет жесткости базовых деталей тяжелых столов с учетом жесткости обрабатываемой детали // Вестник машиностроения. – 2008. – № 5. – С. 50-52.

Modeling foundation of the heavy machining center

V.G. Atapin

Calculation of elastic deformations foundation of the heavy machining center for absolutely rigid foundation and elastic foundation is considered. It is shown that a thickness foundation substantially depends on deformations of its surface. Minimum thickness foundation is 2 m.

Keywords: foundation, machining center, elastic deformation, finite element method.

О ПАРАМЕТРАХ, ВЛИЯЮЩИХ НА ЖЕСТКОСТЬ РОЛИКОВЫХ НАПРАВЛЯЮЩИХ МОДУЛЬНОГО ТИПА

*Б.М. РЫВКИН, аспирант
В.В. МОЛОДЦОВ, доцент,
(МГТУ "СТАНКИН", г. Москва)*

Рывкин Б.М. – 127055, г. Москва, Вадковский переулок, д. 3а
ФГБОУ ВПО МГТУ "СТАНКИН",
e-mail: nosferado88@mail.ru

Статья посвящена – основной проблеме выбора и расчета модульных направляющих, которой является статическая неопределимость математической модели и оценка их жесткости и эквивалентной нагрузки, так как в каталогах производителей часто отсутствуют необходимые данные. Некоторые производители (например «Bosch Rexroth» и «Schaeffler KG» Германия, «SCHNEEBERGER», Швейцария) приводят графические зависимости для нескольких простейших видов нагрузки. Этого не достаточно для проектирования системы формообразования станка и оценки его жесткости в целом, так как направляющие модульного типа способны воспринимать целый комплекс нагрузок (сил и моментов) одновременно в пяти направлениях.

Как следствие, ввиду отсутствия важной информации об используемых унифицированных изделиях на стадии проектирования, технологическое качество и рыночная конкурентоспособность оборудования падает.

Ключевые слова. Роликовые направляющие, жесткость, рельс, танкетка, ролик, контакт.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Построить математическую модель упругой системы «рельс – танкетка» направляющих модульного типа с 4 рядами тел качения.
2. Провести комплекс исследований упругих перемещений танкетки при действии различных видов внешних нагрузок, включающий в себя натурные и вычислительные эксперименты.
3. Для проведения натурных исследований разработать методику эксперимента и спроектировать измерительный стенд.
4. Проанализировать поведение направляющих модульного типа при действии комбинированных нагрузок различных видов и дать рекомендации по их рациональному применению в металлорежущих станках.

Основные обозначения:

b - полуширина площадки контакта;

l (l_{eff}) - длина ролика (длина площадки контакта);

$c = \frac{1}{2} \cdot l$ - половина длины ролика;

R - радиус ролика;

E - модуль упругости;

ν - коэффициент Пуассона;

x, z - координаты неподвижной базовой точки;

δ - деформация ролика, полное перемещение двух плит, сжимающих ролик;

Δ - полное упругое перемещение;

2Δ - полное упругое перемещение двух плит на оси симметрии площадки контакта;

Q - параметр деформирования плит;

P - полная нагрузка на площадке контакта.

Зависимость для относительного сближения двух плоских плит, между которыми сжат цилиндрический ролик, представляет собой основу в уравнениях, описывающих деформацию роликоподшипников. Полное сближение двух плит определяется как сумма двух составляющих, одна из которых связана с деформацией плит, а другая - с деформацией ролика. Известно много соотношений для перемещений при контакте вдоль прямой линии [1-13]

Некоторые из наиболее распространенных соотношений приведены в таблице. Все соотношения основаны на допущении о плоской деформации, за исключением соотношения Ландберга, относящегося к контактной задаче для полупространства. В работе [13] авторами показано, что все эти соотношения представляют собой частные варианты более общей зависимости.

Задавшись эллиптическим законом распределения давления по ширине площадок контакта для двух полупространств, можно записать следующее выражение для полного упругого перемещения:

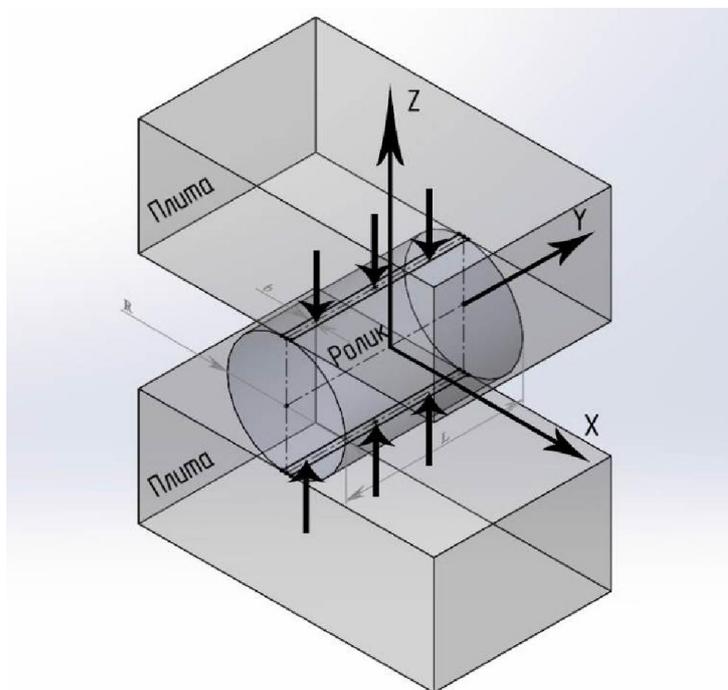


Рис.1. Распределение контактных напряжений в контакте плита-ролик-плита.

$$2\Delta = \lambda \ln \left(\frac{ze^{\frac{1}{2}} Q}{b} \right), \quad \lambda = \frac{4(1-\nu^2)P}{\pi l E},$$

$$Q = \frac{2(x^2+z^2)^{1/2}}{1+[1+(\frac{x}{c})^2+(\frac{z}{c})^2]^{1/2}} \times e^{\left(\frac{-z^2}{z(1-v)(x^2+z^2)[1+(\frac{x}{c})^2+(\frac{z}{c})^2]^{1/2}}\right)} \quad (2)$$

Перемещения отсчитываются относительно неподвижной базовой точки (x, z) полупространства. Фактически, базовая точка отсчёта (x, z) необходима лишь в том случае, когда мы в результате неограниченного увеличения величины c (половина длины ролика) приходим к задаче о плоской деформации. Например, если задаться неподвижной точкой на оси Z ($x=0$), то выражение (2) примет вид:

$$Q = \frac{2z}{1+[1+(\frac{z}{c})^2]^{1/2}} e^{\frac{-1}{z(1-v)[1+(\frac{z}{c})^2]^{1/2}}} \quad (3)$$

При $c \rightarrow \infty$ это выражение приобретает такой вид:

$$Q = \frac{2z}{2} e^{-\frac{1}{z(1-v)}} = z \cdot e^{-\frac{1}{z(1-v)}} \quad (4)$$

Тогда выражение (2) можно переписать так:

$$\begin{aligned} 2\Delta &= \frac{4(1-v^2)Q}{\pi l E} \ln \left[2e^{1/2} \cdot \frac{Q}{b} \right] = \frac{4(1-v^2)Q}{\pi l E} \left[\ln \left(2 \frac{z}{b} e^{\frac{1}{2} - \frac{1}{z(1-v)}} \right) \right] = \\ &= \frac{4(1-v^2)Q}{\pi l E} \left[\ln \frac{2z}{b} + \frac{1}{2} - \frac{1}{z(1-v)} \right] = \frac{4(1-v^2)Q}{\pi l E} \left[\ln \frac{2z}{b} - \frac{v}{2(1-v)} \right] \end{aligned} \quad (5)$$

При конечных значениях c деформированное состояние не является плоским и базовая точка не нужна. Полуширина площадки контакта b определяется из соотношений контактной теории Герца. При контакте цилиндра с плоской плитой из того же материала

$$b = (2\lambda R)^{1/2} \quad (6)$$

Подставив это значение b в (2), получим

$$2\Delta = \frac{\lambda}{2} \ln \left(\frac{2\epsilon Q^2}{\lambda R} \right) \quad (7)$$

Некоторые из частных вариантов зависимости представлены в таблице.

Таблица

Источник	Зависимость	Примечание
Ландберг (11)	$\delta = \lambda \ln(4 l / \lambda)$	Сближение двух полупространств, между которыми сжат ролик. Эллиптическое распределение давления.
Пальмгрен (12)	$\delta = const(Q^{0,9}/l^{0,8})$ $const = 4.77 \cdot 10^{-3}$	Эмпирическая зависимость для сближения двух плоских плит, между которыми сжат ролик.
Доусон Хиггинсон (13)	и $\delta = \lambda \ln(4z_2 e^{-\frac{v}{z(1-v)}} \cdot R / \lambda)$	Сближение двух плоских плит, между которыми сжат ролик. Эллиптическое распределение давления на ролике и прямоугольные - на плитах. Толщина плиты равна диаметру ролика.

Фёппль (14)	$\delta = \lambda \ln (2e^{1/3} R/b)$	Сжатие ролика вдоль диаметра. Плоская деформация, параболическое распределение давления.
Никпур и Гохар (15)	$\delta = \lambda \ln \left\{ \frac{4l \left[(1+(2z/l)^2)^{1/2} - 1 \right]^{1/2}}{\lambda \left[(1+(2z/l)^2)^{1/2} + 1 \right]} \right\}$	Сближение двух плоских плит, между которыми сжат ролик. Эллиптическое распределение давления, плоская деформация в ролике.
АкихироТерама чи (16)	$\delta = \frac{7,697 \cdot 10^{-5}}{l_{eff}^{0,8}} \cdot Q^{9/10}$, где $l_{eff} = l_{пол} - 2R_{скругл}$	Эмпирическая зависимость для сближения двух плоских плит, между которыми сжат ролик, вытекающая из теории Герца-Пальмгрена.
где $\lambda = \frac{4(1-\nu^2)P}{\pi l E}$		

Влияние толщины плит на упругое перемещение можно учесть (хотя полученное решение и не будет точным) подобно тому, как это было сделано в работе Доусона и Хиггинсона, положив $x=0$ и задав величину z , равную толщине плиты. Для этой цели можно воспользоваться выражением (11) из таблицы. Использование толщины плиты в качестве z правомерно в том случае, если практика показывает, что нормальное упругое перемещение в базовой точке отсчета несущественно по сравнению с намного большим перемещением на поверхности контакта. Рассмотрим, например, зависимость (11) из таблицы. Видно, что производная от упругого перемещения обратно пропорциональна z . Таким образом, очевидно, что по мере возрастания z будет наблюдаться быстрое уменьшение избыточной компоненты расчетного значения упругого перемещения относительно базовой точки отсчёта.

Далее автор выявлять наиболее подходящую зависимость из таблицы, а также сравнивать полученные результаты с экспериментальными данными.

Выводы:

Показано, что многие из тех зависимостей для упругих перемещений при контакте вдоль прямой линии, которые используются для расчёта деформаций роликов, можно вывести из общего выражения для полного сближения двух полупространств, между которыми сжат цилиндрический ролик. Показано, что упругое перемещение не зависит от радиуса ролика, а согласно полученным экспериментальным данным упругое перемещение не зависит от длины площадки контакта: последняя влияет лишь на величину погонной нагрузки.

Список литературы

1. Молодцов В. В. Расчет и конструирование направляющих и приводов подачи станков с ЧПУ: Учеб. пособие. — М.: МГТУ «Станкин», 2006. - 184 с.
2. THK. General catalog. - Tokyo, Japan. THK Co. LTD, 2006. - 650 с.
3. Rexroth Star GmbH. D-97419. Обзор печатной продукции. Системы линейных перемещений. RRS 83 001/2003-02. — 52 с.
4. Schaeffler KG Linear Technology Division 66424 Homburg/Saar (Germany), 2006. — 34 с.
5. SCHNEEBERGER Holding AG MONORAIL И AMS Профильные линейные направляющие и встроенные измерительные системы Roggwil (Switzerland) 2011- 171 с.
6. Nikpur K., Gohar R., Deflexion of a roller Compressed Between Platens. Tribology International, Vol.8, 1975, pp. 2-8; Palmgren A. Ball and roller Bearing Engineering, translation by A. Palmgren & B. Ruly, SKF Industries Inc., 1945.
7. Ильин В. А., Лозняк Э. Г. Аналитическая геометрия. — М.: Физматлит, 2002. — 240 с.
8. Кудинов В. А. Динамика станков. — М.: Машиностроение, 1966. — 359 с.
9. Ковалев М. П., Народецкий М. З. Расчет высокоточных шарикоподшипников. — М.: Машиностроение, 1980. — 373 с.
10. Прочность, устойчивость, колебания: Справочник/ Под ред. И.А.Биргера и Я.Г. Пановко. Т.2. М. Машиностроение, 1968г. с. 381-395.
11. Расчеты машиностроительных конструкций методом конечных элементов: Справочник / В. И. Мяченков, В. П. Мальцев, В. П. Майборода и др.: Под общ. ред. В. И. Мяченкова. — М.: Машиностроение, 1989. — 520 с.
12. Хоприх (M.R.Hoeprich), Цантопулос (H.Zantopoulos). Контактные деформации вдоль прямой линии: цилиндр между двумя плоскими плитами.//Труды ASME. Проблемы трения. М.: Мир, 1981, Т.103, №1, С.23-27.
13. Akihiro Teramachi. Theories on The Linear Systems. Japan. THK Co.LTD, 2001. - 176 с.
14. Palmgren A. Ball and roller bearing engineering, translation by A. Palmgren & B. Ruly, SKF Industries Inc., 1945.
15. Palmgren A. Ball and roller bearing engineering, Third edition , S.H. Burbank and Company, Inc. Philadelphia, 1959.p.50.
16. Cattaneo C. *Sur contatto di due corpi elastici*, Rend, dell Academia nazionale dei Lincei, 1938, 27, Ser. 6, p. 342, 434,474.
17. Mindlin, R. D., 1949, "Compliance of Elastic Bodies in Contact," J. Applied MechanicsTrans. ASME, 16, pp. 259-268.

About parameters influencing the stiffness modular type roller guide system

B.M. Ryvkin, V.V. Molodtsov

The article is devoted - the main problem of selection and calculation of of modular type roller guide system which is statically indeterminate mathematical model and estimation of their stiffness and equivalent load, because in catalogs of manufacturers often lack the necessary data.

Some manufacturers (eg «Bosch Rexroth» and «Schaeffler KG» Germany, «SCHNEEBERGER», Switzerland) lead a graph of the simplest forms of multiple loads. That's not enough for forming machine system design and evaluation of its stiffness as a whole, because the guide system modular type are able to perceive the whole complex loads (forces and torques) simultaneously in five directions.

Keywords: roller guide system, stiffness, rail, wedge, roller, contact.

УДК 621.9.048.7;669.13.017:620.18;669.113.017:620.17

МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ СЕРОГО ЧУГУНА МЕТОДОМ ЛАЗЕРНО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ

С.Н. БАГАЕВ, доктор физ.-мат. наук, академик РАН, директор
Г.Н. ГРАЧЕВ, канд. физ.-мат. наук, заведующий лабораторией
А.Л. СМIRHOV, главный конструктор
М.Н. ХОМЯКОВ, инженер
(Институт лазерной физики СО РАН, г. Новосибирск)
А.О. ТОКАРЕВ, доктор техн. наук, доцент
(ФБОУ ВПО НГАВТ, г. Новосибирск)

Грачев Г.Н. – 630090, г. Новосибирск, просп. Акад. Лаврентьева, 13/3,
Институт лазерной физики СО РАН
e-mail: grachev@laser.nsc.ru

Лазерно-плазменный метод основан на применении плазмы оптического пульсирующего разряда. Разряд зажигается повторяющимися с высокой частотой следования (десятки кГц) лазерными импульсами на обрабатываемой поверхности в легирующем/защитном газе (азот, аргон, воздух).

Для повышения износостойкости серого чугуна в парах трения методом лазерной обработки создана структура поверхности с высокой твёрдостью (H 11,4-19,0 ГПа). Внешний нанокристаллический слой имеет толщину до 1 мкм. К тонкому нанокристаллическому примыкает слой толщиной порядка 100 мкм с локально закалёнными вокруг графитовых включений участками. Полученная структура поверхности обеспечивает снижение коэффициента трения на 30 % и двадцатикратное увеличение износостойкости в условиях жидкостного трения. Такое повышение триботехнических характеристик обусловлено созданием микрорельефа трущихся пар, включающего капиллярные каналы, аккумулирующие смазку по местам расположения графита, и твёрдые составляющие - ледебурит и мартенсит, окружающие эти микроканавки.

Ключевые слова: Лазерная обработка, лазерная плазма, технология упрочнения поверхности серого чугуна

Введение

Одним из наиболее перспективных путей решения проблемы увеличения полного и межремонтного ресурса двигателей внутреннего сгорания и повышения эффективности их эксплуатации является упрочнение поверхности деталей, так как именно они определяют износостойкость пар трения. В связи с этим в машиностроении активно развиваются и эффективно внедряются различные технологии поверхностной обработки, связанные с воздействием на поверхностный слой источниками энергии высокой концентрации для повышения износостойкости. В этом направлении в Институте лазерной физики СО РАН разработаны основы нового высокопроизводительного лазерно-плазменного метода (ЛПМ) упрочнения поверхности металлов [1-5].

2. Методика экспериментального исследования

Лазерно-плазменный метод основан на применении плазмы оптического пульсирующего разряда (ОПР), который зажигается повторяющимися с

высокой частотой следования (десятки кГц) лазерными импульсами в фокусе луча CO₂-лазера в потоке газа содержащего реагирующие на поверхности обрабатываемого материала компоненты, например: азота при нитридации (рис. 1). В зависимости от частоты следования лазерных импульсов, размера пятна облучения и относительной скорости перемещения луча и детали цикл обработки может включать десятки - сотни воздействий лазерной плазмы на каждый участок поверхности.

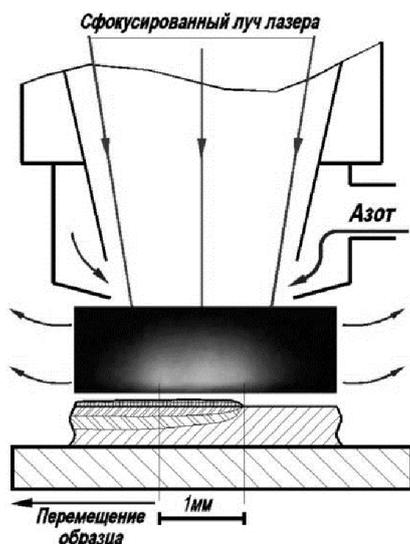


Рис.1. Схема лазерно-плазменной обработки металла с фотографией приповерхностной плазмы оптического пульсирующего разряда ОПР.

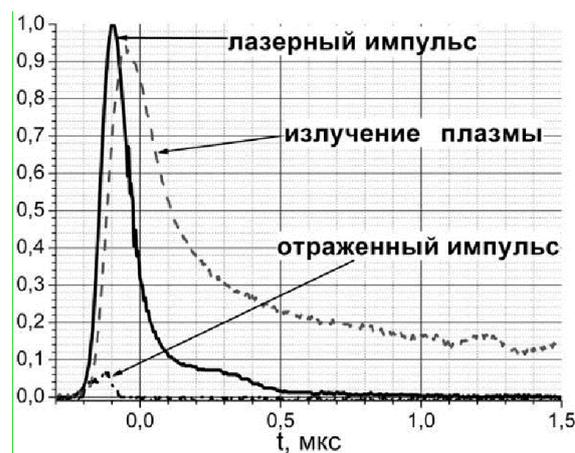


Рис.2. Осциллограммы: лазерного импульса, свечения плазмы, отраженного от металла лазерного импульса.

Экспериментальными и теоретическими методами определено, что плазма ОПР для инициации химических реакций обладает уникальным сочетанием свойств, недоступным для других существующих способов обработки поверхности (индукционный сверхвысокочастотный нагрев СВЧ, тлеющий, дуговой и непрерывный оптический разряды, пиролиз, горение):

- рекордной (для плазмохимических методов) удельной мощностью энерговыделения в объеме газовой фазы до 5 ГВт/см³;
- возможностью получения локально равновесной (время обмена ~ 10 нс) плазмы при давлении 1 атм. и более;
- высокой температурой (до 20-30 °К) и концентрацией ($10^{18} - 10^{19}$ см⁻³) частиц;
- высоким уровнем ультрафиолетового (УФ) радиационного обмена, благоприятного для диссоциации, ионизации, возбуждения частиц, а также активации осаждаемых нанокластеров и поверхности подложки, что приводит к интенсификации синтеза покрытия;

Процесс проводится при давлениях газа в зоне реакции больше атмосферного. Это позволяет отказаться от рабочей камеры с дорогостоящей вакуумной системой и проводить обработку широкого круга деталей, включая крупногабаритные изделия сложной конфигурации. Эффективный обмен

энергией между лазерной плазмой и металлом обеспечивает 7-10 кратное увеличение производительности ЛПМ по сравнению с традиционной лазерной закалкой и 3-4 кратное для технологий наплавки.

Основой лазерно-плазменной технологической установки (ЛПТУ), определяющей её технологические возможности, является импульсно-периодическая CO₂-лазерная система генератор-усилитель (СГУ) средней мощностью до 2 кВт и импульсной мощностью величиной порядка сотни кВт. Оптическая схема СГУ позволяет формировать луч с плоским фронтом, плавным распределением интенсивности и качеством близким к дифракционному пределу, а также устранить эффекты самовозбуждения системы «лазер - металл вблизи фокуса».

Периодическое (20-100 кГц) действие лазерной плазмы на поверхность металла в легирующей атмосфере формирует тепловую волну, которая вызывает волну диффузии. В результате образуются: слой, в котором происходят структурно-фазовые превращения (*обычная лазерная закалка - обусловлен тепловой волной*) и легированный слой (*обусловлен волной диффузии азота в металл, по глубине меньше закаленного слоя*). Возникающие гиперинтенсивные (амплитудой до 10-15 МПа) ультразвуковые колебания способствуют уплотнению микроструктуры в горячей зоне.

Лазерно-плазменная технологическая установка обеспечивает широкие диапазоны условий лазерно-плазменной обработки по интенсивности луча (до 2-3 ГВт/см²), скорости потока (500 м/с) и давлению рабочего газа (до 0,5 МПа), а также по сорту и составу газа (Ar, He, Ne, H₂, N₂, O₂, воздух, CO, CO₂ и др.). Таким образом, ЛПТУ обеспечивает возможности широкого поиска и оптимизации технологии.

Измерительно-регистрирующий комплекс обеспечивает контроль и регистрацию параметров установки и лазерно-плазменных технологий. Набор осциллограмм (рис.2) получаемый при проведении ЛПМ обработки позволяет определить, когда и при какой мощности излучения наступает превышение интенсивности над порогом зажигания и возникает лазерная плазма, а также динамику и эффективность поглощения лазерного излучения образующейся плазмой.

3. Результаты и обсуждение

Исследование возможностей метода проведено при лазерно-плазменной модификации поверхности образцов антифрикционного чугуна на перлитной основе (с целью определения перспектив применения ЛПМ для упрочнения гильз цилиндров двигателей внутреннего сгорания). Образцы вырезали из цилиндрических втулок двигателей внутреннего сгорания [6-9].

Для всех исследованных образцов наблюдалась модификация поверхности с образованием двух слоёв. Верхний наноструктурированный слой толщиной сотни нанометров приобретает микротвёрдость в диапазоне 12-15 ГПа (Рис. 3)

за счёт насыщения азотом и благодаря образованию тонкой микроструктуры (Рис. 4а).

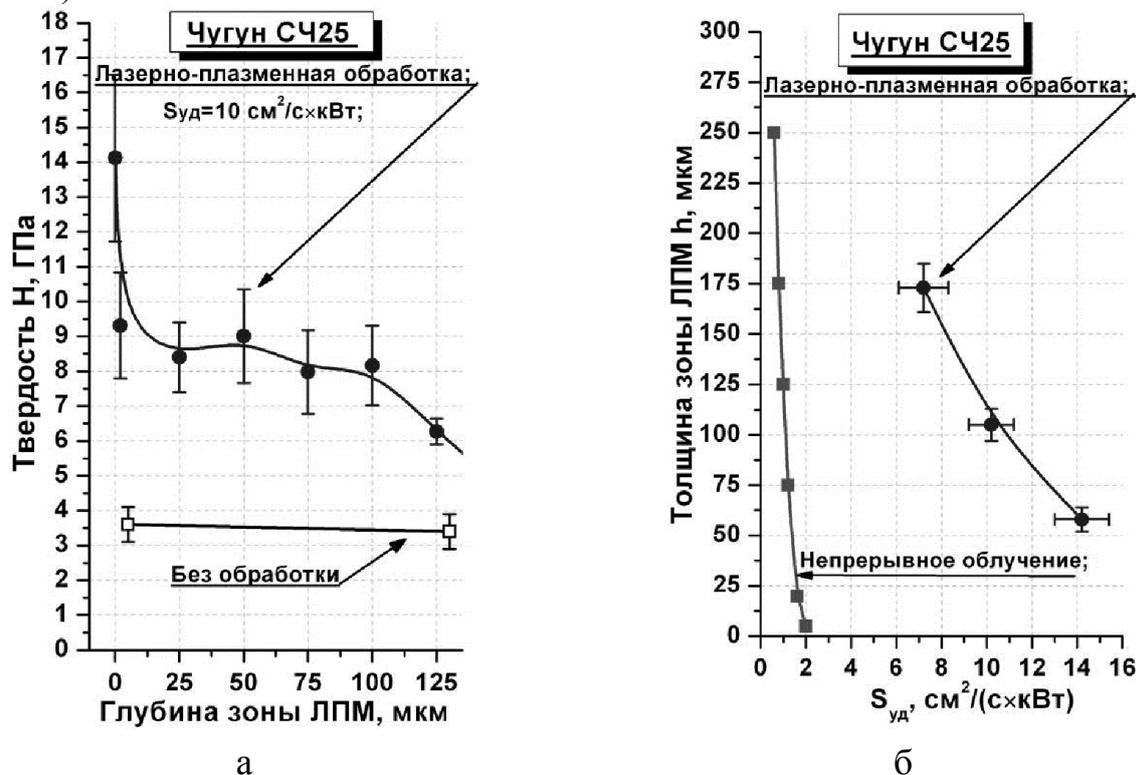


Рис.3. Микротвёрдость (а) и толщина зоны (б) лазерно-плазменной модификации поверхности чугуна СЧ25 в зависимости от удельной (на 1 кВт мощности лазера) скорости обработки

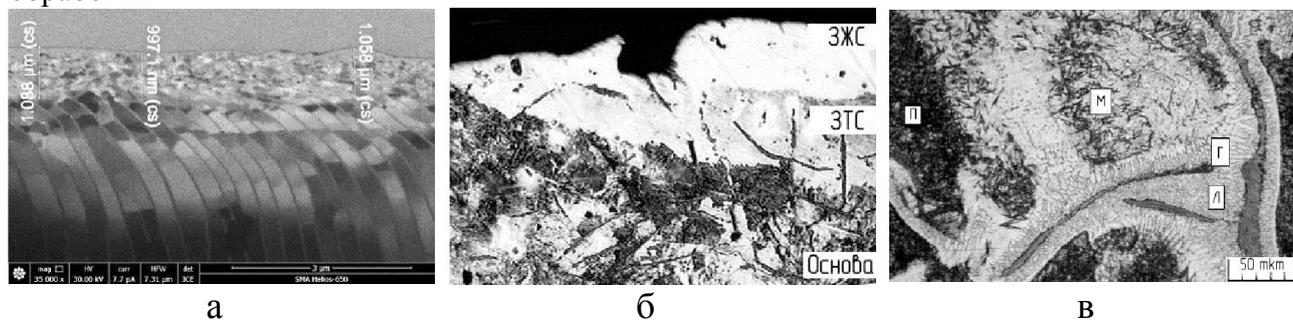


Рис.4. Микроструктура чугуна СЧ25 после ЛПМ обработки: а - поперечное сечение поверхностного слоя (измерения на HELIOS NanoLab 650)¹, б - поперечное сечение упрочнённого слоя (оптическая микрофотография), в - продольное сечение (в зоне трения после приработки) Г – графит, Л – ледебурит, М – мартенсит, П – перлит

К верхнему наноструктурированному слою (Рис. 4а) примыкает слой (рис. 4б), имеющий участки со структурой ледебурита (закалка из жидкого состояния) и мартенсита (закалка из твёрдого состояния). Причём фазовые

¹ Данные получены П.Ю. Смирновым, (ООО «Оптогарт Нанотех» Московская область, Одинцовский район, д. Сколково)

превращения с плавлением металла начинаются вследствие концентрационной неоднородности распределения углерода по фазам сплава закономерно вокруг графитовых включений. В этом слое (между поверхностным нанослоем и основой металла) происходят структурные превращения характерные для лазерной закалки, которые приводят к увеличению микротвёрдости до уровня 8-10 ГПа (в 3-4 раза твёрже основы) на толщине в десятки-сотни микрометров (рис. 3а, 4б).

Сравнение удельной производительности лазерно-плазменной обработки чугуна СЧ25 с традиционной лазерной закалкой непрерывным излучением показало, что производительность лазерно-плазменной обработки в 7-10 раз выше, чем у традиционной лазерной закалки [3,4], что объясняется 4-5 кратным превышением эффективности энергообмена между лазерной плазмой и металлом под воздействием прямого поглощения лазерного излучения, сопровождающимся гиперинтенсивным ультразвуком.

Оценку триботехнических свойств производили при испытании образцов на машине трения МИ-1 после предварительной взаимной притирки поверхностей диска (закалённая сталь 40) и колодки (образец, вырезанный из цилиндрической втулки двигателя). Удельная нагрузка в условиях жидкостного трения при смазке маслом М-14В2 ГОСТ 12337-84 составляла 1250 МПа.

Результаты испытаний представлены в таблице.

Таблица

Влияния лазерно-плазменной обработки ЛПМ на механические свойства серого антифрикционного чугуна на перлитной основе

Состояние материала	Удельная скорость изнашивания $V_{изн}, \text{г/час} \cdot 10^{-7}$	Коэффициент трения f	$\sigma_{из}$, МПа	$a_{н}$, КДж/м ²
СЧ25 без обработки	142	0,0059	400 - 420	85 - 90
СЧ25 после ЛПМ	6	0,0035	420 - 430	80 - 85

Обработанные лазером образцы изнашивались в принятых условиях испытаний со скоростью в 20 раз меньшей по сравнению со скоростью изнашивания исходных (без ЛПМ модификации) образцов. При этом на треть уменьшился коэффициент трения.

Такое улучшение триботехнических характеристик объясняется структурными изменениями поверхности при ЛПО (рис. 4в). После лазерно-плазменной обработки графитовые пластины в антифрикционном чугуне оказываются окруженными слоями металла со структурой, полученной закалкой из жидкого (ледебурит) и твёрдого (двойниковый мартенсит) состояния. Эти твёрдые участки воспринимают усилие, возникающее в паре трения, обеспечивая износостойкость чугуна. Кроме того они препятствуют

затиранию графитовых частиц, сохраняя маслоудерживающий рельеф поверхности и обеспечивая тем самым низкий коэффициент трения.

Для проверки влияния твёрдых фаз, полученных при лазерно-плазменной обработке чугуна, на прочностные свойства проведены испытания на статический изгиб $\sigma_{\text{и}}$ и ударную вязкость $a_{\text{н}}$. Полученные результаты (см. таблицу) не показывают заметного снижения прочности на изгиб и ударной вязкости серого чугуна после ЛПМ.

Выводы

С применением созданной в Институте лазерной физики СО РАН лазерно-плазменной установки, выполнена высокопроизводительная модификация поверхности серого чугуна, на которой сформирована композитная структура, состоящая из высокотвёрдого поверхностного слоя и закалённого подслоя с микротвёрдостью и толщиной в десятки-сотни микрометров. Испытаниями на образцах из серого чугуна на перлитной основе марки СЧ25 показано, что такая композитная структура может многократно увеличить износостойкость ответственных деталей определяющих ресурс техники.

Список литературы

1. С.Н. Багаев, Г.Н. Грачев, А.Г. Пономаренко, А.Л. Смирнов, В.Н. Демин, А.В. Окотруб, А.М. Бакланов, А.А. Онищук. Лазерный плазмохимический синтез наноматериалов в скоростных потоках газов, первые результаты и перспективы развития метода // Наука и нанотехнологии, изд. СО РАН, Новосибирск. – 2007.- С. 123-135.

2. Багаев С.Н., Грачев Г.Н., Демин В.Н., Смирнов А.Л., Смирнов П.Ю., Смирнова Т.П., Хомяков М.Н. О возможности использования технологии упрочнения поверхности металлов с применением лазерно-плазменной установки для наномодификации поверхностей металлов и синтеза сверхтвёрдых покрытий // Бюллетень ОУС ОАО «РЖД».- 2012.- №6.- С. 42 - 52

3. S.N. Bagayev, G.N. Grachev, A.G. Ponomarenko, A.L. Smirnov, V.N. Demin, A.V. Okotrub, A.M. Baklanov, A.A. Onischuk A new method of laser-plasma synthesis of nanomaterials. First results and prospects // Proc. SPIE.- 2007.- 6732-673206.

4. Стаценко П.А., Грачев Г.Н., Смирнов А.Л., Мякушина А.А. Исследование пространственных характеристик излучения мощной CO₂-лазерной системы генератор-усилитель // Сб. докл. 22-й межд. конф. «Лазеры. Измерения. Информация – 2012». - Санкт-Петербург. - 2012. - Т. 2. - С. 168–176.

5. Багаев С.Н., Грачев Г.Н., Смирнов А.Л., Смирнов П.Ю. Способ модификации металлических поверхностей и устройство // Патент № RU 2 425 907 С2. Опубликовано: 10.08.2011 Бюл. № 22)

6. Макагон Л.Д., Токарев А.О., Грачев Г.Н., Смирнов А.Л. Исследование формирования структуры рабочей поверхности цилиндрических втулок судовых

дизелей при лазерной обработке // Научные проблемы транспорта Сибири и дальнего Востока. – 2006. - Новосибирск, НГАВТ. - №1. - С. 194-198.

7. Токарев А.О., Макагон Л.Д. Повышение антифрикционных свойств серого чугуна лазерной обработкой // Сибирский научный вестник / Новосибирский научный центр «Ноосферные знания и технологии» РАЕН. – Вып. X. – Новосибирск: Изд. НГАВТ. - 2007. - С. 50 – 55.

8. Токарев А.О. Улучшение триботехнических характеристик серого чугуна лазерной обработкой // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). - 2012. - №1 (54). - С. 69-73.

9. Токарев А.О., Иванчик И.С., Иванчик С.Н., Макагон Л.Д., Гурин А.М. Улучшение триботехнических характеристик серого чугуна лазерной обработкой // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего востока. – 2012. - №1. - С. 287 – 291

Surface modification of cast iron by laser-plasma treatment

S. N. Bagayev, G. N. Grachev, A. L. Smirnov, M. N. Khomyakov, A. O. Tokarev

Some results of development of laser-plasma methods for the hardening of metal surfaces are presented. The methods include high-efficiency modification of the surfaces of cast irons and synthesis of superhard (20 - 30 GPa) nanocomposite coatings.

Laser-Plasma method is based on application of pulsed optical plasma discharge. Discharge is ignited by a repeating sequential laser pulses. The frequency of laser pulses focused beam CO₂ laser is tens of kHz. For the plasma processing Chamber education creates a high flow of gas: argon, nitrogen, and oxygen. The plasma gas flow in plasmochemical Chamber has a speed of up to 500 m/s and up to 0.5 MPa. For the synthesis of coating dual design plasmochemical camera provides additional dopant gas in laser focus area.

To improve the wear resistance of gray cast iron in friction pairs, laser treatment was used to create a high-hardness (12-20 GPa) nanostructured surface layer with a thickness of up to 1 μm adjacent to a 100-μm layer with locally hardened zones surrounding graphite inclusions.

The resulting surface structure decreases the friction coefficient by 30% and increases the wear resistance under liquid friction by a factor of 20.

This is due to the creation of micro-relief on friction pairs including microgrooves that accumulate oil in graphite locations and hard components (ledeburite and martensite) surrounding these microgrooves.

Key words: laser plasma, technologies of gray cast iron-surface hardening, synthesis of superhard coatings.

УДК 621.9.01

КОСОУГОЛЬНОЕ ТОЧЕНИЕ БРЕЮЩИМИ РЕЗЦАМИ

А.В. ФИЛИППОВ, ассистент

Филиппов А.В. - 652055, г. Юрга, ул. Ленинградская 26,
Юргинский технологический институт (филиал)
Томского политехнического университета
E-mail: avf@tpu.ru

В статье представлен краткий обзор процесса косоугольного точения бреющими резцами. Представлены схемы, составленные для определения геометрических параметров процесса в статической системе координат и определения параметров сечения срезаемого слоя материала, при работе инструментом с прямолинейной режущей кромкой.

Ключевые слова: бреющий резец, косоугольное точение, геометрические параметры, сечение срезаемого слоя.

Введение

Косоугольное бреющее точение осуществляется резцом с прямолинейным лезвием, повернутым по отношению к оси заготовки на угол наклона лезвия ω (рис. 1). Сам термин «бреющее» введен авторами работы [1], которые внесли значительный вклад в исследование резцов безвершинной конструкции. В свою очередь «Безвершинным» называется резец, у которого в работе участвует небольшой участок главной режущей кромки, а вспомогательные кромки и вершина отсутствуют [2-4].

К достоинствам такого метода обработки относят: отсутствие вершины как слабого места, плавность врезания, отсутствие необходимости выверки инструмента при установке на станок, отсутствие наростообразования и возможность получения низкой шероховатости поверхности при обработке цветных металлов [2]. Основными недостатками являются ограниченная область применения из-за малого диапазона изменения глубины резания и возможности обработки только наружных поверхностей с обеспечением места для выхода резца.

Основными направлениями исследования процесса косоугольного безвершинного точения является определение влияния угла наклона лезвия на качество обработанной поверхности и силу резания в процессе обработки [1-9]. А также определение механики контактного взаимодействия инструмента с обрабатываемой заготовкой путем расчета параметров сечения срезаемого слоя [1, 10].

Основные результаты

Особенностью процесса косоугольного точения является переменность рабочих углов лезвия вдоль режущей кромки. Это отмечается в работах [4, 6, 7], однако нет общего мнения о том, в каком направлении измерять значения переднего и заднего углов инструмента. В связи с этим были рассмотрены закономерности геометрии косоугольного наружного продольного точения безвершинными резцами. С использованием метода векторной алгебры, изложенным в работе [11], и положений ГОСТ 25762-83 разработана схема данного процесса (см. рис. 1).

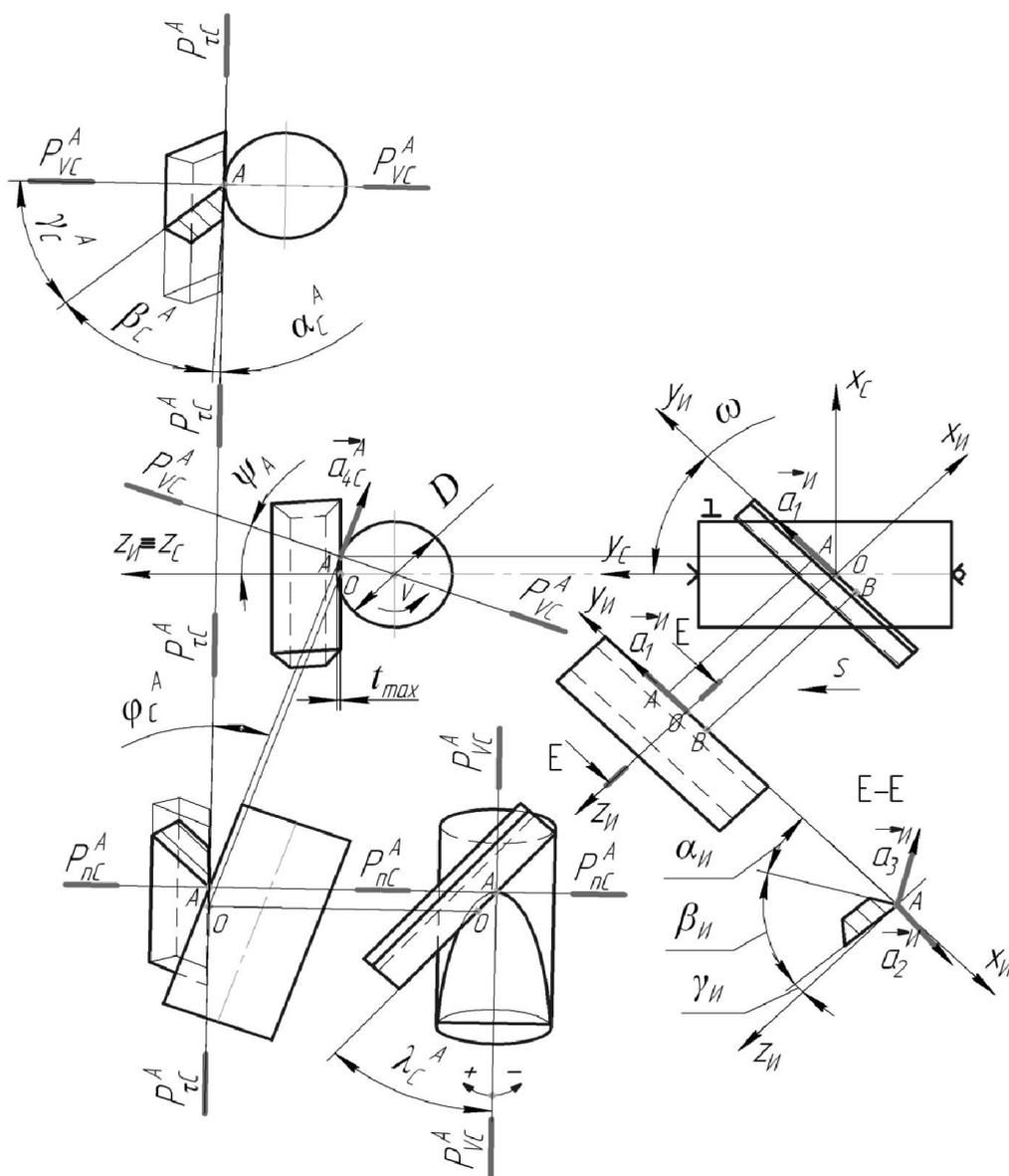


Рис. 1. Геометрические параметры процесса косоугольного обтачивания бревцом резцом

На основе анализа схемы косоугольного обтачивания брешком резцом (см. рис.1) были определены зависимости связывающие геометрию инструментальной системы координат и параметры установки резца (статическую систему координат), они подробно представлены в работе [12]. На основе расчетов и трехмерного моделирования [13] было установлено, что при работе брешком резцом происходит значительное изменение заднего и переднего угла и имеет место переход от положительных значений к отрицательным. Следовательно, необходимо ограничить область рабочих значений геометрии инструмента. При проектировании металлорежущих инструментов для обработки конструкционных материалов принимают значение заднего угла от $+2^0$ и более, с учетом упругого восстановления материала и особенностей каждого конкретного процесса обработки. Подобное ограничение геометрии, применительно к процессу косоугольного обтачивания цилиндрических тел возможно за счет регулирования глубины резания и, следовательно, изменения значений угла ψ .

Полученные в работе [12] данные указывают на сложную геометрию процесса косоугольного точения резцом с прямолинейной режущей кромкой, однако без точной графической модели представить форму лезвия с рассчитанными параметрами затруднительно. Поэтому была разработана 3D-модель «эквивалентного» лезвия, под которым понимается лезвие с параметрами геометрии, рассчитанными по данным работы [12] и построенными в ИСК, и сориентированное в ССК. Построение модели эквивалентного лезвия выполнялось в системе трехмерного проектирования Компас 3D. Первоначально строилась пространственная кривая эквивалентного лезвия, вдоль которой строились ортогональные сечения со значениями статических переднего и заднего углов. Полученные сечения объединялись поверхностью. В итоге формировалась объемная модель рабочей части эквивалентного лезвия (см. рисунок 2) [14].

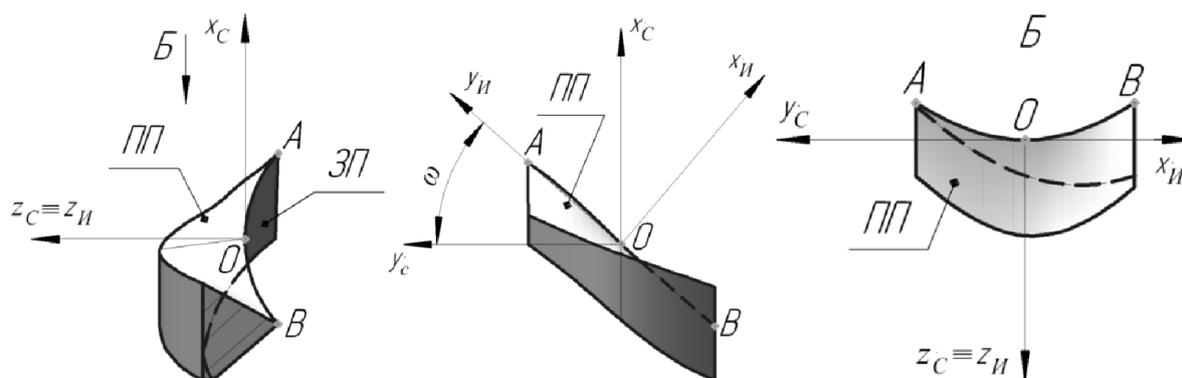


Рис. 2. Трехмерная модель рабочей части эквивалентного лезвия: ЗП – задняя поверхность; ПП – передняя поверхность: $\psi=20^0$; $\omega=45^0$; $\gamma_и=5^0$; $\alpha_и=30^0$; $D=20$

ММ

В работах [1, 6, 10] рассматриваются параметры сечения срезаемого слоя, однако данные полученные их авторами противоречивы, как по форме сечения та и по способу его определения. В связи с этим были рассмотрены параметры сечения срезаемого слоя для схемы наружного продольного точения брешущими резцами с прямолинейной РК (см. рисунок 3). Как видно, из представленной схемы, сечение срезаемого слоя при брешущем точении не равномерно распределено на сравнительно большой длине режущей кромки. При этом толщина срезаемого слоя материала значительно меньше его ширины. Большая часть срезаемого материала, при работе по схеме представленной на рисунке 3, удаляется участком режущей кромки (р. к.) расположенным ниже оси вращения заготовки. Если изменить угол наклона лезвия ω с отрицательного на положительный (либо изменить направление подачи) то изменится схема резания (см. рисунок 1). В таком случае срезание материала будет производиться участком р.к., расположенным выше оси вращения. При этом форма сечения срезаемого слоя не изменится.

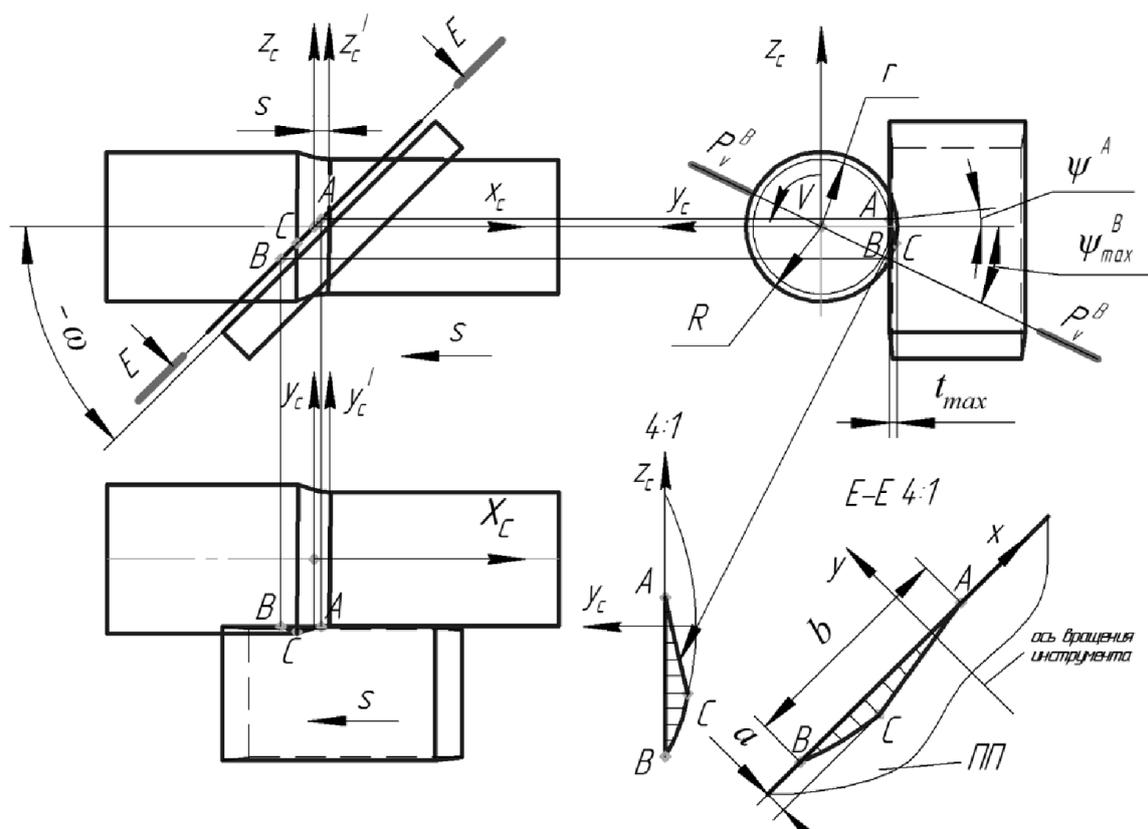


Рис. 3. Схема к определению сечения срезаемого слоя при косоугольном точении брешущим резцом и его проекции (ABC) на плоскость E: $D=20$ мм, $t=1$ мм, $\omega=-45^\circ$, (ПП – передняя поверхность)

Выводы

Анализ полученных результатов позволил сделать следующие выводы:

1. Разработанные схемы (рис. 1) дают наглядное представление о геометрии процесса косоугольного точения брешущим резцом в ССК.
2. На примере эквивалентного лезвия наглядно показан характер изменения геометрических параметров инструмента вдоль рабочей части инструмента.
3. Толщина сечения срезаемого слоя изменяется от минимума ($a=0$) в точках А и В до максимума на отрезке СВ, достигая величины $a=t$ при больших значениях подачи и угла наклона лезвия, ширина также имеет переменное значение и изменяется в большом диапазоне (см. рисунок 3).
4. Форма сечения срезаемого слоя образованная при точении брешущим резцом отличается от сечения, полученного при работе традиционным инструментом с вершиной и вспомогательной режущей кромкой, рассмотренного в работе [1].

Список литературы

1. С.А. Клименко, А.С. Манохин. Твердое «брешущее» точение. Сверхтвердые материалы №1, 2009. – С. 58-74.
2. Г.М. Рывкин, Б.И. Самойлов Чистовое точение резцами с перемещаемой режущей пластинкой. СТИН №4, 1952. – С. 20-22.
3. В.В. Подгорков. Чистовое точение однокромочными резцами. СТИН №1, 1974. – С. 30-31.
4. Г.П. Галоян. Теоретические основы нового процесса диагонального точения с обоснованием путей его реализации: дис. канд. техн. наук: Спец.05.03.01. / Г. П. Галоян; Ереванский политехнический институт им. К. Маркса. Ленинаканский филиал, Ленинакан, 1986. – 157 с.
5. Г.С. Минасян. Шероховатость поверхности при точении безвершинным резцом БРМ-1. Известия академии наук АССР XXIII, №4, 1970. – С. 3-6.
6. В.Ф. Бобров. Влияние угла наклона главной режущей кромки инструмента на процесс резания металлов. М., Машгиз, 1962. – 152 с.
7. М.С. Тер-Маркарян. Некоторые особенности кинематики и процесса резания безвершинными резцами. Известия академии наук Армянской ССР, XXX, №6, 1977. – С. 3-12.
8. Г.С. Минасян. О некоторых преимуществах безвершинного резца БРМ-1. Известия академии наук Армянской ССР, XIX, №3, 1966 г. – С. 39-45.

9. W. Grzesik, K. Żak. Investigations of surface textures produced by oblique machining of different workpiece materials. Archives of Materials Science and Engineering, 52, 2011. – P. 46-53.

10. W. Grzesik. A real picture of plastic deformation concentrated in the chip produced by continuous straight-edged oblique cutting. Int. J. Mach. Tools Manuf. Vol. 31. № 3. 1991. – P. 329-344.

11. С.И. Петрушин, А.А. Баканов, А.В. Махов. Геометрический анализ конструкций сборных режущих инструментов со сменными многогранными пластинами. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 100 с.

12. Петрушин С.И., Филиппов А.В.. Анализ геометрии косоугольного обтачивания безвершинными резцами. Обработка металлов. Технология. Оборудование. Инструменты. 2013. – №2. – С. 8-14.

13. Филиппов А.В. 3D моделирование геометрии косоугольного точения. Инновации в машиностроении: сборник трудов Международной молодежной конференции, Томск: Изд. ТПУ. 2012. – С. 178-183.

14. Filippov A.V. Constructing a model of the equivalent wedge oblique cutting edge. Applied Mechanics and Materials. 2013. Vol. 379. – P. 139-144.

Oblique turning skiving cutters

A.V. Filippov

The article provides a brief overview of the process of turning oblique skiving cutters. Schemes compiled to determine the geometric parameters of the process in a setting system, and determining the parameters of the cross section of the shear layer, while working tool with a straight cutting edge.

Key words: skiving cutter, oblique turning, the geometrical parameters, the cross section of the shear layer.

ОБ ОЦЕНКЕ КОМПОНОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИХ СТАНКОВ С ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ КИНЕМАТИКОЙ

*Е.Б. ЩЕЛКУНОВ, к.т.н., доцент,
С.В. ВИНОГРАДОВ, к.т.н., доцент,
М.Е. ЩЕЛКУНОВА, к.т.н., доцент,
(КнАГТУ, г. Комсомольск-на-Амуре)*

Щелкунов Е.Б. – 681013, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, проспект Ленина, 27, ФГБОУ ВПО «Комсомольский на Амуре государственный технический университет»,
e-mail: ktm@knastu.ru

В настоящее время в мировом станкостроении активно развивается новое поколение металлорежущих станков – станки с параллельной кинематикой, основанные на использовании рычажно-шарнирных механизмов параллельной структуры МПС. Их появление связано со стремлением у разработчиков и пользователей станков сообщить одному рабочему органу станка все рабочие движения. Благодаря использованию МПС в станке, удалось добиться высокой скорости движения и маневренности рабочего органа. Однако использование рычажно-шарнирных механизмов в станках существенно ограничивает размер рабочего пространства станка, по сравнению со станками с традиционной прямоугольной системой координат.

Рабочее пространство металлообрабатывающего станка определяет наибольший размер обрабатываемой на этом станке заготовки и потому является одним из наиболее важных параметров.

Зона возможного доступа подвижного органа МПС представляет собой сложную по форме трехмерную геометрическую фигуру. На ее форму большое влияние оказывают конструктивные особенности МПС количество штанг и их расположение, а на размеры влияют: угол расхождения штанг, длины штанг и диапазон их изменения, подвижность шарниров, диаметры основания и платформы.

Из-за сложности формы рабочего пространства МПС производители станков с параллельной кинематикой указывают в технической характеристике станков рабочее пространство в форме прямоугольной призмы, ограничивая перемещения рабочего органа конечными выключателями в конструкции станка, а также путем введения в управляющую программу предельно допустимых значений перемещений.

В работе [1] общее рабочее пространство МПС станка предложено называть геометрическим, а рабочее пространство станка, заданное в виде призмы – технологическим.

Вписанное в границы геометрического рабочего пространства технологическое является полезной частью общего геометрического. Разделение рабочего пространства на геометрическое и технологическое дает

возможность оценить, насколько эффективно используется рабочее пространство станка, что, по мнению авторов, является одним из важных экономических показателей станка.

В качестве оценочного параметра авторами предлагается использовать отношение объема технологического рабочего пространства V_T к объему геометрического рабочего пространства V_G . Величина V_T/V_G показывает долю объема технологического рабочего пространства в общем геометрическом и характеризует эффективность использования рабочего пространства.

Таким образом величина V_T/V_G позволяет количественно оценивать различные компоновки станков с параллельной кинематикой на этапе их проектирования с целью выбора оптимального варианта компоновки станка.

Для расчета предлагаемого параметра V_T/V_G при анализе различных компоновок был выбран распространенный и достаточно простой механизм типа «трипод». Под различными компоновками в данном случае понимаются различные сочетания геометрических параметров параллельного механизма. Для расчета использовалась специально разработанная модель [1].

Расчет выполнялся в два этапа. На первом этапе исходными данными являлись размеры технологического рабочего пространства; количество штанг; начальный угол расхождения штанг (угол между штангами в сложенном состоянии); радиусы основания и подвижной платформы. На первом этапе вычислялись длины приводных штанг в сложенном состоянии и с максимальным вылетом штока, необходимые для обеспечения требуемых размеров технологического рабочего пространства.

На втором этапе задавались количество штанг; начальная и конечная длины штанг, рассчитанные на первом этапе; высота установки шарниров на основании и платформе; радиусы шарниров на основании и подвижной платформе; диаметры гильзы и штока штанги; радиусы основания и подвижной платформы. На этом этапе вычислялись расстояние между основанием и подвижной платформой; размеры геометрического рабочего пространства и его объем V_G . Затем вычислялось значение V_T/V_G .

Границы технологического рабочего пространства были заданы в виде призмы с размерами 300x300x200 мм. Остальные параметры задавались индивидуально для каждого из рассматриваемых компоновочных решений.

В таблице 1 приведены результаты расчетов. Они показывают, что значения параметра V_T/V_G для различных сочетаний геометрических параметров МПС могут существенно различаться. Среди рассмотренных компоновок наибольшее значение V_T/V_G - 0,394 и наименьшее - 0,107 отличаются более чем в 3,5 раза, следовательно предлагаемый параметр V_T/V_G может быть использован в качестве одного из критериев для оценки целесообразности использования той или иной компоновки металлообрабатывающего станка.

Таблица 1

Значения параметра V_T/V_G для различных сочетаний геометрических параметров трипода

Радиус основания	Радиус подвижной платформы	Угол расхождения штанг	Начальная длина штанги	Конечная длина штанги	Высота	V_G	V_T/V_G
160	40	20	681	934	670	98598373	0,192
160	80	15	608	853	603	93566456	0,192
160	80	20	454	709	442	60926995	0,295
160	80	24	377	639	369	45695246	0,394
210	70	20	794	1047	782	98598373	0,182
210	70	24	659	919	644	86222577	0,209
240	80	24	753	1014	736	101726322	0,177
240	120	20	681	941	670	168637218	0,107
270	90	24	848	1108	829	115054102	0,156

Заключение

Предложен параметр V_T/V_G , позволяющий оценить долю объема технологического рабочего пространства V_T в общем геометрическом V_G пространстве станка с параллельной кинематикой.

Данный параметр рекомендуется использовать для анализа эффективности различных компоновок МПС станков на этапе их проектирования.

Список литературы

1. Щелкунов Е.Б. Исследование взаимосвязи размеров рабочего пространства металлорежущего станка с параллельной кинематикой с геометрическими параметрами параллельного механизма / Е.Б.Щелкунов, С.В. Виноградов, М.Е. Щелкунова, А.И. Пронин, А.С. Верещагина, Е.В. Самар, Р.Е. Савченко // Сборник научных трудов SWorld. Материалы международной научно-практической конференции «Современные направления теоретических и прикладных исследований '2013». – Выпуск 1. Том 2. – Одесса: КУПРИ-ЕНКО. 2013 – ЦИТ:113-0265. С. 36-42.

About an assessment of layout solutions of metalworking machines with parallel kinematics

Shchelkunov E.B., Vinogradov S.V., Schelkunova M.E.

Proposed parameter for assessing the arrangements with parallel kinematics machines for efficient use of their workspace.

УДК 621.9.04, 621.91, 621.92, 621.7.029, 621.785.5

СТАНОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ОСНОВАННОЕ НА КОМПЛЕКСИРОВАНИИ НЕСКОЛЬКИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ[†]

*В.Н. ПУШНИН, аспирант,
И.А. ЕРОХИН, аспирант,
Д.Ю. КОРНЕВ, магистрант
В.Ю. СКИБА, к.т.н., доцент,
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Скиба В.Ю. – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: skeeba_vadim@mail.ru

Объектом исследований является стадия технологических процессов изготовления деталей машин, состоящая из операций: предварительная механическая обработка, плазменное напыление покрытий, оплавление покрытия концентрированным источником энергии и финишная механическая обработка.

Проведенный анализ научно-технической литературы позволил оценить современное состояние исследований в области интегрирования разнородных операций на одном технологическом оборудовании в России и за рубежом, оценить актуальность и научную значимость выполняемой работы. Было установлено, что на сегодняшний день в машиностроении отчетливо проявляется особый интерес к развитию нового типа технологического оборудования – многоцелевых обрабатывающих комплексов с полифункциональными возможностями.

При непосредственном использовании CAD-систем были разработаны 3D модели нового интегрального оборудования, объединяющего механическую обработку, плазменное напыление и оплавление покрытия посредством высокоэнергетического нагрева токами высокой частоты.

Ключевые слова: комплексирование, плазменное напыление, покрытие, точение, абразивное шлифование, высокоэнергетический нагрев токами высокой частоты, алмазное выглаживание

Сегодня в машиностроении отчетливо проявляется особый интерес к развитию нового типа технологического оборудования – многоцелевых обрабатывающих комплексов с полифункциональными возможностями [1...10]. Данная тенденция - расширение технологических возможностей металлообрабатывающих систем - определяется не только необходимостью достижения высоких показателей ресурсо- и энергосбережения, но и повышенными требованиями в обеспечении соответствующего уровня

[†] Работа выполнена при финансовой поддержке проекта, выполняемого в рамках гранта РФФИ в 2013 г. и в плановом периоде в 2013-2015 гг. (Номер проекта 13-08-01102 А "Проектно-исследовательская разработка технологической установки для плазменно-механической обработки деталей машин").

производительности обработки и качества детали: точности формы, размеров и взаимного расположения поверхностей, шероховатости и заданных физико-механических свойств поверхностных слоев и материала. Это явление обуславливается [8]: увеличением энергоемкости металлообработки; увеличением числа выполняемых функций на одном рабочем месте; увеличением числа функциональных модулей в системе управления производственным процессом; усложнением состава и структуры операций и иных компонентов технологии и средств оснащения [1].

Комплексирование различных процессов в одном станке: абразивное шлифование – поверхностная закалка [11...21], резание - закалка, точение – закалка - шлифование, лазерная поверхностная закалка в сочетании с механической обработкой, обусловлено стремлением разработчиков к расширению технологических возможностей станков [10] и обеспечению их автономной работы в гибком машиностроительном производстве. В свою очередь, это способствует: компактности основных фондов обрабатывающих переделов за счет использования меньшего числа станков и уменьшению необходимых под технологическое оборудование площадей и ресурсов при выполнении одной и той же производственной задачи; значительному сокращению производственного цикла изготовления деталей машин путем замены маршрутной технологической цепочки станочными комплексами.

Несмотря на особенность таких многофункциональных комплексов, интегрирующих в себе различные по природе способы воздействия на материал изделия при формообразовании и для изменения свойств поверхности, возникает большая вероятность возникновения проблем совместимости интегрируемых подсистем и компонентов. Это обуславливается конструктивно-компоновочной сложностью систем, гармонизацией рабочих характеристик комплекса, совместимостью принципов управления станком для решения пространственно-траекторных задач и обеспечения точности формообразования [1].

Для решения обозначенных проблем в условиях настоящего проекта, необходимо решение следующих задач концептуального проектирования интегрального оборудования: прогноз рациональных значений технических характеристик технологического оборудования [22...24]; оптимизация компоновки станочного комплекса [25...28]; структурно-кинематический анализ [29...31] и рабочее проектирование [32...33]. Обзор литературных источников по современным комбинированным методам обработки, использующим источники энергии высокой концентрации, позволит сделать вывод о перспективности совмещении трех технологических операций на одном оборудовании и предложить несколько конструктивных решений, связанных с компоновкой базовых узлов интегрального технологического оборудования.

Проведен анализ состояния современных исследований в области поверхностной обработки металлов посредством использования источников концентрированной энергии. На основе анализа литературных источников дано обоснование выбора высокоэнергетического нагрева токами высокой частоты (ВЭН ТВЧ) в качестве источника энергии высокой концентрации, которым будет оснащаться новый технологический комплекс для интегрированной обработки деталей машин.

Посредством современных CAD - систем *SolidEdge* и *SolidWorks* были созданы 3D модели стандартного технологического оборудования (токарно-винторезного станка УТ16ПМ, плоскошлифовального станка 3Г71, круглошлифовального станка модели 3Б12) и принципиально проработаны возможные компоновки будущих обрабатывающих центров, реализующих интегральную схему обработки: 1 переход - «предварительная механическая обработка»; 2 переход – «предварительный индукционный подогрев заготовки»; 3 переход - «плазменное напыление покрытия»; 4 переход – «оплавление покрытия высокоэнергетическим нагревом токами высокой частоты»; 5 переход – «финишная механическая обработка» (рис. 1).

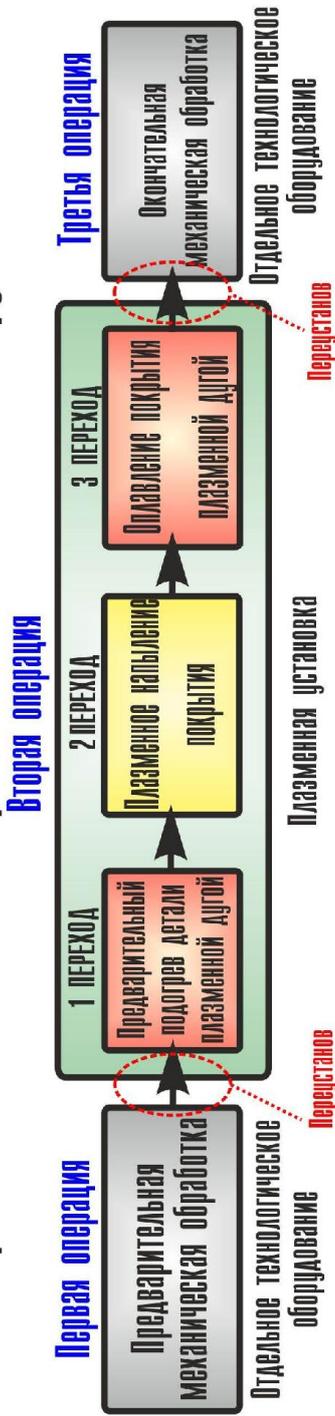
В технологическом процессе изготовления деталей машин каждая из объединенных операций необходима для достижения определенных показателей качества поверхности детали.

Предварительная механическая обработка - черновое и получистовое точение (при разработке комплекса на базе токарного станка) или черновое шлифование (в условиях реализации станочного комплекса на базе плоско- или круглошлифовального станка) – необходима для первоочередной подготовки поверхностного слоя: очистка и выведение из состояния термодинамического равновесия со средой. Необходимо отметить, что уже на первом переходе, варьируя режимными параметрами технологической операции, можно обеспечивать соответствующую регулярную топографию и шероховатость поверхность, что в конечном итоге не может не повлиять на адгезионную прочность и на эксплуатационные характеристики покрытия в целом.

Плазменное напыление покрытия и оплавление покрытия высокоэнергетическим нагревом токами высокой частоты - обеспечение необходимого физико-механического состояния поверхностного слоя деталей машин. В результате напыления и оплавления в поверхностных слоях материала формируются определенные структуры, которые определяют такие показатели качества, как глубина и твердость напыленного покрытия, знак, величина и характер распределения остаточных напряжений.

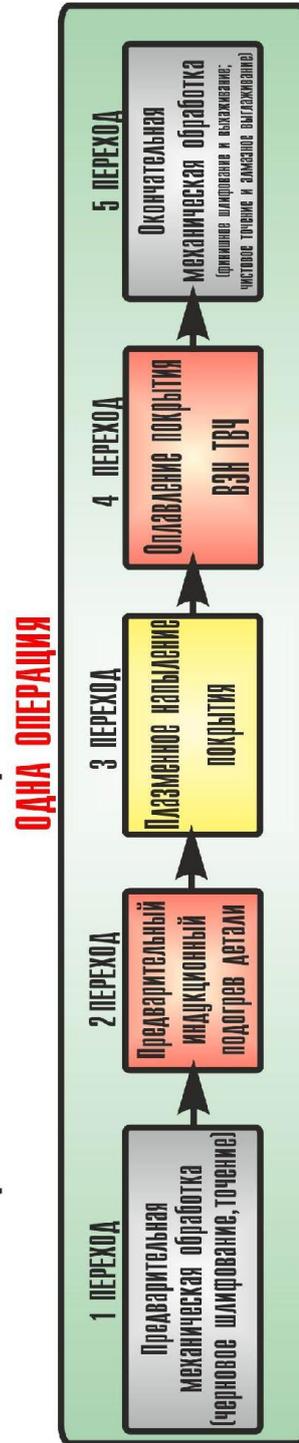
Финишная механическая обработка (чистовое точение и алмазное выглаживание, окончательное (чистовое) шлифование и выхаживание) деталей машин требуется для обеспечения заданных геометрических форм, размеров и шероховатости поверхности.

ТИПОВОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СТАНДАРТНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ



а)

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИНТЕГРАЛЬНОГО СТАНОЧНОГО КОМПЛЕКСА



Обработка осуществляется на одном технологическом оборудовании - перестановки детали отсутствуют. Предварительный подогрев изделия и оплавление плазменного покрытия осуществляется объемным источником нагрева.

б)

Рис. 1. Схема технологического процесса (ТП):

а) типовой ТП; б) ТП при использовании интегрального комплекса

В реальных условиях при традиционном построении технологии изготовления деталей в процессе механической обработки на обрабатываемое изделие действуют большие усилия, вызывающие пластические деформации материала в поверхностном слое, значительные температуры в зоне обработки, приводящие к изменению структуры в поверхностных слоях, толщина которых находится в пределах от десятка микрон до десятых долей миллиметра. В результате чего изменяется напряженное состояние поверхностных слоев, приводящее к упрочнению или разупрочнению материала.

Интенсификация процесса резания способствует высокой теплонапряженностью в зоне контакта инструмента с деталью (особенно в условия шлифования), что может значительно изменить достигнутое на предшествующей операции исходное качество поверхностного слоя. Поскольку структура упрочненного материала может выходить из равновесного состояния даже под действием кратковременных тепловых импульсов, в поверхностных слоях материала возникают значительные градиенты остаточных напряжений, способствующих в дальнейшем развитию микротрещин. Отрицательное влияние тепловых процессов при лезвийной обработке и абразивном шлифовании тем ярче выражено, чем больший припуск оставляется на финишную операцию.

При нанесении плазменного покрытия в большинстве своем поверхностный слой характеризуется высокой пористостью и содержанием большого количества нерасплавленных частиц и т.д. Данные дефекты могут быть исправлены последующим оплавлением покрытия. Для этого могут быть использованы как поверхностные источники тепла: плазма, лазер, упрочняющее шлифование, - так и объемные – электронный луч, электронагрев, высокоэнергетический нагрев токами высокой частоты. В связи с тем, что объемные источники концентрированной энергии обладают высоким термическим коэффициентом полезного действия, а конструктивно в станочную систему легче встроить элементы закалочного контура, чем базовые комплектующие электронного луча, то для оплавления покрытия был выбран нагрев ТВЧ.

В связи с этим для эффективного решения задачи энергосбережения и повышения производительности обработки деталей машин необходимо объединить механические и поверхностно-термические операции на одном технологическом оборудовании.

В условиях предложенного способа комплексирования для создания нового интегрального технологического оборудования нами предлагается глубокая модернизация токарного, кругло- и плоскошлифовального станков моделей УТ16ПМ, 3Б12 и 3Г71, заключающаяся в их оснащении дополнительными источниками энергии: плазматроном и генератором токов высокой частоты (рис. 2 - 4). Такой многофункциональный производственный комплекс, позволяет не только автономно работать в гибком машиностроительном производстве, но и помогает решать задачи повышения качества и производительности металлообработки и снижения энергозатрат в процессе эксплуатации.

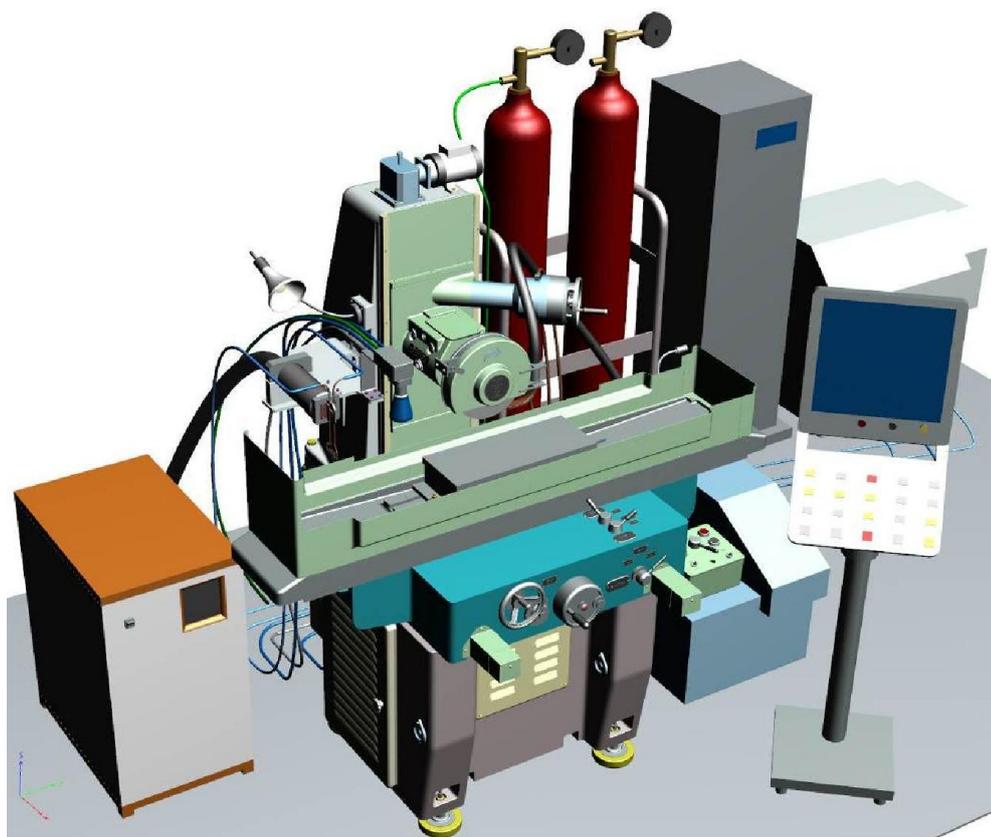


Рис.2. Компоновка интегрального станочного комплекса на базе плоскошлифовального станка 3Г71



Рис.3. Компоновка интегрального станочного комплекса на базе круглошлифовального станка модели 3Б12

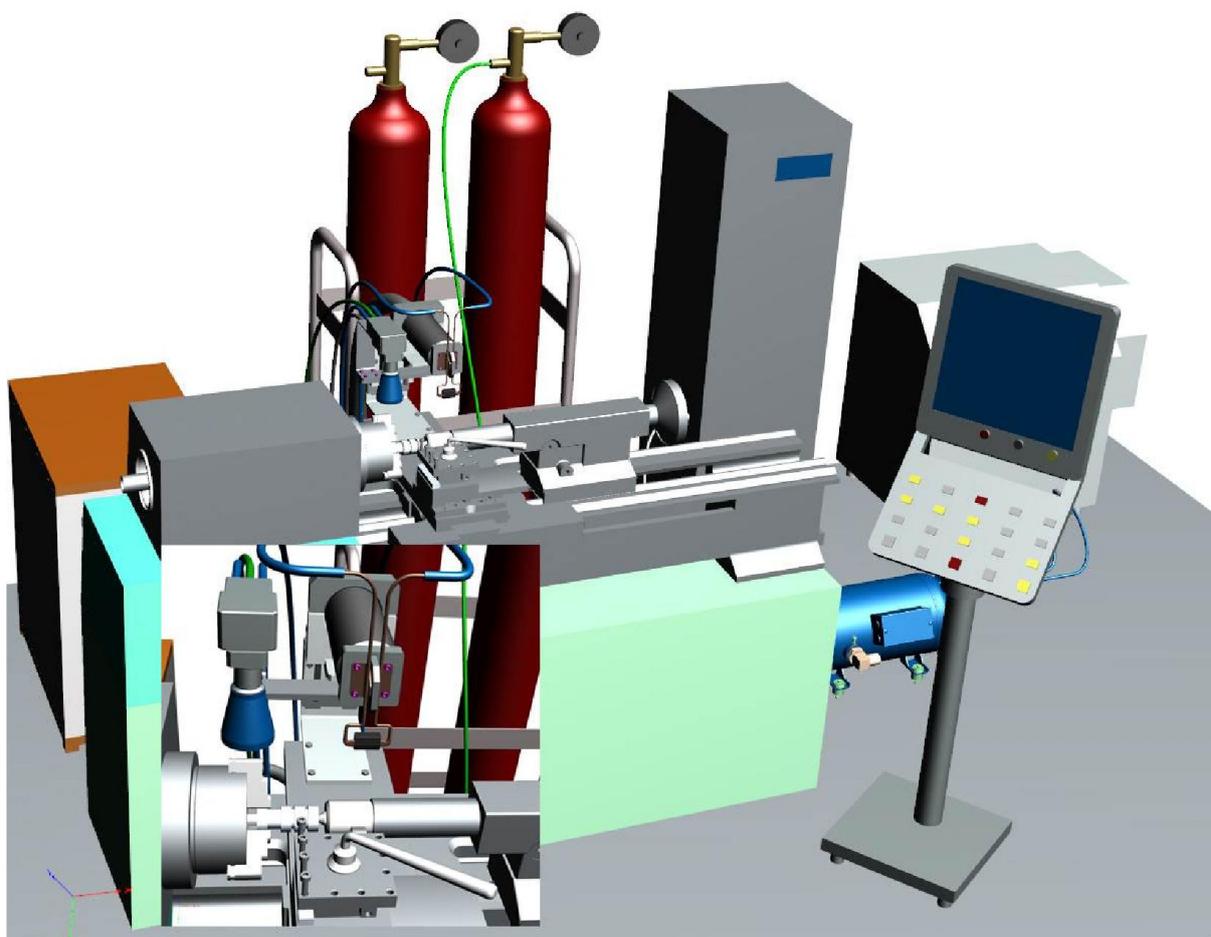


Рис. 4. Компонка интегрального станочного комплекса на базе токарно-винторезного станка модели УТ16ПМ

Наличие нового промышленного оборудования приведет к необходимости приведения поправок при разработке технологического процесса изготовления деталей машин. В связи с этим, одной из главных научных задач данного проекта будет являться разработка рекомендаций по эффективной эксплуатации нового технологического станочного комплекса. Для этого необходимо всесторонне проанализировать влияние режимов каждой из объединяемых видов обработок на качество поверхностного слоя деталей машин.

Поскольку одно из основных влияний на физико-механическое состояние поверхностного слоя деталей машин оказывается тепловыми процессами, происходящими в зоне обработки. А, контроль температур и скоростей нагрева затруднен, то для назначения режимов на операциях лезвийной обработки и абразивного шлифования, плазменного напыления и оплавления покрытия с использованием концентрированных источников энергии широкое распространение получило математическое моделирование процессов, происходящих в поверхностных слоях материала [34...36]. Важность решения этой проблемы была отмечена в рекомендациях VIII конференции

"Теплофизика технологических процессов" [37]. На конференции неоднократно отмечалась необходимость усиленного развития теории тепловых явлений физико-технических методов обработки, аналитических и экспериментальных методов определения температурных полей быстропротекающих нестационарных и квазистационарных процессов, движущихся с любой скоростью источников тепла в условиях действия различных внешних сред.

При выполнении проекта планируется провести энергетические и точностные испытания металлорежущего оборудования, входящего в состав станочного комплекса, с целью выявления фактических зависимостей между параметрами режимов резания и показателями качества поверхности обрабатываемых деталей. В процессе оптимизации режимов обработки будут всесторонне оцениваться качественные показатели поверхностного слоя изделий.

В исследовании для одновременного измерения отклонений формы, волнистости и шероховатости поверхности будет использоваться бесконтактный лазерный профилограф-профилометр.

Выявление дефектов в виде крупных трещин, мягких пятен (прижогов), сетки микротрещин на поверхности образца будет осуществляться визуально-оптическим и капиллярным методами при использовании вихретокового и ультразвукового дефектоскопов.

Исследования структуры поверхностно-упрочненных слоев планируется провести с использованием трансмиссионной микроскопии, растровой электронной микроскопии, рентгеноструктурного анализа, позволяющих вскрыть особенности образования структуры в условиях предлагаемой интегрированной обработки.

Исследование напряженно-деформированного состояния материала будет осуществляться посредством моделирования в конечно-элементных комплексах ANSYS и SYSWELD.

Для установления закономерности распределения остаточных напряжений в поверхностном слое детали будут использоваться механический и рентгеновский методы. Для обработки полученных данных будет применен системный анализ результатов экспериментальных исследований, в том числе с использованием статистико-вероятностного подхода; общепринятые методы и подходы к обобщению экспериментальных данных.

Список литературы

1. Макаров В.М. Комплексированные обрабатывающие системы. Ритм № 8, 2011, с.20-23
2. Moriwaki T. Multi-functional machine tool. CIRP Annals – Manufacturing Technology. 57 (2008), p. 736-749
3. Garro C, Martin P, Veron M. SHIVA a Multi-arms Machine Tool. Annals of the CIRP 42(1), (1993):433–436.

4. Fleischer J, Schmidt-Ewig JP, Weule H. Innovative Machine Kinematics for Combined Handling and Machining of Three-dimensional Curved Light-weight Extrusion Structures. *Annals of the CIRP* 54(1), (2005):317–320.
5. Nagae A. Development Trend of Multi-tasking Machines. *Proceedings of the 11th International Conference on Machine Tool Engineers*, (2004), 312–323.
6. Nakagawa T, Suzuki K, Uematsu T, Kimura M. Development of a New Turning Center for Grinding Ceramic Materials. *Annals of the CIRP* 37(1): (1988), 319–322.
7. Nakaminami M, Tokuma T, Moriwaki M, Nakamoto K. Optimal Structure Design Methodology for Compound Multiaxis Machine Tools. I. Analysis of Requirements and Specifications. *International Journal of Automation Technology* 1(2), (2007):78–86.
8. Инноватика: Учебник для вузов/ С.Г. Селиванов, М.Б. Гузаиров, А.А. Кутин. – М., Машиностроение, 2008. – 721 с.
9. Технология машиностроения. Высокоэнергетические и комбинированные методы обработки: учебное пособие / И.О. Аверьянова, В.В. Клепиков. – М.: Форум; 2008 – 304 с.
10. Бушуев В.В. Направления конструирования станков. Вестник МГТУ «Станкин» № 1, 2008. с. 8-13.
11. T. Nguyen. Grinding-hardening with liquid nitrogen: Mechanisms and technology / T. Nguyen, I. Zarudi, L.C. Zhang // *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. – 2007. – Vol. 47. – P. 97-106.
12. L.C. Zhang. Grind-hardening of steel surfaces: a focused review // *Int. J. Abrasive Technology*. 2007. - Vol. 1, №1. – P. 1 – 36.
13. Иванцовский В. В. Совмещение операций поверхностной закалки и финишного шлифования на одном технологическом оборудовании / В. В. Иванцовский, В. Ю. Скиба // *Обработка металлов – 2006*. – № 1 (30). – С. 16–18.
14. Интегральная обработка как эффективное направление решения задачи перехода к ресурсосберегающим технологиям / В. Ю. Скиба, В. В. Иванцовский, Н. П. Зуб, С. В. Туревич // *Научно-аналитический журнал «Инновационная деятельность»*. - Саратов; Изд-во СГТУ. - 2010. - №1 (10). С. 66-69
15. Новая высокопроизводительная и ресурсосберегающая интегральная обработка / В. Ю. Скиба, В. В. Иванцовский, Н. П. Зуб, С. В. Туревич // *Журнал "В мире научных открытий"*. - Красноярск: Научно-инновационный центр, 2010. - №2(08). - Ч.3. - С.91-93.
16. Иванцовский В. В. Методика назначения рациональных режимов поверхностной закалки сталей с использованием концентрированных источников нагрева / В. В. Иванцовский, В. Ю. Скиба, Н. П. Степанова // *Обработка металлов – 2006*. – № 4 (33). – С. 17–19.
17. Иванцовский В. В. Методика назначения режимов обработки, обеспечивающих рациональное распределение остаточных напряжений при поверхностной закалке ВЭН ТВЧ / В.В. Иванцовский, В.Ю. Скиба, Н.П. Зуб // *Научный вестник НГТУ – 2008*. – № 3 (32). – С. 83–94.
18. Иванцовский В. В. Повышение поверхностной микротвердости стали при интеграции поверхностно-термической и финишной механической обработок / В. В. Иванцовский, В. Ю. Скиба // *Научный вестник НГТУ – 2006*. – № 3 (24). – С. 187–192.
19. Скиба В. Ю. Обеспечение требуемого характера распределения остаточных напряжений при упрочнении высокоэнергетическим нагревом токами высокой частоты / В. Ю. Скиба // *Обработка металлов – 2007*. – № 2 (35). – С. 25–27.

20. Скиба В.Ю. Повышение эффективности технологического процесса обработки деталей машин при интеграции абразивного шлифования и поверхностной закалки ТВЧ: Дис. ... к-та техн. наук: Спец. 05.03.01 / В.Ю. Скиба, Новосиб. гос. техн. ун-т. – Новосибирск, 2008. – 240 с.
21. Эффективность объединения операций поверхностной закалки и шлифования на одном технологическом оборудовании / В. Ю. Скиба, В. В. Иванцовский // *Обработка металлов*. – Новосибирск, 2010. - №4 (49). - С. - 15-21.
22. Параметрическая оптимизация качества / С. В. Птицын, Ю. С. Чёсов // *СТИН*. М.: Станкин, 2002. -№6. - С. 19-23.
23. Повышение эффективности металлорежущего оборудования / С. В. Птицын, Ю. С. Чёсов // *Обработка металлов*. - Новосибирск: Изд-во ОАО НТП и ЭИ Оргстанкинпром, 2006.- № 4 (33). - С. 25-27.
24. Надежность прогноза качества технологического оборудования / С. В. Птицын, В. Ю. Скиба, Ю. С. Чёсов, Е. В. Мережко // *Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты*. - 2013. - № 2. - С. 33-38.
25. Хомяков В.С., Давыдов И.И. Автоматизированное проектирование компоновок металлообрабатывающих станков// *Станки и инструмент*. 1990.- № 5. С. 4-7.
26. Evakhnenko A.G. Conceptual designing of metal cutting systems: methodology and methods// "The technical progress problems of the Far East region", comb. coll. of scientific works, Vol.3. Khabarovsk: Kh.S.T.U., 1997, pp.78-82.
27. Аверьянов О.И. Научные основы формирования технических характеристик и компоновочных решений многооперационных станков. Дис. д-ра техн. наук. М., 1983. - 258 с.
28. Тихонов М.И. Концептуальное проектирование в интегрированных САД/САМ/САЕ системах// *Труды конгресса "Конструкторско-технологическая информатика (КТИ-96)"*. М.: МГТУ "СТАНКИН", 1996, с. 137-138.
29. Ивахненко А.Г. Концептуальное проектирование металлорежущих систем. Структурный синтез. Хабаровск: Изд-во ХГТУ, 1998. 124 с.
30. Структурный анализ и синтез кинематики металлорежущих станков : учеб. пособие / С. В. Птицын, Л. В. Левицкий. - : УМК ВО, Киев, 1989. - 70 с.
31. Разработка экспертной системы структурного синтеза технологических комплексов для ГПС: Отчет заключит, по г/б теме. Рук. А.Г.Ивахненко /Хабар, гос. техн. ун-т. № РСГ 01.99.0004776. - Хабаровск, 1999.-56 с.
32. Шпур Г., Краузе Ф.-Л. Автоматизированное проектирование в машиностроении. М.: Машиностроение, 1990. - 224 с.
33. Проектирование металлорежущего оборудования, изд. 2, перераб. и доп. : учеб. пособие / Ю. С. Чёсов, С. В. Птицын. - : НГТУ, 2005. - 105 с.
34. V.D. Efremov, M.S. Zheludkevich, M.L. German. Computer Thermal Model for Hardening Grinding // *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, Vol. 73, №2, 2000.
35. Любимов В.В. Лазерное термоупрочнение нежестких полиграфических высечных ножей из стали 65Г / В.В. Любимов, Е.А. Громов // *Упрочняющие технологии и покрытия*. – 2005. – №6. – С. 14 – 19.
36. J. Yuan, J. Kang, Y. Rong, R.D. Sisson, Jr. FEM Modeling of Induction Hardening Processes in Steel // *Journal of Materials Engineering and Performance*, 2003. - Vol. 12, №5. – P. 589 – 596.
37. Рекомендации VII конференции "Теплофизика технологических процессов" // *Вестник машиностроения*. – 1993. – № 5-6. – С. 3-4.

Machine-tool equipment, based on a complexation of several working operations

V.N. Pushnin, I.A. Erohin, D.Yu. Kornev, V.Yu. Skeebea

The object of research is the stage of manufacturing processes of machine parts, consisting of operations : pre- machining, plasma spray coating , melt coating concentrated source of energy and finish machining .

The analysis of scientific literature allowed us to estimate the current state of research in the field of integration of heterogeneous operations on the same production equipment in Russia and abroad, to evaluate the relevance and importance of the scientific work performed. It was found that today in engineering clearly manifested a special interest in the development of a new type of technological equipment - multi- processing complexes with multifunctional capabilities.

With direct use of modern CAD- systems have been developed 3D model of a new integral equipment combining machining , plasma spraying , and high- melt coating by high-frequency heating .

Key words: complexation, plasma spray coating, turning, grinding abrasive, high-energy heating by high frequency, diamond smoothing

УДК 621.313.17

НИЗКОЧАСТОТНЫЕ УДАРНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ МАШИНЫ И ТЕХНОЛОГИИ

*Л.А. НЕЙМАН, канд. техн. наук, доцент,
В.Ю. НЕЙМАН, доктор техн. наук, профессор,
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Нейман Л.А. – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: neyman@ngs.ru

Для реализации низкочастотных ударных технологий в машиностроении рассматривается использование новых конструкций низкочастотных электромагнитных машин виброударного действия с частотой ударов 12,5 – 50 Гц и энергией удара до 50 Дж.

Ключевые слова: низкочастотная электромагнитная машина ударного действия, линейный электропривод, частота и энергия удара, синхронная скорость движения ударной массы

1. Введение

В машиностроении широкое распространение находят виброударные технологические машины, в которых виброударный режим работы рабочего органа, совершающего вынужденные колебания, используется для выполнения операций клепки, маркировки, развальцовки, запрессовки, уплотнения и упрочнения материалов, соединения деталей и т.д.

В работе [1] авторами обоснована перспективность использования для обозначенных технологий низкочастотного электромагнитного электропривода одноударного и виброударного действия. Для виброударных электромагнитных машин синхронизация возвратно-поступательного движения ударной массы – бойка осуществляется с помощью импульсов напряжения подаваемых на катушку от источника питания промышленной частоты 50 Гц [2 – 4].

2. Основные результаты

Для поддержания режима вынужденных колебаний механической системы независимо от степени твердости обрабатываемого материала, предложено новое техническое решение (рис. 1), обеспечивающее гарантированный коэффициент отскока ударной массы от рабочего инструмента [5]. В исходном положении при контакте рабочего инструмента с обрабатываемой средой хвостовик рабочего инструмента 1 поджат в сторону бойка 2. Поочередная подача импульсов напряжения на катушку обратного 3 и

прямого 5 хода обеспечивает цикличные возвратно-поступательные движения бойка 2, благодаря подпружиненному буферу 4. Одновременно с бойком 2 колебательные движения получает хвостовик рабочего инструмента 1, скользящий по свободной посадке внутри сквозного отверстия демпфирующего сердечника 6. Так как амплитуда колебаний хвостовика рабочего инструмента 1 не превышает расстояния x , демпфирующий сердечник 6 остается неподвижным. При уменьшении твердости обрабатываемого материала амплитуда колебаний хвостовика рабочего инструмента 1 будет возрастать, а колебательные движения от соударения с бойком 2 частично будут передаваться подпружиненному демпфирующему сердечнику 6.

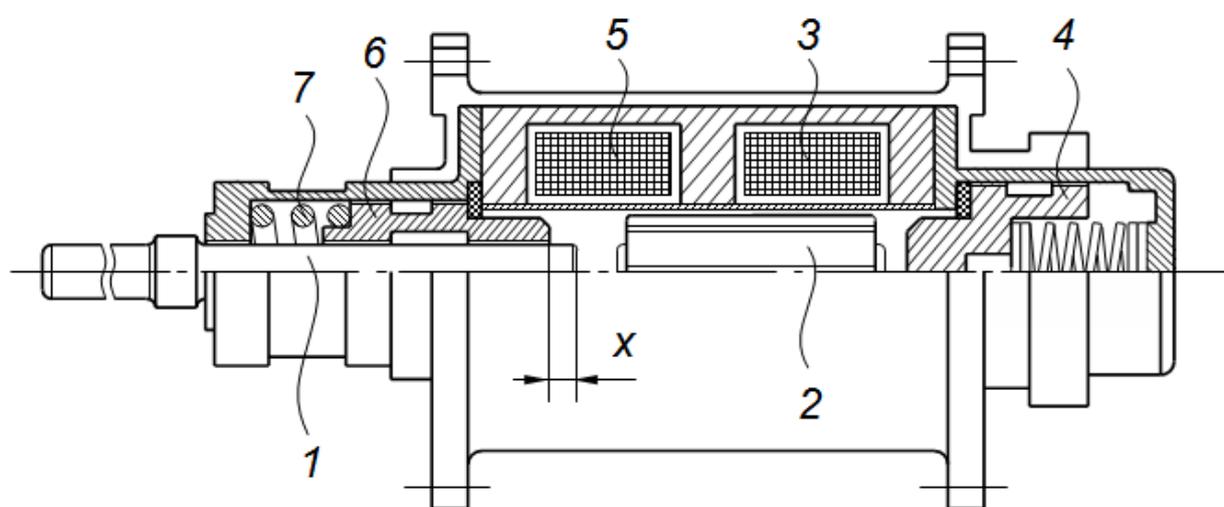


Рис. 1. Низкочастотный электромагнитный ударный привод с пружинным возвратом ударной массы

При временной потере контакта рабочего инструмента с обрабатываемой средой кинетическая энергия бойка 2 гасится подпружиненным демпфирующим сердечником 6, предохраняя от динамического воздействия и разрушения элементы конструкции двигателя. При этом цикличность работы двигателя не нарушается, а требуемый для поддержания режима вынужденных колебаний коэффициент отскока бойка обеспечивается подпружиненным демпфирующим сердечником.

Для повышения надежности электропривода от динамических нагрузок вследствие отклонений от рабочих режимов, нарушающих цикличность его работы, предложено техническое решение (рис. 2) [6].

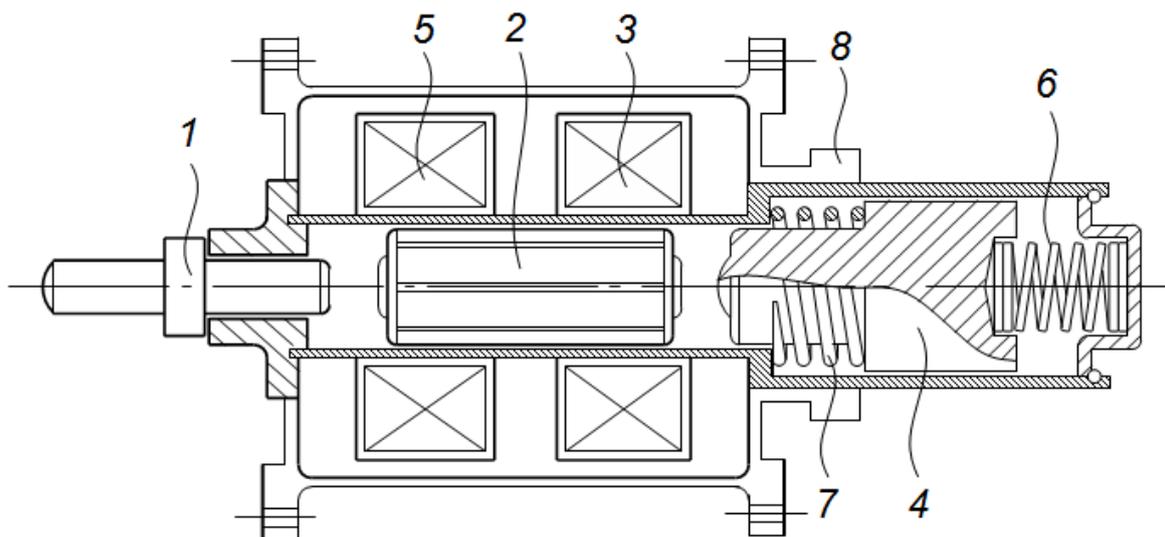


Рис. 2. Низкочастотный электромагнитный ударный привод с инерционным возвратом ударной массы

При подаче импульса напряжения на катушку 5 прямого хода боек 2 совершает движение в сторону ударного инструмента 1. После нанесения удара подается импульс напряжения на катушку 3 обратного хода. Боек 2 разгоняется в обратном направлении и наносит удар по промежуточному телу 4 и отскакивает от него подхватываемый электромагнитными силами включающейся в этот момент катушки 5 прямого хода и движется в сторону инструмента 1. Промежуточное тело 4 после соударения с бойком 2 отходит назад, сжимая упругий элемент 6, и, ослабляя усилие дополнительного упругого элемента 7, движется навстречу возвращающемуся после удара по рабочему инструменту 1 бойку 2. Далее цикл повторяется. При циклической работе электромагнитного двигателя в режиме вынужденных колебаний энергия, запасаемая инерционной массой промежуточного тела в предыдущем цикле, используется в следующем цикле, суммируясь с электромагнитной энергией катушки прямого хода. За счет того, что масса промежуточного тела 8 превышает массу бойка 6, возникающие при ударе вибрации не передаются на корпус машины 5. При нарушении циклической работы электромагнитного двигателя, вызванной отклонениями от рабочих режимов или в режиме остановки, остатки кинетической энергии, запасаемой инерционной массой промежуточного тела 8, гасятся механической системой в режиме свободных колебаний и не передаются на корпус 1. Собственная частота механических колебаний системы обеспечивается выбором жесткости дополнительного упругого элемента 9 и упругого элемента 10 и согласуется с частотой и длительностью импульсов напряжения поочередно подаваемых на катушки прямого 3 и обратного 4 хода.

В заключении следует отметить, что использование новых предложенных технических решений позволяет добиться устойчивых режимов вынужденных

колебаний ударной массы при одновременном повышении надежности электромагнитных ударных машин.

Список литературы

1. Мошкин В.И. Импульсные линейные электромагнитные двигатели / В.И. Мошкин, В.Ю. Нейман, Г.Г. Угаров. Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2010. 220 с.
2. Угаров Г.Г. Анализ показателей электромагнитных ударных машин / Г.Г. Угаров, В.Ю. Нейман // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 1996. № 2. С. 72 – 80.
3. Угаров Г.Г. Тенденция развития и применения ручных ударных машин с электромеханическим преобразованием энергии / Г.Г. угаров, В.Ю. Нейман // Известия высших учебных заведений Электромеханика. 2002. № 2. С. 37 – 43.
4. Нейман Л.А. Анализ процессов энергопреобразования в однокатушечной синхронной электромагнитной машине с двухсторонним выбегом бойка // Известия Томского политехнического университета. 2013. Т. 323, № 4. С. 112 – 116.
5. Патент № 2496215 РФ, МКИ H02K 33/12. Электромагнитный двигатель возвратно-поступательного движения / Нейман Л.А., Нейман В. Ю., Скотников А. А.; приоритет 20.02.2012; опубл. 20.10.2013, Бюл. №29. – 7 с.
6. Патент № 2496214 РФ, МКИ H02K 33/12 Синхронный электромагнитный двигатель возвратно-поступательного движения / Нейман Л.А., Нейман В. Ю., Скотников А. А.; приоритет 10.01.2012; опубл. 20.10.2013, Бюл. № 29. – 6 с.

Low-frequency impact electromagnetic machines and technologies

V. Yu. Neyman, L.A. Neyman

To implement low-frequency impact technologies in mechanical engineering new constructions of low-frequency vibratory electromagnetic machines with 12,5...50 Hz frequency and 50 J impact energy are considered to be applied.

Keywords: low-frequency impact electromagnetic machine, linear electric drive, impact frequency and energy, impact mass synchronous velocity

УДК 621.313.17

НОВЫЕ ТИПЫ КОНСТРУКЦИЙ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ВИБРАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

*В.Ю. НЕЙМАН, доктор техн. наук, профессор,
Л.А. НЕЙМАН, канд. техн. наук, доцент,
О.В. РОГОВА, ассистент,
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Рогова О.В. – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: olga_ryu@mail.ru

С целью повышения эффективности использования линейного электропривода для реализации безударных вибрационных технологий в машиностроении предлагается использование новых конструкций электромагнитных устройств с зубчатой структурой магнитопровода. Рассмотрена оригинальная конструкция электромагнитного двигателя цилиндрической структуры с двухсторонней зубчатостью магнитопровода, обеспечивающая повышенные значения амплитуды тяговых усилий.

Ключевые слова: вибрационные технологии, регулируемый линейный электропривод, цилиндрический электромагнитный двигатель, зубчатые элементы конструкции магнитопровода

1. Введение

Вопросы по созданию регулируемых устройств и механизмов для механизации различных технологических процессов и производств в машиностроении по-прежнему сохраняют свою актуальность. Особое место в теории и практики таких устройств занимают механизмы, рабочий орган которых осуществляет движение по заданному закону. При этом часто возникает необходимость создания различных конструкций таких механизмов с пневмо-, гидро- и электроприводом. Одним из перспективных направлений для реализации вибрационных технологий является создание устройств использующих в качестве приводного механизма линейный электропривод. Основой такого электропривода является электромагнитный двигатель возвратно-поступательного движения как наиболее полно отвечающий требованиям регулирования [1]. Практическое использование электромагнитных двигателей с колебательным движением рабочих органов позволяет упростить кинематическую структуру механизма, повысить его надежность, снизить габариты и массу [2 – 4]. В работе [5] авторами показана перспективность использования в вибрационных технологиях новых конструкций линейных электромагнитных машин с зубчатыми элементами в конструкциях двигателей. Расширение области применения подобных конструкций связано с необходимостью повышения их удельных силовых и энергетических

показателей. Одним из путей решения данной проблемы является разработка эффективных магнитных систем и новых конструктивных решений при создании электромагнитных двигателей, обеспечивающих увеличение амплитуды тяговых усилий.

2. Основные результаты исследований

На основании проведенных ранее исследований было выявлено, что при двухсторонней зубчатости якоря двигателя и равном числе зубцов с его внутренней и внешней стороны значения индукции в воздушных зазорах могут существенно отличаться [5]. Это в свою очередь влияет на скорость насыщения отдельных участков зубчатого магнитопровода и приводит к снижению значений амплитуды тяговых усилий электромагнитного двигателя.

В проводимых исследованиях предложена новая конструкция электромагнитного двигателя, обеспечивающая равномерность насыщения отдельных участков магнитопровода по магнитному потоку. В цилиндрической конструкции двигателя (рис. 1) выполнение якоря 1 с разным числом кольцевых выступов по внешнему и внутреннему радиусу с шагом, равным шагу сопряженных по диаметру ответных кольцевых выступов, образованных по внешнему диаметру сердечника 2 и внутреннему диаметру внешней стенки статора 3 обеспечивает равномерное насыщение взаимодействующих между собой участков магнитопровода и взаимодействующего с ним якоря выполненного зубчатой структурой.

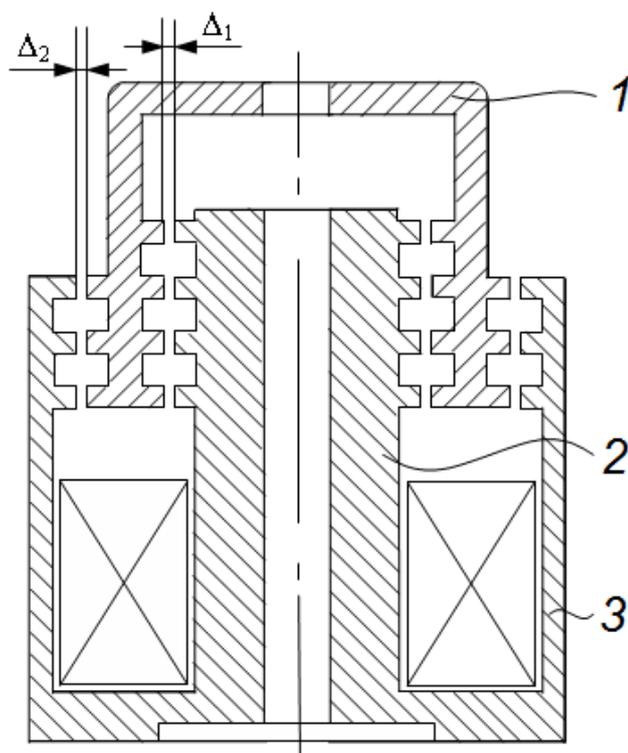


Рис. 1. Вибрационный электромагнитный двигатель

По длине внутреннего радиуса якоря выполнено n , а по его внешнему радиусу m кольцевых выступов, причем их количество определяется из условия равенства площади сечений магнитопровода при замыкании магнитного потока, при условии, что $n > m$. Кольцевые выступы расположены перпендикулярно передаваемой силе и образуют зубцовую зону магнитной системы. Для подтверждения получаемых преимуществ предлагаемой конструкции электромагнитного двигателя с двухсторонней зубчатостью якоря выполненного по схеме рис. 1 был проведен расчет тяговых характеристик с помощью конечно-элементного моделирования в программе FEMM по методике приведенной в работе [6]. Статическая тяговая характеристика определялась через интегральные характеристики поля при одинаковых значениях тока и ампервитках катушки возбуждения.

3. Выводы

В заключении следует отметить, что предлагаемая конструкция электромагнитного двигателя обеспечивает равномерность насыщения отдельных участков магнитопровода, а так же позволяет повысить амплитудные значения тяговых усилий.

Список литературы

1. Анализ показателей электромагнитных ударных машин / Г.Г. Угаров, В.Ю. Нейман // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 1996. № 2. С. 72 – 80.
2. Мошкин В.И. Импульсные линейные электромагнитные двигатели / В.И. Мошкин, В.Ю. Нейман, Г.Г. Угаров. Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2010. 220 с.
3. Тенденция развития и применения ручных ударных машин с электромеханическим преобразованием энергии / Г.Г. угаров, В.Ю. Нейман // Известия высших учебных заведений Электромеханика. 2002. № 2. С. 37 – 43.
4. Нейман Л.А. Анализ процессов энергопреобразования в однокатушечной синхронной электромагнитной машине с двухсторонним выбегом бойка // Известия Томского политехнического университета. 2013. Т. 323, № 4. С. 112 – 116.
5. Нейман Л. А. К исследованию тяговых характеристик электромагнитных приводов с учетом зубчатости элементов магнитопровода / Л.А. Нейман, О.В. Рогова // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. 2013. № 1. С. 100 – 108.
6. Neyman V. Yu. Calculation of efficiency of DC electromagnet for mechanotronic systems / V. Yu. Neyman., L.A. Neyman, A.A. Petrova // IFOST 2008: Proceedings of the 3d International Forum on Strategic Technology, June 23-29, 2008, Novosibirsk, Tomsk. – P. 452 – 454.

New Types of Linear Electromagnetic Devices Constructions for Vibratory Technologies

V.Yu. Neyman, L.A. Neyman, O.V. Rogova

To improve linear electric drive efficiency for shock-free vibratory technologies in mechanical engineering new types of linear electromagnetic devices constructions with toothed magnetic core are proposed. The original construction of a cylinder electromagnetic motor with the double-toothed magnetic core has been considered. It provides increased traction force amplitude.

Keywords: vibratory technologies, controlled-velocity electric drive, cylindrical electromagnetic motor, toothed magnetic core

**УМЕНЬШЕНИЕ ВЫСОТЫ ВОЛНИСТОСТИ ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ
ПРИ ГЛУБИННОМ АЛМАЗНОМ ШЛИФОВАНИИ ТОНКОСТЕННЫХ ОБОЛОЧЕК
ИЗ СИТАЛЛОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ СПОСОБАМИ**

*В.В. ГУСЕВ, проф., д.т.н.,
Л.П. КАЛАФАТОВА, проф., д.т.н.,
ДонНТУ, г. Донецк;
С.Ю. ОЛЕЙНИК, ассистент,
ДГМА, г. Краматорск*

Олейник С.Ю. - 84313, Украина, Донецкая область, г. Краматорск, ул. Шкадинова, 72,
Донбасская государственная машиностроительная академия,
e-mail: svetlanaoleynik2012@yandex.ru

В статье рассмотрены технологические способы уменьшения высоты волнистости наружной поверхности тонкостенных оболочек из ситаллов, возникающей при глубинном алмазном шлифовании. Высота волнистости на наружной поверхности влияет на продолжительность последующей операции доводки профиля, которая производится вручную. Технологические способы разработаны по результатам теоретических и экспериментальных исследований вибрационных процессов элементов технологической системы и параметров волнистости наружной поверхности в зависимости от условий шлифования. Параметры волнистости зависят от уровня колебаний элементов технологической системы, при этом основное влияние на величину волнистости оказывает динамическое поведение крупногабаритной тонкостенной оболочки. По результатам исследований предложены следующие основные способы снижения колебаний элементов технологической системы: рациональный выбор режима шлифования с учетом отстройки частоты вращения заготовки от частоты её параметрических колебаний; повышение жесткости оболочки при шлифовании за счет изменения конструкции опор приспособления - оправки; применение обработки с постоянной контурной скоростью на участках профиля заготовки, где наблюдается увеличение силы резания при снижении жесткости обрабатываемого изделия.

Ключевые слова: Тонкостенные керамические оболочки, шлифование, технологическая система, колебательные процессы при шлифовании, волнистость поверхности, технологические способы снижения волнистости.

Механическая обработка тонкостенных крупногабаритных сложнопрофильных оболочек вращения (их профиль включает участки конической, параболической и цилиндрической форм) из хрупких высокопрочных неметаллических материалов - ситаллов сопровождается рядом технологических проблем, что снижает эффективность и затрудняет обеспечение качества обработки, которое включает повышенные требования по точности профиля изделия и толщине его стенки. Формообразование профиля оболочки реализуется на этапе алмазного шлифования, что из-за повышенных требований к точности и качеству обработки является достаточно трудоемким процессом. Обработка изделий на производстве осуществляется на модернизированных токарных станках, оснащенных агрегатной шлифовальной

головкой и системой прямого копирования. В среднем, габариты изделия составляют: длина до 1 м, диаметр цилиндрической части 350-500 мм, толщина стенки до 7 мм. Существующая технология обработки предусматривает операции последовательного глубинного шлифования алмазным инструментом внутренней и наружной поверхностей оболочки (глубина $t=0,5-2$ мм при общем припуске на сторону 8-10 мм) с последующей их доводкой алмазными брусками вручную до получения требуемой толщины стенки изделия, точности его контура, а также качества поверхности.

Установка заготовки при обработке наружной поверхности осуществляется на двухопорную оправку с фиксацией за счет поджима заготовки задним центром станка. Точность обработки в существующих условиях достаточно низкая, что обусловлено сложной траекторией движения инструмента; переменной жесткостью технологической системы (ТС) по длине изделия. При этом точность геометрических размеров копира отражается на точности обработки заготовки, что в совокупности приводит к появлению переменной глубины резания на последующих переходах, а также к значительным вибрациям элементов ТС при шлифовании итогом чего является высокий уровень волнистости обработанной поверхности, в особенности, параметров продольной волнистости.

При проведении теоретико-экспериментальных исследований были установлены причины появления и характер вибраций, возникающих в ТС при глубинном шлифовании наружной поверхности заготовки, и их влияние на формирование волнистости поверхности [1, 2]. Одним из основных факторов, влияющих на формирование продольной волнистости, являются низкочастотные параметрические колебания стенки оболочки, возникающие при перемещении нагрузки (усилий резания при шлифовании) по поверхности заготовки, вращающейся с постоянной частотой. При помощи компьютерной модели, представленной в работе [2], получены суммарные относительные колебаний элементов ТС, приведенные к зоне контакта шлифовального круга и заготовки, что определяет волнистость поверхности, формирующуюся при перемещении шлифовального круга с подачей s вдоль вращающейся заготовки. Адекватность модели подтверждена экспериментально при сравнении результатов расчета параметров волнистости с профилограммами наружной поверхности оболочки. Выполненные теоретические исследования позволили разработать технологические способы снижения колебаний, направленные на уменьшение силового воздействия на формируемую поверхность, за счет выбора рационального режима шлифования, увеличение жесткости элемента ТС «оболочка-оправка» при шлифовании, что в целом обеспечит устойчивость оболочки к параметрическим колебаниям.

Рациональный выбор режима шлифования в диапазоне, обеспечивающем минимальные относительные колебания элементов ТС, с учетом силовой нагрузки на поверхность оболочки и ее устойчивости

относительно параметрических колебаний (на рис. 1, а заштрихована область неустойчивости), обеспечивает снижение высоты волнистости поверхности до 25 % (рис 1, а).

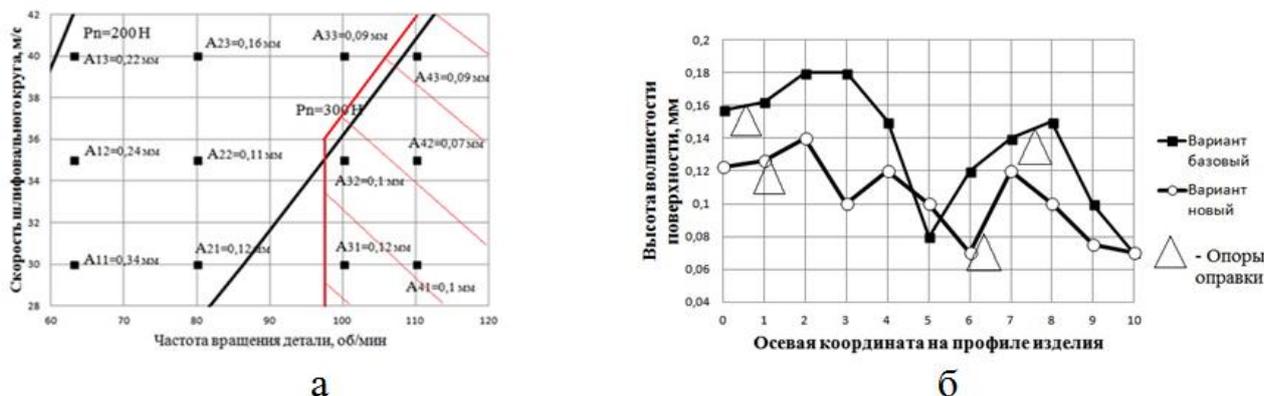
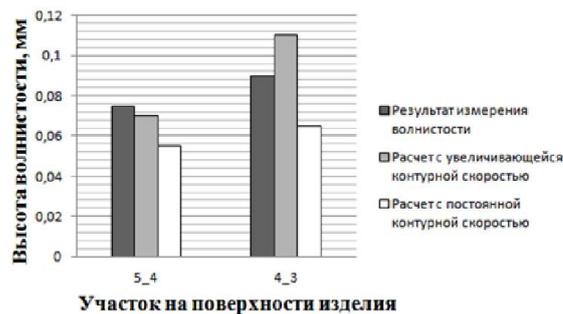


Рис. 1. Способы снижения волнистости поверхности во время алмазного шлифования: а) результаты расчета высоты волнистости поверхности в зависимости от частоты вращения заготовки и скорости круга при $s=0,4$ мм/об, $t=1$ мм; б) изменение высоты волнистости вдоль оси обрабатываемой заготовки для базового и предлагаемого вариантов расположения опор оправки

Исследование влияния конструкции двухопорной оправки на эффективность процесса шлифования оболочек осуществлялось при моделировании динамического состояния ТС, меняющегося при различных конструкциях оправки (изменение расположения опор при шлифовании оболочек различных конструкций), и определении параметров волнистости поверхности изделия, шлифованных в различных условиях. Применение рациональной конструкции оправки, спроектированной с учетом особенностей динамики тонкостенной оболочки при шлифовании, позволяет снизить волнистость формируемой поверхности для различных участков профиля изделия вдоль его оси от 15 до 60 % (рис 1, б).

На величину нормальной составляющей силы резания оказывает влияние контурная скорость $V_{кон}$ перемещения круга относительно поверхности обрабатываемой оболочки вдоль её оси (рис 2, а). Для исключения увеличения нормальной составляющей силы резания на участках заготовки, неустойчивых к действию вибраций, предлагается применить обработку с постоянной контурной скоростью резания. В рассматриваемом случае этого можно достичь за счет плавного снижения частоты вращения заготовки, которое компенсирует изменение геометрии оболочки (увеличение ее диаметра на соответствующем участке) вдоль оси изделия (рис. 2, а). Шлифование с постоянной контурной скоростью обеспечит уменьшение в 1,3-1,5 раза высоты волнистости наружной поверхности тонкостенной оболочки за счет уменьшения амплитуды ее параметрических колебаний (рис. 2, б).



а

б

Рис. 2. Способ снижения волнистости поверхности при обработке с постоянной контурной скоростью: а) изменение контурной скорости во время шлифования при изменении геометрии оболочки; б) сравнительная диаграмма высоты волнистости поверхности при существующих условиях обработки и при обработке с постоянной контурной скоростью

Выполненные исследования показали, что применение предлагаемых технологических способов уменьшения вибраций элементов ТС, и внедрение технологии обработки рассматриваемых изделий на станках с ЧПУ (для реализации обработки с постоянной контурной скоростью), снизит высоту волнистости обрабатываемых поверхностей оболочки, и сократит продолжительность операций ручной доводки поверхности изделия.

Список литературы

1. Гусев В.В. Исследование динамического состояния технологической системы алмазно-абразивной обработки тонкостенных оболочек из ситаллов / В.В. Гусев, Л.П. Калафатова, С.Ю. Олейник // Вестник СевНТУ. – Севастополь, 2012. – Вып. 128. - С. 60-67.
2. Гусев В.В. Исследование формирования волнистости поверхности при алмазном шлифовании тонкостенных сложнопрофильных оболочек вращения из ситаллов / В.В. Гусев, Л.П. Калафатова, С.Ю. Олейник // Контенант. Научно-технический журнал. - Красногорск: Общественная академия «Контенант», 2013. - Том 12, № 2.- С. 29-35.

Reducing the height of waviness of machined surfaces with a deep diamond grinding of thin ceramics shells by the technological ways

V.V. Gusev, L.P. Kalafatova, S.Y. Oleynik

The technological ways of reducing the height of the outer surface waviness of thin ceramics shell arising in deep diamond grinding are described in this article. The height of undulations on the outer surface affects the duration of the subsequent profile finishing operations, which is done manually. Processing methods have been

developed according to the results of theoretical and experimental studies of vibrating processes of the technological system elements and parameters of the undulations on the outer surface which are dependent on the conditions of grinding. The waviness parameters depend on the level of vibration of the elements of the technological system, with a major impact on the waviness value made by the dynamic behavior of large thin-walled shell. The following basic ways to reduce vibrations of elements of technological systems according to the research were proposed: a rational choice of the grinding mode with taking into account the frequency of rotation of the workpiece and the frequency of its parametrical vibrations; increasing of the shell stiffening when grinding due to changes in design of supports devices – mandrel; processing application with a constant speed on the contour blank portions of the profile, where the increase in the cutting force takes place while reducing the hardness of the workpiece.

Keywords: Ceramics thin-walled shells, grinding, technological system, ovibration processes of grinding, surface waviness, technological ways to reduce the waviness.

СТРУКТУРА БЛОЧНО-МОДУЛЬНОЙ САПР ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ ЛИНИИ

А.А. РОДИНА
(ТГТУ, г. Тамбов)

Родина А.А. - 392000, г.Тамбов, ул. Советская, д. 106,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Тамбовский государственный технический университет",
e-mail: ant.rodina1209@yandex.ru

Сокращение сроков проектирования, изготовления и внедрения нового оборудования в производство обеспечивается применением CALS- и GIS-технологий, которые содержат в себе различные интегрированные CAD/CAM/CAE/PDM-системы. Отдельные модули этих систем в рамках одного предприятия позволяют осуществлять управление проектом (PDM-системы), инженерные расчеты, анализ, моделирование и оптимизацию проектных решений (CAE-системы), двух- и трехмерное проектирование деталей и сборочных единиц (CAD-системы) и др.

Ключевые слова: Система автоматизированного проектирования (САПР), гальванические линии, твердотельное моделирование, базы данных.

Введение

Целью данной статьи является определение структуры САПР гальванических линий.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

- выявить функции и проектные процедуры, реализуемые в САПР;
- определить структуру блочно-модульной САПР гальванических линий;

Функции и проектные процедуры, реализуемые в САПР

В состав систем автоматизированного проектирования в качестве системных составляющих входят CAD, CAM и CAE системы.

Функции CAD - систем делятся на функции двумерного и трехмерного проектирования. [1] Функции 2D включают черчение, оформление конструкторской документации, функции 3D - трехмерные поля геометрических моделей, метрических расчетов, реалистичную визуализацию, преобразование между 2D- и 3D-моделями. В некоторых системах, при условии, что выполнение процедур, называется процедурами позиционирования, к ним относят компоновку и планировку оборудования. [2]

Важными характеристиками CAD- систем является параметризация и ассоциативность. Параметризация подразумевает использование геометрических моделей в представлении параметров объекта переменными.

Параметрическая модель, которая находится в базе данных, может быть легко адаптирована к различным конкретным ситуациям и поэтому может быть использована во многих конкретных проектах.

Ассоциативность и параметризация играют важную роль в разработке конструкций узлов и блоков, состоящих из большого числа деталей. Действительно, некоторое изменение размера одной детали влияет на размер и местоположение другой. Благодаря ассоциативности и параметризации изменения, сделанные в одной части сборки автоматически передаются в другие части, вызывая изменения в этих частях соответствующих геометрических параметров.

Основные функции САМ систем: синтез управляющих программ для технологического оборудования с ЧПУ, моделирование и разработка технологических процессов.

Функции САЕ системы весьма разнообразны, так как они связаны с проектными процедурами моделирования, оптимизации проектного решения, анализа.

Библиотеки конечных элементов, препроцессор, решатель и постпроцессор являются основными частями программ анализа, работающих при помощи метода конечных элементов,

Библиотеки конечных элементов содержат матрицы жесткости. Модели конечных элементов для различных задач будут разными, различные формы конечных элементов, разные наборы координатных функций.[3]

Исходные данные для препроцессора – геометрическая модель объекта, чаще всего получаемая из подсистемы конструирования. Основная функция препроцессора – представление исследуемой среды в сеточном виде, т. е. в виде множества конечных элементов.

Программа, которая собирает модели отдельных конечных элементов в общую систему алгебраических уравнений и решает эту систему одним из методов разреженных матриц называется решатель.

Для визуализации результатов решения в удобной для пользователя форме служит постпроцессор. В машиностроительных САПР это графическая форма. Пользователь может видеть ненагруженную и деформированную формы, поля напряжений, температур, потенциалов и т. п. в виде цветных изображений, в которых палитра цветов или интенсивность свечения характеризуют значения фазовой переменной. [2], [6].

Структура блочно-модульной САПР

Обычно машиностроительные предприятия приобретают лишь ограниченное число экземпляров программ верхнего уровня, а большинство рабочих мест обеспечивается программами нижнего или среднего уровней.

Часто возникает проблема обмена информацией между САД-системами разных типов. Для решения этих проблем на гальванических производствах предлагается следующая укрупненная блок-схема САПР гальванических линий (рис.1).

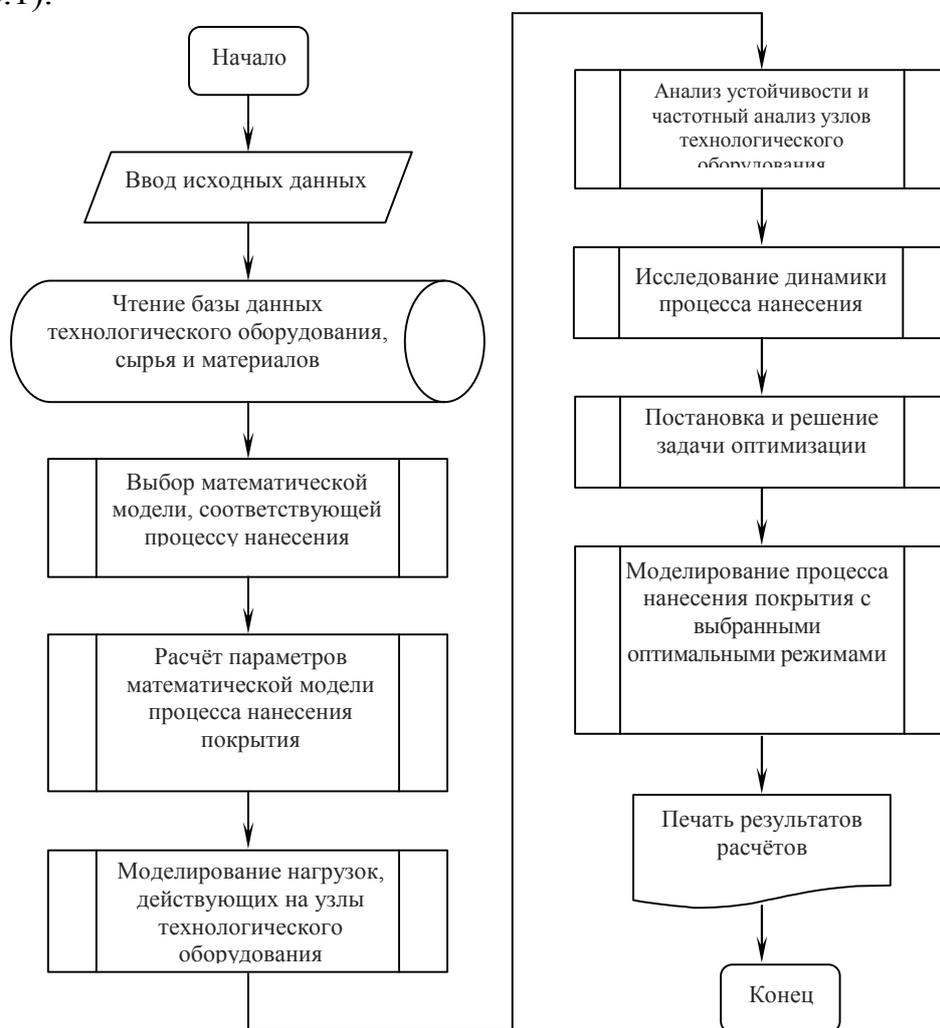


Рис. 1. Обобщенная блок-схема проектирования гальванической линии

На начальном этапе пользователь вводит информацию о процессе нанесения покрытия: виде покрытия, способе его нанесения (химический или электрохимический), составе и последовательности операций, конфигурации и конструкционном материале детали, на которую будет наноситься покрытие. Затем производится обработка полученной информации и сопоставление ее с базами данных (БД), по заданным условиям обработки осуществляется выбор математической модели процесса нанесения покрытия. Вся эта совокупность данных передается в блок, осуществляющий расчет параметров математической модели.

Выходными данными расчета математической модели являются:

- фонды основного времени работы оборудования;
- годовая производительность линии;

- производительность и количество основных ванн;
- количество вспомогательных ванн;
- внутренние размеры основных и вспомогательных ванн;
- количество автооператоров;
- количество теплоты, необходимого для разогрева раствора до рабочей температуры;
- количество теплоты, необходимое в период работы ванны;
- количество воздуха, удаляемого бортовыми отсосами.

Этот массив данных вновь сопоставляется с БД. Если в БД имеются «готовые» конструктивные решения (чертежи и твердотельные модели технологического оборудования), то они принимаются для формирования общего вида гальванической линии. В противном случае, система выдает сообщение о необходимости конструктивной разработки.

Принятые единицы технологического оборудования (ванны, автооператоры и т.д.) подвергаются анализу напряженно-деформированного состояния при наложении на их конструктивные элементы нагрузок, действующих в процессе эксплуатации. Такими нагрузками могут быть гидростатическое давление раствора или промывной воды в ванне, нагрев или охлаждение раствора или промывной воды в ванне, крутящий момент от вала электродвигателя в приводах горизонтального и вертикального перемещения автооператора и т.д.

В результате проведения такого анализа могут быть получены распределения напряжений по телу детали или узла и перемещения элементов конструкции. По этим показателям делается вывод о допустимости принятых конструктивных решений.

С помощью САЕ-модулей программ твердотельного моделирования проводится анализ устойчивости и частотный анализ, например, приводов горизонтального и вертикального перемещения автооператора, в результате которых определяются критические нагрузки и минимальные относительные перемещения элементов конструкции при определенной величине резонансной частоты. Исходя из этих показателей, делается вывод о необходимости нахождения оптимальных геометрических параметров элементов конструкции с точки зрения обеспечения надежности ее работы.

Далее исследуется динамика процесса нанесения покрытия на основе анализа передаточных функций, частотных характеристик (амплитудно-фазовой частотной характеристики (АФЧХ), амплитудной частотной характеристики (АЧХ) и т.д.), характеристических уравнений процесса нанесения покрытия и производится оценка устойчивости процесса по различным критериям устойчивости (критерии Раусса, Гурвица, Найквиста, Михайлова) в зависимости от конкретного процесса нанесения покрытия.

По данным моделирования в модуле САЕ-анализа производится выбор диапазона варьирования конструктивных и режимных параметров процесса

нанесения покрытия и осуществляется постановка и решение задачи оптимизации этих параметров. Далее проводится моделирование процесса нанесения покрытия с выбранными оптимальными режимными и конструктивными параметрами процесса.

Заключительным этапом проектирования является подготовка текстовой и графической документации проекта. Проектировщику предоставляется набор шаблонов документации для заполнения, а также запрашивается и выводится на экран или принтер необходимая графическая информация, позволяющая более наглядно представить процесс нанесения покрытия. Готовый проект заносится в БД готовых проектов.

В проектируемой САПР базы данных будут использоваться как хранилище всех параметров процесса нанесения покрытия, в которое будет обращаться программа при задании пользователем начальных данных и при варьировании этих данных на этапах моделирования и оптимизации процесса.

Для функционирования данной САПР необходимо наличие следующих БД: электролитов; металлов; гальванических ванн; готовых проектов.

К БД предъявляются следующие требования: информационная совместимость проектирующих и обслуживающих подсистем САПР; возможность наращивания БД; обеспечение целостности данных; поддержка работы в сети.

БД готовых проектов содержит информацию, описывающую готовые решения. По сравнению с описанными выше БД она имеет значительно сложную структуру. Она состоит из четырех таблиц: таблица проекта, таблица итоговых результатов, таблица формул, таблица экспериментальных данных.

Выводы

Выявлены функции и проектные процедуры, реализуемые в САПР. Определена структура блочно-модульной САПР гальванических линий, выявлены требования, предъявляемые к базам данных

Список литературы

1. Норенков, И. П. Основы автоматизированного проектирования: Учеб. для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. / И. П. Норенков. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. - 336 с.
2. Пестрецов, С.И. Компьютерное моделирование и оптимизация процессов резания: уч. пособие/ С.И. Пестрецов – Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2009. – 104 с.

3. Пестрецов, С. И. CALS-технологии в машиностроении: основы работы в CAD/CAE-система: уч. пособие.– Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2010. – 108 с.

4. Топ Системы – разработчик программного PLM-комплекса T-FLEX CAD/CAM/CAE/CAPP/PDM. - Режим доступа: <http://www.tflex.ru/>.

5. АСКОН – комплексные решения для автоматизации инженерной деятельности и управления производством. CAD/AEC/PLM. - Режим доступа: <http://ascon.ru/>.

6. Nei Nastran в России и СНГ – Система конечно-элементного анализа CAD/FEA/CAE. - Режим доступа: <http://www.nenastran.ru/>.

The structure of a modular CAD galvanic line

A.A. Rodina

Reducing the time designing and manufacturing of new equipment, the introduction of it into production provided by the use CALS-and GIS-technologies, which contain various integrated CAD / CAM / CAE / PDM-system. Separate modules of these systems within an enterprise allow to carry out project management (PDM-system), engineering calculations, analysis, simulation and optimization of design solutions (CAE-system), two-and three-dimensional design of parts and assembly units (CAD-system), etc .

Keywords: CAD system (CAD), galvanic lines, solid modeling, database.

УДК 621.317.7

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНЕЙНОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ МАШИНЫ ВИБРОУДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ПРИВОДА ПРЕССОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

*А.А. СКОТНИКОВ, ассистент
(НГТУ, Новосибирск)*

Скотников А.А. - 630056, г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: **andrew-871@mail.ru**

Предложено использование специальной конструкции пружинного механизма для создания рабочего цикла с повышенными энергетическими показателями.

Ключевые слова. Линейный электромагнитный двигатель, динамический режим работы, пружинный механизм.

Введение

Сегодня, в промышленности существуют технологические процессы, подразумевающие использование ударной нагрузки. С этой целью создано огромное число машин ударного действия, однако среди них можно выделить машины, рабочий орган которых преобразует энергию магнитного поля катушки в механическую энергию перемещения якоря (бойка), который и совершает удар. Основным достоинством таких машин являются высокая надежность и малая себестоимость.

Для большинства машин ударного действия реализуется принцип создания необходимой ударной мощности за один рабочий цикл. Увеличение усилия в таких машинах сопровождается увеличением отбора мощности из сети в момент срабатывания и увеличением габаритных размеров. В соответствии с этим мощность таких машин ограничена.

Решение задачи

С целью снижения нагрузки на сеть, в приводе прессового оборудования предложено использовать линейный электромагнитный двигатель (ЛЭМД) виброударного действия меньшей мощности. Необходимое усилие им создается за серию рабочих циклов.

ЛЭМД содержит рабочий инструмент 1, буксу (стоп) 2, магнитопровод 3 с размещенными внутри электромагнитной катушкой 4 и якорем 5. Так же в конструкции предусмотрен пружинный механизм возврата якоря, состоящий из пружин 6 и 7.

Рабочий цикл заключается в следующем. Начальное положение якоря соответствует положению на рис. 1. В момент подачи напряжения на катушку 4, создается магнитное поле, под действием которого якорь 5 начинает перемещение в сторону рабочего инструмента 1 и совершает удар. После, при отсутствии напряжения в катушке, якорь 5 возвращается под действием пружинного механизма. Далее цикл повторяется.

Анализируя работу большого количества линейных электромагнитных двигателей с высокой частотой хода якоря, можно сказать, что пружинный механизм в них выполняет функции гасителя скорости якоря при его возврате. При этом большая часть выработанной энергии магнитной системы теряется впустую.

Так как перемещение якоря в рассматриваемой конструкции ЛЭМД циклично, то появляется возможность использования энергии холостого хода при наличии пружинного механизма специальной конструкции. Структурная схема ЛЭМД с таким пружинным механизмом представлена на рис. 1б.

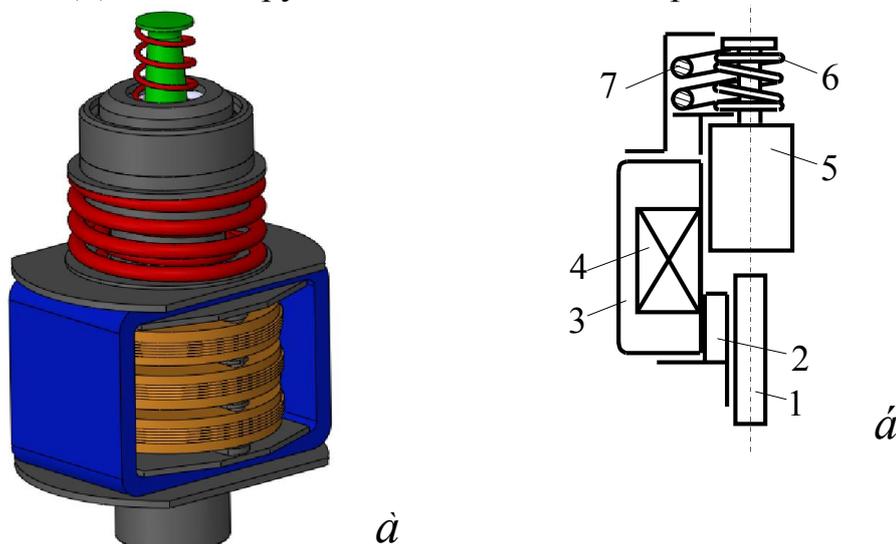


Рис. 1. Линейный электромагнитный двигатель а) внешний вид;
б) конструктивная схема.

Особенность конструкции заключается в том, что под действием пружины 6 якорь возвращается после удара в исходное положение, при этом энергия, запасенная якорем в конце холостого хода будет запасаться в пружине 7. В начале последующего цикла, энергия холостого хода будет использована для разгона якоря, компенсируя недостаток электромагнитной силы.

Для определения возможности реализации такого режима работы необходимо рассчитать динамические характеристики такого двигателя. Определение зависимости электромагнитной силы тяги в таком режиме позволит точно рассчитать не только энергию единичного удара, но и время рабочего хода, что позволит рационально выбрать жесткость пружин 1 и 2.

Динамический режим работы двигателя характеризуется системой дифференциальных уравнений:

$$\frac{d\psi(i, x)}{dt} = u(t) - i(x, \psi) \cdot R;$$
$$\frac{d^2 x}{dt^2} = F_{\dot{y}}(i, x) + F_{\dot{y}0}(x) + mg - F_{\dot{\delta}\delta}.$$

где ψ - потокосцепление, Вб; t - время, с; $u(t)$ - напряжение, В; x - перемещение якоря вдоль оси двигателя, мм; i - сила тока; $F_{\dot{y}}(i, x)$ - зависимость электромагнитной силы ЛЭМД, Н; $F_{\dot{\delta}\delta}$ - сила трения, Н; $F_{\dot{y}0}(x)$ - сила возвратной пружины; m - масса якоря; g - ускорение свободного падения.

Аналитический расчет произведен с использованием статических характеристик, полученных в FEMM и обработанных в среде MathCad. Основной расчет произведен в MathLab. Полученные характеристики рабочего цикла ЛЭМД представлены на рис. 2.

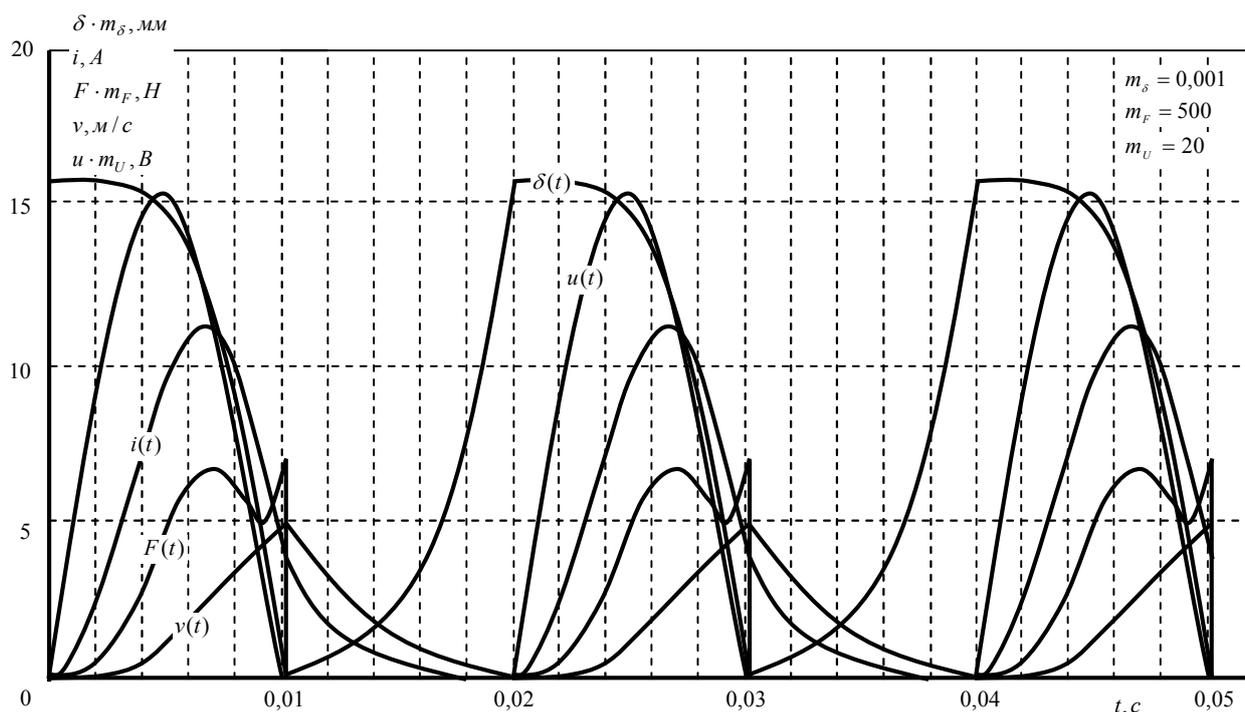


Рис. 2. Рабочий цикл исследуемого ЛЭМД

Результаты

Основные показатели рабочих характеристик представлены в таблице, где приведено сравнение показателей ЛЭМД виброударного действия с классическим рабочим циклом.

Таблица

Сравнение показателей рабочих циклов ЛЭМД

	$F_{\max}, \text{Н}$	$V_{\max}, \text{м/с}$	$E_{\text{уд}}, \text{Дж}$	$E_{\text{сети}}, \text{Дж}$
Исследуемый режим	527	6,4	3,68	13,78
Классический режим	420	6,05	3,3	11,82

Вывод

Анализируя рабочий цикл машины виброударного действия, можно утверждать, что используя в рабочем цикле пружинный механизм предложенной конструкции можно увеличить энергию единичного удара и КПД на 10 %.

Список литературы

1. Буль О.Б. Расчет параметров процесса включения электромагнита постоянного тока. /О.Б. Буль/ Электричество. – 2001. - № 4. – С. 56-60.
2. Ряшенцев Н.П., Ряшенцев В.Н. Электромагнитный привод линейных машин.– Новосибирск: Наука, 1985. – 152 с.

Research linear electromagnetic machines for drive vibroimpacting action press equipment

A.A. Skotnikov

Proposed the use of a special spring mechanism design to create a working cycle with high energy performance.

Key words: A linear electromagnetic motor, the dynamic mode, spring system.

УДК 621.923.1

**ПРЕДСКАЗАНИЕ СРЕДНИХ ШАГОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ПРИ
МАЯТНИКОВОМ ШЛИФОВАНИИ БЫСТРОРЕЖУЩИХ ПЛАСТИН Р12Ф3К10М3
НИТРИДБОРОВЫМИ КРУГАМИ ВЫСОКОЙ ПОРИСТОСТИ**

*Я.И. СОЛЕР, канд. техн. наук, доцент,
А.И. ШУСТОВ, аспирант,
А.В. ПРОКОПЬЕВА, магистрант,
(ИрГТУ, г. Иркутск)*

Солер Я.И. – 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Иркутский государственный технический университет,
e-mail: solera@istu.irk.ru

Рассмотрено влияние нитридборовых инструментов высокой пористости на меры положения, рассеяния и стабильность процесса формирования средних шагов микрогеометрии поверхности.

Ключевые слова: шлифование, средний шаг неровностей, статистика, среднее, медиана, стандарт отклонения.

Введение

На машиностроительных предприятиях широко используются инструменты из быстрорежущей стали, доля которых достигает 70 % от общего объема. Их работоспособность обеспечивается шлифованием рабочих поверхностей быстрорежущих пластин (БП). Ранее шлифование и заточку быстрорежущего инструмента вели с использованием традиционных абразивов на керамической связке, что часто затрудняло достижение требований качества по микрогеометрии и вело к структурным изменениям обработанной поверхности [1]. Сказанное особенно проявлялось на быстрорежущих сталях высокой производительности (Р12Ф3К10М3 и др.) с повышенным содержанием карбидов, шлифование которых сопровождалось значительными температурными нагрузками. Радикальным средством решения этой проблемы явилось производство высокопористых кругов (ВПК), в которых используются зерна из кубического нитрида бора повышенной прочности (КНБ): ЛКВ50, СВН50 и др. – с 10-ой и более открытыми структурами. Все вместе взятое позволило снизить тепловое воздействие круга на БП, повысить их качество и производительность процесса в целом.

Среди параметров шероховатости (ГОСТ 2789-73) наименее изученными в технологическом обеспечении являются средние шаги неровностей S_m , хотя известна их значимость для большинства эксплуатационных свойств деталей машин [1]: износостойкости, теплопроводности, термостойкости, прочности,

жесткости, виброустойчивости и др. При оптимизации процесса шлифования их следует минимизировать.

Методика исследования

Опыты вели при следующих условиях: плоскошлифовальный станок модели 3Г71М; форма и размеры кругов (ГОСТ 17123-79): 1А1 200×20×76×3; БП из стали Р12Ф3К10М3 (66–68 HRC); схема шлифования – периферией круга без выхаживающих ходов; технологические параметры – скорость абразивного инструмента $v_k = 28$ м/с, продольная подача $s_{пр} = 6$ м/мин, поперечная подача $s_{п} = 5$ мм/дв.ход, глубина резания $t = 0,01$ мм, операционный припуск $z = 0,1$ мм. СОЖ – 5%-ная эмульсия Аквол-6 (ТУ 0258-024-00148845-98), подаваемая поливом на деталь с расходом 7–10 л/мин. Опускание круга на глубину t вели в момент, когда стол с БП смещался в крайнее левое положение относительно оператора. Его движение слева направо принято рабочим, а обратное – выхаживающим с окончательным формированием микрорельефа поверхности БП по схеме попутного шлифования, поскольку шпиндель имеет вращение по часовой стрелке. Пластины представляли собой образцы с размерами $D \times L = 36 \times 30$ мм, которые крепили непосредственно на магнитном столе станка и шлифовали по торцу. Количество параллельных наблюдений задано $\nu = \overline{1;30}$. Параметр S_m (ГОСТ 25142-82) измерен на профилографе-профилометре модели 252 завода «Калибр». Выходные данные процесса представлены в общем виде как y_{dj} , где индексы « dj » информативно отражают переменные условия процесса. Здесь $d = \overline{1;2}$ – направление расположения микронеровностей: 1 – параллельно вектору $s_{п}$, 2 – параллельно вектору $s_{пр}$; $j = \overline{1;3}$ – код абразивных инструментов: 1 – CBN50 100/80 СТ1 10 С10 100 КФ40 (базовый), 2 – ЛКВ50 100/80 СТ1 10 КС10 100 КФ40, 3 – ЛКВ50 160/125 СТ1 10 КС10 100 КФ40.

В работе использованы теоретико-вероятностные подходы, целесообразность которых обусловлена случайным характером геометрической формы зерен, хаотичным их расположением на режущей поверхности ВПК и разновысотностью в радиальном и осевом направлениях. Сказанное ведет к тому, что такие важнейшие показатели процесса резания, как геометрия зерен, толщины среза каждой режущей кромкой и их суммарное количество, участвующее в работе, необходимо рассматривать случайными величинами. Для ускорения рутинных вычислений и снижения риска ошибок привлечена программа *Statistica* 6.1.478.0. Методика интерпретации экспериментальных данных с использованием методов статистики приведена в работах [3–6].

В рамках данного исследования поясним, что методы статистики разделяются на два направления: параметрическое и непараметрическое. Анализ экспериментальных данных показал, что множество наблюдений dj не

удовлетворяют требованиям гомоскедастичности и нормальности распределений. Это предопределяет привлечение непараметрического метода. В таком случае возникает необходимость скорректировать меры положения, полученные с помощью моделей множественного дисперсионного анализа для прогнозируемых средних, для чего в работе получены медианные коэффициенты при одноименных $d = \overline{1;2}$:

$$K_{Mdj} = m\hat{y}_{dj} / my_{d1}, j = \overline{2;3}. \quad (1)$$

Влияние кругов $j = \overline{2;3}$ на опорные значения оценены коэффициентами при одинаковом направлении измерения $d = \overline{1;2}$:

$$K_{dj} = m\hat{y}_{dj} / m\hat{y}_{d1}. \quad (2)$$

Количественную оценку стабильности процесса характеризовали стандартами отклонений $(SD)_{dj}$ ($l = 1$) и размахами наблюдений R_{dj} ($l = 2$); $d = \overline{1;2}$, $j = \overline{1;3}$ и представили коэффициентами [5]:

- при переменном $d = \overline{1;2}$ и фиксированном j

$$K_{CTj1} = [(SD)_1 / (SD)_2]_j, \quad (3)$$

- при варьировании $j = \overline{2;3}$ и неизменном d :

$$K_{CTdj1} = (SD)_{d1} / (SD)_{dj}, \quad (4)$$

$$K_{CTd2} = R_{d1} / R_{dj}. \quad (5)$$

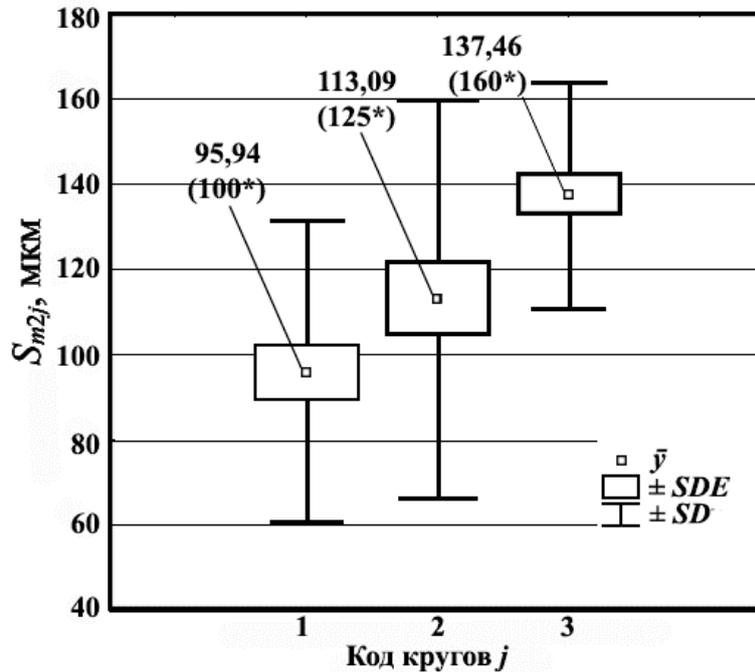
При (3) меньшем единицы стабильность формирования средних шагов в поперечном направлении больше, чем в продольном; а для (4), (5) – повышается стабильность работы базового круга по сравнению с инструментами $j = \overline{2;3}$ и наоборот.

Результаты и обсуждение

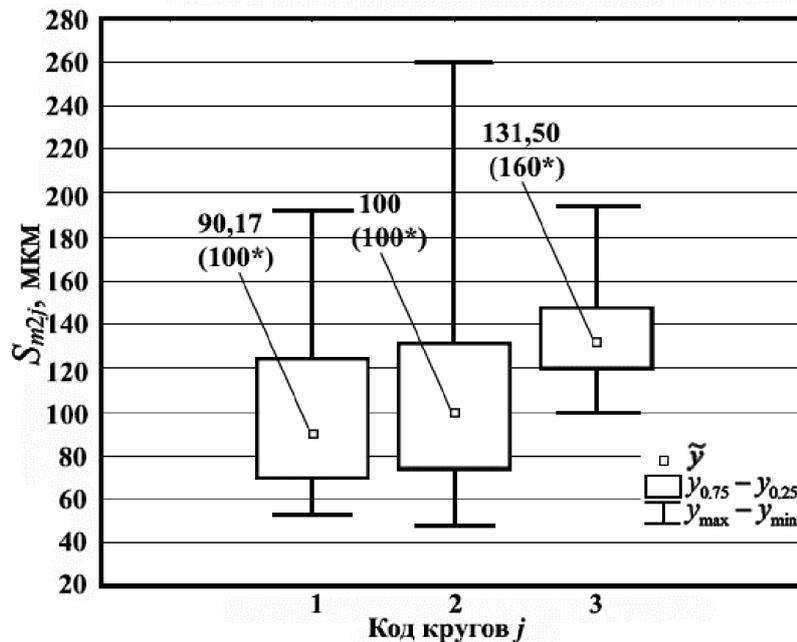
Статистический анализ наблюдений показал, что все стандарты отклонений $(SD)_{dj}^2$, $d = \overline{1;2}$, $j = \overline{1;3}$ характеризуются неоднородностью, а кривые плотности распределения вероятности не представляется возможным аппроксимировать кривой нормального распределения, за исключением шага S_{m13} , полученного при шлифовании кругом ЛКВ50 160/125 ($j = 3$). В связи с этим необходимо воспользоваться статистическими решениями, полученными непараметрическим методом. Во всех случаях результаты параметрического метода, приведенные ниже, следует рассматривать в качестве вспомогательных, целью которых служит подтверждение их недостаточной мощности «на чужом поле».

На рис. 1 представлены описательные статистики на базе параметрического (а) и непараметрического (б) методов статистики для продольного параметра S_{m2j} при шлифовании кругами $j = \overline{1;3}$. На них

«квадратом» обозначены меры положения опытных средних \bar{S}_{m2j} (a) и медиан \tilde{S}_{m2j} (b). В скобках после числовых значений указаны категориальные величины (КВ) по ГОСТ 2789-73. Остальные обозначения несут различную смысловую нагрузку. На рис.1, a «прямоугольник» ограничивает рассеяние стандартов



a)



b)

Рис. 1. Описательные параметрические (a) и непараметрические (b) статистики влияния абразивного инструмента на параметр S_{m2j}

ошибки $\pm SDE_{2j}$, «усики» – стандарты отклонений $\pm SD_{2j}$. На рис.1,б соответственно отображены интерквартильные широты $|y_{0.75} - y_{0.25}|_{2j}$, включающие 50% наблюдений, и размахи $R_{2j} = |y_{\max} - y_{\min}|_{2j}$. Медианы и размахи, представленные на одном рисунке, наглядно иллюстрируют форму кривой распределения. В данном случае все медианы смещены ниже середин размахов, поэтому кривая распределения наблюдений характеризуется положительной асимметрией. Аналогичные результаты по скошенности распределений получены по средним шагам в поперечном направлении, за исключением S_{m13} . Сказанное подтверждают (1) в табл.1.

Таблица 1

Влияние кругов на выборочные результаты прогнозирования топографии поверхности

Параметры	\hat{y} , мкм	$m\hat{y}$, мкм	SD_{dj} , мкм	K_{Mdj} (1)	K_{dj} (2)	K_{CTj1} (3)	K_{CTdj1} (4)
CBN50 100/80 CT1 10 C10 100 KФ40 ($j = 1$)							
S_{m11}	69,64 (80*)	68,51 (80*)	13,0697	0,98	1	0,37	1,00
S_{m21}	104,52 (125*)	95,08 (100*)	35,2159	0,91	1		1,00
ЛКВ50 100/80 CT1 10 KC10 100 KФ40 ($j = 2$)							
S_{m12}	75,65 (80*)	68,51 (80*)	46,8592	0,90	1	1,00	0,28
S_{m22}	104,52 (125*)	95,08 (100*)	46,7893	0,91	1		0,75
ЛКВ50 160/125 CT1 10 KC10 100 KФ40 ($j = 3$)							
S_{m13}	68,71 (80*)	68,51 (80*)	7,8674	1,00	1	0,29	1,66
S_{m23}	137,47 (160*)	131,5 (160*)	26,3984	0,96	1,38		1,33

В табл.1 представлено влияние характеристик нитридборовых кругов на меры положения шаговых параметров, прогнозируемым по средним \hat{y}_{dj} и медианам $m\hat{y}_{dj}$ в двух ортогональных направлениях $d = \overline{1;2}$. Установлено, что, в первую очередь, следует минимизировать продольные средние шаги, которые по ожидаемым медианам превысили поперечные в 1,4 – 1,9 раза. При этом поперечные средние шаги $m\hat{S}_{m1j}$, $j = \overline{1;3}$ не зависят от марки и размеров зерен КНБ и оцениваются общей средней $m\hat{S}_{m1} = 68,51 (80^*)$ мкм. Для продольных средних шагов сказанное сохранилось только для зерен CBN и ЛКВ, а рост зернистости в кругах $j = \overline{2;3}$ предсказал их возрастание в 1,4 раза: смотри (2) в табл.1 – или на две КВ.

Результаты табл.1 иллюстрируют, что по коэффициенту стабильности (3) минимальное различие между стандартами отклонений в направлениях $d = \overline{1;2}$ имеет инструмент ЛКВ50 100/80 CT1 10 KC10 100 KФ40, а максимальное – аналогичный круг с зернистостью ЛКВ50 160/125 ($j = 3$). Однако у круга $j = 2$

величины стандартов отклонений оказались наибольшими, особенно в поперечном направлении. По стабильности процесса (4) наилучшим следует признать круг ЛКВ50 160/125 ($j = 3$). Как известно, при управлении технологическим процессом для облегчения расчетов при построении двойных контрольных карт часто используют размахи взамен дисперсий. Как видно из табл.2, коэффициенты стабильности K_{CT2j2} оказались сопоставимыми с данными табл.1 по стандартам SD_{dj} .

Таблица 2

Влияние характеристик кругов на стабильность процесса по размахам для средних продольных шагов S_{m2j}

Круги ($j = \overline{1;3}$)	y_{2jmax}	y_{2jmin}	R_{2j}	K_{CT2j2} по (5)
	МКМ			
CBN50 100/80 СТ1 10 КС10 100 КФ40 (1)	192,17	53,12	139,05	1,00
ЛКВ50 100/80 СТ1 10 КС10 100 КФ40 (2)	258,89	47,88	211,00	0,66
ЛКВ50 160/125 СТ1 10 КС10 100 КФ40 (3)	194,00	100,00	94,00	1,48

Выводы

1. Раскрыта целесообразность изучения продольных шаговых параметров топографии, которые не регламентированы стандартом, хотя больше своих аналогов в поперечном направлении в 1,4 – 1,9 раза.

2. Оценку качества режущих свойств абразивных инструментов в принятых технологических условиях оказалось целесообразно вести с использованием непараметрического метода статистики, для которого совокупности наблюдений оказались «своим полем».

3. Установлено, что возрастание зернистости от 100/80 до 160/125 вызвало рост ожидаемых средних шагов в продольном направлении в 1,4 раза (на 2КВ), но одновременно повысило стабильность процесса на 30%.

4. Наилучшие результаты по опорным величинам и прецизионности процесса по средним шагам при шлифовании БП Р12Ф3К10М3 показал круг CBN50 100/80 СТ1 10 КС10 100 КФ40.

5. Во всех случаях шлифования имеет место положительная асимметрия распределений наблюдений, что является резервом повышения надежности точности шлифуемых БП. Последнее наиболее важно при больших объемах операционной партии. В мелкосерийном производстве, где стабильность процесса играет меньшую роль, появляется возможность повысить производительность процесса.

Список литературы

1. Кремень З.И. Технология шлифования в машиностроении / З.И. Кремень, В.Г. Юрьев, А.Ф. Бабошкин. СПб.: Политехника, 2007. 320 с.
2. Инженерия поверхности / Кол. авт.; под ред. А.Г. Сулова. М.: Машиностроение, 2008. 320 с.
3. Солер Я.И. Исследование влияния выхаживания на микрорельеф пластин Р9М4К8 при шлифовании кругами их кубического нитрида бора / Я.И. Солер, А.В. Прокопьева. Обработка металлов, 2009. №1 (42). С. 24-27.
4. Soler Ya.I. Selecting Abrasive Wheels for the Plane Grinding of Airplane Parts of the Basic of Surface Roughness / Ya. I. Soler, D. Yu. Kazimirov. Russian Engineering Research, 2010, vol. 30, No. 3, pp. 251-261.
5. Солер Я.И. Прогнозирование шероховатости поверхности инструментальных сталей при плоском шлифовании нитридборовыми кругами высокой пористости / Я.И. Солер, А.И. Шустов. Международный научно-исследовательский журнал, 2013. №10(17). Ч.2. С.81-86.
6. Солер Я.И. Оценка режущих свойств кругов нового поколения «Аэробор» по критерию шероховатости при шлифовании плоских деталей основного и вспомогательного производства самолетостроительных предприятий / Я.И. Солер [и др.]. Вестник ИрГТУ, 2013. №4(75). С. 43-50.

Prediction the mean spacing of roughness of tool steels R12F3K10M3 while pendulous grinding with high porosity nitride-boron wheels

Ya.I. Soler, A.I. Shustov, A.V. Prokopeva

The influence of nitride-boron tools is presented on position measure and deviation and stability of roughness parameters.

Key words: grinding, mean spacing of roughness, statistics, mean, median, standard deviation.

УДК 656.073.7

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ТЕЛЕЖКИ В СИСТЕМЕ
«ТЕЛЕЖКА – ПОДВЕСНОЙ ПУТЬ»**

***Б.С. ТОЛЫСБАЕВ, доктор экон. наук, профессор,
(ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, г. Астана, Казахстан)***

Толысбаев Б.С. – 000001, Казахстан, г. Астана, ул. Абылайхана, 6/7,
Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева,
e-mail: tol_b@mail.ru, tolysbaev_b@enu.kz

В статье рассмотрены вопросы эксплуатации подвесных толкающих конвейеров. Представлены результаты исследования перемещения тележки по дугообразному подвесному пути. Определены зависимости коэффициента сопротивления перемещению тележки от геометрических и динамических параметров системы «тележка – подвесной путь».

Ключевые слова: тележка, подвесной конвейер, подвесной путь, коэффициент сопротивления.

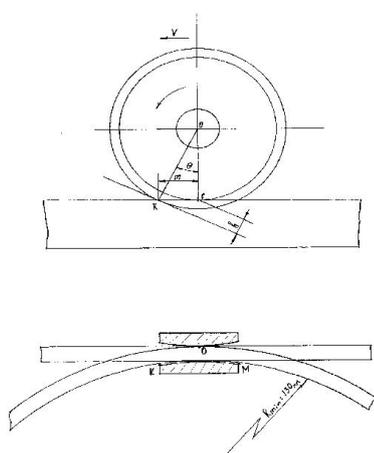
Введение

Практика эксплуатации подвесных толкающих конвейеров на мясоперерабатывающих предприятиях указывает на многочисленные случаи повышенного износа и разрушения элементов ходовой части. Одним из узких мест, где наиболее часто встречаются поломки, являются горизонтальные поворотные участки. Для выяснения природы действующих нагрузок изучена работа криволинейного участка стрелочного перевода, где тележка с грузом переводится с распределительного конвейера на накопительные пути конвейерной системы.

Теория

При перемещении тележки по криволинейному подвесному пути создаются дополнительные сопротивления. Так как при движении по криволинейному пути тележка совершает вращение вокруг центра кривизны. При движении тележки по криволинейному участку пути ее центробежная сила, приложенная к центру тяжести груза стремится опрокинуть тележку и прижать колеса на внутренней кривой, а на внешней оторвать их от пути и тем самым создаст дополнительную силу сопротивления движению тележки. На рисунке 1 показаны возможные точки соприкосновения реборды ролика тележки О, К и М. После небольших вычислений можно получить формулу для определения радиуса кривизны подвесного пути (R_{min}) в зависимости от

геометрических размеров тележки [1]. Известно, что при малых значениях радиуса кривизны подвесного пути происходит повышенный износ реборд из-за набегания их на кромки пути. Известно, что дополнительное сопротивление от трения реборды о путь учитывается коэффициентом (β). Определена зависимость данного коэффициента от таких параметров как скорость перемещения тележки и геометрические размеры тележки. Данный коэффициент является постоянной величиной, определяемая для каждого случая экспериментальным путем. В частности колеблется в пределах от 1,5 до 4,0. Заметим, что слабой стороной опытных данных является то, что они отражают строго определенное состояние в работе конвейера. Изменение хотя бы одного из размеров, например радиуса криволинейного участка пути, тот час же влияет на изменение величины силы сопротивления движению.



$$R_{\min} = 2(h_1^2 + 2h \cdot R_k - h^2) / \sqrt{2h \cdot R_k - h^2},$$

где: R_k - радиус реборд ходового колеса тележки, м;
 $h = R_k - R$ - высота борта реборды, м;
 $h_1 = 0,5(b_p + b_k + 2b_n)$ - расстояние от окружности до хорды, м;
 b_p - расстояние между ребордами, м;
 b_k - ширина ходового колеса тележки, м;
 b_n - ширина монорельсового пути, м.

Рис. 1. Расчетная схема системы «тележка – подвесной путь»

Результаты и обсуждение

Экспериментальные исследования были проведены в специально созданной установке. Силы сопротивления к перемещению были определены в зависимости силы перетаскивания толкателем. Для этого была создана специальная конструкция толкателя с наклеенными тензодатчиками. Полученный сигнал от тензорезисторов через тензоусилитель поступал к осциллографу. Оценка чувствительности тензобалки определена тарировкой в зависимости от выходного сигнала от величины исследуемого параметра [2, 3]. При обработке данных установлено, что с увеличением скорости перемещения расхождения экспериментальных и аналитических данных увеличилась. В рассматриваемом диапазоне скоростей от 0,1 до 0,25 м/с отклонения были в допустимых пределах. Это вызвано появлением дополнительных динамических нагрузок от колебания подвески с грузом. Также было подтверждено, что

радиус кривизны пути и скорость перемещения тележки существенно влияют на значение коэффициента (β), который учитывает сопротивление трения реборды ролика тележки о подвесной путь. На рисунке 2 показаны результаты экспериментальных и теоретических исследований коэффициента (β) и радиуса кривизны пути от скорости перемещения тележки с грузом. Нами были исследованы минимальные значения радиуса кривизны подвесного пути. Это вызвано с минимизацией размеров всей конвейерной системы в целом. Установлено, что оптимальным значением радиуса кривизны подвесного пути является $R_{min} = 0,5$ м. Хотя по результатам аналитических исследований для конвейеров используемых в мясной промышленности минимальное значение радиуса кривизны $R_{min} = 0,143$ м. Однако при таких размерах резко увеличиваются силы сопротивления перемещению тележки.

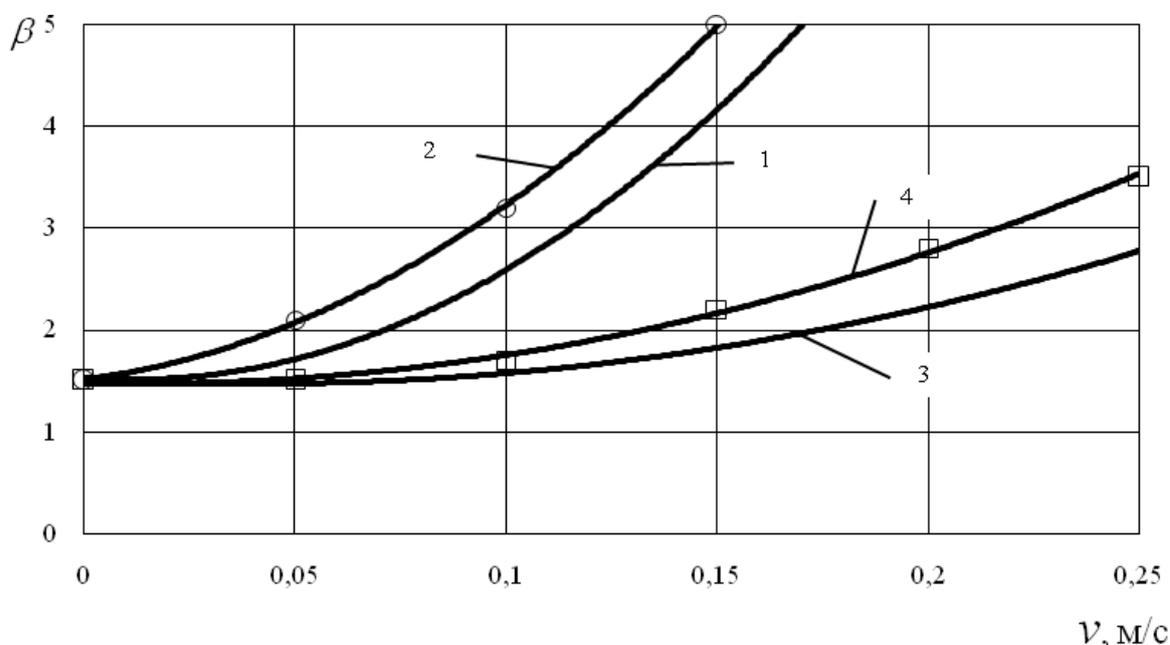


Рис. 2. Зависимость коэффициента β от скорости перемещения тележки

Выводы

Результаты аналитических и экспериментальных исследований показали, что при установленных геометрических параметрах системы «тележка – подвесной путь» и скорости перемещения тележки (0,1-0,25 м/с) отклонения значения коэффициента (β) находятся в пределах от 3,07 до 4,82.

Список литературы

1. Толысбаев Б.С. и др. Переталкивающие устройства // Вестник университета "Семей". Научный журнал.- 1999. - № 8. - С.113-116.
2. Толысбаев Б.С., Дубровин П.В., Танбаев Д.Ж. Конструкции упругих элементов тензодатчиков // Ученые записки ПГУ. Научный журнал.-1999.- № 4. - С. 58-63.
3. Предварительный патент (Казахстан) 5726. Подвесная конвейерная система для накопления закрепленного на троллеях штучного груза /Толысбаев Б.С., Дубровин П.В./. Опубл. Б.И.- 1998. - № 1.

Studying moving truck in the system truck- hanging way

B. S. Tolysbaev

The article discusses the pushing operation suspended conveyors. The results of studies on the movement of the trolley suspension arcuate path. The dependence of the coefficient of resistance to displacement of the carriage on the geometric and dynamic parameters of the system "truck - hanging way."

Key words: trolley, overhead conveyor, hanging path, resistance coefficient.

УДК 621.914.6.001.57

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ К РЕЖУЩИМ КРОМКАМ ЧЕРВЯЧНОЙ ФРЕЗЫ

*С.П. АНДРОСОВ, к.т.н., доцент
И.Г. КАЛЯРИ, ст. преподаватель
ОмГТУ, Омск*

Андросов С.П. – 644050, г. Омск, пр. Мира, д. 11,
Омский государственный технический университет,
e-mail: asp57@list.ru

Рассматриваются вопросы моделирования червячной модульной фрезы для нарезания зубчатых колес в пространственном отражении. Определены выражения единичных векторов дифференциальных геометрических характеристик к режущим кромкам червячной модульной фрезы. Разработана компьютерная программа для расчета и построения 3–D модели червячной фрезы и дифференциальных геометрических характеристик к ее кромкам.

Ключевые слова: червячная фреза, режущая кромка, моделирование, дифференциальные геометрические характеристики.

При решении вопросов моделирования процесса формообразования зубчатых колес, а также его силовом анализе возникает необходимость определения в любой точке режущих кромок фрезы значений единичных векторов сопровождающего трехгранника: вектора касательной \bar{T} , вектора нормали \bar{N} и бинормали \bar{B} . Например, для решения уравнения формообразования кинематического метода

$$\bar{e}_N \bar{e}_V = 0, \quad (1)$$

где \bar{e}_N – единичный вектор нормали в точке касания взаимооггибаемых профилей фрезы и заготовки детали; \bar{e}_V – вектор скорости их относительного движения.

В литературе [1] приводятся примеры определения дифференциальных геометрических характеристик к режущим кромкам фрезы при решении плоских задач формообразования зубчатых колес. Особенностью данной работы заключается в том, что задача определения выражений единичных векторов касательной, нормали и бинормали решается в пространственном отражении.

В статье рассматривается червячная модульная фреза (рис. 1), широко используемая в производстве зубчатых колес. Этот способ нарезания зубьев колес обладает универсальностью, высокой производительностью и экономичностью. Уравнение режущих кромок [2], представляющих пространственную кривую, в векторно-параметрическом виде имеет вид:

$$\bar{r}(i, j, k, n) = \begin{bmatrix} -R(i, n) \sin(\varphi_c(i, j, k, n) + \xi(k)) \\ y(i, j, k, n) \left(\frac{a_g}{a_{w0} + a_g} \right) + \delta(k) \\ R(i, n) \cos(\varphi_c(i, j, k, n) + \xi(k)) \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где $\varphi_c(i, j, k, n)$ – угол, определяющий положение точек режущих кромок; i – номер вектора на зубе фрезы; j – номер зуба на рейке фрезы; k – номер рейки на фрезе; n – количество точек на векторе; $y(i, j, k, n)$ – координата режущих кромок в направлении оси фрезы O_0Y_0 ; a_g – винтовой параметр стружечной канавки; a_{w0} – винтовой параметр основного червяка; $\xi(k)$ – угол между зубом первой рейки и зубьями последующих реек в торцевом сечении фрезы; $\delta(k)$ – смещение одноименных точек профиля каждой из реек по виткам спирали вдоль оси O_0Y_0 ; $R(i, n)$ – текущий радиус фрезы, изменяющийся в пределах от радиуса R_{f0} до радиуса R_{a0} .

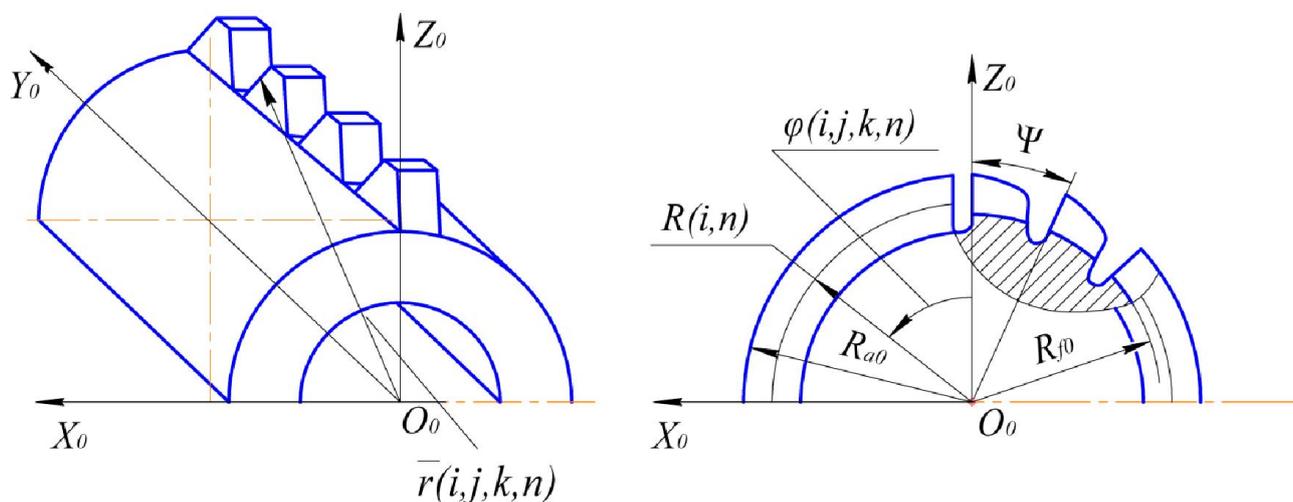


Рис.1. Червячная фреза:

R_{f0} и R_{a0} – радиусы внутреннего и наружного цилиндров фрезы; ψ – угловой шаг зубьев фрезы; $X_0O_0Y_0Z_0$ – система координат

Значение величины смещения определяется по формуле

$$\delta(k) = \frac{P_{n0}(k-1)}{z_0 \cos \gamma_{m0}}, \quad (3)$$

где P_{n0} – нормальный шаг зубьев фрезы; γ_{m0} – угол подъема винтовой линии на делительном цилиндре; z_0 – число зубьев фрезы.

Угол $\xi(k)$ определяется по формуле

$$\xi(k) = (k-1)\psi \quad (4)$$

С учетом зависимости $\varphi_c(i, j, k, n) = -\frac{y(i, j, k, n)}{a_{w0} + a_g}$ формула (2) принимает вид:

$$\bar{r}(i, j, k, n) = \begin{bmatrix} -R(i, n)\sin(\varphi_c(i, j, k, n) + \xi(k)) \\ -\varphi_c(i, j, k, n)a_g + \delta(k) \\ R(i, n)\cos(\varphi_c(i, j, k, n) + \xi(k)) \\ 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Единичный вектор \bar{e}_T определяется выражением [3]

$$\bar{e}_T = \frac{d\bar{r}(i, j, k, n)}{ds} \quad (6)$$

где ds – дифференциал длины дуги.

После вычисления дифференциалов, получаем

$$\bar{e}_T = \frac{-R(i, n)\cos(\varphi_c(i, j, k, n) + \xi(k))\bar{i} - a_g\bar{j} - R(i, n)\sin(\varphi_c(i, j, k, n) + \xi(k))\bar{k}}{\sqrt{R^2(i, n) + a_g^2}} \quad (7)$$

Единичный вектор главной нормали

$$\bar{e}_N = \frac{d\bar{e}_T}{ds} \Big/ \left| \frac{d\bar{e}_T}{ds} \right| = \sin(\varphi_c(i, j, k, n) + \xi(k))\bar{i} - \cos(\varphi_c(i, j, k, n) + \xi(k))\bar{k} \quad (8)$$

Единичный вектор бинормали

$$\bar{e}_b = \bar{e}_T \times \bar{e}_N = \begin{bmatrix} \bar{i} & \bar{j} & \bar{k} \\ e_{Tx} & e_{Ty} & e_{Tz} \\ e_{Nx} & e_{Ny} & e_{Nz} \end{bmatrix} \quad (9)$$

где e_{Tx} , e_{Ty} , e_{Tz} – проекции единичного вектора касательной; e_{Nx} , e_{Ny} , e_{Nz} – проекции единичного вектора главной нормали.

Раскрывая определитель, получаем

$$\bar{e}_b = \frac{a_g \cos(\varphi_c(i, j, k, n) + \xi(k))}{\sqrt{R^2(i, n) + a_g^2}} \bar{i} - \frac{R(i, n) \sin(\varphi_c(i, j, k, n) + \xi(k))}{\sqrt{R^2(i, n) + a_g^2}} \bar{j} + \frac{a_g \sin(\varphi_c(i, j, k, n) + \xi(k))}{\sqrt{R^2(i, n) + a_g^2}} \bar{k}. \quad (10)$$

Для расчета и графического построения 3–D модели червячной фрезы и векторов сопровождающего трехгранника: касательной \bar{T} , нормали \bar{N} и бинормали \bar{B} в любой точке режущих кромок разработана компьютерная программа с использованием средств объектно-ориентированного языка *Action Script 3*. На рис. 2 показан пример расчета и объемного изображения червячной фрезы, а также касательной \bar{T} , нормали \bar{N} и бинормали \bar{B} , восстановленных к ее режущей кромке.

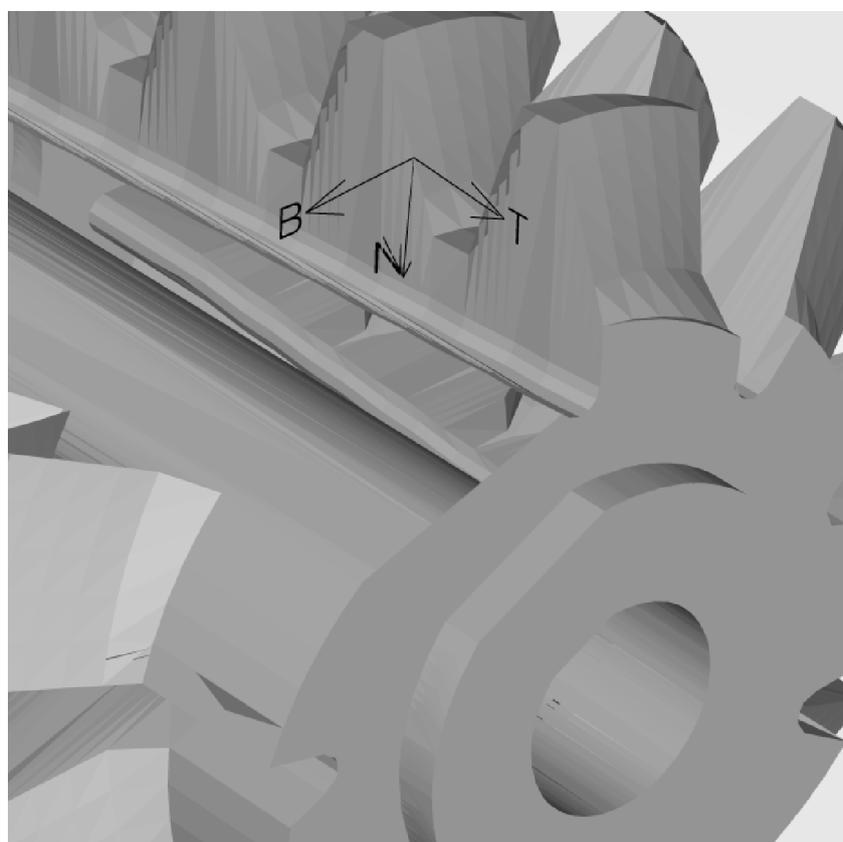


Рис. 2. Модель червячной фрезы

Таким образом, определены выражения единичных векторов сопровождающего трехгранника: вектора касательной \bar{T} , вектора нормали \bar{N} и бинормали \bar{B} к режущим кромкам червячной модульной фрезы при 3–D моделировании. Результаты работы используются при решении задач моделирования процесса формообразования зубчатых колес.

Список литературы

1. Кривошея А.В. Математические модели формообразования звеньев плоских систем зубчатых зацеплений // Сверхтвердые материалы. – Киев, 2003. – Вып. 5. – С.60-76.
2. Андросов С.П. Уравнение режущих кромок червячной модульной фрезы // Приволжский научный вестник. – 2013. – № 2 (18). – С. 4–7.
3. Бронштейн И.Н., Семендяев. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. – М.: Наука, 1980. – 976 с.

Differential geometric characteristics of the cutting edges worm cutters

S. P. Androsov, I.G. Cagliari

The problems of modeling worm module milling cutter for machining gears are considered. Defined expressions of unit vectors differential geometric characteristics of the cutting edges modular worm cutters. The computer program is developed for the calculation and builds 3-D model worm cutters and differential geometric characteristics of its edges.

Keywords: hob cutter, cutting edge, modeling, differential geometric characteristics.

УДК 621.791.5

ВОПРОСЫ БАЗИРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКЕ

*Н.П. ГААР, канд. техн. наук
Д. А. ПЛИТЕНЕЦКИЙ, магистрант
(НГТУ, г. Новосибирск)
М. В. ЕВТЕЕВ, инженер-конструктор,
В. Ю. БЕЗМЕНОВ, инженер-электронщик
(ООО «ПКФ Теплодар», г. Новосибирск)*

Плитенецкий Д.А. – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: denisalekseevich201191@gmail.com

Рассмотрены проблемы технологического оснащения при автоматизации процесса сварки на примере сборочной единицы «Нога». Предложено и изготовлено многопозиционное приспособление, позволяющее однозначно определить взаимное положение свариваемых деталей друг относительно друга и производить сварку одновременно 5 изделий. Определены параметры сварки.

Ключевые слова: базирование, многопозиционное приспособление, автоматизированная сварка.

Вопросы автоматизации технологических процессов в машиностроение являются актуальными, как с позиции повышения эффективности производства, так и улучшения условий труда [1]. Данная проблема актуальна не только для механической обработки, но и для сборки, включая процессы сварки. Решение этой задачи с технологических позиций связано с базированием свариваемых элементов, а также назначением технологических режимов.

В данной работе вопросы автоматизации сварки рассмотрены на примере сборочной единицы «Нога» котла "Куппер ОК-15", "Куппер ОК-20", "Куппер ОК-30" изготавливаемых ООО «ПКФ Теплодар». В базовом технологическом процессе изготовление данного изделия операция сварки осуществляется в полуавтоматическом цикле без специальных средств технологического оснащения, обеспечивающих стабильное положение свариваемых элементов. Автоматизация процесса сварки заключается в использовании цифрового сварочного аппарата DM-400, установленного на сварочном манипуляторе модели DR-4000, а также разработке многопозиционного приспособления.

Схема сварки сборочной единицы «Нога» представлена на рис.1.

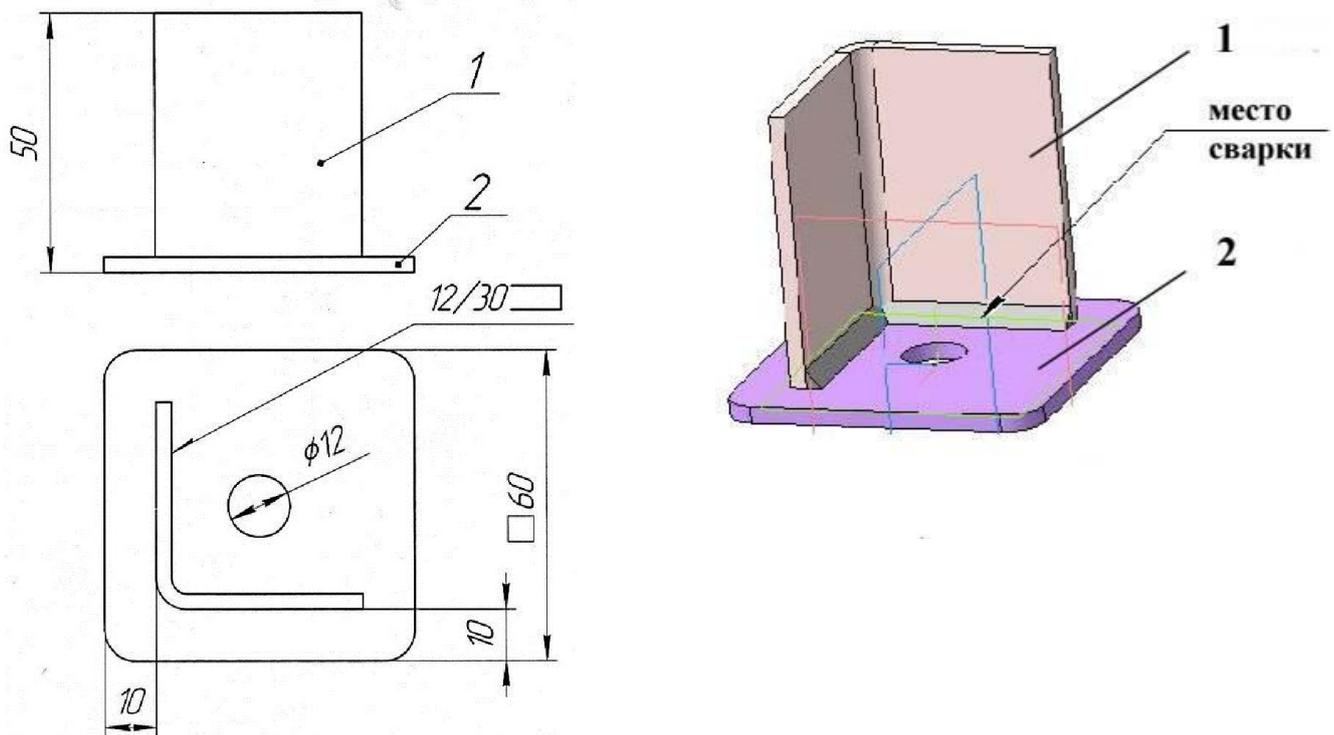


Рис.1. Чертеж и 3D модель сборочной единицы «Нога»

Цифровой сварочный аппарат DM-400 позволяет производить сварку в автоматическом режиме в среде углекислого газа при питании дуги постоянным током обратной полярности, что позволяет обеспечить постоянность горения дуги и уменьшить потери электрода на разбрызгивание. Траектория движений при сварке обеспечивается манипулятором DR-4000. Программирование манипулятора производится с пульта посредством выбора команд.

Сборочная единица состоит из двух деталей (пяты и уголок), изготовленных из стали 08пс ГОСТ 9045-93 и соединенных между собой посредством сварочного соединения тавровым односторонним швом без скоса кромок. Шов располагается с внутренней стороны уголка.

Подробности экспериментов

Для обеспечения стабильности положения свариваемых элементов сборочной единицы необходимо было спроектировать и изготовить технологическую оснастку - сварочный кондуктор.

Назначение технологических режимов сварки заключается в выборе присадочного материала и установлении величины сварочного тока, напряжения, скорости перемещения сопла, расхода защитного газа, диапазон значений которых представлены в таблице 1 [2].

Таблица №1

Рекомендуемые значения параметров сварки

Толщина металла, мм	Диаметр электродной проволоки, мм	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Расход газа, л/мин
2,0...3,0	1,0...1,2	100...300	19...20	14...16	8...10

Присадочная проволока по химическому составу не должна отличаться от материала изделия. Для стали 08пс ГОСТ 9045-93 рекомендовано использовать СВ-08Г2С ГОСТ 2246-70 (с омедненным покрытием) [2]. Диаметр проволоки составляет 1,2 мм.

Оценка качества шва производилась по ударной прочности и визуально.

Результаты и обсуждение

Деталь «Пята» устанавливается на плоскость сварочного кондуктора и базируется торцами в координатный угол, реализуемый пластиной и упором, что позволяет лишить ее 6-ти степеней свободы. Фиксация положения данной детали после установки в данном случае производится при помощи пластины, упираемой в противоположный торец детали.

Вторая деталь - «Уголок», устанавливается на «Пяту» и базируется в координатный угол, реализуемый уголком, смещенным относительно координатного угла первой детали с упором в торец (рис. 2, 3). Деталь фиксируется двумя неодимовыми магнитами с наружной стороны. Таким образом, достигается совмещение технологической и конструкторской базы.

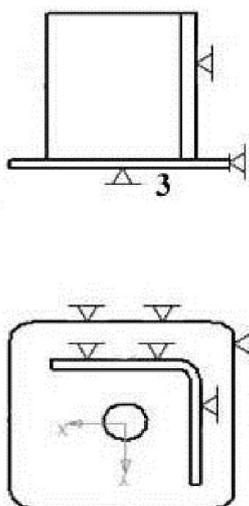


Рис. 2. Схема закрепления изделия в приспособление



Рис. 3. Внешний вид изделия в приспособление

Для уменьшения штучного времени сварки на кондуктор одновременно устанавливаются 5 изделий (рис. 4).

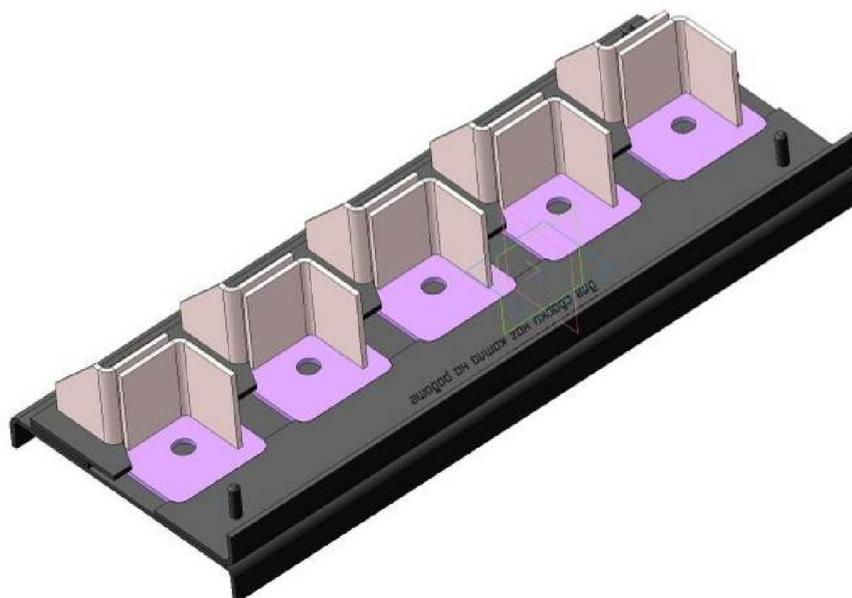


Рис. 4. Спроектированный кондуктор сварочный

Одновременно на стол сварочного участка может устанавливаться 6 кондукторов. Кроме того, два рядом стоящих стола, отделенных ширмой (рис 5), позволяют время, отведенное на установку изделий в кондукторе, совместить со временем сварки, что сокращает штучное время изготовления.

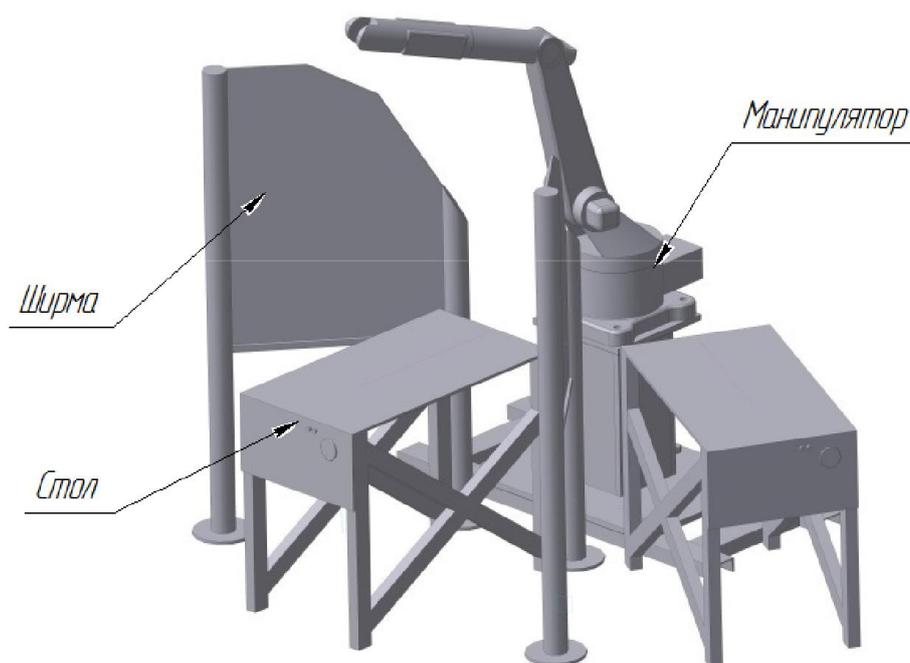


Рис. 5. Расположение столов у сварочного манипулятора

Сварочный ток определялся перебором от 200 А с шагом 25 А. Значение напряжения дуги равно 20 В. Параметр скорости сварки варьировалась от 14 до 16 м/ч с шагом 0,5 м/ч. Параметр расхода газа изменялся от 8 до 10 л/мин с шагом 0,5 л/мин.

В результате варьирования параметров получили следующий результат: наиболее качественный и эстетичный шов получен при значении тока 250 А, скорости сварки 15,5 м/ч и расхода газа 9 л/мин (рис. 6).

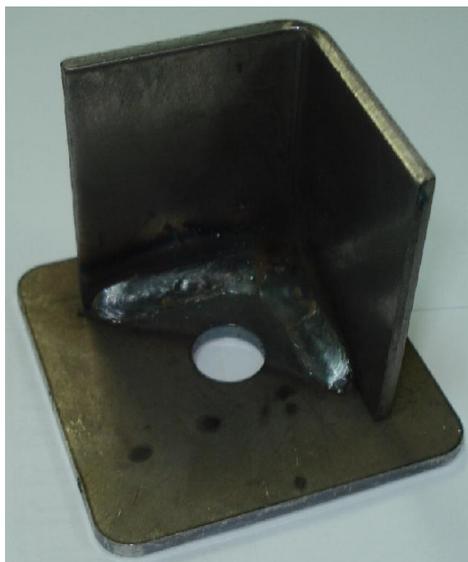
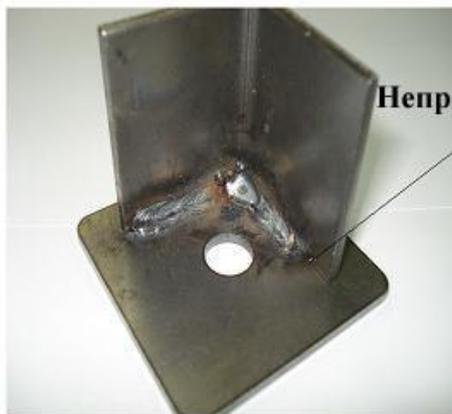


Рис. 6. Сварочный шов при значении сварочного тока 250 А, скорости сварки 15,5 м/ч, расход газа 9 л/мин

Увеличение значений скорости сварки и сварочного тока привели к разбрызгиванию расплавленного металла и тем самым ухудшились внешний вид шва (рис. 7).

Разбрызгивание



**Непроваренный
участок**

Рис. 7. Сварочный шов при значении сварочного тока 270 А, скорости сварки 16 м/ч, расход газа 9 л/мин.

Выводы

Разработанное и изготовленное приспособление, не только решает вопросы стабильного положения детали во время сварки, но его многопозиционность позволяет сократить время на изготовление рассматриваемой сборочной единицы. Выбранные режимы сварки удовлетворяют требованиям по ударной прочности и эстетичности внешнего вида шва.

Список литературы

1. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: Учеб. для вузов / Н.М. Капустин, П.М. Кузнецов, А.Г. Схиртладзе и др.; Под ред. Н.М. Капустина. — М.: Высш. шк. 2004.—415 с: ил.
2. Основы сварочного дела: Учебник для строит. спец. техникумов. М.: Высш. шк., 1985 г. - 168 с.

Questions based parts catalogued in automatic welding

N. P. Gaar, D. A. Plitenetsky, M. V. Evteev, V. Y. Bezmenov

The problems of technological equipment in the automation of the welding process on the example of assembly unit "foot" are considered. Selected based scheme for welding products in the automatic mode . Proposed and constructed multi-position device that allows uniquely identify relative position of the welded parts relative to each other and weld simultaneously 5 products. The parameters of welding : the welding current , voltage, speed of movement of the nozzle , shielding gas flow, satisfying the requirements of toughness and aesthetics of the resulting weld.

Key words: basing, multi-position device, automated welding.

УДК 621.922:621.923.01

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ АБРАЗИВНЫХ ГРАНУЛ ЗА СЧЕТ УЧЕТА ГЕОМЕТРИИ КОНТАКТНЫХ УЧАСТКОВ

*Г.В. ЛИТОВКА, доктор техн. наук, профессор,
А.В. ПАВЕЛЬЧУК, аспирант,
(АмГУ, г.Благовещенск)*

Литовка Г.В.– 675027, г.Благовещенск, Игнатьевское шоссе 21,
Амурский государственный университет,
E-mail: litovka44@mail.ru

В статье рассмотрено повышение эксплуатационных свойств абразивных гранул за счет учета их геометрии. Выведена формула для определения минимально допустимого радиуса (фрактального), являющегося критерием интенсивности износа гранул. Формула может быть рекомендована для проектирования контактных участков гранул.

Ключевые слова: Геометрия абразивных гранул, виброабразивная обработка, износ, износостойкость, контактный участок, математическая модель контактного участка, фрактальный радиус.

Введение

Эксплуатация абразивных гранул при вибрационной обработке деталей показывает, что их износостойкость зависит не только от зернистости [1], но и находится в тесной связи с их формой и линейными размерами [2]. В частности, контактные участки гранул с малым радиусом кривизны контура изнашиваются более интенсивно, чем участки с большим радиусом. Установлено [2], что интенсивному износу вплоть до разрушения подвержены абразивные гранулы, линейные размеры (грануляция) которых менее 8-10 мм.

Поскольку абразивные гранулы изотропны по своей структуре, то считаем, что контурам нормальных сечений таких гранул можно сопоставить окружность диаметром 8–10 мм. Поэтому есть основания предположить, что минимальным радиусом округления контура контактных участков абразивных гранул, при котором теряется устойчивость формы, следует считать значения радиусов 4-5 мм.

Постановка задачи

С целью определения минимально допустимого радиуса округления контактных участков в контексте проектирования абразивных гранул с повышенными эксплуатационными свойствами провести экспериментальные

исследования, включающие методику проведения экспериментов и разработку математической модели начального контакта гранул с плоскостью детали.

Методы исследования

Для достижения поставленной задачи нами были предусмотрены экспериментальные исследования, которые выполняли на вибрационном станке, имеющем рабочую камеру U – образного профиля емкостью 20 л. Режим работы станка: амплитуда $A=2,5$ мм, частота $f=25$ Гц. В качестве абразивного инструмента использовали гранулы размером 20-25мм обкатанного боя абразивных кругов следующих марок: 24А6ПСТ19К, 24А12ПСТ13К8А, 25А16ПСТ16К, 24А25ПСТ18К, 24А32ПСТ15К, 24А40ПСТ15К8А. Прочие условиями обработки были одинаковыми.

Для исследования изменений геометрической формы абразивных гранул были изготовлены «образцы-свидетели» в виде куба 18x18x18 мм и прямой треугольной призмы (высота – 22 мм, катеты – 22 мм) в количестве 10 штук для каждой формы. Их помещали в общую массу абразивной загрузки для изучения процесса изменения формы гранул во времени. Контроль изменения геометрической формы «образцов-свидетелей» осуществляли по фотографиям с последующими замерами кривизны контуров для определения номинального радиуса. «Образцы-свидетели» кубической формы были изготовлены из абразивных кругов марки 24А32ПСТ15К, а прямой призмы из 24А12ПСТ13К8А.

При оценке геометрии рельефа абразивных гранул был принят метод профилографирования, как наиболее емкий по информации. Длину профилографирования назначали равную 8 мм. Исследование профилограмм проведено методом корреляционного анализа коррелограмм и их аппроксимации.

Износ абразивных гранул (бой абразивных кругов) определяли по расходу абразивной массы путем взвешивания через каждые 30 минут работы вибрационного станка. Взвешивание осуществляли на весах модели ВТ1. Время работы вибрационного станка – 90 минут. Износ абразивных гранул протекал в режиме «самозатачивания», т.е. соответствовал периоду нормального износа [3]. Результаты интенсивности износа представлены в таблице.

Экспериментальными исследованиями формы гранул было выявлено, что для гранул марки 24А32ПСТ15К при достижении значения номинального радиуса кривизны $E(R)$, равного 6–7 мм, что соответствовало 12 часам вибрационной обработки, наступает период не только резкого изменения геометрической формы гранул, но и их линейных размеров. Аналогичный результат имеет место и для абразивных гранул марки 24А12ПСТ13К8А после 20 часов вибрационной обработки, когда величина номинального радиуса

кривизны поверхности $E(R)$ приблизилась к 4–5 мм. При этом было установлено, что независимо от начальной геометрической формы абразивных гранул (произвольная – бой абразивных кругов, прямая трехгранная призма и куб) их поверхности в процессе вибрационной обработки постепенно приближались к форме шара, т.е. к поверхности равной кривизны.

В связи с вышеизложенным полагаем, что минимально возможный радиус поверхности равной кривизны следует рассматривать, как важный геометрический параметр абразивных гранул, определяющий меру устойчивости их формы. По нашему мнению, его можно использовать при проектировании требуемых в «технологическом смысле» абразивных гранул, исключая процесс обкатки. Поэтому данный минимальный радиус поверхности равной кривизны был назван фрактальным радиусом и обозначен R_0 .

При нахождении расчетной формулы, определяющей значение R_0 , была разработана математическая модель контактного участка абразивных гранул в виде сферической поверхности и рассмотрен момент его начального касания с плоскостью. Обоснованность такого подхода заключается в следующем. Все замкнутые поверхности (поверхность куба, конуса, призмы, цилиндра, а также поверхности произвольных геометрических тел) являются гомеоморфные между собой, т.е. они наделены одинаковыми свойствами, мерой которых являются топологические инварианты. Общим топологическим инвариантом для абразивных гранул, выполненных в виде шара, куба, тетраэдра, призмы, боя абразивных кругов и других, является их контактный участок, который гомеоморфен сфере.

Задача определения минимального радиуса R_0 абразивных гранул была решена в следующей последовательности. Рассмотрено и проанализировано построение касательной прямой в точке супремума случайной функции, аппроксимирующей профиль поверхности рельефа и геометрическую форму абразивных гранул. Из условия сплошности поверхности абразивных гранул и их обкатанности случайная функция $\rho(\theta)$ была принята непрерывной и дифференцируемой. Изменение полярного угла θ вследствие замкнутости контура абразивных гранул также принято от 0 до 2π [3]. На этой основе установлена функциональная связь между координатами точки касания прямой, моделирующей контур обрабатываемой детали, и профилем контактного участка гранул. В математическом ожидании получено следующее выражение:

$$E[\sup f(\rho_i)]_{\Delta\xi} = E[\sup f(\varepsilon_i)]_{\Delta\xi} + E(R), \quad (1)$$

где \sup – оператор наибольшего значения функции; E – оператор математического ожидания.

Анализ формулы (1) показал, что математическое ожидание супремума функции $E[\sup f(\rho_i)]$ зависит от интервала касания $\Delta\xi$, длина которого тесно связана с номинальным радиусом кривизны контура контактного участка гранул $E(R)$. Величина математического ожидания супремума значений профиля рельефа абразивных гранул $E[\sup f(\varepsilon_i)]$ также зависит от значения $\Delta\xi$. Следовательно, значение $E[\sup f(\rho_i)]$ непосредственно связано с величиной $E[\sup f(\varepsilon_i)]$ и косвенно – с номинальным радиусом кривизны окружности, являющейся средней линией случайной функции $f(\varepsilon_i)$.

Для того чтобы выявить функциональную связь между $\Delta\xi$, $E[(\sup f(\varepsilon_i))_{\Delta\xi}]$ и параметром $E(R)$ продифференцируем (1) по переменной $\Delta\xi$ и полученное выражение приравняем к нулю. В результате соответствующего преобразования с учетом зависимости $\Delta\xi = f[E(R)]$ получили

$$\frac{1}{2}\Delta\xi = \sqrt[3]{\frac{3,434E(R)\sigma_\varepsilon}{E[n(0)]}}, \quad (2)$$

где $\frac{1}{2}\Delta\xi$ – радиус интервала касания профилем контактного участка контура детали.

Выражение (2) устанавливает связь между следующими геометрическими параметрами гранул: номинальным радиусом кривизны окружности контактного участка $E(R)$ и статистическими параметрами профиля рельефа, т.е. это $E[n(0)]$ – математическое ожидание числа нулевых значений на единицу длины функции $f(\varepsilon_i)$, аппроксимирующей профиль рельефа абразивных гранул; σ_ε – среднее квадратическое отклонение высот профиля рельефа абразивных гранул. Случайная функция $f(\varepsilon_i)$ является нормальной и стационарной. Это подтверждено количественной оценкой явления «самозатачивания» рельефа абразивных гранул в процессе вибрационной обработки [3].

Заменяя интервал $\Delta\xi$ в выражении (2) на минимально возможный $\Delta\xi_0$, при котором значение математического ожидания супремума функции по точности считается удовлетворительным [4], имеем следующее выражение:

$$\frac{1}{2}\Delta\xi_0 = \frac{4}{E[n(0)]}. \quad (3)$$

После подстановки (3) в (2) получаем уравнение относительно фрактального радиуса абразивных гранул:

$$R_0 = \frac{2,330}{\sigma_\varepsilon E[n(0)]^2}. \quad (4)$$

Если $E[n(0)]$ выразить через корреляционную функцию $K_\varepsilon(\tau)$ вида [5]

$$K_\varepsilon(\tau) = \frac{\sigma_\varepsilon^2}{1 + \alpha_\varepsilon \tau^2}$$

при $\tau = 0$ и подставить в (4), то получим формулу для определения значений фрактального радиуса R_0 абразивных гранул, выраженную через статистические параметры профиля рельефа:

$$R_0 = \frac{1,20 \cdot \pi^2}{\sigma_\varepsilon \cdot \alpha_\varepsilon}, \quad (5)$$

где α_ε – параметр, характеризующий чувствительность корреляционной связи между значениями случайных ординат функции $f(\varepsilon_i)$, аппроксимирующей профиль рельефа абразивных гранул.

Результаты расчета значений R_0 и другие экспериментальные данные приведены в таблице. Значения фрактального радиуса R_0 , зависящие от зернистости Z , имеют хорошую сходимость не только с экспериментальными результатами, но и с практикой технологических служб ряда машиностроительных предприятий. В руководящих технических материалах по технологии виброабразивной обработки предусмотрена операция «обкатки свежих» абразивных гранул в течение 1–2 часов для округления кромок до радиуса 2–3 мм.

Следует отметить и то, что, при прочих равных условиях обработки, значения фрактального радиуса R_0 находятся в линейной зависимости с интенсивностью изнашивания абразивных гранул, т.е.

$$R_0 = K \cdot J, \quad (6)$$

где K – коэффициент пропорциональности (см. таблицу).

Таблица

Зернистость	Параметры профиля рельефа абразивных гранул		Расчетный (фрактальный радиус)	Минимально допустимая грануляция	Интенсивность износа гранул	Коэффициент пропорциональности
	σ_ε , мм	α_ε , мм				
Z	σ_ε , мм	α_ε , мм	R_0 , мм	G , мм	J , г/мин	$K = R_0 / J$
6	0,01241	333,47	2,86	6...8	10,83	0,264
12	0,02112	299,12	1,87	5...6	7,17	0,261
16	0,02960	245,0	1,63	5...6	6,17	0,264
25	0,04025	155,56	1,89	5...6	7,25	0,261
32	0,05506	85,10	2,53	6...8	9,58	0,264
40	0,06219	32,81	5,80	12...15	22,08	0,263

Если под износостойкостью понимать свойство материала поверхности, оцениваемое величиной обратной интенсивности ее изнашивания [5], то на основании (5) и (6) считаем, что параметр геометрии рельефа $\sigma_\varepsilon \cdot a_\varepsilon$, который входит в расчетную формулу (5), коррелирует с износостойкостью абразивных гранул. Аналогичный вывод был сделан в работе [1], в которой в качестве основной идеи определения износостойкости абразивных гранул рассматривалась энергия, затрачиваемая на упругую деформацию зерен, выступающих из связки.

В этой связи геометрический параметр R_0 , полагаем, является одним из резервов повышения эксплуатационных свойств абразивных гранул при вибрационной обработке. Поэтому его значение, зависящее от параметров геометрии рельефа гранул $\sigma_\varepsilon \cdot a_\varepsilon$, т.е. зернистости Z , следует учитывать при проектировании «безобкаточных» абразивных гранул. В частности, при проектировании должно выполняться условие: проектный радиус $R > R_0$.

Выводы

Таким образом, формула (5), подкрепленная результатами экспериментальной зависимости (6), может быть рекомендована для проектирования абразивных гранул, не требующих операции обкатки, т.е. гранул имеющих более устойчивую геометрическую форму в начальный период обработки, что повышает их эксплуатационные свойства. Кроме того, обобщенный характер формулы (5) дает основание полагать, что она может быть использована также при проектировании абразивных гранул, работающих, например, в галтовочных барабанах, в виброимпульсных рабочих камерах с эластичным дном и т.д., где в качестве режущего инструмента применяется абразивная среда в виде абразивных гранул.

Список литературы

1. **Литовка Г.В.**, Влияние геометрии рельефа абразивных гранул, работающих в режиме самозатачивания, на их износостойкость / Г.В. Литовка, А.В. Павельчук // Проблемы повышения эффективности металлообработки в промышленности на современном этапе: Материала 11-ой Всероссийской научно-практической конференции. – Новосибирск: НГТУ, 2013.– С.66-70.
2. **Политов И.В.**, Вибрационная обработка деталей машин и приборов. /И.В. Политов, Н.А. Кузнецов //.–Л.: Лениздат, 1965.– 126с.
3. **Литовка Г.В.**, Оценка режущей способности абразивных гранул./ Г.В.Литовка // Справочник. Инженерный журнал. №7, 2010.– С.23-28.

4. **Шукайло В.Ф.**, О распределении абсолютного максимума стационарного случайного процесса. / В.Ф. Шукайло // Радиотехника и электроника.– М.: Наука. №6, Т.13,1968. – С.996-1006.

5. **Литовка Г.В.**, Анализ точности технологической геометрии абразивного инструмента. / Г.В. Литовка // Обработка металлов. №2[31], 2006. – С.11–14.

6. **Кане М.М.**, Основы научных исследований в технологии машиностроения. / М.М. Кане // Минск: Высшая школа, 1987.– 237с.

Increase of operational properties of abrasive granules by taking into account of geometry of contact sections

G.V. Litovka, A.V. Pavelchuk

In the article considers the increase of operational properties of granules taking into account geometry. The formula for determination of the minimum admissible radius (recursive) which is criterion of intensity of wear of granules is received. The formula can be recommended for design of contact areas of granules.

Key words: Geometry of abrasive granules, vibroabrasive processing, wear, wear resistant, contact section, mathematical model of a contact section, fractal radius

621.0

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОХЛАЖДЕНИЯ АБСОРБЕРА В ANSYS WORKBENCH

*Е.К. ЗАЙЦЕВ, магистрант,
М.А. ЗАЙЦЕВА, магистрант,
В.Ю. СКИБА, к.т.н., доцент,
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Зайцев Е.К. - 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, д.20,
Новосибирский государственный технический университет, кафедра ПТМ
e-mail: john_zay@mail.ru

Средствами конечно-элементного комплекса ANSYS проведено математическое моделирование напряженно-деформированного состояния абсорбера коллиматора в процессе его эксплуатации. Получены поля распределения температурных полей, напряжений и деформаций. На основе результатов расчетов введены корректировки в конструкцию коллиматора.

Ключевые слова: коллиматор, адсорбер, конечно-элементное моделирование, температурные поля, напряженно-деформированное состояние

В данной работе исследовался процесс эксплуатации абсорбера, являющимся конструктивным узлом коллиматора секции сжатия сгустков. Коллиматор проектируется в Институте Ядерной Физики им. Г.И. Будкера СО РАН, для проекта XFEL (лазер на свободных электронах), который реализуется в данный момент в Гамбурге (Германия). Моделирование производится для определения распределений температурных полей и напряжений с целью предотвращения перегрева и поломки абсорбера.

Составление математической модели осуществлялось с использованием расчетной платформы *ANSYS Workbench*. На данном этапе работ для проведения конечно-элементного моделирования были выбраны следующие модели поведения конструкции: *Fluid Flow*, *Steady-State Thermal (Samcef)*, *Transient Thermal (Samcef)* и *Static Structural (Samcef)* [1...3]. Поскольку, процесс конвективной теплоотдачи достаточно сложен и коэффициент теплоотдачи α зависит от большого числа факторов, для его определения использовалась теория подобия [4]:

$$a = \frac{Nu * \lambda}{d} \left(\frac{Bt}{m^2} * K \right)$$

где Nu - критерий Нуссельта,

λ – коэффициент теплопроводности теплоносителя, Вт/м·К;

d – характерный линейный размер, м.

Модель абсорбера (рис 1), выполнена в системе автоматизированного проектирования *Autodesk Inventor 2012*. Необходимо отметить, что в конструкции присутствуют детали, изготавливаемые из меди марки М06 (ГОСТ

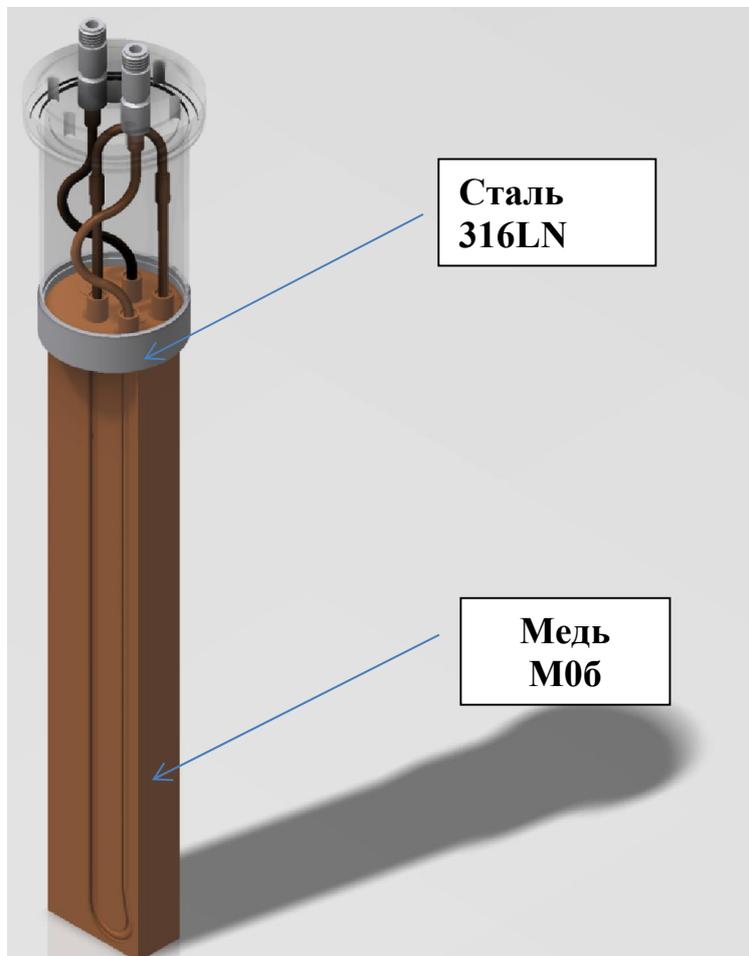


Рис. 1. Модель абсорбера

859-2001, ГОСТ Р 53803 - 2010) и стали марки *316LN* (Аналог: 03X16H15M3 - сталь коррозионно-стойкая обыкновенная, ГОСТ 5632 - 72). Таким образом, возникла задача проверки предельных напряжений и деформаций в зоне контакта в процессе нагрева.

В модуле *Design Modeler* из модели, созданной в *Autodesk Inventor*, были удалены незначительные геометрические элементы, такие, как: часть трубок, находящаяся вне абсорбера, мелкие отверстия и фаски. С учётом симметрии модели, для снижения размерности задачи, использовалась половина модели (функция *symmetry*) [5].

Физико-механические и теплофизические характеристики материалов М06 и *316LN* были введены в меню «*Engineering Data*».

В ветви «*Contact*» дерева проекта, определены контактные поверхности между конструктивными элементами, как неподвижное соединение «*Bonded*».

Для генерации конечно-элементной сетки был выбран параметр *Hex dominant method*, что позволило сократить число степеней свободы и повысить точность результата. В местах концентраторов напряжений для повышения точности расчета плотность сетки была увеличена. На грани, принимающей тепловой поток, создана регулярная сетка с использованием следующих типов конечных элементов: Link167, Shell163, Solid 164 и Conta173 (Рис. 2).

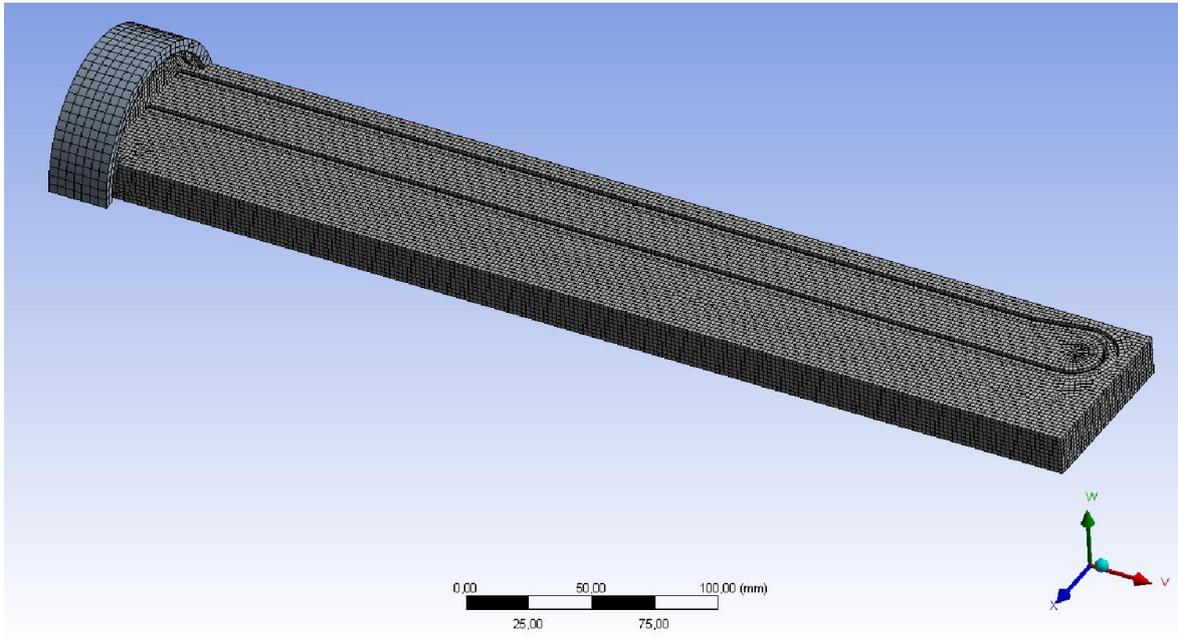


Рис. 2. Геометрическая модель, подготовленная для расчёта с гексагональной сеткой

Жесткая заделка была применена модели для торцевой грани стального кольца.

Результаты моделирования представлены на рисунках 3 и 4.

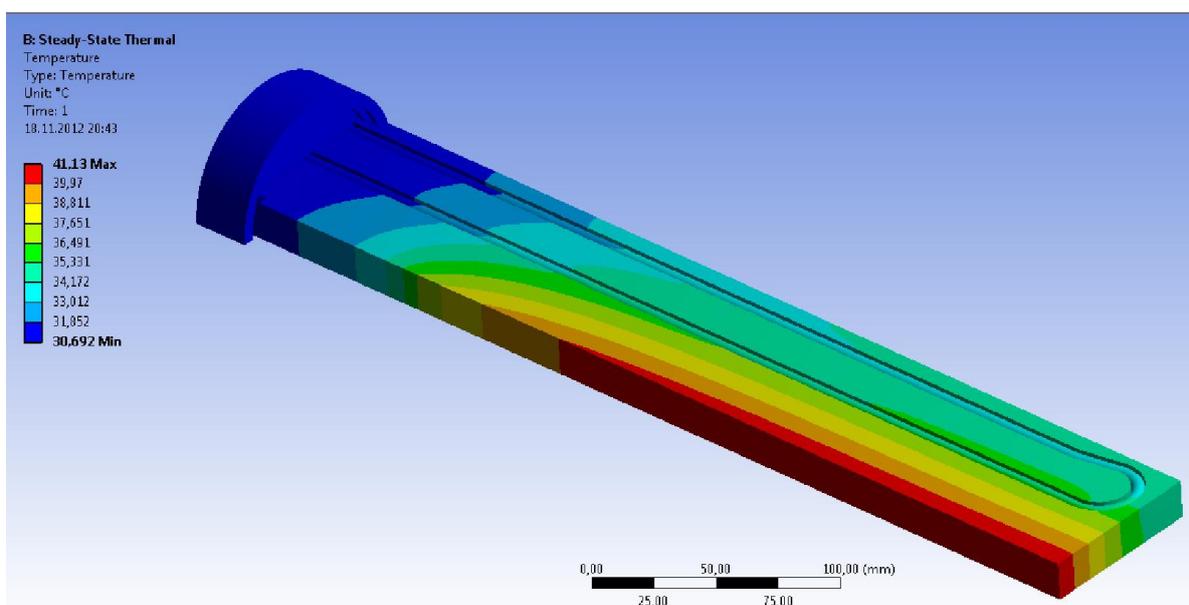


Рис. 3. Распределение температурных полей

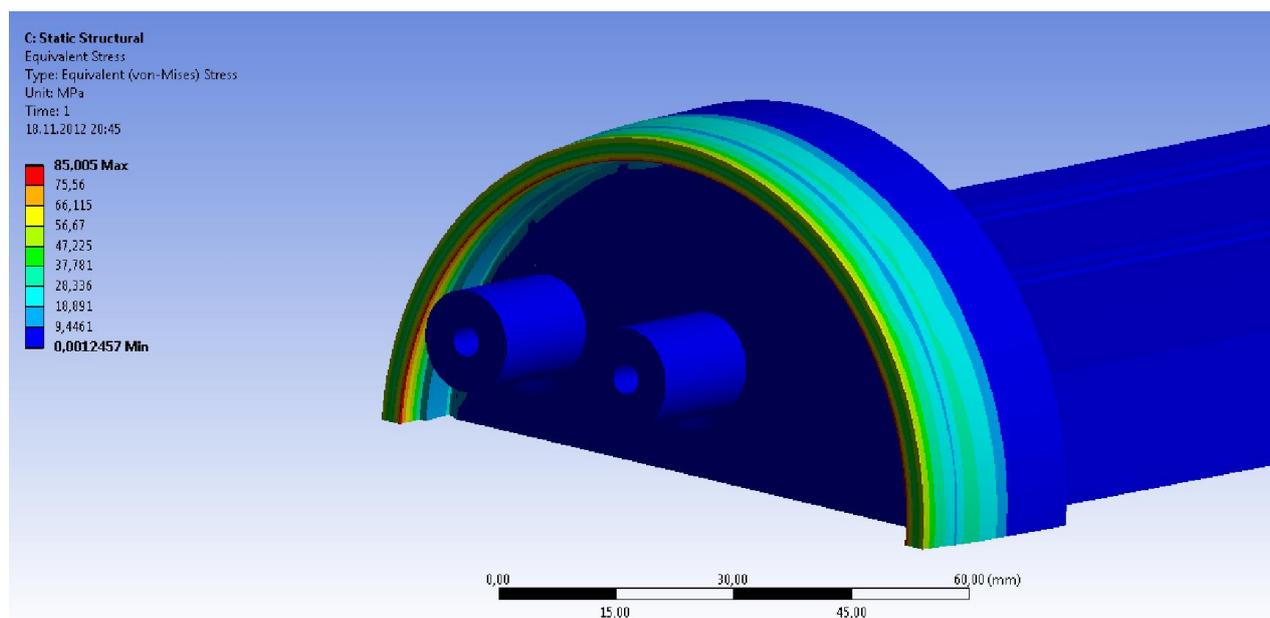


Рис. 4. Распределение полей эквивалентных напряжений

В результате выполненного математического расчета были получены следующие результаты: максимальная температура, достигаемая в процессе эксплуатации, составила $41,13^{\circ}\text{C}$. При этом наибольшее значение эквивалентных напряжений конструктивных элементов, выполненных из стали марки 316LN, достигли значений порядка 85МПа, а для медных деталей – величина напряжений составила 5,53МПа. Необходимо отметить, что абсолютная величина деформации конструкции составила порядка 0,15мм. Учитывая полученные результаты, для оптимизации абсорбера коллиматора были введены соответствующие корректировки в геометрические параметры конструктивных элементов.

Список литературы

1. Моделирование напряженно-деформированного состояния материала в программном комплексе SYSWELD при поверхностной закалке ТВЧ / В. Е. Воротников, Р. А. Гарин, Е. А. Гарин, В. Ю. Скиба // Журнал "В мире научных открытий". - Красноярск: Научно-инновационный центр, 2010. - №2(08). - Ч.3. - С. 16-19.
2. Моделирование процессов структурообразования при формировании сварного соединения из разнородных сталей / А. А. Никулина, В. Ю. Скиба, Е. Е. Корниенко, Е. Н. Миронов // Обработка металлов: Технология. Оборудование. Инструменты. – 2011. – № 4 (53). – С. 54–61.

3. Атапин В. Г. Численное моделирование бескаркасных арочных покрытий / В. Г. Атапин, В. Ю. Скиба // Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. - 2012. - № 4(57). - С. 23-27.

4. Персов, Б. З. Расчет и проектирование экспериментальных установок [Текст] /Б. З. Персов.—Москва–Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2004.—348 с.

5. Инженерный анализ в ANSYSWorkbench: Учебное пособие / В.А. Бруяка, В.Г. Фокин, Е.А. Солдусова, Н.А. Глазунова, И.Е. Адвянов. – Самара: Самарский государственный технический университет, 2010. – 271 с.: ил

Modeling of cooling absorber in ANSYS Workbench

E.K. Zaytsev, M.A. Zaytseva, V.Yu. Skeeba

Means of finite-element complex ANSYS mathematical modeling of the stress-strain state of the collimator absorber during its operation. The fields of the distribution of temperature field, stress and strain. Based on the calculation results in the introduced construct collimator adjustment.

Keywords: collimator adsorber, finite element modeling, temperature field, stress-strain state

621.7

ПРИМЕНЕНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ ШТОКА

*Е.К. ЗАЙЦЕВ, магистрант,
М.А. ЗАЙЦЕВА, магистрант,
К.Г. ЗАЙЦЕВ, директор ООО «Проект»
В.Ю. СКИБА, к.т.н., доцент,
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Зайцев Е.К. - 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, д.20,
Новосибирский государственный технический университет, кафедра ПТМ
e-mail: john_zay@mail.ru

Рассматривается проблема эксплуатации штамповочного молота. Выявлены основные причины выхода из строя штоков технологического оборудования. Предложен вариант конструкции рабочего узла молота, позволяющий существенно повысить надежность и долговечность работы ударной части машины.

Ключевые слова: молот, шток, проектирование, надежность, долговечность.

Молот, как вид технологического оборудования, применяется в кузнечном производстве уже больше ста лет. Его техническое развитие, главным образом, осуществлялось путём совершенствования привода подъёма и опускания ударной части (бабы).

С технологической точки зрения штамповочный молот обладает следующими незаменимыми качествами: большой скоростью удара (до 7 м/сек), малым временем контакта штампа с горячим металлом (0,01сек), что способствует сохранению ковочной температуры поковки и стойкости инструмента. Благодаря технологическим возможностям молота мгновенно наносить удар значительную группу поковок (до 30%) целесообразно штамповать только на молоте. На предприятиях инструментальной промышленности объем таких поковок достигает до 70%. К таким изделиям можно отнести поковки плоской удлиненной формы, например, поковки слесарно-монтажного, медицинского инструмента, различного рода шатуны, коромысла, тяги и т.д. [1].

Поскольку альтернатив молоту как штамповочному орудию для описанной выше группы поковок не существует, очевидно, что решение проблем связанных с его эксплуатацией является актуальной задачей.

Одной из важнейших частей молота модели М212 является его ударная часть. Она состоит из таких основных частей, как баба (ударная часть), шток, а так же втулка для их соединения, или рубашка. Конструкция крепления штока к бабе приведена на рисунке 1.

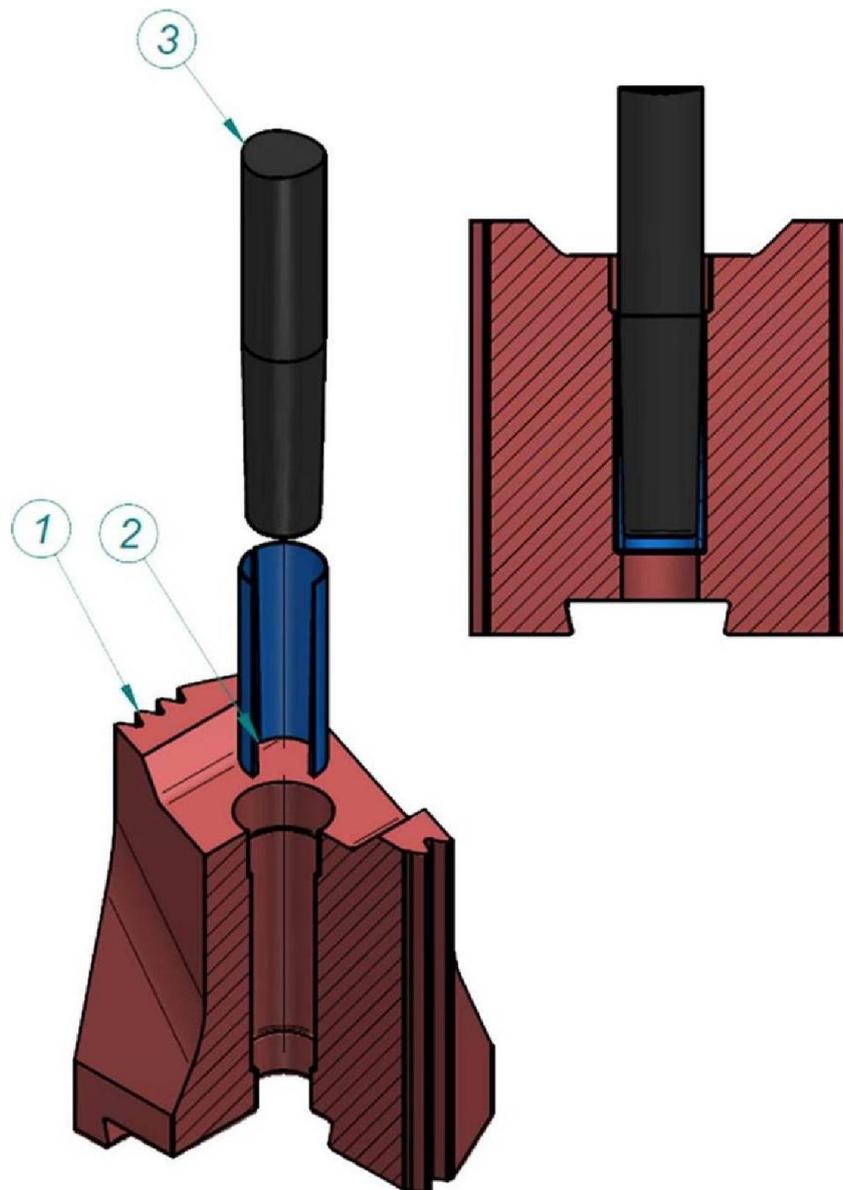


Рис. 1. Жесткое крепление штока:
1 - баба, 2 - рубашка, 3 - шток.

При эксплуатации молотов на ОАО «Новосибирский Инструментальный завод» возникла проблема поломки штоков из-за тяжелых условий работы. Проверочные кинематические и прочностные расчеты оборудования, выполненные с использованием *CAD/CAE* комплексов *ANSYS*, *SolidWorks* и *CATIA*, показали, что процессе эксплуатации неточное выставление направляющих бабы и высокие значения знакопеременной нагрузки, действующей на основные узлы молота, являются причинами появления больших деформаций штоков, изгиб которых достигает $0,5^\circ$ (зафиксировано натурными экспериментами) [2...5]. Это, в свою очередь, приводит к поломке и выходу из строя технологического оборудования.

Для уменьшения влияния неточной настройки направляющих бабы, фирмой ООО «Проект» была разработана следующая конструкция (рис.2). Во втулку штока 4 вставляется рубашка 5 и запрессовывается шток; в бабе под втулкой расположена пятка 3. Втулка устанавливается в бабе с гарантированным зазором и поджимается тарельчатыми пружинами 6 и 7.

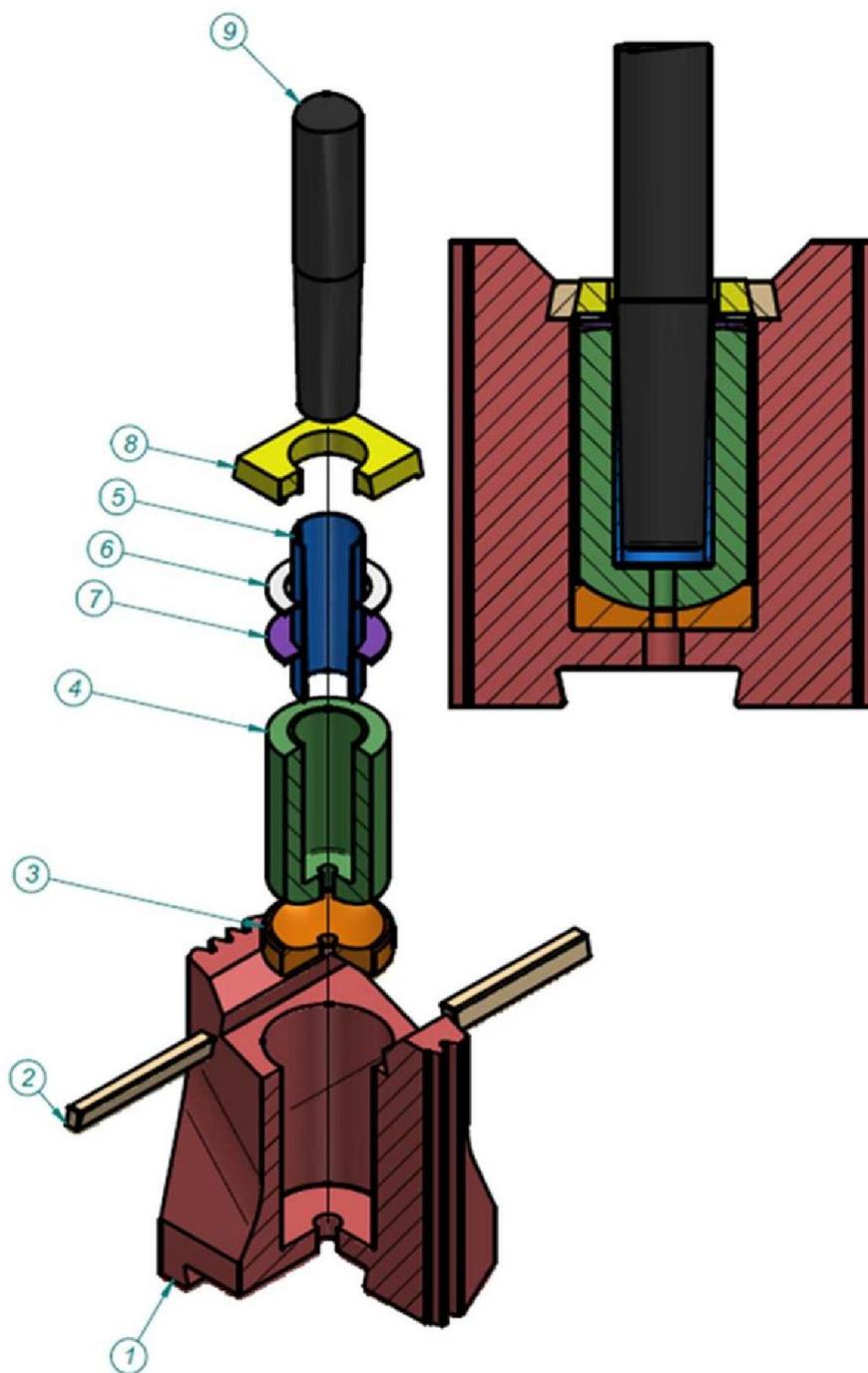


Рис. 2. Плавающее крепление штока:

1 - баба, 2 - клин, 3 - пятка, 4 - втулка штока, 5 - рубашка, 6 - тарельчатая пружина верхняя, 7 - тарельчатая пружина нижняя, 8 - крышка, 9 - шток.

Для закрепления втулки со штоком в бабе, используется крышка 8 и два клина 2. При нарушении траектории движения бабы из-за неправильно выставленных направляющих, данная конструкция компенсирует погрешность установки направляющих за счет зазора между втулкой штока 4 и бабой 1.

Данная конструкция позволила уменьшить влияние неточной установки направляющих бабы и повысить стойкость штока, устранить частые поломки ударной части технологического оборудования.

Список литературы

1. Щеглов В. Ф. Совершенствование кузнечного оборудования ударного действия / В. Ф. Щеглов. – М.: Машиностроение, 1968. – 222 с.
2. Санкин Ю.Н. Продольные колебания упругих стержней ступенчато-переменного сечения при соударении с жёстким препятствием / Ю.Н. Санкин, Н.А. Юганова // Прикладная математика и механика. – М. : Наука, 2001. – Т. 65. – Вып. 3. – С. 444-450.
3. Атапин В. Г. Численное моделирование бескаркасных арочных покрытий / В. Г. Атапин, В. Ю. Скиба // Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. - 2012. - № 4(57). - С. 23-27.
4. Надежность прогноза качества технологического оборудования / С. В. Птицын, В. Ю. Скиба, Ю. С. Чёсов, Е. В. Мережко // Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. - 2013. - № 2. - С. 33-38.
5. Определение основных параметров технологического оборудования / В. Ю. Скиба, Ю. И. Подгорный, Т. Г. Мартынова, В. Н. Пушкин, Н. В. Вахрушев, Д. Ю. Корнев, Е. К. Зайцев // Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. - 2013. - № 3. - С. 68-73.

Application design solutions to increase resistance stem

E.K. Zaytsev, M.A. Zaytseva, K.G. Zaytsev, V.Yu. Skeebea

The problem of manual stamping hammer. Identified the main causes of failure of process equipment stems. A variant of the design of the cutting unit of the hammer, which significantly improves the reliability and durability of the shock of the machine.

Key words: hammer, stock, design, reliability and durability.

УДК 621.01

ПОИСК ОПТИМАЛЬНЫХ ВАРИАНТОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАЛОШУМНЫХ РЕДУКТОРНЫХ СИСТЕМ МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

*А.М. МЕДВЕДЕВ, канд. техн. наук, доцент,
Г.В. ЛИТОВКА, доктор техн. наук, профессор,
А.В. СТАНИЙЧУК, канд. техн. наук, доцент,
(АмГУ, Амурская обл., г. Благовещенск)*

Медведев А.М. – 675027, Амурская обл., г. Благовещенск,
ул. Игнатьевское шоссе, 21, Амурский государственный университет,
e-mail: design@amursu.ru

Выполнены исследования шумового режима металлорежущих станков в широком спектре возмущающих нагрузок. Установлено, что станки, имеющие сложные кинематические и конструктивные особенности, содержат несколько источников акустической энергии – корпусные элементы коробок скоростей, станины и ограждающие конструкции. Комплексные исследования кинематических, конструктивных, виброакустических характеристик металлорежущих станков не позволяют определить отдельные вклады структурного (звуковая вибрация) и воздушного шума в общее звукоизлучение станка. Выработан стратегически оптимальный подход для определения степени влияния структурного шума при работе зубчатых механизмов оборудования на ранних стадиях проектирования.

Ключевые слова: редукторные системы металлорежущего и технологического оборудования, шум, генераторы и излучатели, звуковая вибрация, воздушный шум.

Введение

Для современной экономики развитых стран характерен высокий удельный вес машиностроительного производства, которое является основным исходным звеном в создании различных машин и механизмов. В тоже время оно является одним из травмоопасных среди основных отраслей промышленности. Основные причины этого – наличие ряда неблагоприятных факторов среды, особенно шумов и вибраций оборудования. Актуальность проблемы снижения шума и вибрации связана с тем, что шум, является одним из главных комплексных показателей качества оборудования, кроме того, длительное пребывание человека в условиях повышенного шума приводит к расстройству нервной системы и другим заболеваниям, снижается производительность труда. Проблема проектирования малошумных машин и оборудования, является достаточно сложной и многоплановой.

Постановка задачи

Анализ результатов исследований шумового режима на предприятиях машиностроительной отрасли [1, 2] позволяет заключить, что шум на рабочих местах в основных производствах превышает гигиенические нормы СН 2.2.4/2.1.8.562-96 (действующие) в области средних и высоких частот, является постоянным, широкополосным, с равномерным распределением уровней по всем полосам частот (колебания уровней не превосходят 10-15 дБ для всего спектра). Частотные спектры являются практически сплошными, однако почти на каждом из них можно выделить группы интенсивных составляющих – зубцовые частоты и их высшие гармоники, частоты, определяемые кинематическими погрешностями делительных пар зубофрезерных станков и т.п.

Анализ спектров уровней вибрации является практически сплошным, на фоне которого имеются дискретные составляющие.

Машиностроительные производства могут быть подразделены на три класса: высокошумные (превышение гигиенических норм более 10 дБ), среднешумные (превышение норм – 5-12 дБ) и малошумные (без превышения норм или с их превышением в пределах 5 дБ). Превышение гигиенических норм в спектрах шума наблюдается на частотах выше 500 Гц, т.е., главным образом, в средне и высокочастотной области спектра.

Сравнение шумовых характеристик отечественных машин с зарубежными (по литературным данным и полученных нами прямым измерением) позволяет заключить, что шумовые характеристики серийного оборудования в настоящее время в целом равнозначны. Большинство машин высокошумные.

Дальнейшие исследования проводились с целью создания оптимальных вариантов проектирования малошумных редукторных систем металлорежущего и технологического оборудования, позволяющих на ранних этапах проектирования разработать методики расчетной количественной оценки шума зубчатых передач.

Разработка оптимального варианта проектирования малошумных редукторных систем

Исследование виброакустических характеристик металлорежущих станков с использованием методов локализация генераторов и излучателей шума позволяет сделать следующие выводы:

частотные спектры уровней шума и вибрации являются практически сплошными, почти на каждом из них можно выделить группы интенсивных составляющих зубцовых частот и их высшие гармоники, а также частоты, определяемые кинематическими погрешностями делительных пар зубофрезерных станков. На средних и высоких частотах уровень вибрации в области подшипниковых опор зубчатых передач менее уровня воздушного шума на 6-14 дБ;

исследованием спектра виброакустического сигнала металлорежущих станков, имеющих различные конструктивные и кинематические особенности, установлена принципиально одинаковая структура сигналов, где доминирует зубцовая частота контакта зубьев и ее высшие гармоники первых четырех зубчатых передач привода станка. Однако нельзя однозначно утверждать, что остальные зубчатые колеса не влияют на шумоизлучение станка;

металлорежущее оборудование, имеющее сложные кинематические и конструктивные особенности, содержит несколько независимых источников акустической энергии – корпусные элементы коробки скоростей, станина и ограждающие конструкции станка;

шум во внешнее пространство от зубчатых колес может проникать двумя путями: первый – звуковые волны от работы зубчатого зацепления через воздушный промежуток воздействуют непосредственно на корпусные и ограждающие конструкции станка. Под действием звуковых волн в них возбуждаются колебания, и излучается шум, второй – звуковая вибрация от источника по валам, через станину, опорные конструкции и стыковые соединения передается на внешние ограждающие конструкции, которые начинают колебаться и излучать шум;

в ограждающих конструкциях металлорежущих станков имеются технологические отверстия (вентиляционные каналы, смотровые окна и т.д.). Наличие обязательных стыковых соединений сопровождается щелевыми отверстиями и неплотностями. Шум металлорежущих станков складывается из шума, излучаемого корпусными и ограждающими конструкциями, колеблющимися под действием шума внутри них, и вследствие передающихся на них вибраций, шума излучаемого станиной и шума, проходящего через отверстия и неплотности.

снижение шума металлорежущих станков может быть реализовано за счет снижения колебательной энергии в источнике его образования, на пути и в местах распространения.

Механический привод представим как совокупность двух независимых источников, один из которых излучает звуковую энергию W только в воздух в виде шума, а второй только в корпус и дополнительные жесткие связи (ограждающие конструкции) в виде

звуковой вибрации W_c . Определение степени влияния структурного шума при работе зубчатых механизмов оказывается задачей более сложной, чем при других типах источников. Это обусловлено в первую очередь тем, что для зубчатых механизмов соотношение акустических

мощностей $\frac{W_B}{W_c}$ может изменяться в довольно широких пределах. Кроме того, степень влияния структурного шума зависит от конструктивных особенностей корпусных деталей оборудования, и от взаимного расположения источников. Внешние нагрузки, возбуждающие реальную конструкцию, как правило, имеют широкополосный спектр, что приводит к многорезонансной реакции в области средних частот ($f > 100$ Гц). Причем плотность резонансов оказывается настолько высокой, что их экспериментальное обнаружение является уже практически нецелесообразным. Комплексные исследования кинематических, конструктивных, виброакустических характеристик металлорежущих станков не позволяют определить отдельные вклады структурного (звуковая вибрация) и воздушного шума в общее звукоизлучение станка. Но оказывается возможным получить такие данные косвенным путем.

В подходе идентификации источников шумоизлучения редукторных систем оборудования использован статистический (энергетический) метод. При известной идеализации реальных условий дает возможность описать процессы распространения упругих колебаний в сложной конструкции при помощи системы алгебраических или простых дифференциальных уравнений. При этом каждый обособленный элемент конструкции рассматривается обобщенно и характеризуется средней колебательной скоростью (ускорением).

Значения $W_{пл}$ для всех пластин, образующих корпус любой конструкции, можно определить, исходя из уравнений энергетического баланса, составляемых для каждой из пластин. Уравнение энергетического баланса для отдельной пластины можно записать, приравняв колебательную энергию, поступающую от установленных на ней источников и из связанных непосредственно с ней других пластин, колебательной энергии, теряемой пластиной за счет поглощения и ухода в другие пластины. В соответствии со сказанным для n -й пластины, входящей в состав конструкций из p пластин, уравнение энергетического баланса примет вид [3,4]:

$$W_n + \sum_{i=1}^p \alpha_{in} L_{in} q_i - \sum_{i=1}^p \alpha_{ni} L_{ni} q_i - \delta_n S_n q_n = 0 \quad (1)$$

где q_n – поток энергии в пластине n , для изгибных волн $q_n = 2c_{н.пл.} w_{пл.}$; W_n – колебательная энергия, поступающая в n -ю пластину от установленных на ней источников; α_{in} – коэффициент передачи энергии из пластины i в пластину n ; $\alpha_{in} = \frac{\langle t_{in} \rangle_\varphi}{\pi}$; $\langle t_{in} \rangle_\varphi$ – коэффициент прохождения энергии из пластины i в пластину; δ_n – коэффициент поглощения энергии в пластине n , $\delta_n = \frac{\eta_n \omega}{2c_{н.пл.}}$; $L_{in} = L_{ni}$ – протяженность линии соединения пластин i и n ; η_n – коэффициент потерь в пластине n .

Второй член в уравнении (1) определяет количество энергии, поступившей в пластину n из всех остальных пластин, третий член – количество энергии, отдаваемой пластиной n в остальные пластины, четвертый член – количество энергии, поглощаемой в пластине n . Для пластин, не соединяющихся непосредственно с пластиной n , $\alpha_{in} = \alpha_{ni} = 0$; кроме того, $\alpha_{ii} = 0$.

Записав p уравнений, подобных (1), и решив систему полученных уравнений относительно искомых величин q_n , найдем значения среднеквадратичных амплитуд колебательных скоростей звуковой вибрации в пластинах корпусных элементов редукторных систем

машин и оборудования $\langle \dot{\xi}_n^2 \rangle = \frac{q_n}{2c_{н.пл.} m_{пл.}}$. В случае гармонических колебаний абсолютные значения $\dot{\xi}$ и $\ddot{\xi}$ связаны соотношением

$$\dot{\xi} = \frac{\ddot{\xi}}{\omega}, \quad (2)$$

где $\dot{\xi}$ и $\ddot{\xi}$ соответственно, виброскорость и виброускорение.

Вся колебательная энергия, заключенная в корпусном элементе площадью S , на котором расположены зубчатые передачи – источники вибрационного возбуждения, может быть выражена следующей зависимостью

$$W_n = \frac{mS}{2\omega^2} \cdot \langle \ddot{\xi}^2 \rangle_S, \quad (3)$$

где $\langle \ddot{\xi}^2 \rangle_{\Delta f} = \xi_0^2 \cdot 10^{\frac{L_{\xi}}{10}}$ – средний квадрат колебательного ускорения по поверхности и по времени в полосе частот; ξ_0 – пороговое значение виброускорения; L_{ξ} – измеренный уровень виброускорения.

Решив систему уравнений (1) относительно искомым величин q_{in} (потоков колебательной энергии во всех корпусных элементах привода) определим средний квадрат колебательного ускорения по поверхности

$$\langle \ddot{\xi}^2 \rangle_{\Delta f} = \frac{2q\omega^2}{c_{ip}m} \quad (4)$$

Для оценки звукового давления $L_0(\text{дБ})$ в полосе частот Δf , создаваемого колеблющейся пластиной на расстоянии R от ее центра тяжести, используем следующие выражения [5]

$$L_0 = \ddot{L}_{\xi} + \Delta, \quad (5)$$

$$\text{где } \Delta = 10 \lg a l \gamma_{cp} - 20 \lg R - 20 \lg f + 56, \quad (6)$$

$\gamma_{cp} = \sum_{m_1}^{m_2} \frac{\gamma_m}{(m_2 - m_1 + 1)}$ – средний коэффициент излучения в полосе частот.

Выводы

Как видно из изложенного, представленный алгоритм определения параметров вибрации элементов редукторных систем металлорежущего и технологического оборудования, (например, корпусных элементов металлорежущих станков, ограждающих конструкций), позволяет рассчитывать их звуковое давление. Экспериментальный подход к решению подобных задач требует больших материальных затрат, связанных с дорогостоящим оборудованием и большим объемом работ, или вовсе невозможен.

Список литературы

1. Месхи Б.Ч. Улучшение условий труда операторов металлорежущих и деревообрабатывающих станков за счет снижения шума в рабочей зоне (теория и практика)/ ДГТУ. –Ростов н/Д, 2003. -131 с.
2. Чукарин А.Н. Влияние рабочего процесса на шумообразование полуавтомата для изготовления сетки из стального листа /А.Н. Чукарин, Г.В.

Самодуров, А.А. Феденко // Новое в экологии и безопасности жизнедеятельности: тр. Междунар. эколог. конгр., 14–16 июня / Балт. гос. техн. ун-т.–СПб., 2000. – Т.2.–С.226-229.

3. Никифоров А.С. Акустическое проектирование судовых конструкций: Справочник. – Л.: Судостроение, 1990.

4. Иванов Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: Учебник. /– М.: Логос, 2008. – 423 с.

5. Медведев А.М. Разработка и исследование средств снижения шума головных передач текстильных машин: дис. ...канд. техн. наук. – Л.: ЛИТЛП им. С.М. Кирова, 1988.

Scientific search of optimal variants of design of low-noise reduction systems for metal cutting and technological equipment

A.M. Medvedev, G.V. Litovka, A.V. Staniychuk

The article researches of a noise mode of metal-cutting machines in a wide range of revolting loadings are executed. It is established that machines some sources of acoustic energy – case elements of boxes of speeds contain. Complex researches of kinematic, constructive, vibroacoustic characteristics of metal-cutting machines don't allow to define separate party structural (sound vibration) and air noise in the general sound generation of the machine. Strategically optimum approach for definition of extent of influence of structural noise during the operation of gear mechanisms of the equipment at a design stage is developed.

Key words: Metal-cutting machines and technological equipment, noise generators and transducers, acoustic vibration, air-borne noise.

УДК 621.7:005.591.6:005.8

**ОПТИМИЗАЦИЯ СТОИМОСТИ ИННОВАЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ НА ПРОЕКТНЫХ
ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ
МАШИНОСТРОЕНИЯ**

*С.В. ЛУКИНА, доктор техн.наук, профессор
В.М. МАКАРОВ, доктор техн.наук, профессор,
М.В. КРУТЯКОВА, канд. техн. наук, доцент,
(МГМУ «МАМИ» Университет машиностроения, г.Москва)*

Лукина С.В. – 127055, г. Москва, ул. Большая Семеновская, 38
Московский государственный машиностроительный университет «МАМИ»
(Университет машиностроения),
e-mail: Lukina_SV@mail.ru

В статье рассматривается методика сравнительной оценки компоновок сборных машиностроительных конструкций по совокупности частных критериев, характеризующих стоимость инновационных решений. Методика реализована на примере оценки компоновок сборных режущих инструментов на проектных этапах жизненного цикла.

Ключевые слова: структурный синтез, компоновка, оценка альтернатив, стоимость инновационного решения.

Актуальной задачей современного производства является освоение и производство высокотехнологичных изделий машиностроения сборных конструкций различного целевого назначения, в частности, режущих и вспомогательных инструментов, узлов и агрегатов технологических машин и станков и т.д.

Любое высокотехнологичное изделие представляет собой сложную по конструкции и дорогостоящую систему, эффективность работы которой зависит от точности и качества исполнительных механизмов, и их структурной компоновки, то есть взаимного расположения элементов в пространстве относительно друг друга; а различные структурные и параметрические сочетания образуют множество конструктивных исполнений (конструкций) изделий. Агрегатный принцип конструирования позволяет повысить качество оборудования за счет полной взаимозаменяемости деталей узлов одной группы и типоразмера, снизить стоимость изготовления таких деталей за счет уменьшения длительности производственного цикла их изготовления.

С другой стороны, в условиях рыночной экономики и жесткой конкуренции недостаточно изготовить и поставить на рынок какую-либо новую конструкцию технологической машины или инструмента. Для того чтобы выйти на рынок, выдержать конкуренцию и принести

прибыль производителю необходимо и достаточно, чтобы новая конструкция обладала набором свойств, уровень показателей которых наилучшим образом отвечает требованиям потребителя с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений.

Проектный этап жизненного цикла высокотехнологичных изделий машиностроения достаточно сложен и трудоемок, поскольку требует синтеза и оценки большого количества сочетаний структурных вариантов и значений параметров исполнительных механизмов с целью выбора оптимального варианта, определяющего проектное инновационное решение [1].

В общем случае все множество возможных вариантов структурных компоновок может быть определено объединением:

$$K_t = x_s \bigcup_{i=1}^n \bigcup_{j=1}^m x_{ij} \cup x_t, \quad (1)$$

а множество конструктивных исполнений может быть определено произведением:

$$M_K = x_s \cdot x_t \prod_{i=1}^n \prod_{j=1}^m x_{ij}, \quad (2)$$

где x – наименование переменной, отражающей какой-либо конструктивный признак или параметр сборочного элемента инновационного изделия; i, j – переменная, характеризующая порядковый номер конструктивного элемента и параметра соответственно; x_s, x_t – переменные, характеризующие исходную и выходную информацию соответственно.

Выражения (1) и (2) в общем случае формируют множества допустимых альтернатив - вариантов структурных и конструктивных исполнений высокотехнологичных изделий машиностроения, в том числе и перспективные инновационные, в соответствии с условиями:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^n x_{sj} - \sum_{i=1}^n x_{is} = 1 \\ \sum_{j=1}^n x_{tj} - \sum_{i=1}^n x_{it} = -1 \\ \sum_{j=1}^n x_{ij} - \sum_{i=1}^n x_{ji} = 0, \quad (\forall i \in \{1, 2, \dots, n\}, i \neq s, i \neq t) \\ x_{ij} \cup \{0, 1\} (\forall i, j \in \{1, 2, \dots, n\}) \end{array} \right. \quad (3)$$

Система выражений (3) определяет следующие условия:

- каждый вариант структурной компоновки и конструктивного исполнения должен соответствовать полному сочетанию исходной информации;

- каждый вариант структурной компоновки и конструктивного исполнения может быть сравнительно оценен по совокупности частных критериев;

- каждому варианту структурной компоновки и конструктивного исполнения изделия должна соответствовать определенная совокупность геометрических, конструктивных, эксплуатационных и экономических параметров, однозначно его представляющая.

Условие (3) позволяет сформировать ориентированный граф сетевой структуры, описывающий множество допустимых альтернатив - вариантов структурных и конструктивных исполнений высокотехнологичных изделий машиностроения как множество обходных путей графа, которые формируются следующим образом.

Вначале необходимо задать количество слоев, которое определяет какой-либо конструктивный признак сборочного элемента. Далее следует задать глубину каждого слоя, которая определяет варианты исполнений каждого конструктивного признака сборочного элемента. При формировании сетевой структуры, концептуально описывающей какой-либо класс сборочных элементов изделий, величины, определяющие количество и глубины слоев, будут бесконечными. Последнее необходимо предусмотреть для того, чтобы обеспечить единство сетевой структуры и индексации ее вершин при дополнении новыми конструктивными признаками или вариантами их исполнений, что необходимо при создании новых конструкций высокотехнологичных изделий машиностроения. При этом следует отметить, что при формировании сетевой структуры для заданной совокупности сборочных элементов изделий, например с использованием каталогов производителей, количество конструктивных признаков и вариантов их исполнений являются величинами конечными.

Так, например, множество вариантов структурных компоновок сборных режущих инструментов может быть представлено следующей совокупностью элементов, наиболее общих для различных типов инструментов: x_{11} – корпус или державка; x_{12} – узел крепления кольца корпуса; x_{1n} – кассета; x_{21} – узел установки опорной пластины; x_{22} – узел крепления опорной пластины; x_{23} – опорная пластина; x_{31} – узел установки стружколома; x_{32} – узел крепления стружколома; x_{33} –

стружколом; x_{41} – узел крепления режущей пластины; x_{42} – режущая пластина и другие элементы (рис.1).

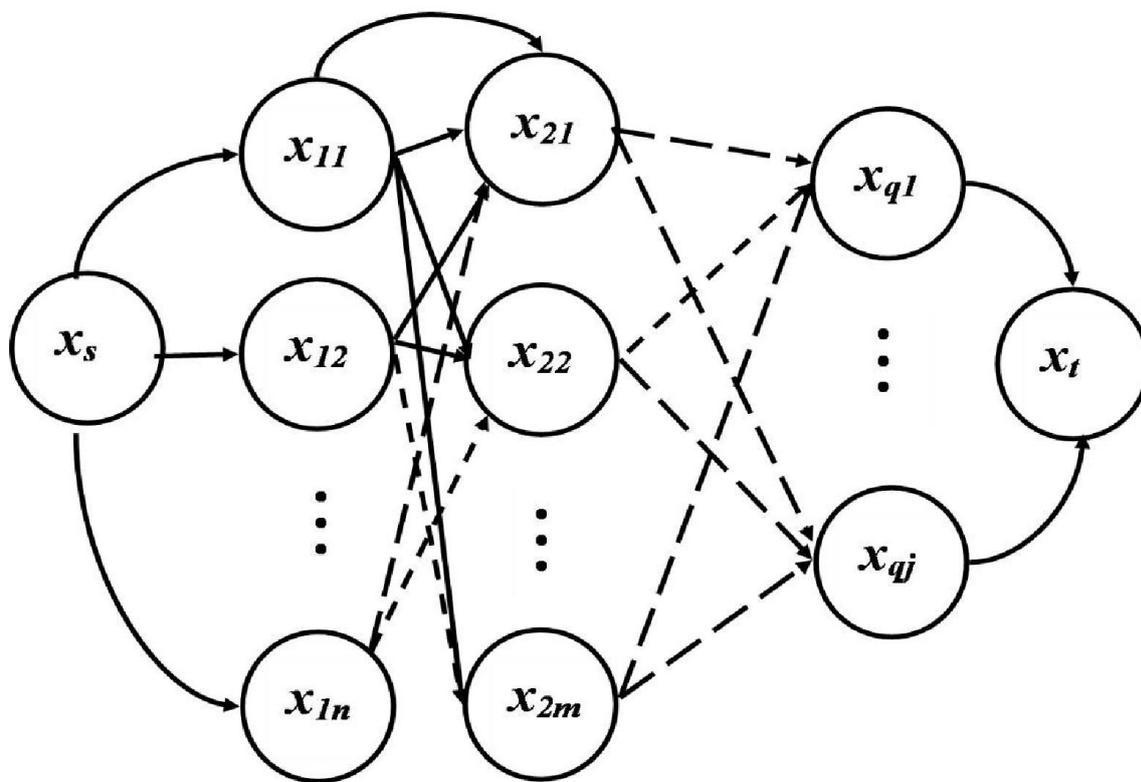


Рис.1. Граф формирования вариантов структурных компоновок сборных режущих инструментов [1]

Уровень качества изделий машиностроения следует оценивать по совокупности десяти основных показателей: назначения, характеризующего основные свойства изделия, определяющие его основные функции; надежности, определяющего стабильность качества изделия вследствие сохранения высоких показателей назначения в течение заданного времени; эргономичности, объединяющего физиологические, антропометрические, гигиенические и психологические показатели; эстетичности, определяющего показатели информационной выразительности, рациональности формы, целостности компоновки; технологичности, характеризующего свойства изделия, обуславливающие оптимальное распределение затрат материалов, средств, труда и времени при технологической подготовке производства, изготовлении и эксплуатации; унификации, отражающего насыщенность изделия стандартными и оригинальными составными элементами, а также уровень унификации с другими составляющими технологической системы; патентно-правового, характеризующего патентную чистоту изделия; экологичности,

определяющего уровень вредного воздействия на окружающую среду; безопасности, характеризующего уровень безопасности для человека при эксплуатации изделия; экономичности, отражающего затраты на производство и эксплуатацию изделия [2].

Сравнительную оценку вариантов изделий корректно проводить по частным показателям, количественно приведенным к показателям качества и аналитически выраженным через систему геометрических, конструктивных и эксплуатационных параметров изделий [2].

Например, множество частных технико-экономических показателей качества для вариантов структурных компоновок сборных режущих инструментов может быть сформировано на основе анализа обобщенных критериев эффективности - себестоимости и производительности операции металлообработки.

Например, для вариантов конструкций инновационных сборных режущих инструментов величины, численно характеризующие переменные составляющие нормы времени и производительности операции металлообработки следует определять по выражениям:

$$\Phi_{t_j} = \Phi_{t_0} + x_{гр} \cdot x_k \frac{\Phi_{t_0}}{T_j} \rightarrow \min, \quad \Phi_{П_j} = \frac{T_j}{\Phi_{t_0} (T_j + x_{гр} \cdot x_k)} \rightarrow \max,$$

где Φ_{t_0} - переменная составляющая основного времени на операцию металлообработки; $x_{гр}$ - количество рабочих граней режущего элемента; x_k - количество режущих элементов; T_j - средняя стойкость инновационного инструмента между двумя восстановлениями.

Величины, численно характеризующие переменные составляющие технологической себестоимости операции металлообработки с использованием вариантов конструкций инновационных инструментов и технологической себестоимости обработки поверхности, следует определять по выражениям:

$$\Phi_c = \sum_{i=1}^{l_1} (\Phi_{Кин_i} + K_c) \cdot \Phi_{t_{ni}} \rightarrow \min, \quad \Phi_{Сппо} = \sum_{j=1}^{n_{ТП}} \sum_{i=1}^{l_1} (\Phi_{Кин_i} + K_c) \cdot \Phi_{t_{nij}} \rightarrow \min,$$

где $\Phi_{Кин_j}$ - величина, численно характеризующая переменную составляющую затрат на инструмент; K_c - коэффициент, определяющий долю затрат на инструмент к затратам на заработную плату и электроэнергию; $j=1, \dots, n_{ТП}$ - количество операций технологического процесса обработки поверхности.

Окончательную оценку уровня качества проектного решения следует производить по обобщенному показателю качества $\Phi_{Кср}$, представляющему собой аддитивную свертку частных критериев, сформированных по совокупности десяти основных показателей:

$$\Phi_{K_{cp}} = \sum_{j=1}^{10} \sum_{i=1}^p b_{ij} K_{зн_i} \rightarrow \max, \quad (4)$$

где b_{ij} - значение частного показателя качества изделия; $K_{зн_i}$ - параметр значимости i -го показателя качества; p - общее число частных критериев, подлежащих учету.

Согласно (4) наивысшим качеством будет обладать вариант конструкции изделия с максимальным значением обобщенного показателя качества.

При наличии одного критерия предпочтения, задача выбора оптимального варианта конструкции инструмента сводится к поиску минимального или максимального пути в ориентированном графе вариантов структурных и конструктивных исполнений высокотехнологичных изделий машиностроения, соответствующему минимальному или максимальному значению целевой функции частного критерия. При необходимости учета множества критериев предпочтения выбор оптимального варианта конструкции изделия сводится к расчету аддитивной или мультипликативной свертки частных критериев:

$$\Phi_{ад} = \sum_{i=1}^g \Phi_i K_{зн_i} - \sum_{j=1}^q \Phi_j K_{зн_j} \rightarrow \max, \quad \Phi_m = \prod_{i=1}^g \Phi_i / \prod_{j=1}^q \Phi_j \rightarrow \max, \quad (5)$$

где g, q - число максимизируемых и минимизируемых частных критериев соответственно; Φ_i, Φ_j - целевые функции частных критериев предпочтения; $K_{зн_i}, K_{зн_j}$ - коэффициент значимости i -го и j -го частного критерия предпочтения соответственно.

Сравнительная стоимость разработанного инновационного решения может быть оценена следующим образом:

$$C_n = K_{цср} \cdot \Phi \rightarrow \min,$$

где Φ - значение обобщенного показателя качества инновационного решения, рассчитанное по выражениям (1) - (5); $K_{цср}$ - средний ценностный множитель.

Численное значение ценностного множителя рассчитывается по данным существующего аналога, показатели качества которого могут быть оценены по выделенной системе значимых частных критериев условными баллами.

Разработанная методика оценки стоимости инновационных решений автоматизирована с использованием электронных таблиц Microsoft Excel. Проведенная серия численных экспериментов показала работоспособность методики для выбора оптимальных конструкций сборных режущих инструментов, круглых и шлицевых

протяжек, шпиндельных узлов токарных станков и структур средств оснащения металлообрабатывающих производств.

Список литературы

1. Лукина С.В. Моделирование процедур формирования и выбора структурных компоновок сборных режущих инструментов на основе сетевых граф-моделей// *Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты.* – 2009. - №2. - с.28-30.

2. Лукина С.В. Оценка конкурентоспособности сборных металлорежущих инструментов на этапе их проектирования и выбора // *Сборка в машиностроении, приборостроении.*– 2011. - №9. -с.3-8.

Optimization of cost for innovative solutions for the design phase life cycle of the high-tech machine building details

S.V. Lukina, V.M. Makarov, M.V. Krutjakova

The technique of a comparative assessment of configurations of combined machine-building designs on set of the private criteria characterizing cost of innovative solutions was developed. The technique was realized on the example of an assessment of configurations of combined cutting tools at design stages of life cycle.

Key words: structural synthesis, configuration, assessment of alternatives, cost of an innovative solution.

УДК 621.9.02

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ ИЗ СЛОИСТЫХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ ПО УСЛОВИЮ ОТСУТСТВИЯ МЕЖСЛОЙНЫХ ТРЕЩИН

*С. И. ПЕТРУШИН, доктор техн. наук, профессор
(ЮТИ НИ ТПУ, г. Юрга)*

Петрушин С. И. – 652050, г. Юрга, Кемеровской обл., ул. Ленинградская, 26
Юргинский технологический институт
Национального исследовательского Томского политехнического университета,
e-mail: psi@tpu.ru

Приведена методика и результаты расчетов границ появления межслойных трещин из-за наличия термических остаточных напряжений в слоистых инструментальных композиционных материалах.

Ключевые слова: Слоистые композиционные материалы; межслойные трещины; термические остаточные напряжения; инструментальные композиты.

1. Введение

Лезвие инструмента должно обладать хорошими режущими свойствами, а именно: иметь одновременно высокие прочность, твердость, износостойкость, жесткость, теплостойкость и коррозионную стойкость. Удовлетворить этим подчас противоречивым требованиям чрезвычайно трудно и поэтому долговечность режущих инструментов составляет всего часы и минуты интенсивной эксплуатации в отличие от других деталей машин и конструкций, рассчитанных на годы своего жизненного цикла. Одним из главных путей создания лезвийных режущих инструментов качественно нового уровня, соответствующим экстремальным условиям эксплуатации при резании, является их проектирование и изготовление из композиционных инструментальных материалов [1].

Прочность многослойных композиционных материалов (КМ) определяется не только пределами прочности материалов слоев, но и межслойной прочностью. Часто именно прочность границы между двумя смежными слоями является лимитирующей с точки зрения обеспечения сплошности композита. Обусловлено это тем, что изготовление КМ сопровождается нагревом изделия до значительной температуры (T_E). После спекания, наплавки, нанесения покрытия, послойного синтеза и т.п. происходит охлаждение композита до температуры окружающей среды (T_O). При этом в связи с различием в значениях коэффициента линейного расширения (КЛР) между двумя смежными слоями на их границе возникают термические

остаточные напряжения (ТОН). В случае превышения ими предела прочности материала какого-либо слоя возникают холодные межслойные трещины, и КМ становится непригодным для работы в данном изделии.

Когда величина ТОН меньше пределов прочности материалов слоев, монолитность КМ обеспечивается, однако их наличие может снизить прочностные характеристики изделия. Слой материала с большим КЛР при охлаждении стремится сократить свои размеры больше, чем слой с меньшим КЛР. В результате первый слой будет растянут вторым, а второй будет сжат первым. В материале с большим КЛР возникнут растягивающие ТОН, а в материале с меньшим КЛР – сжимающие ТОН.

2. Теория

В работе [2] автором предложена методика расчета ТОН в слоистых КМ, на основе которой были установлены границы для отношения толщин смежных слоев из разных материалов, обеспечивающие условия отсутствия межслойных трещин:

$$\text{- при } \alpha_1 > \alpha_2 \text{ - } \frac{h_1}{h_2} \geq \left[E_1 \Delta T (\alpha_1 - \alpha_2) k - (1 - \mu_1) \sigma_{b1} \right] \frac{E_2 (1 - \mu_2)}{E_1 \sigma_{b1}}; \quad (1)$$

$$\text{- при } \alpha_1 < \alpha_2 \text{ - } \frac{h_1}{h_2} \leq \frac{\sigma_{b2} E_2}{\left[\Delta T (\alpha_2 - \alpha_1) k E_2 - (1 - \mu_2) \sigma_{b2} \right] E_1 (1 - \mu_1)}, \quad (2)$$

где $\alpha_1, E_1, \mu_1, \sigma_{b1}, h_1$ - КЛР, модуль упругости, коэффициент Пуассона, предел прочности на растяжение и толщина верхнего слоя КМ; $\alpha_2, E_2, \mu_2, \sigma_{b2}, h_2$ - то же, для нижнего слоя; $\Delta T = T_{\dot{E}} - T_0$ - разница температур синтеза КМ и окружающей среды; k - коэффициент запаса (не менее 1,5).

В случае проектирования КМ с тонкими износостойкими покрытиями, когда толщина верхнего слоя мала по сравнению с толщиной подложки, из выражения (2) получим ограничение для величины α_2 , устраняющее отслаивание покрытия:

$$\alpha_2 \leq \alpha_1 + \frac{\sigma_{b2}}{\Delta T k} \left[\frac{1}{E_1 (1 - \mu_1)} + \frac{1 - \mu_2}{E_2} \right]. \quad (3)$$

Для $\alpha_1 > \alpha_2$ из неравенства (1) имеем:

$$\alpha_2 \leq \alpha_1 - \frac{(1 - \mu_1) \sigma_{b1}}{E_1 \Delta T k}. \quad (4)$$

3. Результаты и обсуждение

На рис. 1 представлен пример расчета границ трещиностойкости по (1) и (2) для двухслойного КМ, состоящего из Стали 60 ($\sigma_b = 1500$ МПа; $\alpha = 11,5 \cdot 10^{-6} 1/^\circ C$; $\mu = 0,3$; $E = 218500$ МПа) и вольфрамокобальтового твердого сплава ВК8 ($\sigma_b = 1590$ МПа; $\alpha = 5,1 \cdot 10^{-6} 1/^\circ C$; $\mu = 0,23$; $E = 598400$ МПа). Из него следует, что отношение толщин слоев существенно зависит от рабочей температуры изготовления КМ. Термические трещины будут полностью отсутствовать при нагреве не выше $500^\circ C$, что соответствует, например, условиям низкотемпературной пайки мягкими припоями. При большей температуре процесса (пайка твердыми припоями, совместное спекание порошков и др.) следует обязательно учитывать соотношение толщин слоев КМ. Как следует из рис. 1, при $\alpha_1 > \alpha_2$ с увеличением рабочей температуры толщина верхнего слоя КМ должна возрастать прямо пропорционально, а при $\alpha_1 < \alpha_2$ – уменьшаться по гиперболической зависимости.

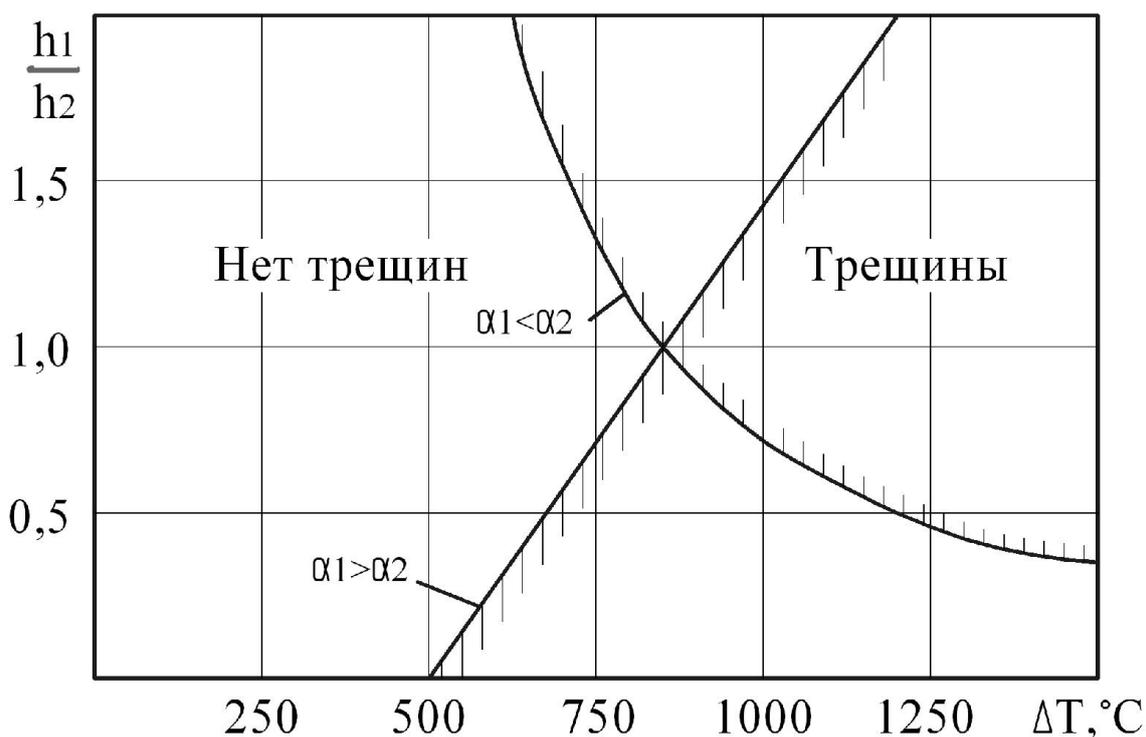


Рис. 1. Границы трещиностойкости для двухслойного КМ ВК8 – Сталь 60

Результаты расчетов по формулам (3) и (4) для аналогичного КМ приведены на рис. 2. Здесь, в зависимости от температуры синтеза КМ из принятых материалов, даны границы ($628^\circ C$ для $\alpha_1 > \alpha_2$ и $839^\circ C$ для $\alpha_1 < \alpha_2$), при переходе через которые происходит отслаивание тонкого покрытия.

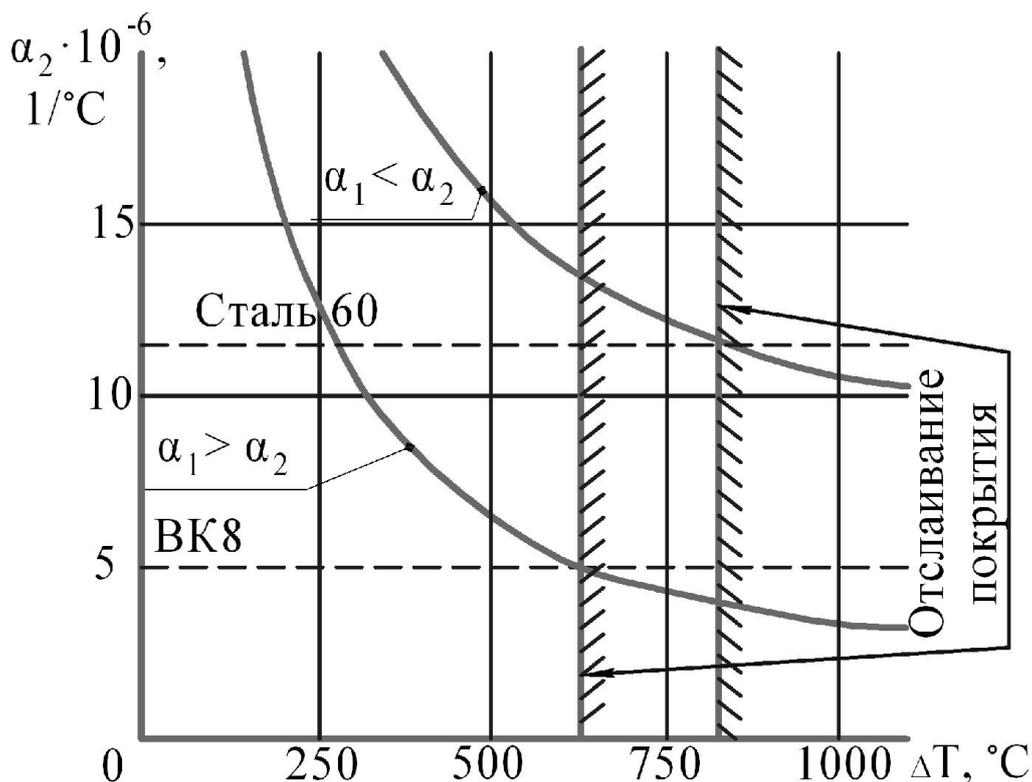


Рис. 2. Границы отслаивания тонких покрытий для КМ ВК8 – Сталь 60

До сих пор рассматривались слоистые композиты, каждый слой которых выполнен из одного и того же материала. Если при этом условие (2.7) дает неприемлемые для функционирования КМ значения отношения толщины смежных слоев, можно достичь цели проектирования путем введения между ними промежуточного слоя, состоящего из смеси исходных слоев. Наиболее просто можно изготовить такого рода КМ методами порошковой металлургии. При этом физико-механические характеристики промежуточного слоя определяются согласно правилу смесей. В диссертационных работах [3, 4], выполненных под руководством автора, приведены подробные расчеты сочетаемости слоев инструментальных материалов, как по соотношению толщин слоев, так и по структуре промежуточного слоя.

4. Вывод

Таким образом, слоистые КМ могут до начала их эксплуатации иметь внутри своей структуры термические остаточные напряжения, величина которых зависит от рабочей температуры изготовления КМ и от разницы в значениях коэффициента термического линейного расширения материалов слоев. Этот факт необходимо учитывать при проектировании изделий из слоистых КМ, так как эксплуатационные напряжения алгебраически складываясь с ТОН, могут привести либо к расслоению КМ, либо, наоборот, к

повышению запаса его прочности. Следует отметить, что когда рабочая температура эксплуатации будет совпадать с рабочей температурой изготовления КМ, тогда влияние ТОН будет минимальным.

Список литературы

1. Петрушин С. И. Оптимальное проектирование рабочей части режущих инструментов. – Томск, Изд. ТПУ. – 2008. – 195 с.
2. Petrushin S.I. Calculation of thermal residual stresses in multilayer composite materials // Applied Mechanics and Materials. – 2013 – Vol. 379. – pp. 124 – 130.
3. Дуреев В. В. Повышение работоспособности составных композиционных сменных многогранных пластин для режущих инструментов. – 05.03.01. – Дисс... канд. техн. наук. – Томск, 2010. – 179 с.
4. Ретюнский О.Ю. Исследование прочностных и режущих свойств резцов с композиционными сменными многогранными пластинами. Дисс... канд. техн. наук: 05.03.01. –Юрга, 2000. - 151 с.

Designing the layered composite cutting point on condition of being interlaminar crack free

S. I. Petrushin

The author provides the method and the results of calculations for the area of interlaminar cracking due to residual thermal stress in the layered tool composite materials.

Key words: Layered composite materials; interlaminar cracks; residual thermal stress; tool composites.

УДК 637.513.45

НОВЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ РЕЖУЩЕГО МЕХАНИЗМА ВОЛЧКОВ

Б.С. ТОЛЫСБАЕВ, доктор экон. наук, профессор,

(ЕНУ им. Л.Гумилева, г. Астана)

К.С. БЕКБАЕВ., канд. техн. наук,

(КАТУ им. С.Сейфуллина, г. Астана)

Р.С. БЕКБАЕВА, канд. техн. Наук

(СГУ им. Шакарима, г. Семей)

Толысбаев Б.С. – 000001, Казахстан, г. Астана, ул. Абылайхана, 6/7,
Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева,
e-mail: tol_b@mail.ru

На основании исследования предложены новые конструктивные решения режущего механизма волчков

Ключевые слова: Нож, решетка, режущий механизм

Введение

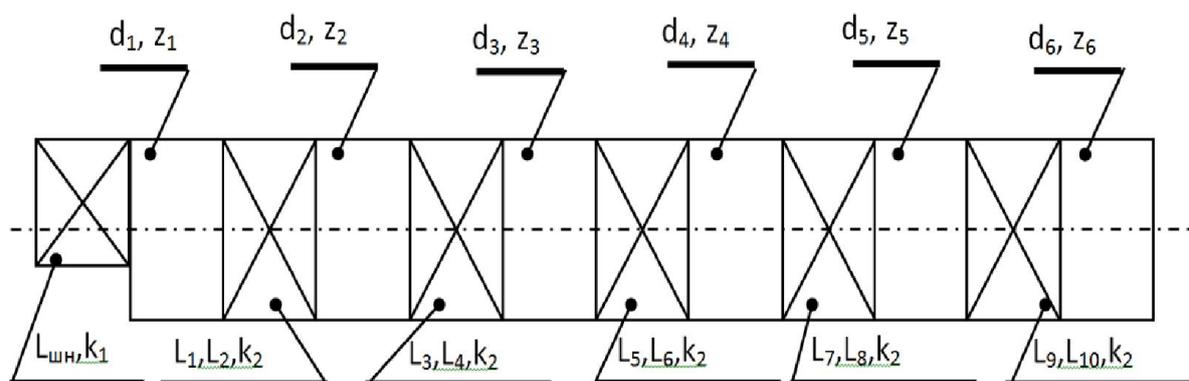
В настоящее время, когда рынок мясоперерабатывающего оборудования достаточно сильно насыщен предложениями от различных производителей (России, Украины и Белоруссии, Германии, Австрии, Дании, Швеции, Италии), разобраться в правильном выборе волчков является довольно непростой задачей. Высокотехнологичные зарубежные аналоги волчков обеспечивает высокое качество сборки и достаточную надежность работы оборудования, однако такие машины требуют особого внимания со стороны обслуживающего персонала, своевременной замены расходных материалов и запчастей, проведения плановых сервисных работ.

Следует также отметить, что до настоящего времени нет четких рекомендаций по использованию определенного типа и формы элементов режущего механизма. В связи с этим возникает необходимость оптимизировать геометрические формы режущих кромок ножей, в частности по расходу энергии на процесс и качеству готового продукта.

Исследовательская часть

Анализ результатов экспериментальных работ показал, что одним из главных недостатков волчков является отсутствие процесса резания между транспортирующим и режущим механизмами, а также перемещение измельчаемого мяса в пространстве между рабочим цилиндром и периферией крестовидных ножей. Эти недостатки приводят к наворачиванию жилок в пространстве между последним витком шнека и передней поверхностью приемной решетки, а также перетиранию измельчаемого мяса в пространствах между элементами режущего механизма.

Для устранения вышеуказанных недостатков нами была разработана новая конструкция ножа [1] для использования в режущем механизме волчков, состоящего из дополнительного однолопастного шнек-ножа и трех (приемной, промежуточной и выходной) решеток традиционной конструкции (рисунок 1).



Обозначения: d_i – диаметр отверстий решеток; z_i – количество отверстий решеток; L_i – длина режущих кромок ножей; k_i – количество лопастей ножей; $L_{ш.н.}$ – длина режущей кромки шнек-ножа.

Рис.1. Расчетная схема режущего механизма волчка:

Результаты исследования показали, что во всех точках прямолинейных $I_{вх}$, $III_{вых}$ и криволинейных $II_{вх}$, $III_{вх}$, $IV_{вх}$, $I_{вых}$, $II_{вых}$, $IV_{вых}$ участках входных и выходных режущих плоскостей разработанного ножа осуществляется скользящее резание, а на пересечениях движения точек входной кромки F и G, выходной кромки L и M имеет место рубящее резание, так как нормальная составляющая скорости $V_n = V$, тангенциальная составляющая скорости $V_t = 0$.

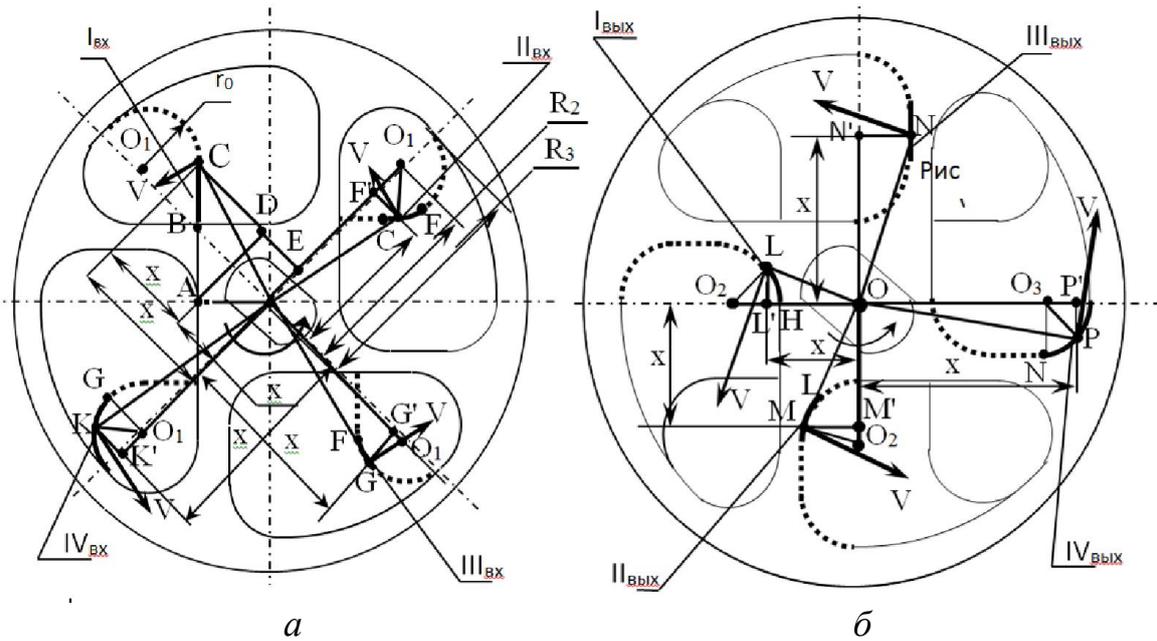


Рис. 2. Схема входной (а) и выходной (б) режущих плоскостей ножа

Данные расчетные схемы позволили получить обобщенную зависимость ширины разреза мясного сырья режущими механизмами различной конструкции

$$a = \left[L_{ш.н.} + \frac{\pi \cdot d_1 \cdot z_1}{2} \right] \cdot x_1 + \left[m \cdot (L_{вх} + L_{вых}) + \frac{\pi}{2} \cdot (d_1 \cdot z_1) + 2 \cdot \sum_{i=2}^m d_i \cdot z_i + d_{m+1} \cdot z_{m+1} \right] \cdot x_2$$

где m – количество ножей.

На основании обобщенной формулы вычислили и построили гистограмму зависимости ширины разреза мясного сырья элементами режущего механизма волчка МИМ-300 от плоскостей резания в соответствии с рисунком 3.

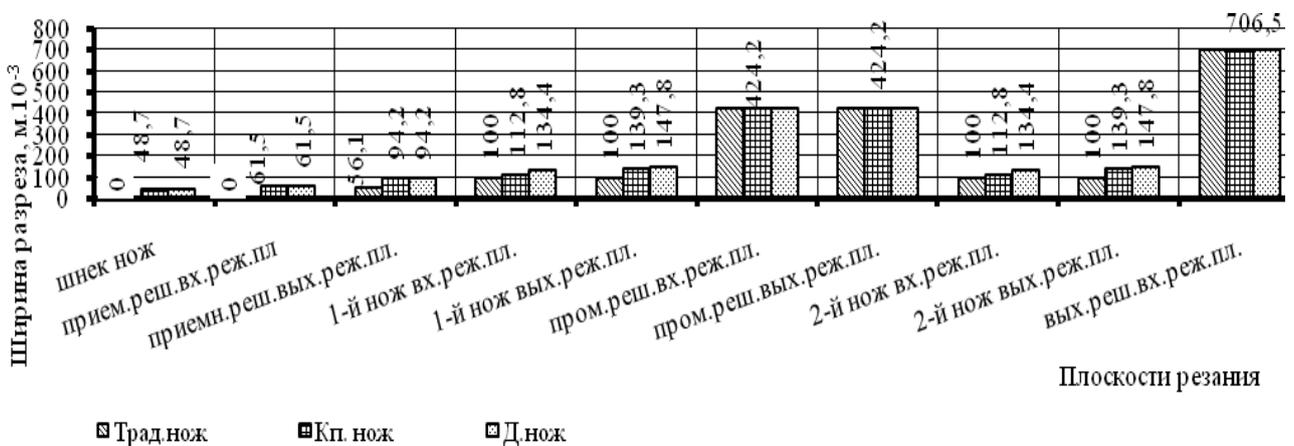


Рис.3. Гистограмма зависимости ширины разреза мясного сырья элементами режущего механизма волчка

Результаты и обсуждение

Результатом данного исследования является разработка нового режущего механизма и обобщенной формулы для вычисления ширины разреза режущих механизмов различной конструкции, что позволило определить следующее: 1. Режущий механизм традиционной конструкции не имеет ширины разреза мяса на участке между шнеком и приемной решеткой. 2. Ширины разреза мяса входными и выходными режущими плоскостями крестовидного ножа минимальные по сравнению с ножами с косо поставленными лопастями и дисковыми. 3. Ширины разреза промежуточными и выходными решетками не изменяются при смене положения. 4. Режущие механизмы с ножами с косо поставленными лопастями и дисковыми включают шнек-нож, а приемная решетка снабжена дополнительной режущей плоскостью со стороны транспортирующего механизма.

Выводы

Преимущество разработанного механизма по сравнению существующими механизмами заключается в следующем: Исключение наворачивания жилок на ножевой вал между шнеком и режущим механизмом; Исключение перетиранья и выжимания сока в пространстве между решетками; снижение температуры нагрева измельченного мяса (от 0°С до 0,5÷1°С) по сравнению с традиционными конструкциями (от 0°С до 8÷10°С); увеличение срока службы в два раза всех ножей и решеток механизма за счет симметричной конструкции каждого из этих элементов.

Список литературы

1. Предварительный патент №15137 РК. Ножевое устройство к измельчителям мяса. /Акимов М.М., Бекбаев К.С.; опубл. 15.12.2004, бюл. №12.

New design solutions macerator grinders

B. S. Tolysbaev, K. S. Bekbayev, R. S. Bekbayeva

On the basis of study offered new designs cutter grinders

Key words: Knife, grating, cutting mechanism

УДК 621.357.7

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АБРАЗИВНЫХ ЧАСТИЦ
ПО ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ИНСТРУМЕНТА
НА МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ СВЯЗКЕ**

¹*А.В. ЛОБУНЕЦ, аспирант,*
²*В.Н. БЕЛЯЕВ, канд. тех. наук, доцент,*
¹*(БТИ АлтГТУ г. Бийск)*
²*(ОАО «ФНПЦ» АЛТАЙ», г. Бийск)*

Лобунец А.В.–659305, г. Бийск, ул. Трофимова, 27,
Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО АлтГТУ,
E-mail: mrsi@bti.secna.ru

Беляев В.Н.–659322, г. Бийск, ул. Социалистическая, 1,
ОАО «ФНПЦ» АЛТАЙ»,
E-mail: lab.nanodiamond@rambler.ru

В статье представлены материалы по моделированию процесса нанесения абразивных частиц при горизонтальной схеме расположения инструмента. При изготовлении абразивных инструментов на металлической связке.

Ключевые слова: абразивные инструменты, распределение частиц, математическая модель.

При изготовлении абразивных инструментов на металлической связке одним из важных условий является обеспечение равномерности и требуемого количества абразивных частиц на поверхности инструмента, так как от этого зависит его работоспособность. Одним из способов изготовления абразивного инструмента на металлической связке является его горизонтальное расположение и подача абразива при помощи дозаторов, в том числе изображенного на рисунке 1 [1]. При этом является актуальной разработка модели обеспечивающей взаимосвязь параметров осаждения и распределения абразивных зерен.

Первым этапом в описании процесса нанесения абразивных частиц является определение вид силы под действием, которой абразивные частицы движутся к поверхности инструмента. Возможны два варианта:

1. Осаждение частиц под действием гравитационных сил (седиментация);

2. Движение частиц под действием сил потока суспензии вытекающего из дозатора.

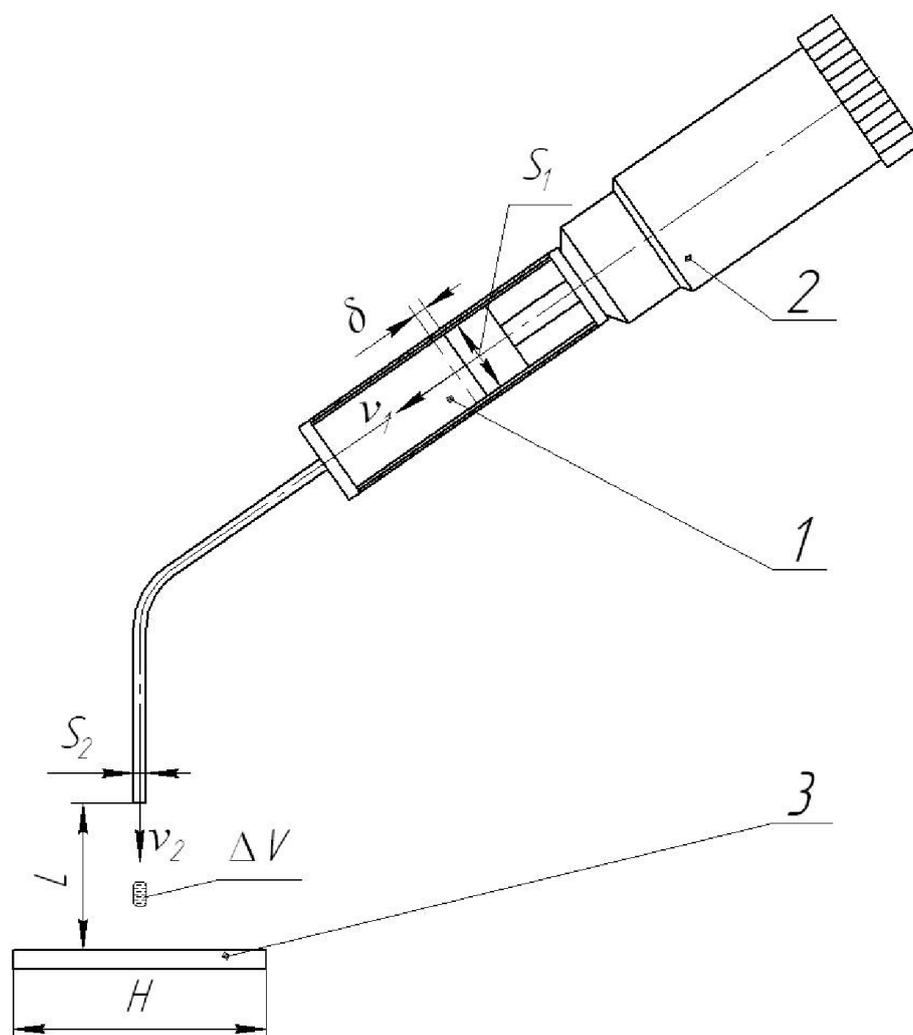


Рис. 1. Дозатор абразивных частиц:

1-полость для алмазной суспензии, 2-винт микрометрической подачи дозатора, 3-образец

Скорость потока суспензии на выходе из иглы дозатора определяется уравнением [2]:

$$v_1 s_1 = v_2 s_2, \quad (1)$$

где v_1 – скорость перемещения поршня дозатора (м/с);

S_1 - площадь поршня дозатора (м);

v_2 – скорость потока на выходе из иглы дозатора (м/с);

S_2 - площадь иглы дозатора (м).

Следовательно, скорость потока на выходе из иглы дозатора можно определить как:

$$v_2 = \frac{v_1 s_1}{s_2}, \quad (2)$$

Скорость седиментации частиц при допущении, что частица имеет сферическую форму можно определить из уравнения:

$$v_c = 5,45 \sqrt{a \frac{(\gamma_1 - \gamma_2)}{\gamma_2}}, \quad (3)$$

где a – размер частиц (м);
 γ_1 – удельный вес частицы;
 γ_2 – удельный вес электролита.

Для частиц другой формы скорость седиментации определяется из графических зависимостей [2].

Таким образом, для определения движущей силы абразивных частиц необходимо сравнить значение величин v_2 и v_c . В случае $v_c \geq v_2$ преобладает гравитационная сила, при $v_c < v_2$ – преобладает сила потока. Так например для абразивных частиц размером 50/40 мкм $v_c = 0,06$ м/с; $v_2 = 0,004$ м/с, т.о. частицы оседают под действием гравитации.

Для обеспечения нанесения частиц с требуемой частотой необходимо вычислить их количество:

$$n = Z_T \cdot S_{инст}, \quad (4)$$

где n – необходимое кол-во частиц;
 Z_T – максимальное количество частиц приходящихся на 1 мм²;
 $S_{инст}$ – покрываемая площадь инструмента.

Величина Z_T определяется как:

$$Z_T = \frac{10^6}{a^2}, \quad (5)$$

где a – размер зерна (мкм) [3].

Зная необходимое кол-во частиц можно определить необходимую концентрацию суспензии в дозаторе.

$$c = \frac{m}{V}, \quad (6)$$

где c – концентрация абразивных частиц;
 m – масса абразивного порошка;
 V – объем дозатора.

Для сферических частиц массу частиц можно определить о формуле:

$$m = \frac{1}{6} n \rho \pi a^3, \quad (7)$$

где n – необходимое кол-во частиц;
 ρ – плотность частиц;
 a – размер частицы.

Распределение абразивных частиц по поверхности инструмента зависит так же от высоты L (рисунок 1) (вследствие растекания суспензии по поверхности), с которой происходит дозирование частиц. При проведении экспериментальных исследований установлено распределение абразивных частиц, для различных высот дозировки (рисунок 2).

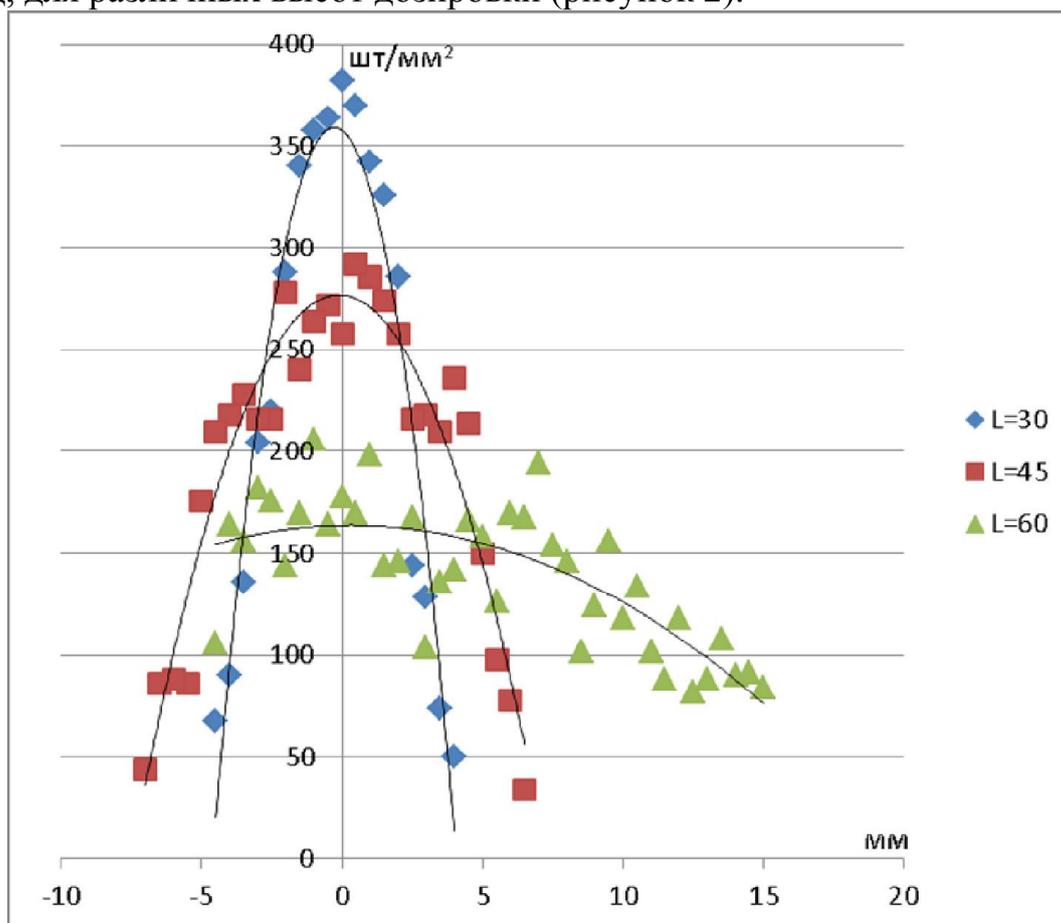


Рис. 2. Зависимости распределения абразивных частиц при различной высоте дозирования

На рисунке 2 по оси абсцисс – размер участка перекрытия, по оси ординат количество частиц приходящихся на мм². В результате аппроксимации экспериментальных значений получены уравнения кривых распределения частиц для высот дозирования 30, 45 и 60 мм:

$$\begin{cases} y_{30} = -18.95x^2 - 10.27x + 357.78; \\ y_{45} = -5.06x^2 - 1.07x + 277.12; \\ y_{60} = -0.4x^2 + 0.24x + 163.9. \end{cases} \quad (8)$$

Для обеспечения требуемой частоты и равномерности частиц по всей поверхности инструмента Н (рисунок 1) необходимо определить количество дозировок N при перемещении дозатора относительно поверхности инструмента. Для этого необходимо длину покрываемого инструмента Н разделить на размер участка перекрытия X.

$$N = \frac{H}{X},$$

где N – количество дозировок;
H – длина инструмента;
X – размер участка перекрытия.

Размер участка перекрытия X определяем при решении уравнений (8)

$$\begin{cases} X_{30} = \sqrt{76 - 0.2y}; \\ X_{45} = \sqrt{180 - 0.8y}; \\ X_{60} = \sqrt{1639 - 10y}. \end{cases} \quad (9)$$

Для работы с дозатором определяющей величиной воздействия является скорость поршня v_1 и величина перемещения поршня δ (рисунок 1).

Определить δ можно из выражения:

$$\delta = \frac{\Delta V}{S_1},$$

где ΔV – объем суспензии содержащий необходимое количество частиц для перекрытия участка размером X.

Необходимый объем суспензии для определения величины δ можно определить как

$$\Delta V = \frac{y \cdot \rho \cdot \pi \cdot a^2}{6c},$$

где y – необходимая частота распределения;
ρ – плотность частиц;
a – размер частицы;
c – концентрация частиц в дозаторе.

В результате проделанной работы был получен математический алгоритм, позволяющий по входным данным (размер абразивных частиц – a, необходимая плотность распределения – y и геометрическим параметрам дозатора S_1 – площадь поршня, S_2 – площадь иглы, рисунок 1) описать процесс нанесения абразивных частиц при горизонтальном расположении инструмента. Расчет позволяет определять все необходимые технологические параметры (c – концентрация суспензии, L – высота дозировки, X – размер участка

перекрытия) и режимы (v_1 – скорость перемещения поршня дозатора, N – количество дозировок, δ – ход поршня для единичной дозировки) для получения инструментов с заданными параметрами зернистости.

Список литературы

1. Лобунец А.В., Беляев В.Н. Повышение стойкости осевого режущего инструмента на металлической связке.// Инновации в машиностроении. Труды 4-ой международной научно-практической конференции. – Новосибирск: Изд-во НГТУ. – 2013. – С. 275-279.

2. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии М.: Химия, 1973.

3. Прудников Е.Л. Инструмент с алмазно-гальваническим покрытием. М.: Машиностроение, 1985. 93с.

Mathematical model abrasive particle distribution over the surface in tools in metal bond

A.V. Lobunets, V.N. Belyaev

The article presents the modeling process coating abrasive particles in horizontal position tool. In the manufacture of abrasive tools in metal bond.

Key words: abrasive tools, particle distribution, mathematical model.

УДК 621.77.014

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ОСАДКЕ ПЕРФОРИРОВАННОЙ ПЛАСТИНЫ

*Н.А.БОГДАНОВА, аспирант,
В.В.ЧЕРНОМАС, доктор техн. наук, профессор,
А.А.СОСНИН, канд. техн. наук
(ИМиМ ДВО РАН, г. Комсомольск-на-Амуре)*

Богданова Н.А. – 681005, г. Комсомольск-на-Амуре, ул. Metallургов, 1, Институт
машиноведения и металлургии ДВО РАН,
e-mail: joyful289@inbox.ru

Представлена методика проведения экспериментального исследования, позволяющая проследить процесс деформации неоднородного материала при его осадке в закрытой матрице. Исследовано влияние на изменение структуры перфорированной пластины таких факторов как: скорость деформирования и условия контакта в системе «образец-матрица-пуансон».

Ключевые слова: деформация, фронт уплотнения, перфорированная пластина.

1. Введение

На современном этапе развития машиностроения все большую популярность приобретают неоднородные материалы, в частности пористые. Выбор и расчет технологических параметров процесса изготовления изделий из таких материалов основан на физико-механических, технологических и эксплуатационных характеристиках поведения материала в процессе его деформирования. Однако механика поведения пористых материалов при их деформировании изучена недостаточно. В связи с этим целью данной работы является экспериментальное исследование процесса эволюции структуры неоднородного образца при его осадке в закрытой матрице.

2. Методика экспериментального исследования

Для проведения экспериментального исследования была разработана новая методика, позволяющая проследить картину эволюции деформации во времени [1,2]. Образцы выполнены в виде пластин размером 140×70×10,5 мм, по всей фронтальной плоскости которых равномерно распределены сквозные отверстия диаметром 4 мм, так что степень пористости равна 0,25. Материал образцов – скульптурный пластилин марки «Люкс».

Экспериментальный стенд, оборудованный на базе испытательной электромеханической машины Instron 3382 представлен на рис. 1. На рис. 2 показана сборная матрица, которая состоит из пуансона, рабочей камеры в виде параллелепипеда с прозрачными стенками, образующими пространство,

поперечное сечение которого соответствует размерам поперечного сечения образца. Толщина стенок 20 мм, материал – оргстекло марки ТОСН.



Рис.1. Стенд для проведения испытаний: 1 – образец; 2 – матрица; 3 – пуансон

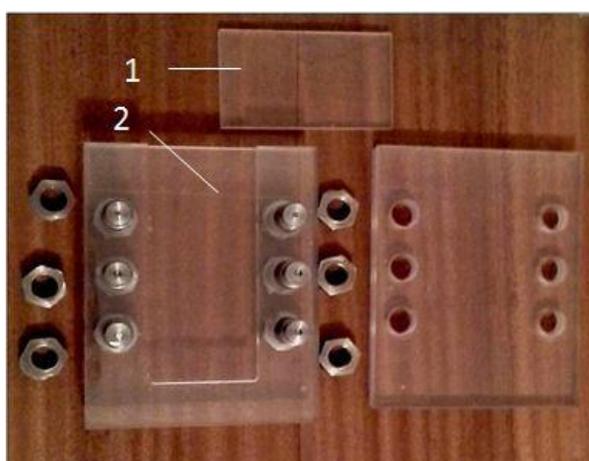


Рис.2. Сборная матрица. 1 – пуансон; 2 – рабочая камера

Для изучения влияния скорости перемещения пуансона на процесс деформирования, скорость устанавливали на двух уровнях – 0,5 мм/с (минимальная) и 5 мм/с (максимальная). Влияние условий контакта в системе

«образец – матрица - пуансон» задавали через идеальные значения фактора трения (f). Минимальное значение, которого ($f = 0$) соответствовало контакту образца со стенками матрицы и пуансоном через слой силиконовой смазки (ТУ 2384–032–56751830–2007), максимальное ($f = 1$) – контакту без смазывающего покрытия. Точное значение фактора трения можно вычислить с помощью закона трения Зибеля с уточнениями, характеризующими свойства материала и схему его деформирования [3].

Фиксирование процесса уплотнения производили высокоскоростной видеосъемкой через переднюю фронтальную стенку матрицы, подсвеченную контрольным светом через заднюю фронтальную стенку. Благодаря такому освещению, исключается образование контурных теней и бликов на видеозаписи, точно фиксируются изменения отверстий в процессе деформации.

С помощью программного пакета «Adobe Premiere Pro CS6» производилась раскадровка высокоскоростной видеосъемки с шагом кратным перемещению пуансона. Изображения масштабировали, и в среде программного пакета «Image-Pro. Plus», производили измерения геометрических параметров отверстий (площадь поперечного сечения, величины главных осей деформированных отверстий, углы поворотов наибольших осей относительно вертикали и положение центров отверстий в декартовых координатах). Точность измерений для угловых размеров составляла 0,1 градуса и 0,01 мм - по линейным.

Изменения геометрических параметров отверстий и их взаимного расположения фиксировали для рядов, расположенных вблизи продольной оси симметрии образцов по схеме, представленной на рис. 3. При этом центр координат, относительно которого определяли линейные смещения центров анализируемых пор (на рис. 3 зачернены и обозначены цифрами) в направлении осей OX и OY находился в неподвижной точке (верхнем левом углу образца). Угловые отклонения наибольших осей деформированных пор отсчитывали относительно оси OY .

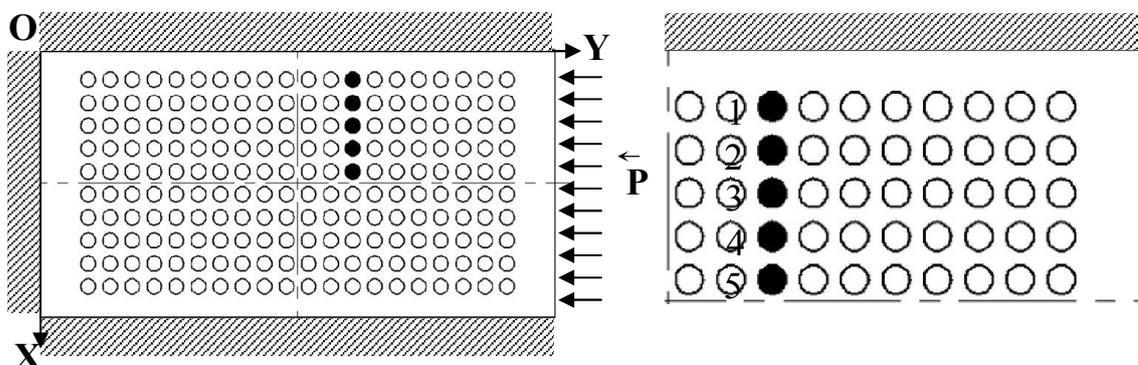


Рис. 3 Схема для оценки изменения геометрических параметров отверстий

Измерение и запись величин перемещений пуансона и значений силовых

параметров процесса уплотнения образца проводили с помощью блока автоматической регистрации данных испытательной электромеханической машины Instron 3382 (рис. 1).

3. Результаты и обсуждения

При проведении эксперимента, было установлено, что характер изменения геометрических размеров пор, зависит от их расположения (удаленности от боковой контактной поверхности образца с матрицей) и фактора трения. Наибольшему формоизменению подвергаются поры, расположенные вблизи контактной поверхности (отверстия 1, 2 на рис. 3).

В качестве примера на рис. 4 представлена раскадровка видеосъемки процесса осадки в закрытой матрице перфорированных пластин при перемещении пуансона на 30 мм. Скорость перемещения пуансона 5 мм/с.

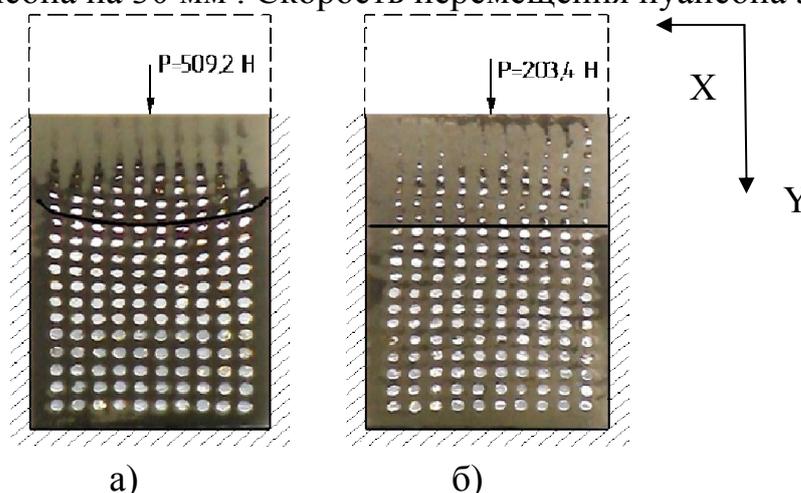


Рис. 4 Раскадровка видеосъемки испытаний
а) - фактор трения $f = 1$; б) – фактор трения $f = 0$.

Для обоих образцов наблюдается ярко выраженный фронт уплотнения материала. При осадке образца в условиях идеального контакта (рис.4,а) контактное трение имеет существенное влияние на процесс деформирования. Формируется фронт уплотнения, имеющий параболический вид. Отверстия, расположенные вблизи контактных поверхностей образца со стенками матрицы деформируются наиболее интенсивно и имеют форму эллипсов с наибольшей осью, направленной под углом к оси симметрии образца. В то время как, при контакте через слой силиконовой смазки (рис.4,б) фронт уплотнения имеет практически линейный вид.

В процессе деформирования центры отверстий незначительно смещаются вдоль оси ОХ при одновременном уменьшении своей площади поперечного сечения. Процесс осадки образцов в зависимости от условий трения на контактных поверхностях и скорости деформирования характеризуется различным распределением усилий, определяющих энергосиловые затраты на процесс деформирования. Оценка величины усилия, возникающего в процессе

деформирования (соответственно 590,2 Н и 203,4 Н), позволяет сделать вывод о значительном снижении энергетических затрат на деформирование образца при уменьшении фактора трения.

4. Выводы

Данные результаты позволяют утверждать, что, вследствие заметного градиента перемещений U_y по оси ОХ, осадка образца без смазывающего покрытия рабочей поверхности матрицы (рис. 4, а) происходит со сдвиговыми деформациями значительно большими, чем образца на рис. 4, б. Кроме того, из представленных на рис. 4 образцов видно, что движущийся фронт уплотнения более четко выражен для образца, осадка которого производилась в матрице без смазывающего покрытия на контактных поверхностях.

Список литературы

1. Богданова Н.А., Черномас В.В., Соснин А.А. Моделирование процесса деформации при осадке неоднородного материала в закрытом штампе// Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. 2013, №3, с. 9-18.
2. Черномас В.В., Ловизин Н.С., Богданова Н.А. Устройство для исследования плоской деформации модели пористого вещества. Положительное решение о выдаче патента РФ на изобретение по заявке № 2012149651/28(079590) от 21.11.2012г.
3. Контактное трение в процессах обработки металлов давлением / А.Н. Леванов, В.Л. Колмогоров, С.П. Буркин, Б.Р. Картак, Ю.В. Ашпур, Ю.И. Спасский. М.: Металлургия, 1976. 416 с.

Experimental investigation of deformation processes at the compression of the perforated plate

N.A. Bogdanova, V.V. Chernomas, A.A. Sosnin

The technique of the experimental investigation allowing to trace process of deformation of the heterogeneous material at its compression in the closed matrix is presented. The influence on change of structure of the perforated plate of such factors as: speed of deformation and contact condition in «sample – matrix – punch» system is investigated.

Key words: deformation, compression front, perforated plate

УДК 621.7 (0.45)

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОТВЕРСТИЙ В БАРАБАНАХ КОТЛОВ ДКВР

*Н.А. АНДРЕЕВА, аспирант,
А.М. ФИРСОВ, канд. техн. наук, доцент
(БТИ АлтГТУ, г. Бийск)*

Андреева Н.А. – 659315, г. Бийск, ул. Трофимова, 27
Бийский технологический институт ФГБОУ ВПО АлтГТУ
e-mail: mrsi@bti.secna.ru

В данной работе рассмотрена проблема обеспечения точности расположения отверстий в барабанах котлов ДКВР.

Ключевые слова: отверстия, барабаны котлов

Твердотопливные паровые котлы ДКВр (двухбарабанные, вертикально-водотрубные котлы, реконструированные) предназначены для выработки насыщенного пара посредством сжигания твердого (бурый или каменный уголь) жидкого или газообразного топлива (мазут, природный газ и др.) для технологических нужд промышленных предприятий, в системах отопления, вентиляции и горячего водоснабжения.

Характерной особенностью таких котлов является густой конвективный пучок из гнутых труб. Верхний барабан конвективными трубами соединен с нижним барабаном и трубами боковых экранов с камерами экранов. Конвективный пучок и боковые экраны состоят из труб диаметром 51мм с толщиной стенки 2,5мм. Конвективные трубы соединены с барабанами посредством развальцовки концов труб в отверстиях барабанов. Верхние концы труб экранов закреплены развальцовкой в отверстиях верхнего барабана, нижние – вварены в отверстия в камерах экранов или развальцованы в отверстиях нижнего барабана.

Эффективность котельных установок во многом зависит от качества изготовления барабанов котлов и, особенно от точности расположения трубчатых нагревательных элементов, которая определяется точностью расположения отверстий в барабанах котла. Поэтому исследования направленные на обеспечение точности расположения отверстий является актуальным.

Барабаны котлов рассчитаны на давление 13 кгс/см² и изготавливаются из листовой мартеновской стали марки 16ГС ГОСТ

5520-69. Корпуса сварных барабанов собираются из обечаек с внутренним диаметром 1000мм и толщиной стенки 13мм и 22мм. Длина барабанов от 1500мм до 7500мм.

На цилиндрической поверхности барабана имеется до 800 отверстий для труб с номинальным наружным диаметром 51мм. Максимальный диаметр отверстия $d_{\max} = 52\text{мм}$, минимальный $d_{\min} = 51,5\text{мм}$. Овальность отверстия допустима в пределах допуска на диаметр отверстия.

Сетка отверстий для труб конвективного пучка имеет до 22 продольных рядов. Отверстия для экранных труб расположены рядами, как правило, в шахматном порядке. Смещение отверстия от его номинального положения допускается до 0,8мм в любом направлении.

Допускается отклонение наружного диаметра барабана $\pm 1\%$. Овальность (разность между наибольшим и наименьшим диаметрами в одном поперечном сечении барабана) допускается до 5мм. Эксцентриситет (параллельное смещение) осей стыкуемых обечаек, обечаек и днищ допускается до 15% от толщины более тонкой стенки. Допускаемый прогиб корпуса барабана длиной более 5000мм – 1,5мм на 1м длины барабана. Важным конструктивным элементом барабана является перемычка между отверстиями – разность между наибольшими допустимыми размерами двух соседних отверстий и наименьшим допускаемым шагом между ними. Торцовое биение обечайки допускается до 3мм.

Камеры экранов изготавливаются из труб диаметром 219мм с толщиной стенки 8...15мм. Для экранных труб на образующей камеры вырезаются ряды отверстий диаметром $51,5^{+0,74}\text{мм}$.

Количество отверстий в ряду до 36. Шаги между отверстиями кратны 10мм. Допускается смещение отверстия от номинального положения до 1,5мм в любую сторону. Материал труб – сталь 10, сталь 20.

Вырезание отверстий в барабанах и в камерах экранов является одной из трудоемких операций в процессе производства котлов. Доля трудоемкости вырезания отверстий в общей трудоемкости изготовления блок-котла (рисунок 1) составляет около 10%. Это диктует необходимость совершенствования технологического процесса, а также механизации и автоматизации вырезания отверстий.

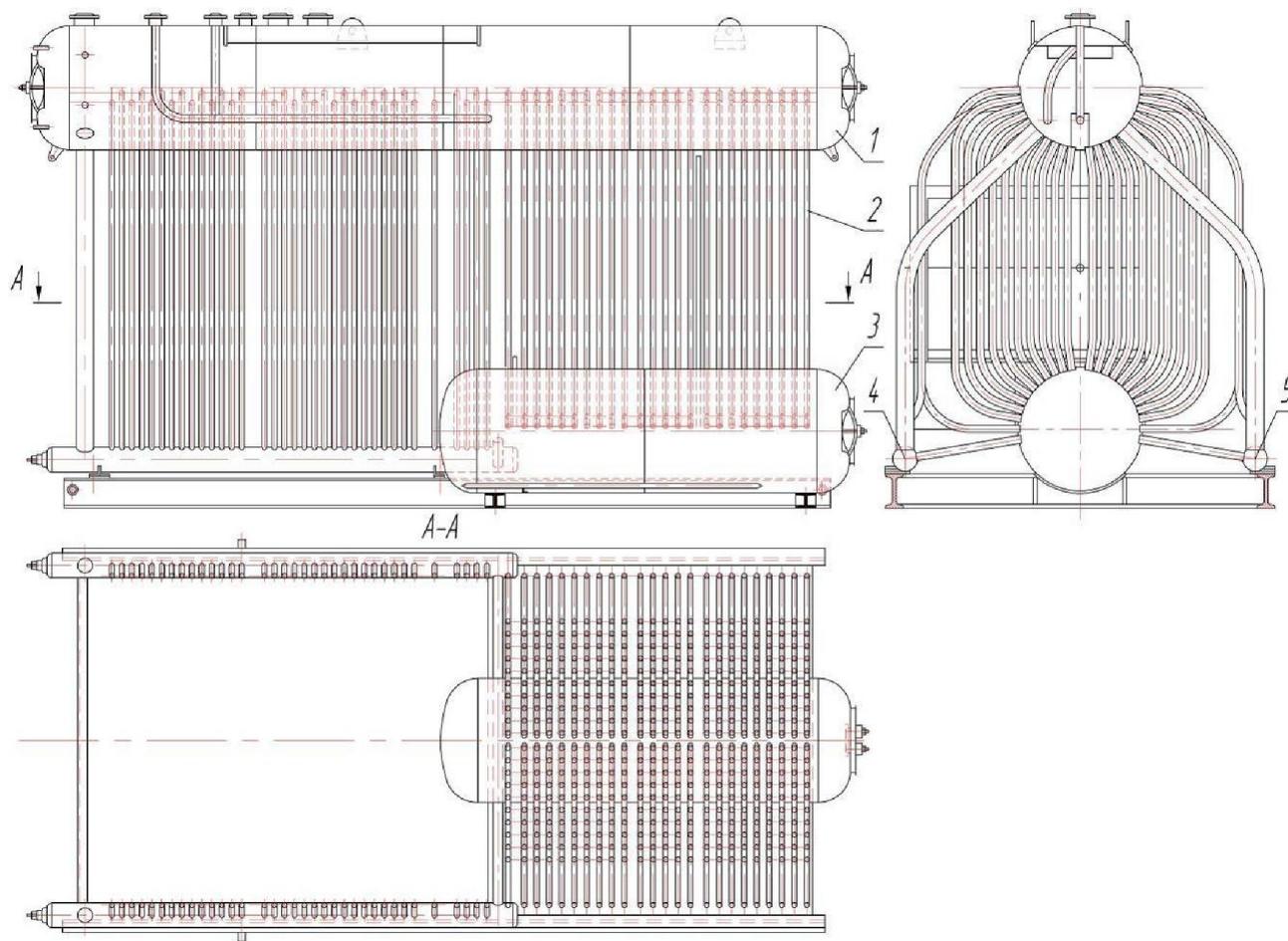


Рис. 1. Блок-котел

1 – барабан верхний; 2 – трубная система; 3 – барабан нижний;
4 – камера левая; 5 – камера правая

Технологический процесс обработки отверстий состоит из следующих операций:

1. Разметка.

2. Контроль разметки.

3. Сверление отверстий диаметром 16мм. Для этого размеченный барабан укладывается на механический кантователь под радиально-сверлильным станком.

4. Вырезание отверстий диаметром 51,7мм. Для этого во внутренний конус державки вместо сверла устанавливается цилиндрический направляющий палец диаметром 16мм и отверстия вырезаются двумя резцами, закрепленными в державке. Резцы устанавливаются в державке и затачиваются таким образом, что они расширяют один для другого прорезаемую канавку. Один из резцов устанавливается на таком расстоянии от центра, которое обеспечивает получение заданного диаметра отверстия. От установки второго резца зависит ширина канавки и наружный диаметр шайбы-отхода.

Однако такая последовательная обработка не является оптимальной как с точки зрения производительности и экономичности, так и с позиции обеспечения точности обработки и качества обработанной поверхности. Погрешности могут возникать как за счет увода сверла, так и вследствие зазора между отверстием и направляющим пальцем при вырезании отверстий.

Поэтому предлагается использовать комбинированный инструмент сверло-резец (рисунок 2) обработка которым может производиться по последовательной или комбинированной схеме.

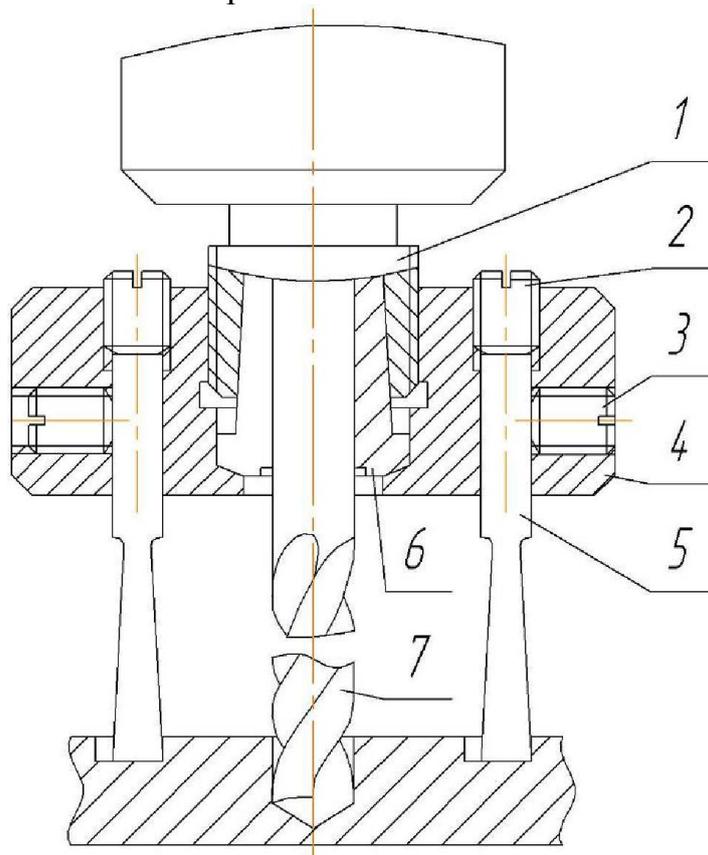


Рис. 2. Комбинированный инструмент сверло-резец для вырезания отверстий в барабане:

1 – оправка; 2 – настроечный винт; 3 – крепежный винт;
4 – державка; 5 – резец; 6 – цанга; 7 – сверло

Это позволит не только обеспечить заданную точность расположения отверстий в барабанах котлов ДКВР, но и повысить производительность обработки, снизить трудоемкости вырезания отверстий.

5. Последняя операция – контрольная. Проверяется количество отверстий, наличие всех необходимых и отсутствие лишних отверстий, расположение сетки отверстий, расположение отдельных отверстий, диаметр отверстий, чистота поверхности в отверстиях, перекося сетки отверстий, овальность отверстий.

Одним из наиболее неприятных дефектов является перекося сетки отверстий. Он контролируется с помощью приспособления, оснащенного уровнем и отвесом. Штанга (рейка) приспособления вводится в крайние отверстия поперечного ряда на барабане. Приспособлением замеряется наклон штанги. Разница в положении штанги (в градусах) на разных поперечных рядах характеризует степень перекося (закручивания) координатной сетки отверстий.

Источником появления ошибок в расположении отверстий в процессе разметки являются неточность формы барабана (овальность, отклонение величины диаметра, изгиб оси барабана); неточность разметочного инструмента; ошибки исполнителей. На координатную сетку отверстий влияют отклонения размеров и формы барабана.

При обработке на **радиально-сверлильном станке**:

– отклонение диаметра барабана – влияет на угловой шаг координатной сетки отверстий;

– прогиб барабана – влияет на угловой шаг, шаг по дуге и перекося координатной сетки отверстий;

– отклонения размеров и формы барабанов не значительно влияют на работу инструмента, либо исключаются поворотом барабана;

При обработке на **вырезном полуавтомате**:

– овальность диаметра барабана – влияет на перекося сетки;

– отклонение диаметра барабана – влияет на шаг по дуге координатной сетки отверстий;

– прогиб барабана – влияет на угловой шаг по дуге и перекося координатной сетки отверстий;

– отклонения размеров и формы барабанов влияют на работу инструмента.

Список литературы

1. Станки для котельного производства. Описание конструкций [текст]. Под. общей ред. П.Ф. Казанцева. – Бийск: Кедр. 2007. – 426 с.

Ensuring of the accurate holes location in the boiler drums DKVR

N.A. Grishanenko, A.M. Firsov

In this paper we consider the problem of the ensuring of the accurate holes location in the drums of a boiler DKVR.

Key words: holes, boiler drums

УДК 621.7.043

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЙ НА ПРОЧНОСТЬ ДЕФОРМИРУЮЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

*П.В. ВЕРЕЩАГИН, канд. техн. наук, профессор
И.В. БЕЛЯЕВ, студент
М.Ю. ЯКУШЕВ, студент
(БТИ филиал АлтГТУ)*

Верещагин П.В. – 6593005, г.Бийск, ул.Трофимова, 27
Бийский технологический институт,
e-mail: vpv@bti.secna.ru

Приведены результаты прочностного анализа работы конструкций тяжело нагруженных матриц и пуансонов с концентраторами напряжений, таких как крепежные отверстия и переходные участки.

Ключевые слова: пуансон, матрица, прочность деформирующих инструментов, концентрация напряжений.

Деформирующие инструменты штампов определяют точность и качество штампуемых деталей. Они непосредственно формируют полуфабрикат, поэтому испытывают наибольшие нагрузки, по сравнению с другими деталями штампа, быстрее их изнашиваются и разрушаются. Таким образом, прочность и стойкость пуансонов и матриц определяет работоспособность всего штампового инструмента.

Разработанные методы расчета на прочность деформирующих инструментов, не учитывают наличие конструктивных элементов матриц и пуансонов. Форма инструментов идеализируется, предполагается, что матрица не имеет крепежных отверстий, а пуансоны бесступенчатые, одного диаметра по всей длине. В действительности их форма сложнее, есть переходные участки различной формы, отверстия под крепление, это приводит местному увеличению действующих напряжений - концентрации напряжений.

Цель работы – исследование влияния формы переходных участков ступеней пуансонов и крепежных отверстий матриц на интенсивность напряжений.

Задачи работы:

- 1) Установить конструктивные факторы, влияющие на прочность деформирующих инструментов;
- 2) Разработать план численного эксперимента позволяющего выявить влияние геометрических параметров крепежных отверстий в

матрицах и переходных участков пуансонов на наибольшие напряжения в инструменте под нагрузкой;

3) Создать трехмерную модель для каждой точки плана численного эксперимента и произвести расчет действующих напряжений, в предположении идеально упругого состояния материала инструмента;

4) Аппроксимировать результаты расчетов и проанализировать изменение концентрации напряжений для матриц, в зависимости от расположения и размеров крепежных отверстий, толщины ее стенки; для пуансонов в зависимости от размеров и формы переходных участков.

Прочность инструментов определяется: материалом, из которого они изготовлены, его механическими свойствами, структурой; состоянием поверхности; соотношением геометрических размеров инструментов; наличием и расположением концентраторов напряжений.

Анализ конструкций и применяемых методов расчета деформирующих инструментов на прочность позволил установить, что прочность матриц определяется:

- возможным ее разрывом от внутреннего распирающего давления, противодействует этому толщина стенки матрицы;
- возможным прогибом матрицы над провальным отверстием плиты штампа, противодействует этому толщина матрицы;
- диаметром и расположением крепежных отверстий, которые ослабляют сечение, могут вызвать концентрацию напряжений.

Прочность пуансонов определяется:

- сильным сжатием рабочей части, от этого зависит выбор материала инструмента и режима термообработки;
- совместным действием сжатия и изгиба на удалении от торца пуансона, это влияет на выбор материала, может потребовать введения дополнительной ступени в зоне передачи усилия;
- потерей устойчивости длинных пуансонов, для повышения устойчивости применяют меры по уменьшению гибкости стержня, меняют сечение и условия закрепления;
- наличием ступеней между частями пуансона, перепад диаметров, форма сопряжения ступеней, вызывают концентрацию напряжений в переходных областях, это снижает прочность.

Чтобы установить взаимное влияние геометрических размеров матриц и концентраторов напряжений разрабатывались трехмерные модели в виде колец с различными соотношениями внутреннего и наружного диаметров, разными размерами крепежных отверстий, менялось их положение относительно рабочей кромки матрицы. После

этого проводился прочностной расчет, для установления действующих напряжений от внутреннего давления равномерно распределенного по внутренней стенке. Величина давления подбиралась таким образом, чтобы материал кольца оставался в упругом состоянии, что соответствует реальным условиям работы матриц. Вблизи концентраторов напряжений определялся коэффициент концентрации напряжений, определяемый как отношение наибольшей интенсивности напряжений у кромки концентратора σ_i^{\max} к интенсивности напряжений σ_i , действующей на удалении от отверстия, на том же расстоянии от центра кольца, что и кромка концентратора:

$$n = \frac{\sigma_i^{\max}}{\sigma_i}.$$

Коэффициент концентрации напряжений был принят в качестве функции. В качестве варьируемых факторов были выбраны:

- относительный диаметр крепежных отверстий, рис.1:

$$X_1 = \frac{2d_{\text{отв}}}{D-d};$$

Уровни изменения фактора $X_1=(0,25; 0,5; 0,75)$;

- относительный внутренний диаметр матрицы:

$$X_2 = \frac{D}{d};$$

Уровни изменения фактора $X_2=(2; 3; 4)$;

- относительный диаметр центров расположения крепежных отверстий:

$$X_3 = \frac{d_{\text{ц}}}{D};$$

Уровни изменения фактора $X_3=(0,5; 0,75)$;

При выполнении прочностного расчета нагрузки подбирались, таким образом, чтобы они не превышали предела упругого сопротивления матрицы.

Для каждого сочетания варьируемых параметров необходимо было разработать трехмерную модель кольца с отверстиями, произвести расчет на прочность и определить коэффициент концентрации напряжений. В ходе предварительных расчетов было установлено, что влияние концентраторов напряжений распространяется на малое расстояние и на удалении более диаметра крепежного отверстия не влияет на напряженное состояние конструкции, рис.1. Поэтому, чтобы сократить количество анализируемых моделей, было решено создавать модели только для сочетаний второго и третьего независимого факторов. На каждой такой модели располагали три крепежных отверстия разного диаметра, в соответствии с уровнями их изменения. Это позволило сократить количество моделей с восемнадцати до шести.

Зависимость концентрации напряжений от диаметра крепежных отверстий линейна, увеличение диаметра отверстия увеличивает коэффициент концентрации напряжений, так как сечение матрицы ослабляется. Удаление крепежного отверстия от рабочей кромки матрицы уменьшает коэффициент концентрации напряжений.

При проектировании матриц значение коэффициента концентрации следует рассчитывать по представленной функции и производить корректировку напряжений определенных для сплошной матрицы.

При анализе влияния концентраторов напряжений на напряжение в пуансоне в качестве независимых параметров использованы: абсолютное значение угла конусности переходной части, α ; отношение радиуса сопряжения ступеней к диаметру деформирующей части, (R/r) ; отношения диаметров ступеней, (d/D) . Схема пуансона и обозначения приведены на рис.3.

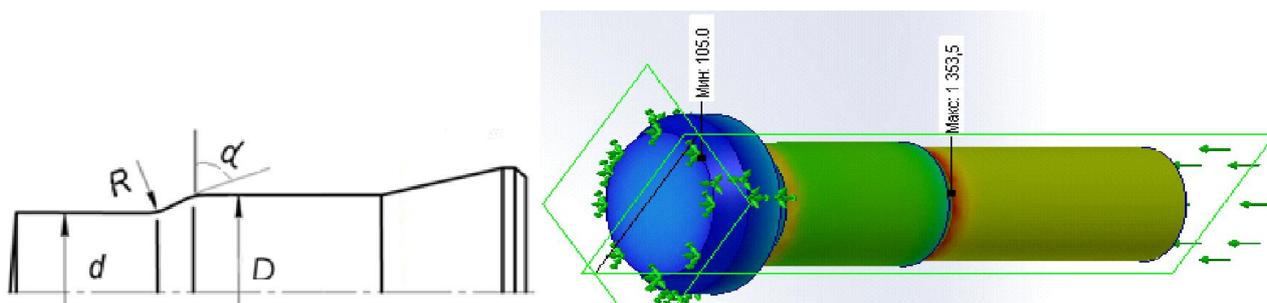


Рис.3. Ступенчатый пуансон.

В качестве функции был принят коэффициент концентрации напряжений, определяемый как отношение наибольшей интенсивности напряжений к контактному давлению, равномерно распределенному по торцевой поверхности рабочей части пуансона:

$$n = \frac{\sigma_1^{max}}{p}$$

Диапазон изменения независимых факторов: $\alpha=5^0 \dots 30^0 \dots 60^0$; $(R/r)=0,1 \dots 0,6 \dots 0,9$; $(D/d)=1,1 \dots 1,3 \dots 1,5$. План эксперимента описан в работе [1]. Для каждого из 27 сочетаний размерных характеристик была создана трехмерная модель в системе проектирования SolidWorks, материал пуансона принимался идеально упругим, при выполнении прочностного расчета нагрузки подбирались, таким образом, чтобы они превышали предела упругого сопротивления пуансона. По результатам расчетов находилась наибольшая интенсивность напряжений, которая затем делилась на давление,

приложенное к торцу пунсона – это отношение искомый коэффициент концентрации напряжений.

Результаты расчетов были аппроксимированы степенной функцией, которая показала хорошую точность аппроксимации, максимальная погрешность не превысила 10%, средняя около 2%:

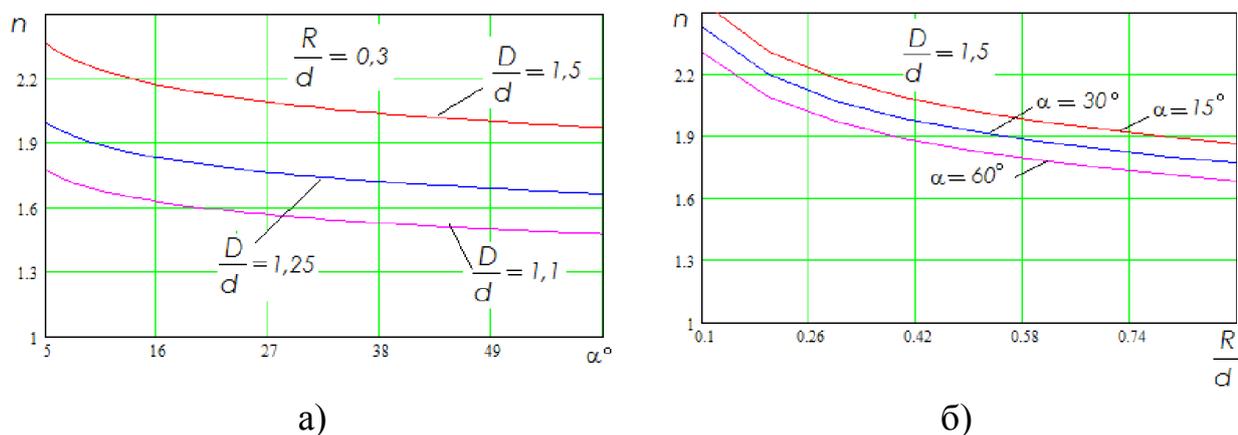
$$n = 1,534 \cdot \alpha^{-0,073} \cdot \left(\frac{R}{d}\right)^{-0,143} \cdot \left(\frac{D}{d}\right)^{0,93}$$

Анализ функции показывает, что перепад диаметров между ступенями почти линейно увеличивает концентрацию напряжений. Угол конусности переходной части, и радиус сопряжения влияют слабее.

Приведенные расчетные зависимости могут использоваться для уточнения действующих напряжений в ступенчатых пуансонах. Действующее в пределах рабочей части напряжение следует умножить на коэффициент концентрации напряжений.

По аппроксимирующей функции установлены графические закономерности изменения коэффициента концентрации напряжений, они показаны на рис.4.

Анализ приведенных на рисунке зависимостей показывает, что на большей части исследованного диапазона изменения независимых параметров изменение функции концентрации напряжений близко к линейной зависимости, для любого исследованного фактора.



- а) Изменение коэффициента концентрации напряжений от угла конусности переходного участка;
- б) Изменение коэффициента концентрации напряжений от радиуса сопряжения переходного участка.

Рис.4. Изменение коэффициента концентрации напряжений от формы концентраторов напряжений пуансона

Нелинейность проявляется при малых углах наклона образующей поверхности от горизонтали, малых радиусах сопряжения

поверхностей, рис.4. Поэтому выявить наличие оптимальных областей изменения геометрических параметров сопряжения не удастся. Значение коэффициента концентрации следует рассчитывать по приведенных аппроксимирующим функциям при проектировании инструментов.

Список литературы

1. Верещагин П.В. Исследование влияния участков сопряжения ступеней пуансонов на концентрацию напряжений [Текст] / Верещагин П.В., Беляев И.В., Якушев М.Ю. // Ползуновский альманах. – №1. – 2012. – С. 175–179.

Effect of strength stress concentrator deforming tools

P.V. Vereshchagin, I.V. Belyaev, M.U. Yakushev

The results of structural analysis of structures heavily loaded punches and dies with stress concentrators, such as mounting holes and transition sections.

Key words: punch, matrix, deforming tools strength, stress concentration

УДК 621.9 (0.45)

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ТРУБЫ ЭКОНОМАЙЗЕРНОЙ МЕТОДОМ ЛИТЬЯ ПО ГАЗИФИЦИРОВАННОЙ МОДЕЛИ

В.А. КАЛИСТРУ, аспирант
А.М. ФИРСОВ, зав. кафедрой, к.т.н., доцент
А.Ф. ШАТОХИН, к.т.н., доцент
(БТИ АлтГТУ, г. Бийск)

Калистру В.А. – 659305, г. Бийск, ул. Трофимова, 27
Бийский технологический институт ФГБОУ ВПО АлтГТУ,
e-mail: mrsi@bti.secna.ru

Статья посвящена вопросам изготовления трубы экономайзерной при помощи литья по газифицированной модели, проблемам, возникающим при изготовлении данной трубы методом песчанно-глинистой формы, разработке сборной модели отливки из пенополистирола, разработке специальной оснастки. В заключении приводится экономический анализ.

Ключевые слова: труба экономайзерная, литье по газифицированным моделям, пресс-форма, схема заливки, экономический анализ.

Водяной экономайзер представляет собой трубчатый теплообменник, в котором питательная вода перед поступлением в котел подогревается до температуры 30 — 40 С ниже температуры кипения, чтобы предотвратить парообразование и гидравлические удары внутри него. Подогрев происходит за счет теплоты уходящих газов, тем самым повышая КПД котельного агрегата.

Экономайзеры чугунные блочные применяется в качестве хвостовых поверхностей нагрева паровых стационарных котлов типов ДЕ, КЕ и ДКВР служит для повышения КПД котла, тем самым, снижая расход природных ресурсов при эксплуатации котла [1].

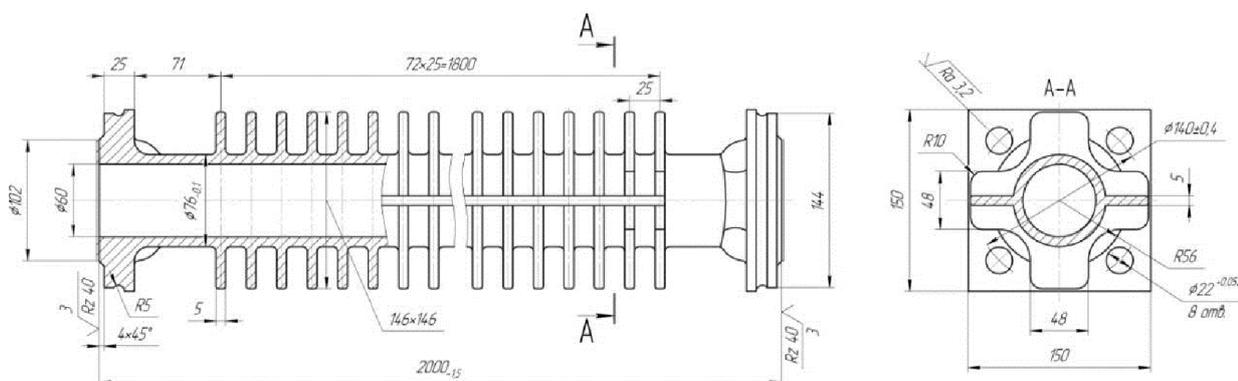


Рис. 1. Труба экономайзерная

Чугунные экономайзеры надёжны в работе, стойки по отношению к газовой и кислородной коррозии, однако имеют большие габариты и повышенную массу. Основным элементом экономайзера является, труба экономайзерная, которая габаритна по своим размерам, и сложна в изготовлении, тем самым совершенствование конструкции экономайзера и трубы экономайзера является актуальной задачей в наше время.

Труба экономайзерная изготавливается методом литья в песчанно-глинистые формы. Конструктивные особенности и сложность конфигурации трубы обуславливают некоторые технологические особенности-недостатки при литье данным методом. Отличительной особенностью является конструкция поверхности теплообмена. Так как отливка тонкостенная, то возникает проблема проливаемости всех ребер при литье во влажную песчано-глинистую форму. В связи с высоким рельефом и большой поверхностной площадью модели ее протяжка затруднена. При протяжке образуются обрывы формовочной смеси в межреберном пространстве и массовые засоры полости формы. При формовке происходит износ и разрушение модели. Тем самым данная технология изготовления трубы устарела как технологически, так и экономически. Принято разработать современный метод получения трубы экономайзерной. Применить современный метод получения отливки – литье по газифицированной модели(ЛГМ), разработать для данного метода всю необходимую документацию, включающую в себя чертежи моделей, отливок, конструкции оснастки и технологического оборудования, провести необходимые экономические расчеты.

Переход на ЛГМ позволил повысить точность размеров и чистоты отливки, точность от 6..7 класса, увеличилась до 3..4 класса по ГОСТ 26645-85. Шероховатость уменьшилась почти в 4 раза, с $Rz=50..63$ мкм до $Rz=12,5..40$ мкм. Тем самым отпала надобность обработки фланцев трубы, нужная шероховатость, получается в процессе получения отливки ($Rz40$).

Для облегчения изготовления модели из полистирола, а также для уменьшения себестоимости пресс-формы, модель разбивается на 2 части, фланцевая, 2 секции(позиция 1), средняя часть, 13 секций(Позиция 2). Материал – полистирол ПСВ-Л1. Разработан способ заливки, при котором используется специализированный стержень, состоящий из трубы $d=30$ (Позиция 3), толщина стенки 3,08 мм, длинна 2030мм. На трубу наматывают бамбуковую бумагу, формируют специальный клеящий грунт. Затем на этом стержне собирают модель в единое целое.

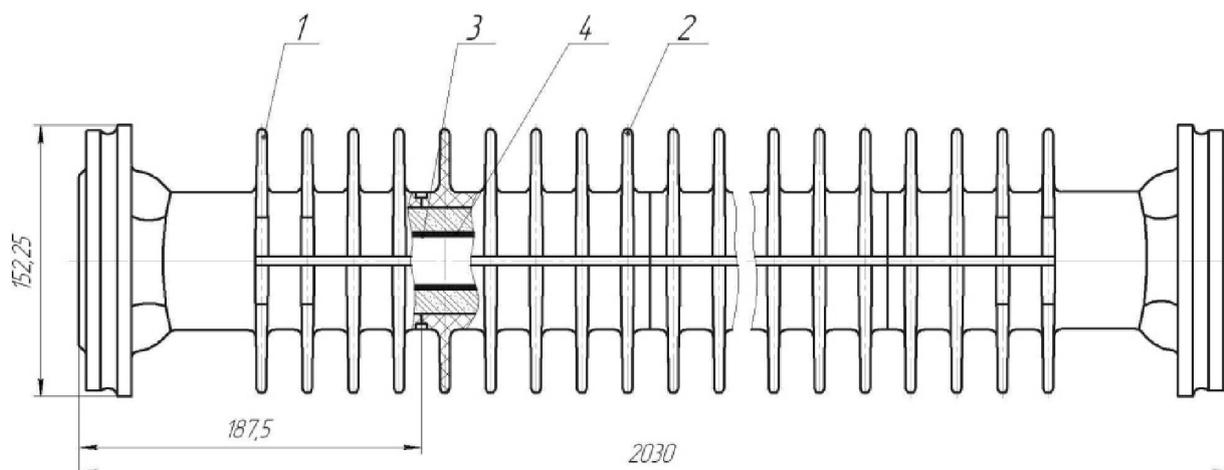


Рис. 2 . Сборная модель отливки из полистирола

Для изготовления пенополистирольных моделей разработаны 2 пресс-формы (пресс-форма для фланцевой части, пресс-форма для средней части). На рисунке 4 показана пресс-форма для фланцевой части, состоящая из матрицы (позиция 1) и пуансона (позиция 2), большого знака (позиция 3), а также из четырех малых знаков (позиция 4 и 5). В процессе сборки параллельно друг от друга собирается матрица и пуансон, состоящие из 7 элементов. Данные элементы стягиваются, при помощи болтов М16х260 ГОСТ 15589-70 и гаек М16 ГОСТ 5929-70.

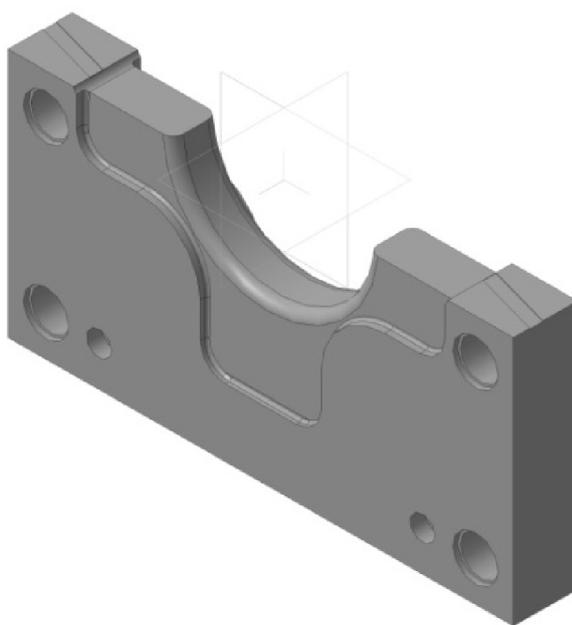


Рис. 3. Элемент матрицы

Узел крепления, матрицы и пуансона между собой, состоит из барашков с стяжным болтом. Полуформы прижимаются к друг другу путем завинчивания барашков. Для их разфиксирования достаточно открутить его на 1-2 оборота. Такой способ позволяет быстро и просто фиксировать/разфиксировать полуформы вручную, без применения специальных средств. Базирование элементов и полуформ относительно друг друга осуществляется цилиндрическими штифтами 10 мм. По плоскостям разъема с шагом 12-13 мм располагаются венты шириной 5-6 мм и глубиной 0,3 мм. Венты обеспечивают наилучшую задуваемость пенополистирола во все места полости пресс-формы, и способствуют лучшему спениванию в автоклаве.

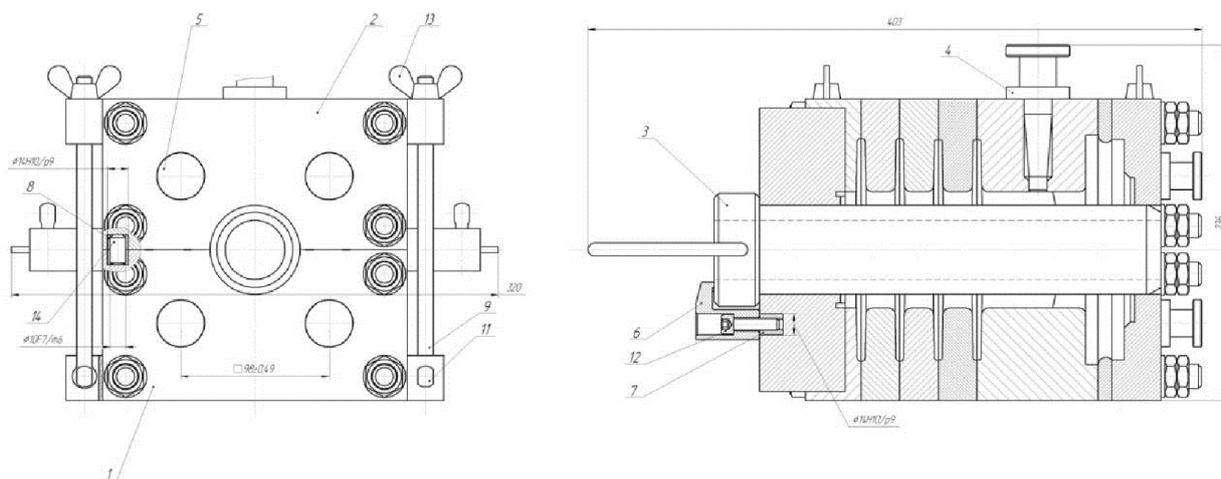


Рис. 4. Пресс-форма для фланцевого элемента

Для обработки элементов матрицы и пуансона, применена современная САМ-система PowerMill. С помощью данной системы написана управляющая программа механической обработки.

Для обеспечения условия создания плоского фронта взаимодействия металла с моделью, способствующему постепенному замещению ее расплавом[2] выбран сифонный рассредоточенный способ подвода металла в полость формы. Для питания отливки выбираем горизонтальную литниковую систему, как наиболее удобную для формовки и позволяющую получить максимальную плотность отливки. Все расчеты элементов литниковой системы ведутся от площади самого узкого сечения. Схема заливки представлена на рисунке 5. Время выдержки отливки в форме включает в себя время для снятия перегрева, время кристаллизации сплава и время необходимое для охлаждения отливки до температуры выбивки.

Время выдержки отливки до выбивки составляет 5053 секунд или 84,2 минут, тем самым скорость подъема металла 40 мм/с, продолжительность заполнения формы 12,6.

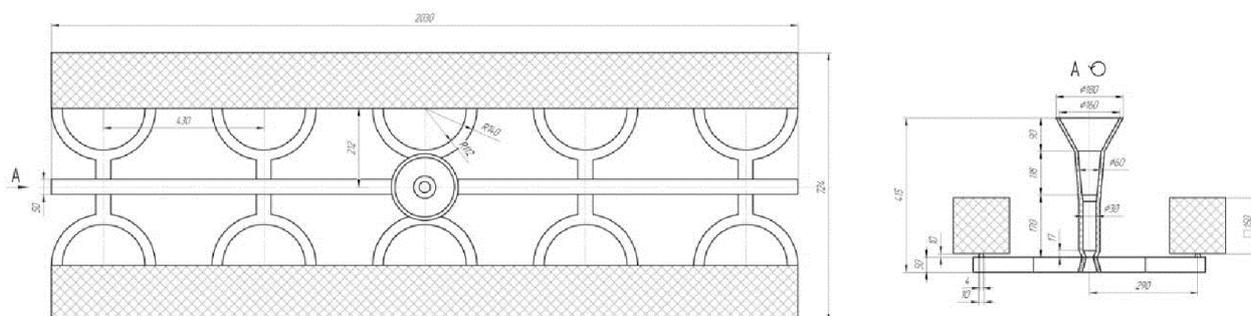


Рис. 5. Схема заливки

На основе экономического анализа определена себестоимость 1-го изделия по методу ЛГМ, которая составляет 4684 р. Стоимость изделия при получении по методу ПГФ составляет 5600 р., тем самым при переходе на метод литья по газифицированной модели, изготовления трубы экономайзерной, экономия с одного изделия составляет 916р.

Список литературы

1 Сибирская ассоциация энергетического машиностроения – [Электронный ресурс] – Режим доступа – URL: <http://www.saem.su/> (дата обращения 11.06.2013)

2 Шуляк В. С. Литье по газифицируемым моделям. [текст] /Шуляк В.С. – Спб.: НПО «Профессионал», 2007. – С. 408

Economizer pipes manufacturing by lost-foam casting

V.A. Kalistru, A.M. Firsov, A.F. Shatohin

The paper refers to the manufacture of the pipe economizer using lost-foam casting, to problems arising in the manufacture of the pipe by sand-clay molds, casting development team model of polystyrene, development of special equipment. In conclusion, the economic analysis.

Key words: pipe economizer, lost-foam casting, molds, economic analysis.

УДК 531.715

ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

***И.П. МИРОШНИЧЕНКО**, канд. техн. наук,
доцент, зав кафедрой
(ДГТУ, г. Ростов-на-Дону)*

Мирошниченко И.П. – 344000, г. Ростов-на-Дону, площадь Гагарина, 1,
Донской государственный технический университет,
кафедра «Основы конструирования машин»,
e-mail: ipmir@rambler.ru

Предложены новые научно обоснованные оптические измерительные средства и технологии для измерения малых перемещений поверхностей объектов контроля при контроле качества и диагностике состояния конструкционных материалов акустическими неразрушающими методами контроля.

Ключевые слова: Оптические средства измерений, оптические измерительные технологии, измерение малых перемещений, контроль качества, диагностика состояния, конструкционные материалы.

Введение

Разработка и внедрение новых измерительных средств и технологий для контроля качества конструкционных материалов и изделий в настоящее время актуальны и востребованы при решении многих научных и прикладных задач. Перспективным в этом случае является использование высокоточных измерителей малых перемещений поверхностей объектов контроля (ОК), основанных на применении лазерных интерферометров, что позволяет существенно повысить точность и информативность анализа упругих волновых полей при ультразвуковой дефектоскопии, диагностике состояния материалов и изделий акустико-эмиссионными методами и т.д.

Основными направлениями совершенствования самих лазерных интерферометров для решения отмеченных задач являются разработка новых оптических схем, создание новых технологий регистрации и обработки информации с интерференционных картин (ИК), совершенствование источников и приемников оптического излучения, а также расширение их возможностей, позволяющих обеспечить непрерывный учет различных влияющих факторов с одновременным проведением коррекции и внесением поправок в результаты измерений в реальном масштабе времени.

Известен, например, из [1-2], оптический интерференционный измеритель перемещений на основе двухходового лазерного интерферометра с совмещенными ветвями, который обеспечивает бесконтактное измерение малых перемещений поверхности ОК (конструкционного материала или

изделия) в процессе проведения контроля качества или диагностики состояния, например, акустическими неразрушающими методами контроля.

В работах [3-6] представлены результаты расчетно-теоретических и экспериментальных исследований функциональных характеристик описанного измерителя, а также расчетно-экспериментальное обоснование новых методов измерения малых перемещений поверхностей ОК, научно-обоснованные технические и технологические решения, обеспечивающие повышение качества результатов измерений и расширяющие функциональные возможности рассматриваемого измерителя, результаты расчетно-экспериментального подтверждения данных технических и технологических решений, проведенного с использованием опытных образцов и т.д.

Оптическое устройство для измерения малых перемещений

Существенным недостатком описанного выше устройства является низкое качество измерений, обусловленное тем, что воспроизводимые ИК имеют явно выраженные особенности распределения оптического поля в плоскости экрана. Данные особенности проявляются в том, что в некоторых областях ИК, даже в пределах кольца одного порядка, при перемещении поверхности ОК изменение интенсивности оптического поля происходит неравнозначно, поэтому размещение фотоприемников произвольно в кольцах ИК в плоскости экрана, приводит к внесению значительных погрешностей в результаты измерений, снижая их качество.

Техническим результатом предлагаемого устройства для измерения перемещений является повышение качества измерения малых перемещений поверхностей ОК за счет введения в конструкцию устройства нового конструктивного элемента, а именно матрицы фотоприемников, имеющей новую форму, совпадающую с формой и размерами наиболее информационной области ИК, и расположенной в отмеченной области ИК.

Сущность предлагаемого устройства поясняется схемой, представленной на рис. 1. Устройство содержит оптически связанные и последовательно размещенные источник 1 когерентного оптического излучения, оптическую систему 2, светоделитель 3, отражатель 4, закрепленный на поверхности 5 ОК 6, и экран 7 с установленным на нем фотоприемным устройством (ФПУ) 8. При этом светоделитель 3 и отражатель 4 расположены друг относительно друга под углом α , а полученная при совмещении опорного и объектного пучков ИК 9, представляющая собой совокупность колец 10 различной интенсивности, проецируется на экран 7. ФПУ 8 выполнено в виде прямоугольной матрицы фотоприемников 11 и установлено в плоскости экрана 7 радиально кольцам 10 ИК 9 на интервале от края 12 ИК 9, противоположного вершине угла α между светоделителем 3 и отражателем 4, до центра ИК 9. ФПУ 8 соединено с устройством для регистрации и отображения результатов измерений.

Устройство работает следующим образом. Излучение источника 1 когерентного оптического излучения после прохождения оптической системы 2 преобразуется в расходящийся пучок и попадает на светоделитель 3, где происходит его разделение: одна часть отражается от поверхности светоделителя 3 (опорный пучок), а вторая часть - от отражателя 4 (объектный пучок), закрепленного на поверхности 5 ОК 6. При этом светоделитель 3 и отражатель 4 расположены друг относительно друга под углом α . Полученная при совмещении опорного и объектного пучков ИК 9, представляющая собой совокупность колец 10 различной интенсивности, проецируется на экран 7 с установленным на нем ФПУ 8.

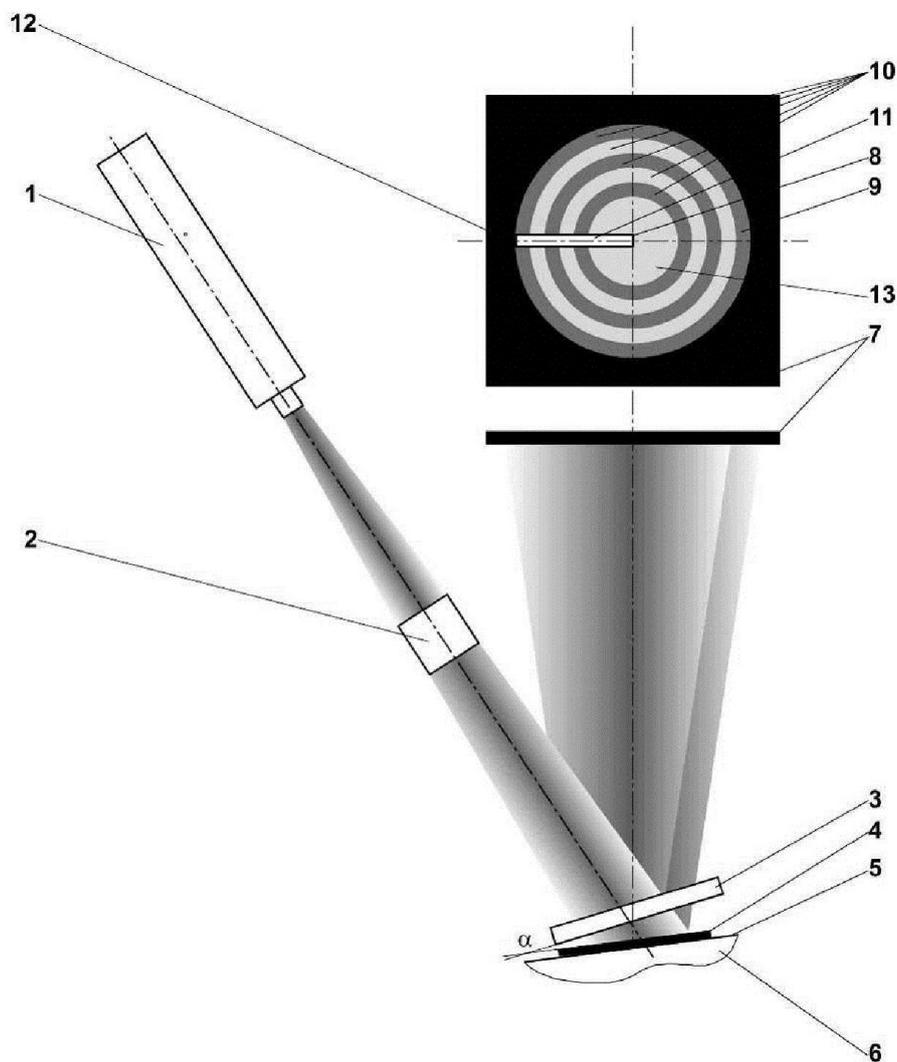


Рис. 1

ФПУ 8 при перемещении поверхности 5 ОК 6 производит измерение интенсивности оптического поля в области ИК, обладающей максимальными функциональными характеристиками.

Возможными вариантами регистрации интенсивности в этом случае могут быть регистрация суммарной интенсивности оптического поля по поверхности ФПУ 8, регистрация интенсивности оптического поля в кольце одного порядка, в кольцах первого и второго порядка и т.д. Устройство обеспечивает реализацию всех известных вариантов, которые определены целями и задачами конкретного экспериментального исследования.

Способ и устройство для измерения малых линейных и угловых перемещений

В современных измерителях для контроля угловых поворотов применяют дополнительный интерферометр. Перспективным для развития лазерной интерферометрии является разработка унифицированных методов и средств, позволяющих функционально объединить в одном устройстве измеритель линейных и угловых перемещений. В этом случае сложность заключается в неоднозначности определения перемещений, т. к. интенсивность оптического поля в любой точке ИК, является функцией двух переменных $I = f(h, \alpha)$, где h и α - параметры, определяющие соответственно линейное и угловое положение поверхности ОК.

В большинстве известных интерференционных схем для формирования когерентных источников лазерного излучения применяют деление исходного оптического пучка по амплитуде или по фронту с помощью известных оптических элементов, при этом ИК формируется в главном максимуме и в зависимости от кривизны волновых фронтов интерферирующих пучков представляет собой либо полосы равной толщины, либо полосы равного наклона. Линейное или угловое перемещение приводит к изменению оптической длины измерительного плеча интерферометра, в результате изменяется интенсивность интерференционных полос это изменение регистрирует ФПУ. Проблема заключается в том, что при наличии линейной и угловой составляющих перемещения (что характерно для перемещения реальных физических тел) возникает неоднозначность при определении действительного перемещения поверхности ОК.

Для устранения этой неоднозначности предлагается применение дифракционных оптических элементов при формировании когерентных оптических пучков. Например, применение в качестве светоделителя синусоидальной дифракционной решетки обеспечит формирование ИК не только в главном максимуме, но и в максимумах +1 и -1 порядка. Установлено, что при наличии угловой составляющей в измеряемом перемещении, характер изменения интенсивности в соответствующих фрагментах указанных максимумов будет различен.

Размещением ФПУ в соответствующих фрагментах указанных максимумов достигают получения не одной функциональной зависимости

интенсивности от двух переменных h и α , а двух зависимостей для указанных переменных. Эти зависимости могут быть заданы для каждого максимума в табличном виде или функционально в виде системы трансцендентных уравнений, причем для каждого из максимумов +1 и -1 порядков эта зависимость различна. Значения линейного и углового перемещения, которые будут удовлетворять обоим значениям интенсивности оптического поля, измеренным ФПУ в указанных областях максимумов +1 и -1 порядков, и будут соответствовать действительному перемещению поверхности ОК.

Таким образом, определение линейной и угловой составляющих перемещения поверхности ОК реализуется на основании регистрации двух значений интенсивности, измеренных указанными группами ФПУ в максимумах +1 и -1 порядков, по известным для каждого максимума зависимостям интенсивности от линейного и углового перемещений поверхности ОК, при этом за результат измерения принимают то значение составляющих перемещения, которое одновременно удовлетворяет измеренным значениям интенсивности в максимумах +1 и -1 порядков.

Схема одного из возможных вариантов устройства, реализующего предлагаемый способ, представлена на рис. 2. Данное устройство содержит источник 1 когерентного оптического излучения, оптическую систему 2, преобразующую излучение источника в расходящийся пучок, светоделитель 3, представляющий собой синусоидальную дифракционную решетку, отражатель 4, жестко закрепленный на поверхности 5 ОК, экран 6, в плоскости которого установлены с возможностью регулировки положения ФПУ 7, разделенные на две группы 8 и 9, каждая из которых размещена в соответствующих областях максимумов -1 порядка 10 и +1 порядка 11. Отражатель 4 удален от внутренней поверхности светоделителя 3 на расстояние h . Отражатель 4 и светоделитель 3 расположены друг к другу под углом α . Возможным может быть также вариант, при котором отражатель 4 отсутствует, а его функции в этом случае непосредственно выполняет сама отражающая поверхность 5 ОК. Максимумы -1 порядка 10 и +1 порядка 11 ИК проецируются на экран 6.

Устройство работает следующим образом. В процессе проведения испытаний при возникновении линейной Δh и (или) угловой $\Delta\alpha$ составляющих перемещения поверхности 5 ОК происходит изменение интенсивности оптического поля в максимумах -1 порядка 10 и +1 порядка 11 ИК, в том числе и в соответствующих их областях по месту установки выделенных групп 8 и 9 ФПУ 7. ФПУ 7 регистрируют интенсивность оптического поля, при этом результатами измерений являются значения интенсивностей, полученные от каждой из групп ФПУ 7.

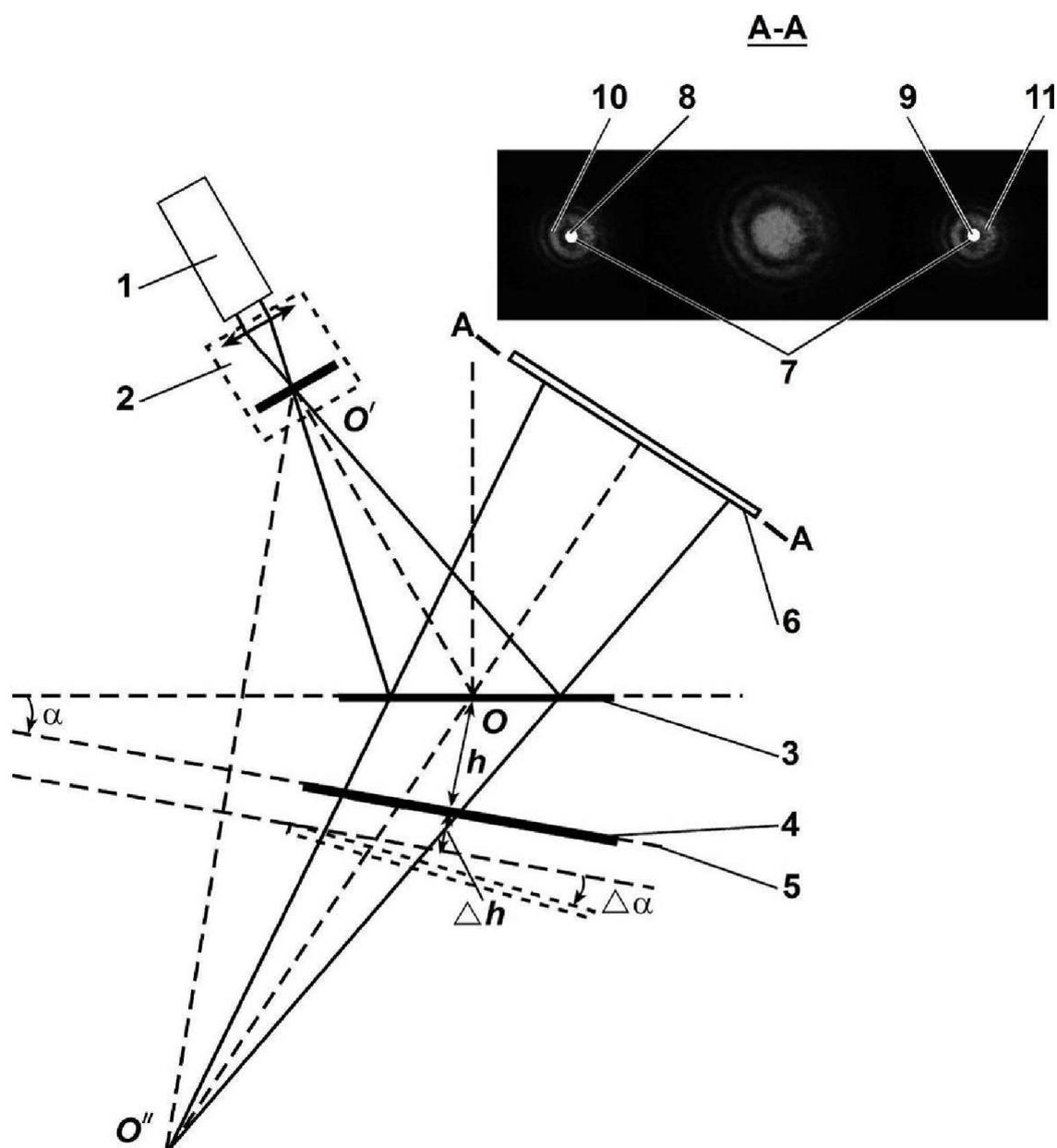


Рис. 2

Возможным вариантом обработки является, например, решение системы трансцендентных уравнений вида: $I_1(\Delta h, \Delta \alpha) = J_1$, $I_2(\Delta h, \Delta \alpha) = J_2$, где $I_1(\Delta h, \Delta \alpha)$, $I_2(\Delta h, \Delta \alpha)$ - известные зависимости соответственно для максимумов -1 порядка 10 и +1 порядка 11, связывающие интенсивности соответственно с линейной Δh и угловой $\Delta \alpha$ составляющих перемещения поверхности 5 ОК; J_1 , J_2 - значения интенсивности, измеренные каждой из групп 8 и 9 ФПУ 7, установленных в соответствующих областях максимумов -1 порядка 10 и +1 порядка 11.

Результатом обработки являются значения линейной Δh и значение угловой $\Delta \alpha$ составляющих перемещения поверхности 5 ОК, одновременно удовлетворяющие обоим значениям интенсивности J_1 и J_2 . Анализ результатов

теоретических исследований, позволяет сделать вывод о целесообразности применения фазовых дифракционных решеток с синусоидальным профилем для решения измерительных задач, так как при этом динамический диапазон по интенсивности для максимумов +1 и -1 порядков значительно выше, чем при использовании амплитудных дифракционных решеток.

Разработанный способ и устройство обеспечивают функциональное объединение в одном устройстве измерителей малых линейных и угловых перемещений поверхности ОК.

Выводы

Предлагаемые технические и технологические решения научно обоснованы [3-6], защищены патентами РФ на изобретения [7-8] и успешно использованы в процессе решения актуальных научных и производственных задач.

В настоящее время предлагаемые решения могут быть также успешно применены в процессе высокоточных измерений малых линейных и угловых перемещений поверхностей ОК при проведении экспериментальных исследований новых изделий, диагностике их состояния, исследовании процессов дефектообразования в новых конструкционных материалах, исследовании волновых процессов в слоистых конструкциях и конструкциях, выполненных из анизотропных материалов, в машиностроении, судостроении, авиастроении и т.п.

Работы частично поддержаны грантом РФФИ № 13-08-00754.

Список литературы

1. Матвеев А.Н. Оптика.- М.: Высшая школа, 1985.- 351 с.
2. Батраков А.С., Бутусов М.М., Гречка Г.П. Лазерные измерительные системы.- М.: Радио и связь, 1981.- 456 с.
3. Мирошниченко И.П., Серкин А.Г., Сизов В.П. Оптические измерительные технологии и их применение для контроля технического состояния конструкционных материалов и изделий // Нанотехника. 2008. № 4 (16). С. 56-59.
4. Мирошниченко И.П., Серкин А.Г. Унифицированный метод измерения малых линейных и угловых перемещений поверхностей объектов контроля // Дефектоскопия. 2008. № 5. С. 23-27.
5. Мирошниченко И.П., Серкин А.Г., Сизов В.П. Использование точечного источника излучения для расширения функциональных возможностей измерителя перемещений // Оптический журнал. 2008. Том 75. № 7. С. 41-47.

6. Мирошниченко И.П. Перспективные оптические средства измерения малых перемещений для систем диагностики технического состояния материалов и изделий // Контроль. Диагностика. 2010. № 1. С. 45-49.

7. Мирошниченко И.П., Паринов И.А., Рожков Е.В. и др. Оптическое устройство для измерения перемещений. Патент РФ № 2373492, 2009.

8. Мирошниченко И.П., Серкин А.Г., Сизов В.П. Способ измерения линейных и угловых перемещений. Патент РФ № 2388994, 2010.

Optical measuring tools and technologies for quality control structural materials

I.P. Miroshnichenko

Proposed new science-based optical measuring environments, and technologies for measurement of small displacements of the surfaces of the objects of control for quality control and diagnostics of structural materials by acoustic non-destructive methods of control.

Key words: Optical measuring instruments, optical measuring technology, of intention small displacements, quality control, diagnostics, structural materials.

УДК 621.9 (0.45)

РАЗРАБОТКА НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ГОЛОВКИ

*В.В. РЫЖИКОВ, доцент, кандидат наук,
А.А. АНТОНОВА, студентка,
И.К. ЛУКАШ, студент,
И.С. ПРОЗОРОВ, студент,
Е.А. СУДАКОВА, студентка,
К.И. ТЕЛИЦЫНА, студентка,
(БТИ, г. Бийск)*

Рыжиков В.В. — 659305, г. Бийск, ул. Трофимова, 27,
Бийский технологический институт,
e-mail: mrsi@bti.secna.ru

В статье рассматриваются вопросы эксплуатационной точности, надежности инструментальной головки. При этом речь идет о существующих путях устранения погрешности позиционирования при работе инструментальной головки. Для решения поставленной задачи предложена конструкция узла ориентирования, установки и закрепления режущего инструмента, в которой были бы исключены наиболее существенные недостатки существующих инструментальных головок, а также сопутствующую инструментальную оснастку.

Ключевые слова: Токарный станок с ЧПУ, повышение точности обработки, погрешность позиционирования, доработка конструкции узлов станка, инструментальная головка.

В наше время большое распространение получили токарные станки с ЧПУ, оснащенные инструментальными головками. Инструментальная головка является сложным узлом, предназначенным для установки, закрепления и автоматической индексации режущего и вспомогательного инструмента, а также для обеспечения много инструментальной обработки. В связи с высокой кинематической сложностью конструкции данного узла, в нем возникает погрешность позиционирования при смене инструмента, заметно влияющая на точность обработки.

Для определения погрешности позиционирования находящейся в эксплуатации револьверной головки были проведены эксперименты, в результате которых было установлено, что погрешность позиционирования составляет 70% суммы всех погрешностей, возникающих при обработке. Опираясь на данные этих экспериментов можно сделать заключение о том, что находившая применение инструментальная головка имеет значительную погрешность позиционирования инструмента при его смене. При проведении анализа конструкции используемой инструментальной головки УГ9326 и ряда близких аналогов, была выявлена группа общих недостатков, включающих в

себя такие, как недостаточная жесткость конструкции, вызывающая вибрации при обработке и тем самым снижающая производительность; недостаточная плавность работы; низкая степень надежности, обусловленная частым выходом из строя подшипников и выкрашиванием зубьев в зубчатых передачах из-за высокого влияния нагрузок от сил резания; существенная погрешность позиционирования инструмента при его смене [6].

На данный момент для повышения точности обработки используются следующие методы: доработка конструкции узлов станка, использование СОЖ, применение более совершенного инструмента, подналадка станка с учетом систематических погрешностей, применение высокоточных средств контроля, назначение оператора высокой квалификации.

Основываясь на вышеизложенных суждениях, а также учитывая возможные способы повышения точности, было принято решение разработать конструкцию узла ориентирования, установки и закрепления режущего инструмента, в которой были бы исключены наиболее существенные недостатки существующих инструментальных головок, а также сопутствующую инструментальную оснастку.

Предлагаемая конструкция располагается на поперечном суппорте станка 1 и состоит из:

1) резцедержателя, состоящего из установочной призмы 2 и прижима 3, выполненного заодно с манипулятором 4. Манипулятор, в свою очередь, состоит из захвата 5, вал-штока 6, гидроцилиндра 7 и электромотора 8. Манипулятор служит для перемещения инструментальной оправки с закрепленным в ней инструментом из инструментального магазина в установочную призму и обратно в инструментальный магазин, а также для закрепления инструментальной оправки с закрепленным в ней инструментом в призме.

2) быстросменного инструментального магазина, служащего для хранения различного режущего инструмента (резцов, сверл, метчиков, разверток, фрез, зенкеров и др.), состоящего из быстросменного инструментального диска 9 и электропривода 10, служащего для поворота диска и имеющего датчик положения 11.

3) электропривода вращения осевого инструмента 12.

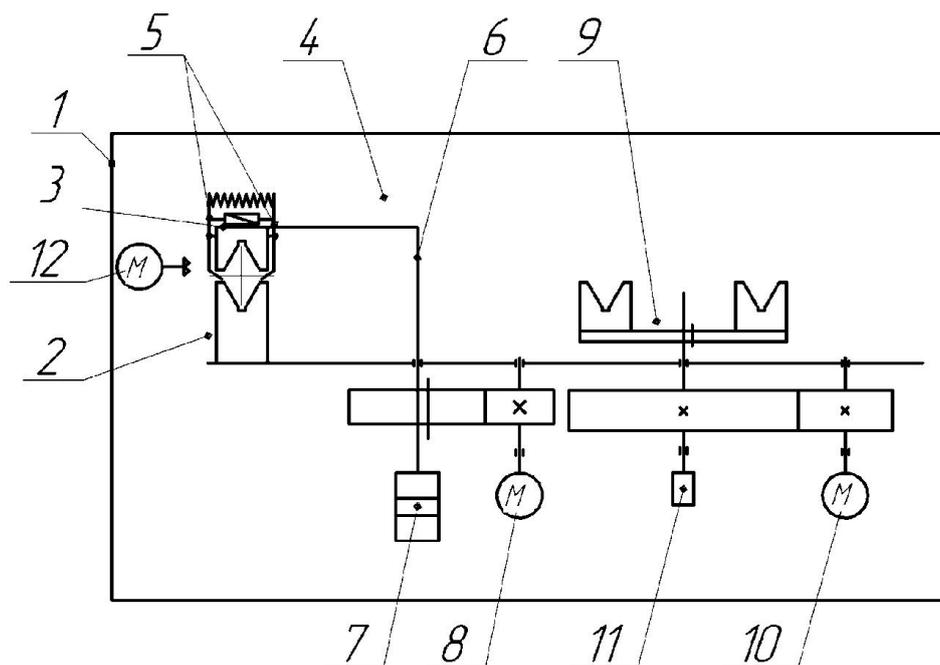


Рис. 1. Кинематическая схема инструментальной головки

Описанная инструментальная головка работает следующим образом. Инструмент устанавливается и закрепляется в специальной шестигранной оправке. Оправка с закрепленным в ней инструментом устанавливается в инструментальный диск. Инструментальный диск устанавливается в инструментальный магазин. Инструмент, необходимый для обработки, захватывается манипулятором, перемещается им из инструментального магазина в установочную призму резцедержателя, базируется и закрепляется прижимом, с постоянной силой закрепления, обеспечиваемой гидроцилиндром. Далее производится обработка. При необходимости смены инструмента манипулятор открепляет инструментальную оправку, перемещает её в пустую позицию инструментального магазина, захват манипулятора освобождает инструментальную оправку, перемещается вверх, инструментальный диск поворачивается в необходимую позицию далее инструмент, необходимый для обработки, захватывается манипулятором, перемещается им из инструментального магазина в установочную призму резцедержателя, базируется и закрепляется прижимом.

При разработке конструкции предлагаемой системы были применены принципы: увеличения жесткости — кинематическая цепочка, воспринимающая на себя нагрузку от сил резания исключена из конструкции, так как установочная призма закреплена непосредственно на суппорте станка; постоянства силы закрепления — гидроцилиндром обеспечивается постоянная сила закрепления, что исключает погрешность закрепления инструмента.

Таким образом, представленная инструментальная головка отличается тем, что инструментальный диск вынесен в отдельный магазин, конструкция

резцедержателя должна обеспечить большую жесткость установки и закрепления инструмента, а также снизить погрешность позиционирования в сравнении с аналогом. Также предлагаемая конструкция инструментальной головки должна гарантировать высокую надежность по причине меньшего количества элементов кинематики, которые чаще всего подвержены поломкам.

Список литературы

1. Корсаков В.С. Основы конструирования приспособлений: Учебник для вузов // 2-е изд., перераб. и доп. // М.: Машиностроение, 1983. - 277 с.
2. Свешников В.К., Усов А.А. Станочные гидроприводы: Справочник. // 2-е изд., перераб. и доп. // М.: Машиностроение, 1988. - 512 с.
3. Кузнецов Ю.И., Маслов А.Р., Байков А.Н. Оснастка для станков с ЧПУ: Справочник // 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1990. - 512 с.
4. Сафраган Р.Э., Кривов Г.А., Татаренко В.Н. Модульное оборудование для гибких производственных систем механической обработки: Справочник // К.: Тэхника, 1989. - 175 с.
5. Жедь В.П., Боровский Г.В., Музыкант Я.А., Ипполитов Г.М. Режущие инструменты, оснащенные сверхтвердыми и керамическими материалами, и их применение // М.: Машиностроение, 1987. - 320 с.
6. Рыжиков, Е.С. Барышева, Ю.С. Босурманова Статистические исследования погрешности позиционирования револьверной головки // Проблемы повышения эффективности металлообработки в промышленности на современном этапе // Материалы 10-й Всероссийской научно-практической конференции 27 марта 2012 г. // Новосибирск, 2012.

New tool head construction development

V.V. Ryzhikov, A.A. Antonova, I.K. Lukash, I.S. Prozorov, E.A. Sudakova,
K.I. Telitsyna

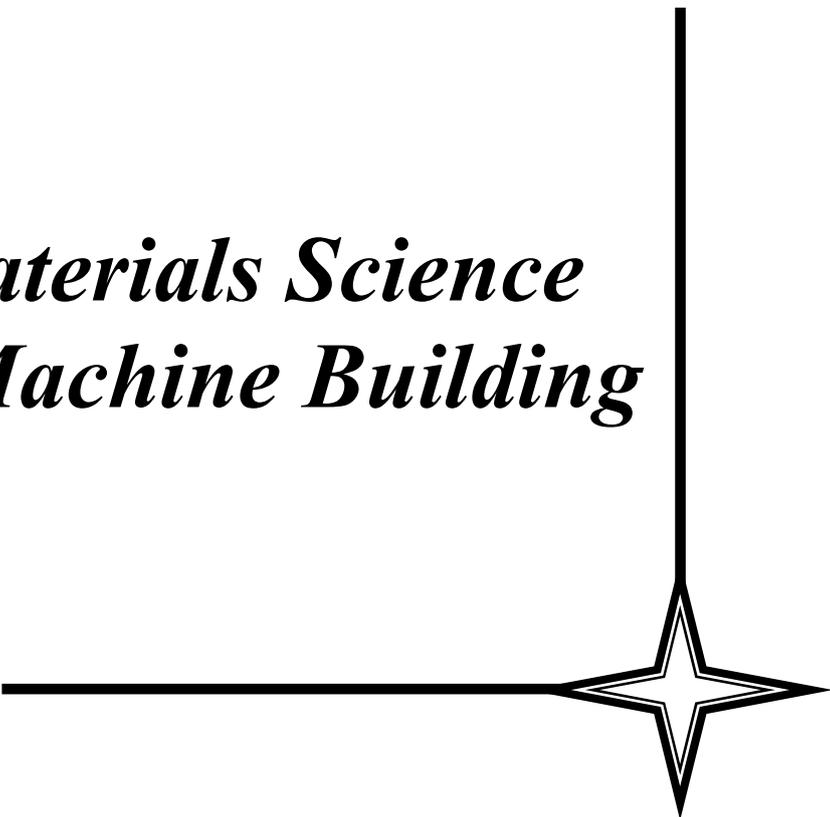
This article discusses questions of operational accuracy and tool head reliability. It is about existing methods of fixing working tool head. For solving this problem, there was suggested the construction of the orientation node (Hub), cutting tool installation and fastening, which excludes major flaws of existing tool heads. Accompanying tool accessory was presented as well.

Key words: numerical control screw-cutting lathe, processing accuracy improvement, positioning inaccuracy, mastering of the lathe nods construction, tool head.



**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ
В МАШИНОСТРОЕНИИ**

*Materials Science
in Machine Building*



УДК 669.716

О ВОЗДЕЙСТВИИ ОБРАБОТКИ РАСПЛАВА И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ЛИНЕЙНОЕ РАСШИРЕНИЕ АЛЮМИНИЕВОКРЕМНИЕВЫХ СПЛАВОВ

В.К. АФАНАСЬЕВ, доктор техн. наук, профессор,

С.В. ДОЛГОВА, ст. преп.

Т.С. ПАУТОВА выпускник

Д.С. ПЯТИНА выпускник

В.А. ЛЕЙС, аспирант

А.А. КОПЫТЬКО, выпускник

(СибГИУ, г. Новокузнецк)

Афанасьев В.К. – 654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, д. 42;
Сибирский государственный индустриальный университет,
e-mail: Vladimir-leis@yandex.ru

В работе изучено влияние обработки расплавов алюминия и его сплавов с 1÷40 % кремния, а также последующей термической обработки на линейное расширение. Установлено, что обработка расплава карбамидом снижает коэффициент линейного расширения (КЛР) выбранных материалов в интервале температур испытания 50÷450 °С. Установлены оптимальные параметры термической обработки для развития снижения КЛР. Определены перспективы использования сплавов, полученных по разработанному способу.

Ключевые слова: Алюминий, силумины, тепловое расширение, расплав, карбамид, термическая обработка

Введение

Алюминиевокремниевые сплавы, наряду с дуралюминами и сплавами системы Al-Mg, являются одними из наиболее востребованных цветных функциональных и конструкционных сплавов. Область их применения, в основном, сконцентрирована в авиационной и космической технике, а также двигателестроении. Материалы, используемые в указанных отраслях, должны иметь, наряду с малым удельным весом и удовлетворительными механическими свойствами, низкий коэффициент линейного расширения (КЛР).

Эталонном сплавом с малым тепловым расширением является инвар – сплав Fe – 36 % Ni, разработанный Ш. Гильомом в 1896 г. Использование этого сплава для изготовления деталей космических аппаратов ограничено в связи с его большим удельным весом. Среди легких сплавов коэффициентом линейного расширения, сопоставимым с КЛР сталей ($\alpha=11,5\div13,5\cdot10^{-6}$ град⁻¹), обладают спеченные алюминиевые сплавы (САС). Однако, их высокая хрупкость, сложность и затратность получения, требуют поиска новых композиций и способов приготовления и обработки легких сплавов с малым тепловым расширением.

Алюминий, получаемый традиционным путем, обладает высоким КЛР: в интервале температур $50 \div 450$ °С $\alpha = 21,5 \div 27,0 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹. Кремний, в наибольшей мере снижающий КЛР алюминия, при введении до 12 % не дает требуемых значений теплового расширения, а увеличение содержания кремния за пределы эвтектического состава приводит к охрупчиванию сплава и, следовательно, потере технологической и эксплуатационной пригодности.

В связи с этим в настоящей работе были предприняты попытки снижения коэффициента линейного расширения алюминия и сплавов системы Al – Si, платформой для которых служат положения о ведущей роли водорода и его разновидностей в формировании свойств металлов и сплавов [1, 2]. Правомочность такого подхода подтверждена многочисленными результатами экспериментальных работ [3, 4, 5].

Материалы и методы

В качестве шихтовых материалов для приготовления алюминиевых сплавов с 1, 11, 20, 30 и 40 % кремния использовались алюминий марки А7 и кремний марки Кр0 (химический состав в соответствии с ГОСТ 11069-2001 и ГОСТ 2169-69). Выплавка сплавов проводилась в специально сконструированной печи шахтного типа.

Для обработки расплава был выбран амид угольной кислоты (карбамид, мочевины), описываемый формулой химического соединения $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ и имеющий температуру плавления 132,7 °С и температуру разложения 152 °С. Продувка расплавов парами мочевины осуществлялась при температурах 700...900 °С в течение 3...6 мин. Кристаллизация сплавов проводилась в алюминиевом кокиле с температур заливки 730...750 °С.

Термическая обработка при температурах 100, 150, 200 °С проводилась в электрических шкафах сопротивления СНОЛ–3,5.3,5.3,5/3-43.У4,2 с рабочим пространством 350×350×350 мм и разбегом температуры в рабочем пространстве ± 5 °С. Выбор температур обработки обусловлен интервалами наиболее активного диффузионного перераспределения водорода в металле, а также взаимодействия его с азотом, как собственным, так и внесенным в процессе обработки расплава.

Коэффициенты линейного расширения были определены на оптическом дифференциальном dilatометре Шевенара. В отдельных случаях измерение КЛР проводилось в условиях ОАО «Информационные спутниковые системы им. академика М.Ф. Решетнева» (г. Железногорск) на приборе для термомеханического анализа ТМА 402 фирмы «NETZSCH - Geratebau GmbH», (Германия).

Статистическая обработка результатов проводилась согласно рекомендациям [6].

Результаты и обсуждение

На рис. 1 (а, б) приведены результаты воздействия обработки расплава карбамидом на линейное расширение алюминия и его сплавов в 1÷40 % Si. Видно, что выбранный способ приготовления существенно снижает КЛР алюминия и сплавов Al – 1÷11 % Si во всем интервале температур испытаний.

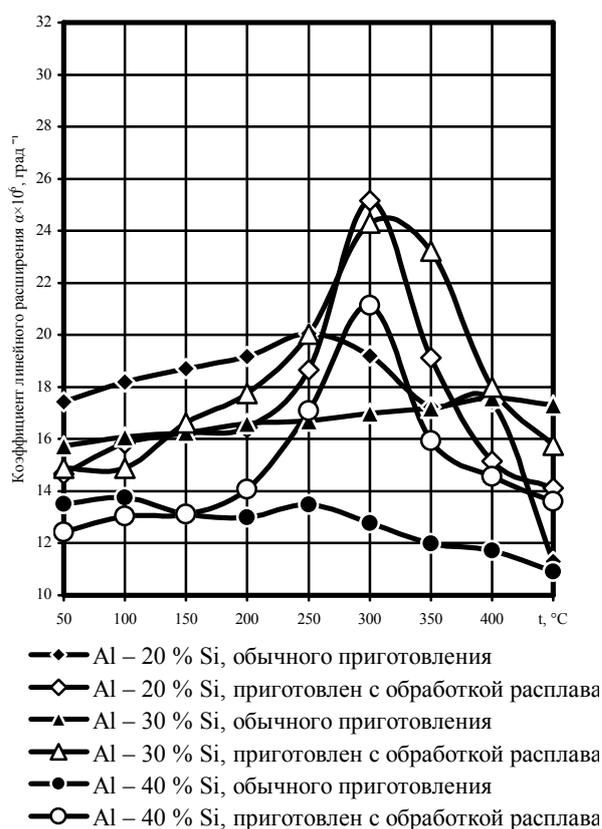
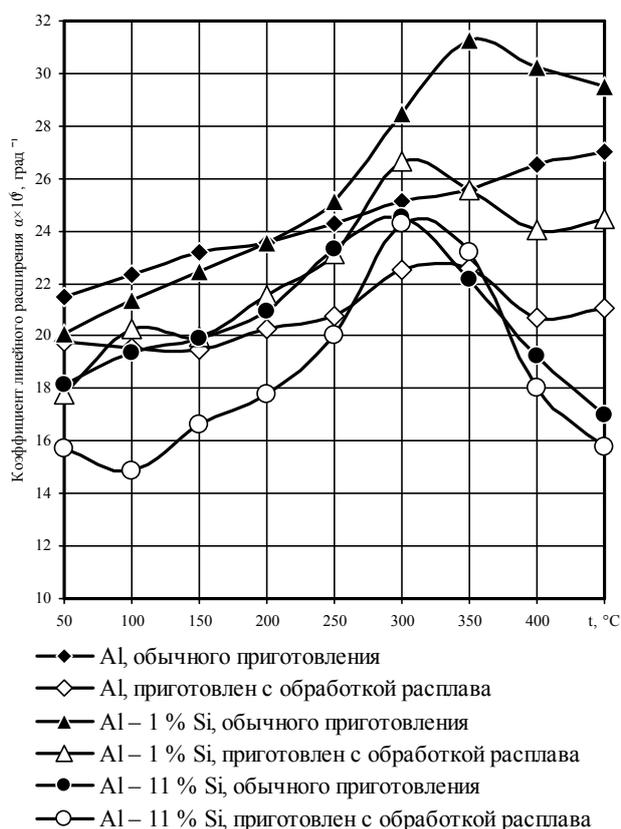


Рис. 1, а – Влияние обработки расплава парами $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ на линейное расширение алюминия и силуминов

Рис. 1, б – Влияние обработки расплава парами $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ на линейное расширение алюминия и силуминов

Так, алюминий, обработанный в жидком состоянии мочевиной, имеет при температурах испытания $t_{\text{исп}} = 100 \div 150 \text{ }^\circ\text{C}$ КЛР такой же, как у сплава Al – 11 % Si обычного приготовления, другими словами, применение разработанного способа позволяет устранить технологические и материальные затраты на введение 11 % кристаллического кремния. Обработка расплава высококремнистых силуминов (20, 30, 40 % Si) приводит к появлению аномалии теплового расширения, заключающейся в резком повышении КЛР при $t_{\text{исп}} = 300 \text{ }^\circ\text{C}$, что является характерным для настоящей группы сплавов и гипотетически связывается с разложением кремнистой фазы и выходом элементов внедрения в металл-основу.

Термическая обработка, заключающаяся в нагреве в течение 10 ч при температурах 100, 150 и 200 °С с последующим охлаждением на воздухе, в ряде случаев приводит к дальнейшему снижению КЛР исследуемых сплавов. Так, для алюминия форма дилатометрической кривой, обеспечивающая наиболее стабильные значения КЛР, получена после обработки при 150 °С (рис. 2); КЛР сплавов Al – 1 % Si и Al – 11 % Si снижается в интервале $t_{исп}$ 300...450 °С после обработке при любой из выбранных температур, но наиболее эффективна также обработка при 150 °С (рис. 3, 4). Однако, следует отметить, что проведение второго цикла обработки при тех же параметрах не ведет

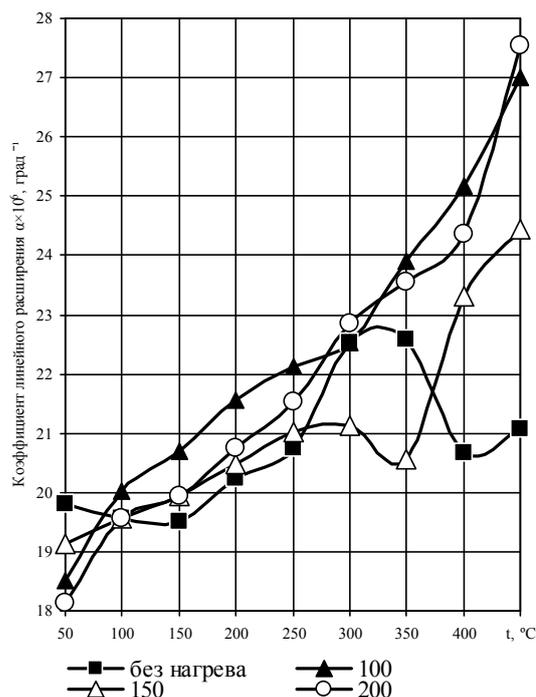


Рис. 2 – Влияние нагрева (10 ч, воздух) на линейное расширение алюминия А7 (обработка расплава парами $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$)

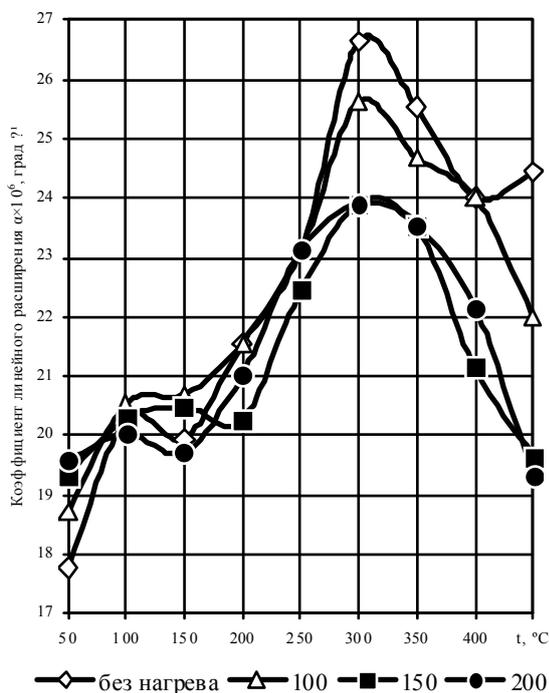


Рис.3 – Влияние нагрева (10 ч, воздух) на линейное расширение сплава Al – 1 % Si (обработка расплава парами $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$)

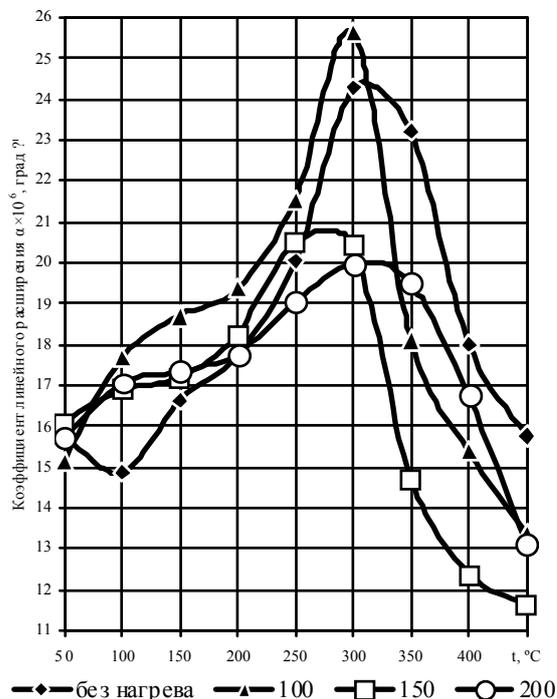


Рис. 4 – Влияние нагрева (10 ч, воздух) на линейное расширение сплава Al – 11 % Si (обработка расплава парами $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$)

к дальнейшему снижению КЛР. Нагрев высококремнистых силуминов уменьшает аномалию, проявляющуюся при $t_{исп}$ 300 °С, тем эффективнее, чем выше температура нагрева, после нагрева при 200 °С аномалия полностью

устраняется (рис. 5 – 7), что, по всей вероятности, связано с образованием элементами внедрения собственных соединений с малым КЛР. Увеличение времени нагрева при 200 °С до 20 ч не дает дополнительного снижения КЛР, что свидетельствует о достаточности выбранного времени обработки для полного прохождения диффузионных процессов.

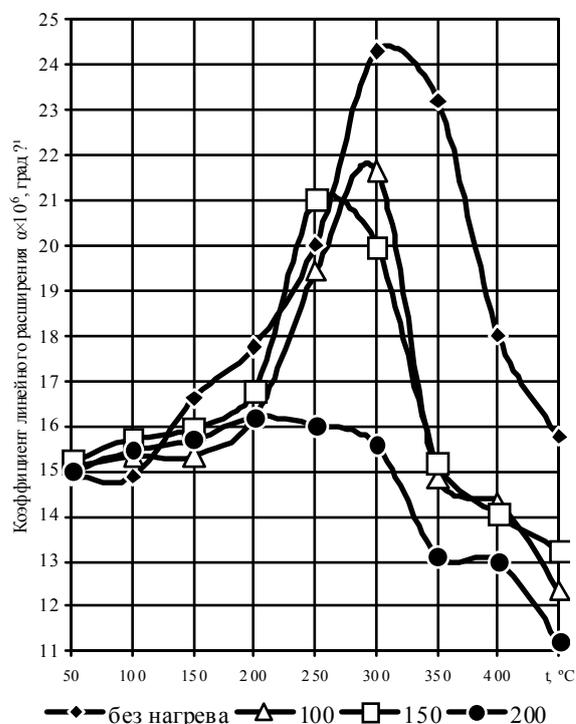
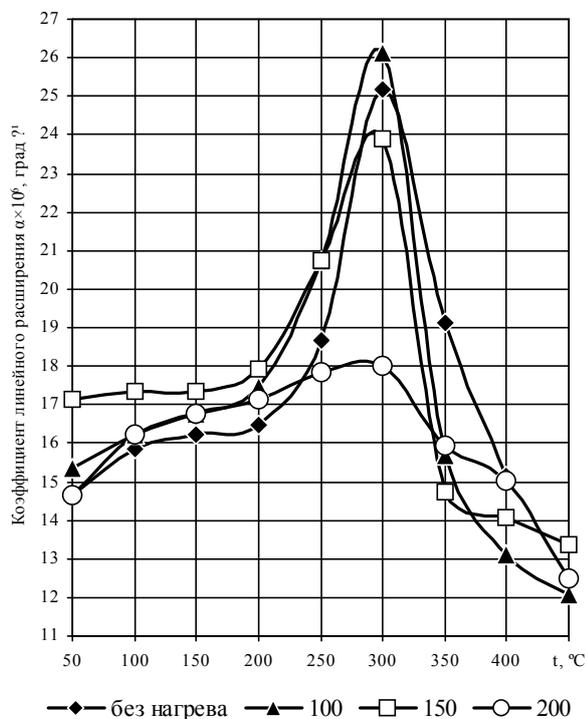


Рис. 5 – Влияние нагрева (10 ч, воздух) на линейное расширение сплава Al – 20 % Si (обработка расплава парами CO(NH₂)₂)

Рис. 6 – Влияние нагрева (10 ч, воздух) на линейное расширение сплава Al – 30 % Si (обработка расплава парами CO(NH₂)₂)

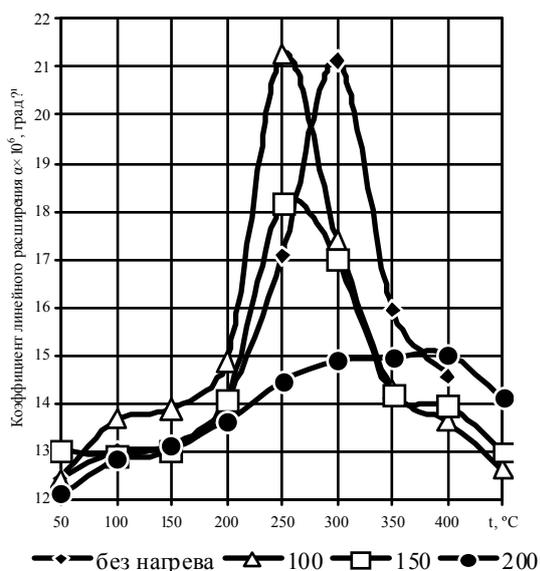


Рис. 7 – Влияние нагрева (10 ч, воздух) на линейное расширение сплава Al – 40 % Si (обработка расплава парами CO(NH₂)₂)

Выводы

1. Обработка расплава парами карбамида приводит к снижению КЛР алюминия и силуминов доэвтектического состава во всем интервале температур испытания.

2. Термическая обработка при 100÷200 °С позволяет дополнительно снизить КЛР алюминия и его сплавов с кремнием. Для малокремнистых силуминов наиболее эффективной признана обработка при 150 °С, для высококремнистых – при 200 °С.

3. Сплавы, приготовленные по предлагаемому способу, имеют перспективы для использования в авиационной и космической технике и, в ряде случаев, могут послужить заменой сплавам типа САС.

Список литературы

1. Афанасьев В.К. Водородная платформа периодической системы элементов // *Металлургия машиностроения*. 2011. № 2. С. 21- 26.

2. Афанасьев В.К. Водородная платформа периодической системы элементов // *Металлургия машиностроения*. Часть II. 2012. № 4. С. 2- 7.

3. Афанасьев В.К. Повышение технологических и служебных свойств алюминиевых сплавов с регламентированным содержанием водорода совершенствованием их составов и технологии производства / Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук.- Минск,- 1987.- 36с..

4. Попова М,В. Научно – технологические основы разработки заэвтектических силуминов с регулируемым температурным коэффициентом линейного расширения производства / Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук.- Новосибирск,- 2004.- 37с.

5. Прудников А.Н. Структурно – технологические основы разработки прецизионных силуминов с регламентированным содержанием водорода / Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук.- Новосибирск,-2013.- 34с.

6. Назаров Н.Г. Измерения : планирование и обработка результатов [Текст] / Н.Г. Назаров. - М. : Изд-во стандартов, 2000. - 302 с.

About impact of processing fusion and heat treatment on linear dilation the aluminum-silicon alloys

V.K. Afanasyev, S.V. Dolgva, T.S. Pautova, D.S. Pyatina, V.A. Leis, A.A. Kopytko

In work was studied influence of processing of fusions of aluminum and its alloys with 1÷40 of silicon %, and also the subsequent heat treatment for linear dilation. It is determined that processing of fusion by a carbamide decreases the coefficient of linear dilation (CLD) of the chosen materials in the range of temperatures of test 50÷450 of °C. Optimum parameters of heat treatment for development of decrease in CLD are established. Prospects of use of the alloys received on the developed way are defined.

Key words: Aluminum, silumin, thermal dilation, fusion, carbamide, heat treatment

УДК 669.094.25:669.715

О ЛИНЕЙНОМ РАСШИРЕНИИ ДЕФОРМИРОВАННЫХ СИНТЕТИЧЕСКИХ СИЛУМИНОВ

*В.К. АФАНАСЬЕВ, доктор техн. наук, профессор,
С.В. ДОЛГОВА, ст. преп.
В.А. ЛЕЙС, аспирант
А.В. ГОРШЕНИН инженер
Г.Г. ШАНИН выпускник
Н.Д. ТЕБИН выпускник
(СибГИУ, г.Новокузнецк)*

Афанасьев В.К. – 654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, д. 42;
Сибирский государственный индустриальный университет,
e-mail: Vladimir-leis@yandex.ru

В работе изучено влияние деформации и термической обработки на линейное расширение синтетических алюминиевокремниевых сплавов, приготовленных на диоксиде кремния. Установлены закономерности влияния термической обработки на коэффициент линейного расширения (КЛР) приготовленных сплавов.

Ключевые слова: Синтетические силумины, тепловое расширение, деформация, термическая обработка

Введение

Лучшим достижением в области создания сплавов с малым коэффициентом линейного расширения являются инвары и ковары (НЗ6, 32НКД, Н29К18), а также спеченные алюминиевые сплавы (САС 1-50 и 1-400). Однако, инвары содержат дефицитный никель (36-46%) и другие дорогостоящие элементы, включая палладий и платину (до 31 %), а САСы имеют сложную технологию получения и неудовлетворительные механические свойства. Разработка легких алюминиевокремниевых инваров особенно актуальна в связи с тем, что малый удельный вес является свойством первостепенной важности для материалов космической техники.

Разработка альтернативных технологий приготовления алюминиевокремниевых сплавов, заключающихся в замене металлического кремния его окислами при насыщении расплава водородсодержащими веществами, является новой в практике производства силуминов. Применение технологии в промышленных масштабах обеспечит существенный экономический эффект (стоимость кремния на октябрь 2013 г – 130000 руб/т, а стоимость песка 350-600 руб/т).

В настоящей работе впервые для приготовления малокремнистых силуминов вместо кристаллического кремния применялось бутылочное стекло, что обусловлено относительно высокой стоимостью кремния и проблемой утилизации бытовых отходов. Согласно принципу снижения термической

стойкости металла к оплавлению при повышении содержания водорода растворение шихтового стекла обеспечивалось путем наводороживания расплава. Свойства полученного сплава изучались в деформированном состоянии, что согласуется с требованиями космической техники.

Принцип приготовления и обработки сплавов базируется на положениях о ведущей роли водорода в формировании свойств металлов и сплавов [1, 2].

Материалы и методы

Для приготовления синтетических силуминов использовался алюминий марки А7 (химический состав по ГОСТ 11069-2000). Выплавка сплавов проводилась в печи шахтного типа. Диоксид кремния вводили в виде кварцевого песка и молотого бутылочного стекла порционно. После введения каждой порции SiO_2 сплав подвергался наводороживанию.

Деформация сплавов осуществлялась путем горячейковки пневматическим молотом с весом падающих частей 85 кг в условиях ООО «АртМеталл».

Термическая обработка при температурах 100, 150, 200 и 450 °С проводилась в электрических шкафах сопротивления СНОЛ–3,5.3,5.3,5/3-43.У4,2 с рабочим пространством 350×350×350 мм и разбегом температуры в рабочем пространстве ± 5 °С.

Коэффициенты линейного расширения были определены на оптическом дифференциальном dilatометре Шевенара и на приборе для термомеханического анализа ТМА 402 фирмы «NETZSCH - Geratebau GmbH», (Германия) в условиях ОАО «Информационные спутниковые системы им. академика М.Ф. Решетнева» (г. Железногорск).

Результаты и обсуждение

Оценка коэффициента линейного расширения приготовленных синтетических сплавов в литом состоянии проводилась в сравнении со сплавом Al – 5 % Si, имеющим наиболее близкую микроструктуру с полученными (рис. 1). На этом же рис. показано изменение КЛР после горячей деформации. Видно, что КЛР резко снижается во всем интервале температур испытания, а аномалия при $t_{\text{исп}} = 300$ °С полностью устраняется. Конфигурация dilatометрических кривых деформированных синтетических сплавов, приготовленных на стекле и на песке, характерна для литых силуминов с 20÷25 % кремния. Настоящий факт имеет важное значение для экономического обеспечения промышленного производства изделий из силуминов. Кроме того, следует отметить, что сплавы Al – 20÷25 % Si традиционного приготовления хрупки и не могут подвергаться деформации, что ограничивает их область применения (так, в космической технике используются, в основном, материалы в деформированном состоянии). Механические свойства синтетических силуминов с регламентированным содержанием водорода имеют повышенные механические свойства по сравнению со сплавами обычного приготовления [3].

На рис. 2 и 3 приведены результаты исследования чувствительности новых сплавов к термической обработке. КЛР сплава, приготовленного на песке, после нагрева при 100 и 150 °С сохраняет свою стабильность, однако, при повышении температуры нагрева до 200 °С – повышается во всем интервале температур испытания.

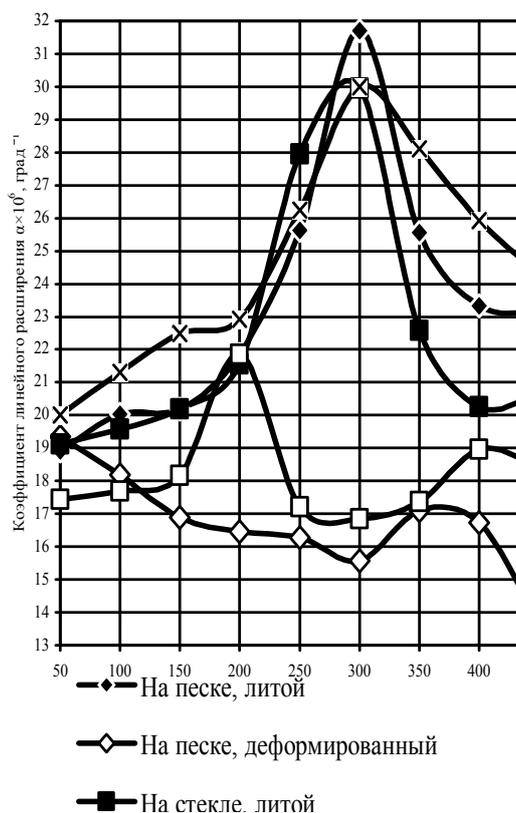


Рисунок 1 – Линейное расширение синтетических силуминов

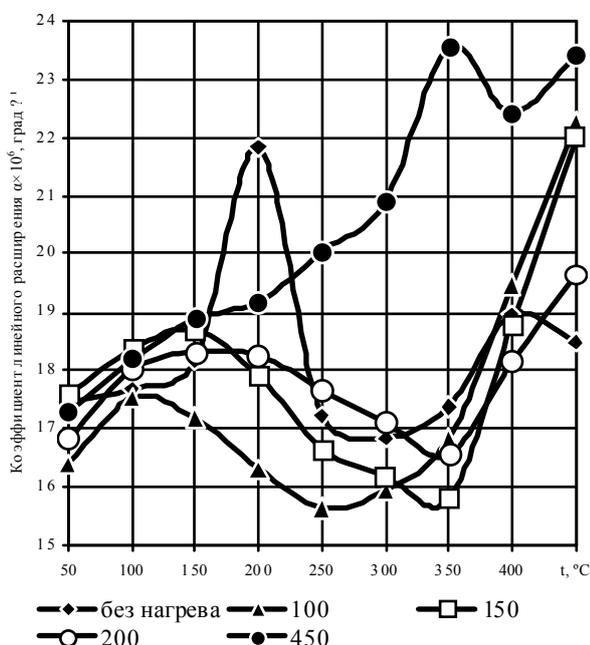


Рисунок 2 – Влияние нагрева (10 ч, воздух) на линейное расширение деформированного синтетического силумина, приготовленного на песке

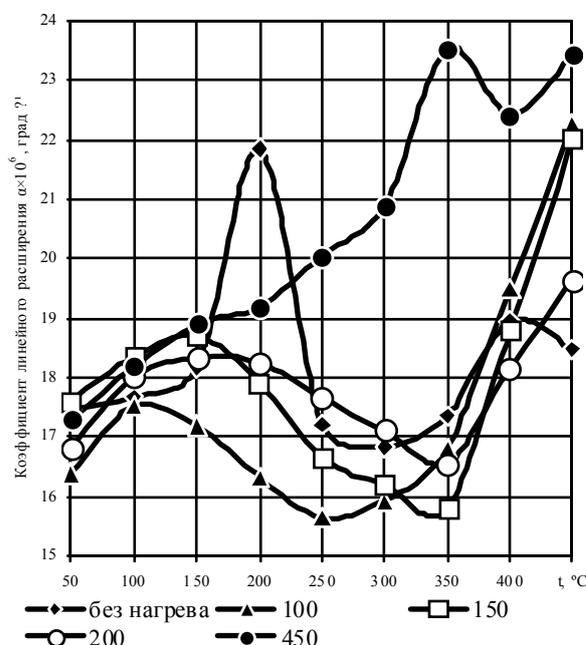


Рисунок 3 – Влияние нагрева (10 ч, воздух) на линейное расширение деформированного синтетического силумина, приготовленного на стекле

Подобным образом изменяется и тепловое расширение сплава, приготовленного на стекле, исключение составляет то обстоятельство, что

повышение КЛР происходит после нагрева при более высокой температуре – 450 °С. Увеличение количества циклов обработки даже при самой низкой из выбранных температурных параметров (100 °С) не приводит к снижению КЛР (рис. 4, 5).

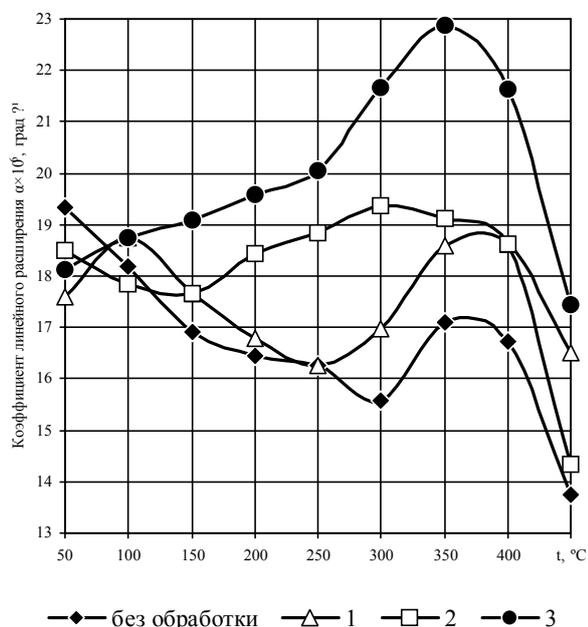


Рисунок 4 – Влияние циклического нагрева (1 цикл – 100 °С, 10 ч, воздух) на линейное расширение деформированного синтезического силумина, приготовленного на песке

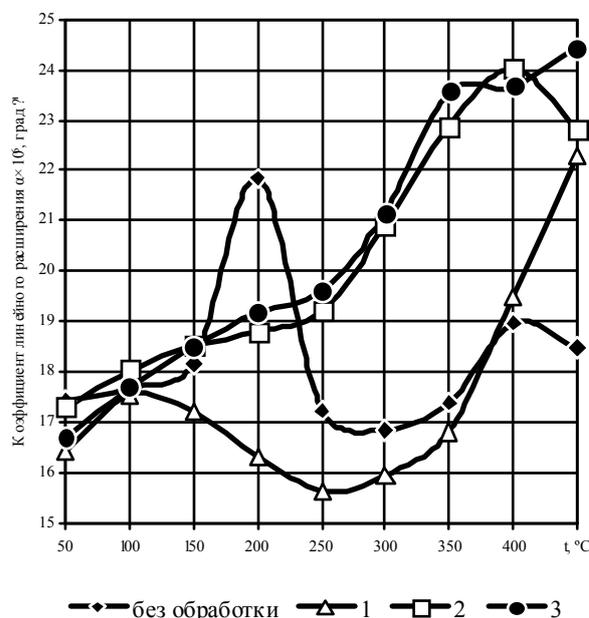


Рисунок 5 – Влияние циклического нагрева (1 цикл – 100 °С, 10 ч, воздух) на линейное расширение деформированного синтезического силумина, приготовленного на стекле

Выводы

1. Разработаны и реализованы в лабораторных условиях способы приготовления силуминов с использованием диоксида кремния в виде песка и молотого бутылочного стекла.
2. Изучено линейное расширение синтезических силуминов в литом и деформированном состояниях. Установлено, что деформация существенно снижает КЛР сплавов.
3. Установлено, что термическая обработка синтезических силуминов, проводимая в интервале 100...200 °С, сохраняет стабильные значения КЛР исследуемых сплавов во всем интервале температур испытания.
4. Настоящие разработки состава, способа приготовления и термической обработки в будущем могут послужить технологической платформой для создания легких инваров для космической и авиационной техники.

Список литературы

1. Афанасьев В.К. Водородная платформа периодической системы элементов // *Металлургия машиностроения*. 2011. № 2. С. 21- 26.

2. Афанасьев В.К. Водородная платформа периодической системы элементов // *Металлургия машиностроения*. Часть II. 2012. № 4. С. 2- 7.

3. Афанасьев В.К., Герцен В.В., Горшенин А.В., Долгова С.В., Лейс В.А., Хайруллин П.Ю. Получение Al-Si-сплавов с применением водорода и кремнезема / *Металлургия машиностроения*, №1, 2014 г., С. 28-33.

About linear dilation of the deformed synthetic silumin

Afanasyev V.K., Dolgva S.V., Leis V.A., Gorshenyn A.V., Shanyn G.G., Tebin N.D.

In work influence of deformation and heat treatment on linear dilation synthetic the aluminum-silicon of the alloys prepared on dioxide of silicon is studied. Consistent patterns of influence of heat treatment on the coefficient of linear dilation (CLD) of the prepared alloys are determined.

Key words: Synthetic silumin, thermal dilation, deformation, heat treatment.

УДК 661.811

**ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА СИНТЕЗА ДИБОРИДА ЦИРКОНИЯ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОВОЛОКНИСТОГО УГЛЕРОДА**

Ю.Л. КРУТСКИЙ, канд. техн. наук, доцент,
А.Г. БАННОВ, канд. техн. наук, доцент,
А.А. БЕЛОУСОВА, студент,
В.В. КУЗНЕЦОВА, студент
(НГТУ, г. Новосибирск)

Белюсова А.А. – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: Belousova_Anna_Aleksandrovna@mail.ru

В статье представлены результаты исследования синтеза порошкообразного диборида циркония и его характеристики. Диборид циркония был получен из диоксида циркония и карбида бора в индукционной печи. Наличие диборида циркония в образцах было определено с помощью рентгенофазового анализа. Форма частиц и размер частиц образцов диборида циркония были определены методом сканирующей электронной микроскопии. Полученный материал содержал одну фазу - диборида циркония, частицы размером 2-3 мкм.

Ключевые слова: диборид циркония, нановолокнистый углерод, синтез.

Введение

Диборид циркония обладает комплексом уникальных физико-механических свойств: высокая температура плавления, высокая теплопроводность, высокая твердость, стойкость к абразивному износу и в агрессивных средах. В связи с этим он нашел применение в промышленности: из него изготавливаются чехлы термопар для измерения температур расплавленных металлов и сплавов, лодочки для вакуумной металлизации и тигли для прецизионной металлургии. Кроме того, он используется в качестве нагревателя высокотемпературных печей сопротивления [1,2].

Из всех существующих методов получения этого соединения (синтез из элементов, карботермический, карбидоборный) наиболее часто используется последний, протекающий по реакции [3]:



Источником углерода является ламповая сажа с удельной поверхностью 14-18 м²/г. Используемый карбид бора (ГОСТ 5744) имеет дисперсность от 3 до 200 мкм и может содержать значительное количество примесей. Температура процесса 1900 °С, время синтеза 1 час [4].

Использование более дисперсных исходных реагентов позволит снизить параметры (температуру и время) этого процесса.

В данной работе приведены результаты исследования процесса синтеза диборида циркония с использованием нановолокнистого углерода (НВУ) и высокодисперсного карбида бора.

Методика экспериментальных исследований

Шихта для синтеза диборида циркония готовилась из диоксида циркония, карбида бора и НВУ в соответствии со стехиометрией для приведенной выше реакции.

В качестве углеродного материала применялся нановолокнистый углерод (НВУ), получаемый при каталитическом разложении метана с использованием Ni-содержащих катализаторов при температуре 550 °С. Величина его удельной поверхности находится в пределах 140-160 м²/г, т.е. значительно выше, чем у ламповой сажи [5]. Используемый в экспериментах карбид бора был получен синтезом из элементов с использованием НВУ [6]. Содержание примесей в нем находится на уровне 1,5 % масс., а средний размер частиц не превышает 1 мкм.

Для определения параметров синтеза выполнен расчет температуры начала восстановления вышеуказанной реакции (при давлении СО 0,1 МПа), с использованием справочных данных, приведенных в [1,6]. Температура начала восстановления составляет примерно 1660 К (1390 °С).

В экспериментах температура составила 1800 °С, время синтеза 30 и 60 минут. Эксперименты проводились в индукционной печи в среде аргона. Экспериментальная убыль массы (33,8 % и 34,2 %) практически совпадает с расчетной (33,1 %), что свидетельствует о полном протекании реакции.

Продукты синтеза исследовались рентгенофазовым анализом (РФА) на дифрактометре ДРОН-3 с использованием Cu K α излучения ($\lambda = 0,15406$ нм).

Определение содержания циркония проведено рентгеноспектральным флуоресцентным методом на анализаторе ARL -Advant'x с Rh - анодом рентгеновской трубки.

Морфология поверхности и элементный состав образцов изучались на растровом электронном микроскопе (РЭМ) марки S-3400 фирмы «Hitachi».

Результаты и обсуждение

Рентгенофазовым анализом установлено, что полученный материал в обоих экспериментах состоит из одной фазы – диборида циркония. Дифрактограмма образца приведена на рисунке 1.

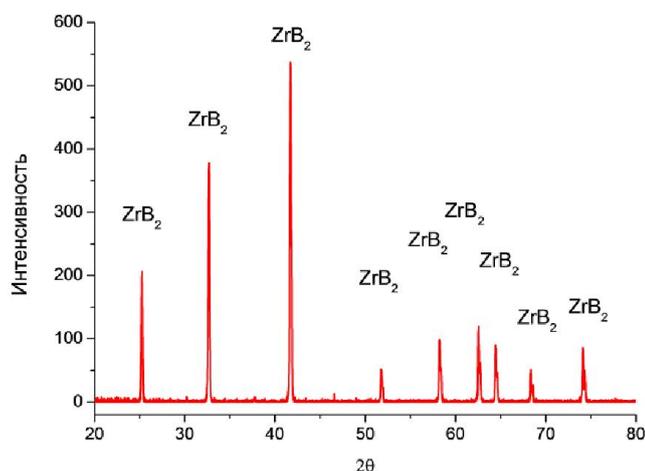


Рис. 1. Дифрактограмма образца диборида циркония

Содержание циркония в образцах составило 81-82% (расчетное содержание 80,5%), это свидетельствует о высоком содержании диборида циркония в образцах.

На снимках РЭМ видно, что материал состоит из частиц размером 2-3 мкм, форма которых близка к сферической; частицы состоят из агрегатов.

Типичная электронная микрофотография приведена на рисунке 2.

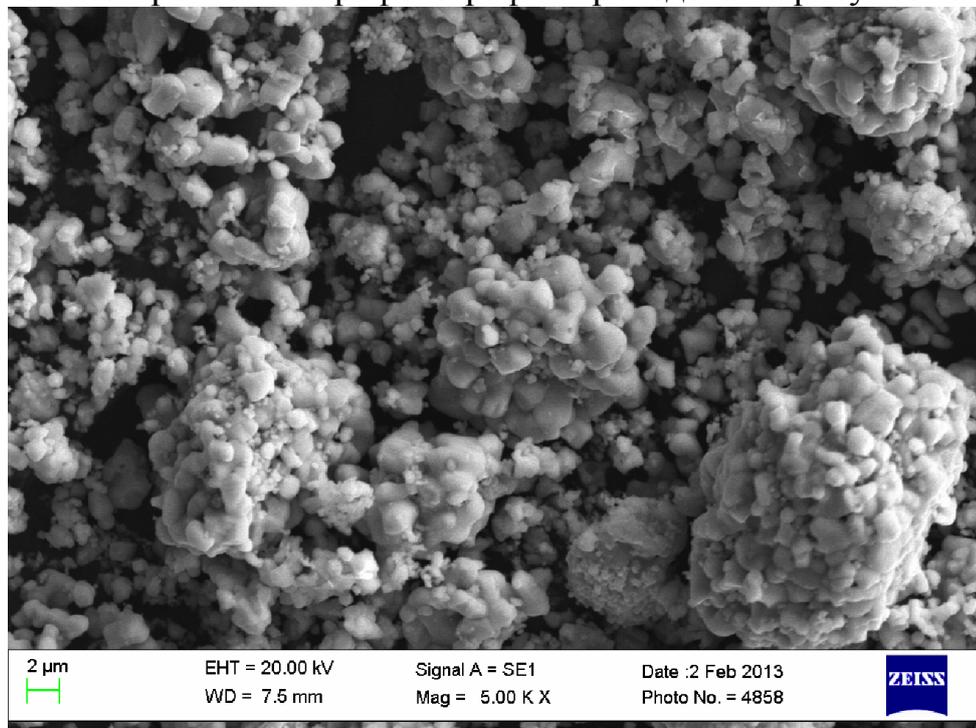


Рис. 2. Снимок РЭМ образца диборида циркония

Выводы

Использование при синтезе диборида циркония карбидоборным способом НВУ и высокодисперсного карбида бора позволило снизить температуру и время процесса. Полученный материал имеет незначительное содержание примесей и состоит из частиц размером на уровне 2-3 мкм.

Список литературы

1. Свойства, получение и применение тугоплавких соединений / под ред. Косолаповой Т.А. – М.: Металлургия, 1986, 928с.
2. Mroz C. Zirconium Diboride. American Ceramic Society Bulletin, 1995, V. 74, N 6, p. 163 – 164.
3. Серебрякова Т.И., Неронов В.А. Пешев П.Д. Высокотемпературные бориды. М.: Металлургия, Челябинское отделение, 1991. 368 с.
4. Карасев А.И. Получение порошков технических боридов титана, циркония, хрома и вольфрама борокарбидным методом. Порошковая металлургия, 1973, № 10, с. 1 – 5.

5. Kuvshinov G.G., Mogilnykh Yu.I., Kuvshinov D.G., Yermakov D.Yu., Yermakova M.A., Salanov A.N., Rudina N.A. Mechanism of Porous Filamentous Carbon Granule Formation on Catalytic Hydrocarbon Decomposition. Carbon. – 1999. – 37. – P.1239 – 1246.

6. Физико – химические свойства окислов / под ред. Самсонова Г.В. – М.: Металлургия, 1978, 472с.

The studying of the synthesis of zirconium diboride using nanofibrous carbon

Yu.L. Krutskiy, A.G. Bannov, A.A. Belousova, V.V. Kuznetsova

The results of a studying the synthesis of the zirconium diboride powder and its characteristics are presented in the article. Zirconium diboride was obtained from dioxide zirconium and carbide boron in an induction furnace. The presence of zirconium diboride in samples was identified by X-ray diffraction. The shape and size of particles of zirconium diboride samples were determined by scanning electron microscopy. The resulting material contained a single phase - zirconium diboride and particles with the size of 2-3 μm .

Key words: zirconium diboride, nanofibrous carbon, synthesis.

УДК 539.2:669.01

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ КРУПНЫХ
ПОКОВОК ИЗ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ МАРКИ ST52,3N ПРИ ОБРАБОТКЕ
ДАВЛЕНИЕМ**

*Д.В. ВАЛУЕВ, к.т.н., доцент,
В.И. ДАНИЛОВ, г.н.с., д-р ф.-м.н., профессор*

Валуев Д.В. - 652000, Кемеровская обл. г. Юрга, ул. Ленинградская, 26,
Юргинский технологический институт
(филиал) Томского политехнического университета
тел. (38451)-6-22-48, e-mail: valuevden@rambler.ru
Данилов В.И. - 634021, г. Томск, пр-т Академический, 2/1,
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,
e-mail: dvi@ispms.tsc.ru

В работе представлены электронно-микроскопические исследования структуры, фазового и напряженно - деформированного состояния материала из поковок. Обнаружено, что дислокации в ферритных зернах и прослойках перлита стали из поковки, растрескавшейся после проведения технологических операций, в полтора раза больше чем в кондиционном материале. Металл в этом состоянии имеет повышенное содержание сульфидов пластинчатой морфологии.

Установлено, что причиной формирования неблагоприятного структурного состояния является повышенное содержание углерода, что привело к перегреву металла, как при обработке давлением, так и при финишной термической обработке.

Ключевые слова: структура, производство, термическая обработка, сульфиды, поковки, материал, обработка давлением.

Введение

Главными факторами, определяющими конструктивную прочность изделий из сталей, являются: тип дефектной субструктуры, морфология основных фазовых составляющих, морфология и кристаллохимическая природа выделений вторичных фаз, величина внутренних далекодействующих напряжений. Именно они во многом определяют склонность к растрескиванию заготовок и готовой продукции при горячей ковке [1].

В настоящей работе проводились сравнительные электронно-микроскопические исследования тонкой структуры стали St52,3N (германский аналог стали 17Г1С) из кондиционной (состояние I) и растрескавшейся после окончания технологических операций (состояние II), поковок на просвечивающем микроскопе УЭМВ-125К в светлом и темном поле.

Предварительный анализ механических свойств [2] показал, что, если прочностные показатели обоих состояний стали находятся на одинаковом уровне, то состояние II характеризуется пониженной пластичностью. На изломах, образующихся при испытании на ударную вязкость, в этом состоянии наблюдаются значительные участки хрупкого разрушения. Стандартные

металлографические исследования позволили установить [2], что в обоих состояниях сталь является феррито-перлитным агрегатом. Перлит представлен как пластинчатой, так и глобулярной модификациями. В том и другом состояниях размеры, как ферритных зерен, так и перлитных колоний существенно не различаются. В ферритных зернах наблюдаются выделения вторичных фаз, а в перлитных колониях и на межфазных границах – поры размерами до 10 мкм. Состояние II отличается повышенной пористостью, на 5-7 % более высоким содержанием перлита и более грубым строением последнего.

Результаты электронно-микроскопических исследований стали St52,3N

Характерные для состояния II электронно-микроскопические изображения феррита, перлита глобулярной и перлита пластинчатой морфологий приведено на рис. 1, а, б, в, соответственно.

В большинстве случаев колонии перлита располагаются в стыках границ зерен феррита, либо вытянуты вдоль этих границ, разделяя соседние ферритные зерна, например, как колония глобулярного перлита на рис. 1, б. Пластинчатая морфология перлита является преобладающей.

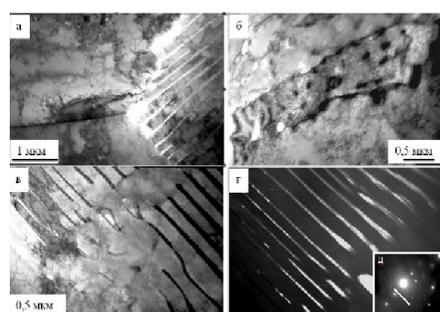


Рис. 1. Электронно-микроскопические изображения структуры стали St52,3N в состоянии II. а-в) светопольные изображения; г) темнопольное изображение, полученное в рефлексе [130] Fe₃C; д) микроэлектронограмма к (в), стрелкой указан анализируемый рефлекс

Важной особенностью является высокий уровень дефектности пластин цементита, которые сильно искривлены, содержат ферритные перемычки, а их поперечные размеры изменяются по длине пластины (рис. 1, в).

Тип дислокационной субструктуры определялся отдельно в зернах феррита и в ферритных пластинах перлита. Оказалось, что ферритные пластины перлита демонстрируют более высокий уровень дефектности.

Если в зернах феррита регистрируются клубковая и сетчатая субструктуры, а скалярная плотность дислокаций составляет $\sim 2,6 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$ (рис. 1, а), то в ферритных пластинах перлита наблюдается только сетчатая дислокационная субструктура при скалярной плотности $3 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$

(рис. 1, в).

Частицы вторичных фаз фиксируются в теле зерен феррита и ферритных пластин перлита, по границам и в тройных стыках. Если частицы расположены в объеме зерен, то они всегда имеют округлую, глобулярную форму (рис. 2, а, б). Средние размеры таких частиц составляют $\sim 13 \text{ нм}$.

Микродифракционный электронно-микроскопический анализ показывает, что данные частицы являются сульфидами железа составов FeS или FeS₂. Частицы, расположенные вдоль границ зерен, подразделяются на три морфологические разновидности: частицы с кристаллической огранкой (рис. 2,

в), тонкие прослойки (рис. 2, з) и глобулы (рис. 2, д). В стыках границ зерен феррита частицы второй фазы практически везде имеют глобулярную форму. Микродифракционный анализ показывает, что частицы глобулярной морфологии, независимо от места их расположения, представляют собой карбид железа цементитного типа. У частиц в виде тонких прослоек более сложный химический состав. Они могут быть как сульфидами железа, так и сульфидами хрома типа MeS. Наконец, частицы ограненной формы всегда являются сульфидами железа FeS.

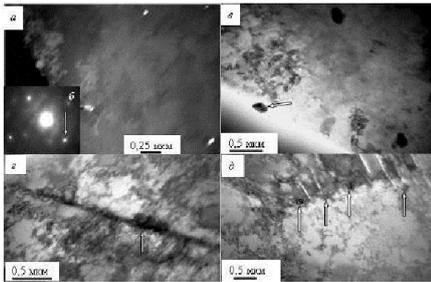


Рис. 2. Частицы вторичных фаз в стали (состояние II). *a* - темнопольное изображение, полученное в рефлексе [200] FeS₂, *б* – микроэлектронграмма к *a*; *в*, *з*, *д* – светлопольные изображения

Важной особенностью электронно-микроскопических изображений структурных составляющих материала в состоянии II является наличие в них изгибных экстинкционных контуров, которые отражают кривизну-кручение кристаллической решетки. Источниками кривизны-кручения являются межфазные границы (рис. 1, *a*) или цепочки частиц вторичных фаз (рис. 2, *з*, *д*). В [3] описан метод определения величины внутренних дальнедействующих напряжений по геометрическим параметрам (ширине) изгибных экстинкционных контуров. Здесь внутренние

дальнедействующие напряжения могут достигать 300...350 МПа, что соизмеримо и даже превышает предел текучести стали [4]. Авторы [5] указывают, что дальнедействующие напряжения, определяемые электронно-микроскопическим методом, отражают состояние материала в микрообъемах, поэтому, как правило, они намного выше среднего уровня. Именно эти напряжения контролируют процессы пластического течения и разрушения на микроуровне.

Сталь в состоянии II имеет относительно высокое содержание перлита. Судя по частоте встреч колоний перлита, в фольгах концентрация углерода в материале должна быть выше 0,3 мас. %. Эта обстоятельство было отмечено и по результатам оптической микроскопии [1].

Электронно-микроскопические исследования стали St52,3N в состоянии I показали, что ее структура при общем качественном подобии заметно отличается от структуры металла в состоянии II. Здесь материал тоже является феррито-перлитным агрегатом (рис. 3), но количество перлита меньше и соответствует марочному содержанию углерода на уровне 0,2 мас. %. Кроме того, преобладающим является зернистый (рис. 3, *в*), а не пластинчатый перлит (рис. 3, *б*).

В большинстве случаев колонии перлита располагаются в стыках границ зерен феррита, либо вытянуты вдоль границ зерен феррита, разделяя их. Дислокационная субструктура в объеме зерен феррита сетчатая либо клубковая (рис. 3, *а*), но скалярная плотность дислокаций несколько ниже, чем в

состоянии II, и составляет $\sim 2,3 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$. В ферритных пластинах перлита наблюдается субструктура дислокационного хаоса, или сетчатая дислокационная субструктура (рис. 3, б). В них скалярная плотность дислокаций ниже – $1,8 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$, в то время как в стали из растрескавшейся поковки соотношение дислокационных плотностей в феррите и перлите было противоположным.

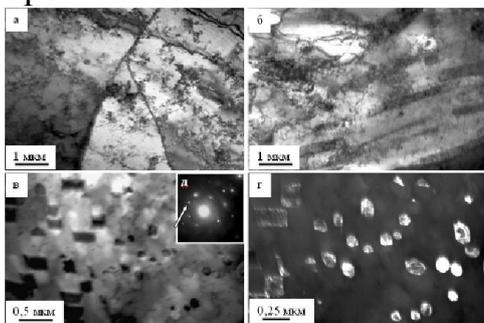


Рис. 3. Электронно-микроскопические изображения структуры стали St52,3N в состоянии I; а–в) светлопольные изображения; г) темнопольное изображение, полученное в рефлексе $[031] \text{ Fe}_3\text{C}$; д – микроэлектроннограмма к (в), стрелкой указан анализируемый рефлекс

В объеме и по границам зерен феррита наблюдаются частицы второй фазы. Частицы, расположенные в объеме зерен, как показал микродифракционный электронно-микроскопический анализ, являются в большинстве случаев сульфидами железа. Частицы, расположенные вдоль границ зерен, имеют две морфологические разновидности – глобулы и тонкие прослойки. В стыках границ зерен феррита практически всегда частицы второй фазы имеют глобулярную форму. Частицы глобулярной морфологии, независимо от места их расположения, как и в состоянии II, являются цементитом. Более сложный химический состав имеют частицы в виде тонких прослоек. Данные прослойки чаще образованы карбидом железа состава

Fe_3C , реже – карбидом кремния состава SiC . Следует отметить, что вторая фаза в виде тонких прослоек по границам зерен наблюдается редко и обнаруживается примерно в одном случае на тридцать границ зерен феррита. Вообще для стали в состоянии I расположение выделений второй фазы по границам зерен не характерно.

Обсуждение результатов

Электронно-микроскопические исследования стали St52,3N в обоих состояниях позволили установить:

1. Анализируемые образцы стали являются поликристаллическими агрегатами, сформированными зернами феррита и колониями перлита. Перлит по морфологическому признаку может быть разделен на пластинчатый и глобулярный.

2. Объемные доли перлита в состояниях I и II существенно различаются. Во втором случае относительная объемная доля перлита в 1,5...2 раза больше, и это означает, что концентрация углерода завышена по отношению к марочному содержанию, она может составлять $\sim 0,3$ мас. %. По морфологическому признаку в состоянии II превалирует пластинчатый перлит.

3. Локальные далекодействующие напряжения, оцененные электронно-микроскопическим методом, в состоянии II велики и соизмеримы с пределом текучести материала.

4. В обоих состояниях наблюдаются дисперсные карбиды и включения сульфидного типа. В образце стали из растрескавшейся поковки (состояние II) сульфиды располагаются в теле ферритных зерен и по межфазным границам, тогда как в материале из кондиционной поковки (состояние I) – только внутри зерен. Их содержание в состоянии II значительно выше чем в состоянии I.

5. При одинаковых типах дислокационных субструктур (клубково-сетчатая и сетчатая) уровень дефектности в состоянии II заметно выше, чем в состоянии I. Скалярная плотность дислокаций в ферритных зернах и в ферритных прослойках бракованной поковки составляет $2,6 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$ и $3 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$, соответственно, что в 1,1...1,7 раз больше чем в кондиционном металле.

Указанные результаты электронной микроскопии позволяют утверждать, что дефектная субструктура и фазовый состав стали в состоянии II являются неблагоприятными.

Если обобщить результаты механических испытаний, оптической металлографии [1] и электронной микроскопии, то можно прийти к однозначному выводу – причиной формирования неблагоприятного структурно-фазового состояния поковок из стали St52,3N является неполное соответствие химического состава марочным требованиям. В материале оказалось повышенное содержание углерода и, по-видимому, серы. Первый фактор подтвержден как результатами оптической металлографии, так и электронной микроскопии. Второй фактор установлен только в результате дифракционных электронно-микроскопических исследований. Следствием первого фактора явилось снижение температуры критической точки A_3 , которое может достигать 30...70 °С. Например, согласно [6, 7] при концентрации углерода ~ 0,2 мас. % и в отсутствии других легирующих $A_3 = 860 \text{ °С}$, а при содержании углерода ~ 0,3 мас. % $A_3 = 830 \text{ °С}$. В результате при использовании штатной технологии сталь оказывается перегретой при нагреве под окончательную термическую обработку. Кроме того, изменяется устойчивость переохлажденного аустенита. При одинаковой скорости охлаждения в стали с повышенным содержанием углерода всегда образуются более неравновесные структуры, с высоким уровнем дефектности и остаточных далекодействующих напряжений. Аустенит в такой стали обладает повышенной прочностью, поэтому необходимы более высокие степени обжатия при горячей обработке давлением. В противном случае образуется большое количество пор. Относительно высокие температуры горячей обработки давлением и финишной термической обработки приводят к интенсивному выходу горофильных примесей (в первую очередь серы) на межфазные и межзёренные границы. В результате появляются выделения вторичных фаз в виде тонких прослоек.

Таким образом, установлено, что сталь St52,3N из растрескавшейся заготовки имеет неоптимальное структурно-фазовое состояние, которое

приводит к снижению трещиностойкости как при горячей обработке давлением, термической обработке, так и при дальнейшем использовании материала. Формирование таких структур обусловлено комплексом различных причин, ведущей из которых является повышенное содержание углерода и серы.

Причиной формирования крупномасштабных химических и структурных неоднородностей в малоуглеродистой низколегированной стали является содержание углерода и серы на верхних допускаемых по ТУ уровнях. Подобная точка зрения отмечена в работах [8-9]. Она имеет прямое подтверждение в практике ООО «Юргинский машзавод». 72% плавок с указными химическим составом были забракованы частично или полностью.

Выводы

Таким образом, если в стали углерод, сера и фосфор находятся на верхнем пределе, необходимо принимать меры еще в металлургическом производстве. Авторы [9-10] предполагают метод инокуляции расплава, который состоит, в ведении металлических порошков в процессе разлива стали. Этот метод дает хорошие результаты, но недостаточно отработал в заводской практике и требует дефицитных порошков редкоземельных металлов. В условиях ООО «Юргинский машзавод» проще после взятия последней пробы на углерод в жидком металле провести ковшовую обработку синтетическим шлаком эта операция хорошо отработана в металлургическом производстве [11-12] и позволяет снизить содержание обоих элементов.

Если в цех обработки давлением и термической обработки поступил металл с содержанием углерода и серы на верхних допустимых уровнях, то для устранения зонной ликвации серы и углерода, а значит, снижения вероятности растрескивания заготовки следует провести гомогенизирующий отжиг по режиму: нагрев 1100°C, выдержка 10 часов, для устранения ликваций по углероду и сере.

Список литературы

1. Юрьев А.Б., Громов В.Е., Козлов Э.В. и др. // Формирование и эволюция структурно-фазовых состояний и свойства сталей в современных технологиях обработки давлением. – Новосибирск: Наука. 2003. – 347 с.
2. Апасов А.М., Валуев Д.В., Данилов В.И. // Известия ТПУ. – 2007. Т. 310. - №3. – С. 90-92.
3. Конева Н.А., Козлов Э.В. // Известия вузов. Физика. – 1982. – № 8. – С. 3–14.
4. Сорокин В.Г., Гервасьев М.А., Палеев В.С. и др. // Стали и сплавы. Марочник. – М.: Интермет Инжиниринг, 2001.–608 с.
5. Структурно-фазовые состояния металлических систем. Под ред. А.И. Потекаева. – Томск: Изд-во НТЛ, 2004. – 356 с.

6. *Металловедение и термическая обработка стали. Справочник. Т. II. Основы термической обработки / Под ред. М.Л. Бернштейна, А.Г. Рахштадта. – М.: Металлургия, 1983. – 368 с.*
7. *Металловедение и термическая обработка стали. Справочник. Т. III. Термическая обработка металлопродукции / Под ред. М.Л. Бернштейна, А.Г. Рахштадта. – М.: Металлургия, 1983. – 216 с.*
8. Разумов С.Д., Родионов В.Е., Заверюха А.А. Систематизация дефектов структуры непрерывнолитой стали и пути их устранения // *Сталь*, 2002. – №11. – С. 26-29.
9. Жульев С.И., Зюбан Н.А. Производство и проблемы качества кузнечного слитка. Волгоград: ВолгГТУ, 2003. – 168 с.
10. Зюбан Н.А., Жульев С.И., Федянов Е.А. Особенности кристаллизации инокулированных расплавов и управление затвердеванием эндогенных инокуляторов при вакуумной отливке слитков // *Изв.ВУЗов. Черная металлургия*, 2004. – №7. – С. 70-73.
11. Галиулин Т.Р., Носов Ю.В. и др. Особенности десульфации стали на выпуске из конвертера. // *Сталь*, 2007. – №10. – С.23-35.
12. Штремель М.Н. Проблемы металлургического качества стали (не металлические включения) // *МиТОМ*, 1980. – №8. – С. – 2-6.

Study of the problem crack formation of large forgings of low carbon steel ST52,3N pressure treatment

D.V. Valuev, V.I. Danilov

The paper presents an electron- microscopic study of the structure , phase, and the stress - strain of the state of the material from forgings . Found that the dislocations in the ferrite grains and pearlite steel interlayers of forgings, cracked after manufacturing operations and a half times more than conditionally material. Metal in this state has increased in progress sulfide content lamellar morphology.

It has been established that the cause of the formation of unfavorable structural state is the high content of carbon , leading to overheating of the metal , as by pressure treatment and a heat treatment for the finish.

Key words: structure, production, heat treatment, sulfides, forgings, material, pressure treatment

УДК 621.789:620.178.1

ПОЛУЧЕНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ БОРИДНЫХ ПОКРЫТИЙ И ИССЛЕДОВАНИЕ НАСЫЩАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СМЕСЕЙ ПРИ ПОВТОРНЫХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯХ

*В.Н. КОРНОПОЛЬЦЕВ, кандидат техн. наук,
(ФГБУН БИП СО РАН, г. Улан-Удэ),
В.И. МОСОРОВ, кандидат техн. наук,
(ФГБОУ ВПО ВСГУТУ, г. Улан-Удэ)*

Корнопольцев В.Н. – 670009, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6,
Байкальский институт природопользования Сибирского отделения РАН,
e-mail: kompo@mail.ru

В работе представлены исследования по получению борохромированных и боромедненных покрытий с применением окислов легирующих элементов, синтез которых совмещен с процессом химико-термической обработки (ХТО). Приведены результаты повторных использований составов с их регенерацией реакционными гранулами соответствующего состава. При борохромировании при повторных использованиях проявляется конкурирующее поведение хромсодержащего компонента в образовании термически устойчивых боридов хрома непосредственно в составе смеси, что сказывается на значительном сокращении толщины покрытий. В случае боромеднения при последующих регенерациях смесей активными гранулами наблюдается увеличение толщины покрытия и трансформация игольчатой структуры боридного слоя с переходом в сплошное покрытие. Нехарактерная зависимость распределения микротвердости боромедненного покрытия с ее увеличением к основанию слоя до 17-18 ГПа является более благоприятной для повышения пластичности и износостойкости.

Ключевые слова: борохромирование, боромеднение, борная кислота, окись хрома, окись меди, регенерация смесей, структура покрытий, микротвердость.

Введение

Хрупкость борированных покрытий несколько сдерживает широкое промышленное внедрение борирования в силу интенсивного трещинообразования в боридных слоях. Эти недостатки в значительной степени устраняются с применением комплексного борирования [1].

Как известно [2], бор может образовывать бориды не только с железом, но и с другими металлами. Весьма интересна система Cr-B, которая характеризуется большим числом фаз и разнообразием структур. Исследованию и разработке способов получения борохромированных покрытий на конструкционных сталях посвящено большое количество работ [1, 3-8]. Большинство исследователей устанавливается увеличение износостойкости борохромированных покрытий в 1,5-1,75 раза, по сравнению с чисто борированными за счет образования более благоприятных структур повышенной пластичности. В качестве хромсодержащего вещества, как дополнительного компонента в составе смеси, в основном используется

металлический хром в небольших добавках, измельченный феррохром или предварительно алюмотермически восстановленная окись хрома.

Для решения задачи снижения хрупкости боридных покрытий особый интерес представляет комплексное насыщение сталей бором и медью. Несмотря на то, что медь с бором не образует боридов, она оказывает влияние на процессы кристаллизации боридов при борировании стали.

Так в работе [9] показано, что даже при малых добавках (3-8 мас.%) к составу из карбида бора и буры наряду с некоторым уменьшением толщины, микротвердости, предела текучести и зоны реакционной диффузии, на 50-60 % повышается относительное удлинение и на 20-25 % ударная вязкость покрытий. К большему содержанию меди (20-50 мас.%) пришли в работе [10]. Способ позволяет получать покрытия в интервале температур от 920 до 1220 К с толщиной от 60 мкм до 0,5 мм с микротвердостью от 10 до 15-18 ГПа, более чем в два раза увеличивается относительная деформация при сжатии образцов до момента скалывания.

В работах [4, 11, 12] показана возможность применения в составе насыщающей обмазки окиси меди. По данным авторов работы [12] предлагаемый состав позволяет увеличить толщину диффузионного слоя для Ст.10 в 1,2-1,5 раза, для стали 45 в 1,3-1,6 раза, повысить коррозионную стойкость диффузионного слоя для Ст.10 в 8-12 раз, для стали 45 в 3-5 раз и увеличить износостойкость на 30 %.

В ранее проводимых исследованиях предложен способ борирования из борной кислоты [13, 14]. Способ включает введение в состав насыщающей смеси реактивных композиционных гранул, состоящих из обезвоженной борной кислоты и алюминия. Целью исследования стало изучение влияния хрома и меди на толщину и структуру покрытий при их одновременном синтезе в грануле непосредственно в процессе борирования, а также исследование насыщающей способности смесей при регенерации отработанных составов для борирования композиционными гранулами соответствующего состава.

Техника проведения эксперимента

В качестве носителей легирующих элементов применены борная кислота, окись хрома и окись меди. Гранулы готовились предварительным смешиванием борной кислоты, алюминия и дополнительного окисла, нагревом смеси для обезвоживания борной кислоты с получением спека и дроблением полученного спека до крошки (гранул), размером до 2-3 мм.

Составы для борирования с перерасчетом борной кислоты на борный ангидрид, приведенные в таблице.

Составы для борирования

Состав разделительной добавки	Состав гранул (в перерасчете борной кислоты на окись бора после операции обезвоживания)	Номер состава
70 мас. %	30 мас. %	
50 B ₄ C + 50 Al ₂ O ₃	40 B ₂ O ₃ + 20 Cr ₂ O ₃ + 40 Al	1
	40 B ₂ O ₃ + 20 CuO + 40 Al	2

Насыщение проводилось в герметичных контейнерах при температуре 1223 К и времени выдержки 4 часа. Активатор – натрий фтористый. При повторных использованиях в составы вводилось 30 мас.% свежих гранул соответствующего состава. ДюрOMETрические исследования проведены на установке Neophot.

Обсуждение результатов

Результаты первого режима ХТО. Известно [1], что боридный слой достаточно легко легируется хромом с образованием более сложных соединений. При этом хром препятствует диффузии углерода вглубь материала, связывая углерод в смешанные карбобориды. Установлено, что с введением в состав гранулы окиси хрома при первом режиме ХТО присутствие хрома уменьшает толщину покрытий на 10-15 % по сравнению с результатом по чистому борированию, полученных в работах [13, 14].

О наличии некоторого содержания хрома после первого использования состава 1 (табл.) может свидетельствовать и округлость на концах боридных игл, связанная с повышением концентрации углерода, удержанного хромом. Установлено послойное распределение микротвердости диффузионного слоя за счет возможного преобладания на различной глубине различных соединений железа, хрома, бора и углерода, уменьшаясь с поверхности к основанию с 21,8 до 17 ГПа. Микротвердость, а также цветное травление позволили установить наличие слоя борида FeB, занимающего более трети от общей толщины игольчатого боридного покрытия (рис. 1). ДюрOMETрические исследования позволили также установить увеличение микротвердости переходной зоны под игольчатым слоем до 3200 МПа, что также положительно скажется на уменьшении перепада межфазного напряжения под боридным слоем.

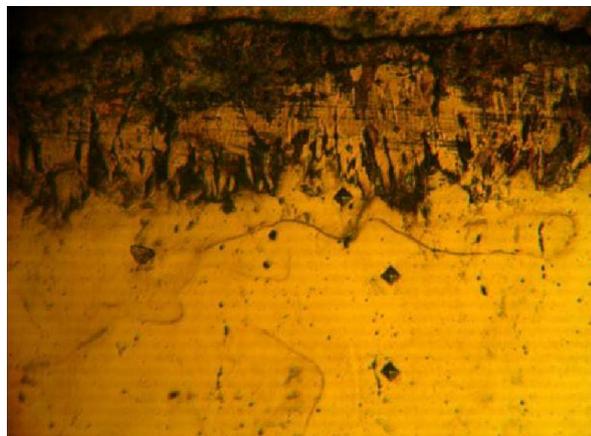
Иное влияние на формирование боридных покрытий оказало введение в гранулы окиси меди. При первом режиме ХТО в составе с гранулами с включением окиси меди толщина покрытий сократилась по сравнению с чисто борированными на 20-25 %, что согласуется с результатами работ [1, 3, 4, 9, 11]. Оптические исследования выявили, что присутствию окиси меди не оказало выраженного изменения формы концов боридных игл. ДюрOMETрические исследования показали, что зависимость микротвердости по глубине слоя имеет нестандартный для боридных покрытий характер, увеличиваясь с поверхности к основанию слоя с максимумом в 18-18,5 ГПа, более относящаяся по твердости к бориду Fe₂B, содержащего включения FeB, что является более благоприятным из-за отсутствия резкого перепада напряжения в межфазном слое, характерного для двухфазного покрытия.

Результаты повторного использования составов. Метод ХТО в порошках предусматривает возможность использовать насыщающие смеси несколько раз.

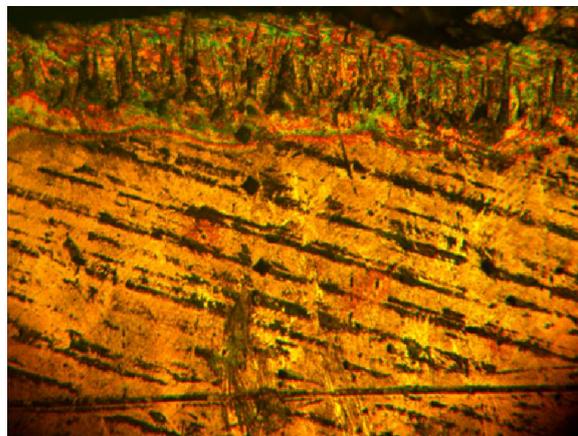
В случае брОхромирования при последующих приемах регенерации состава 1 восстанавливаемый в гранулах хром подтвердил термодинамическую совместимость с бором.

Если при первом режиме термообработки полученные борированное и брОхромированное (рис. 1) покрытия по структуре и толщине мало отличаются друг от

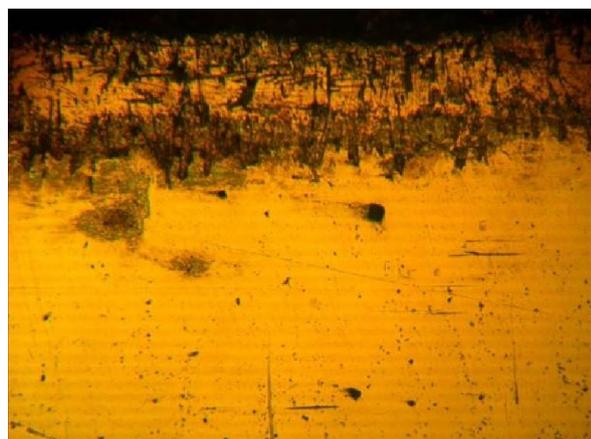
друга, то при дальнейших термообработках с регенерацией состава 1 свежими гранулами начинает сказываться влияние хрома на рост толщины покрытий и их микротвердость.



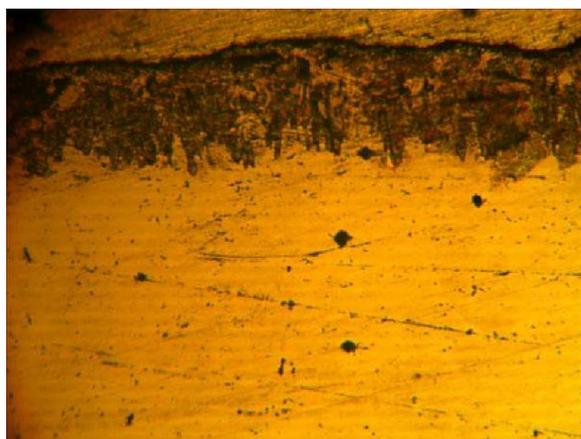
Первый режим



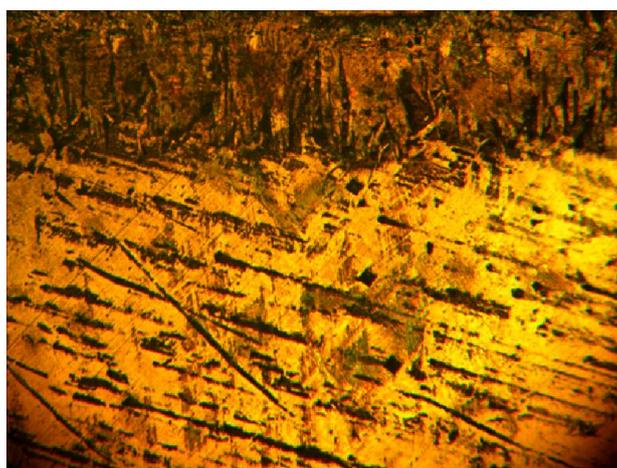
Второй режим



Третий режим



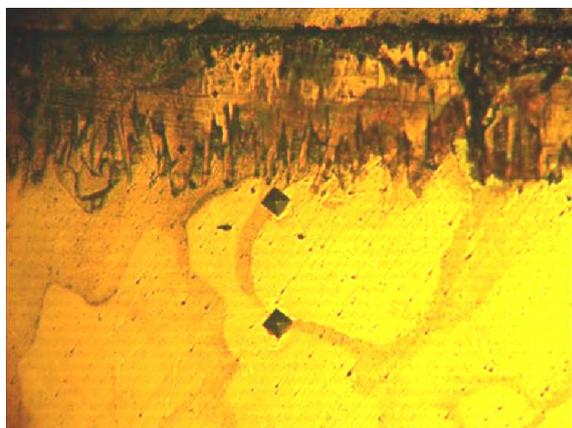
Четвертый режим



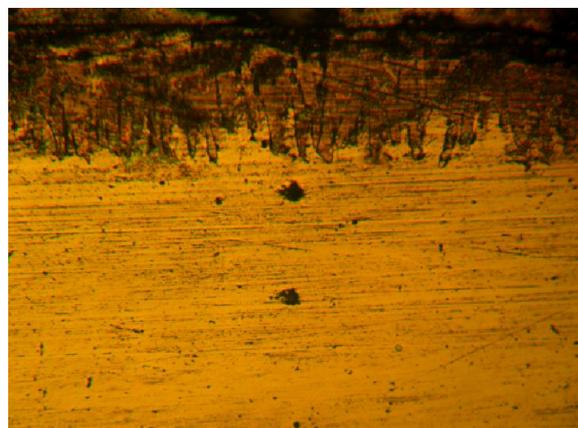
Пятый режим

Рис. 1-5. Фотографии поперечных шлифов борохромированной стали 20 в порядке проведения режимов ХТО с регенерацией составов реакционными гранулами (Neophot, $\times 400$).

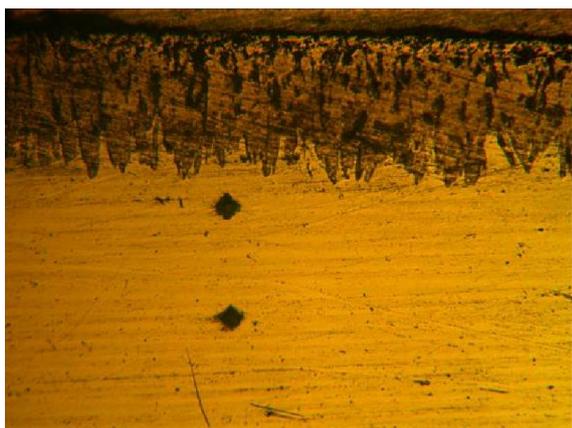
Уменьшение толщины покрытий в зависимости от последовательности режимов ХТО носит нелинейный характер с явно выраженной периодичностью получения максимумов в толщине покрытий, соответствующие четному циклу введения в состав гранул.



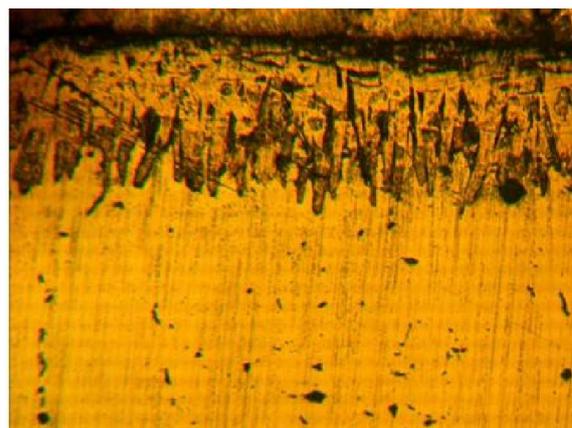
Первый режим



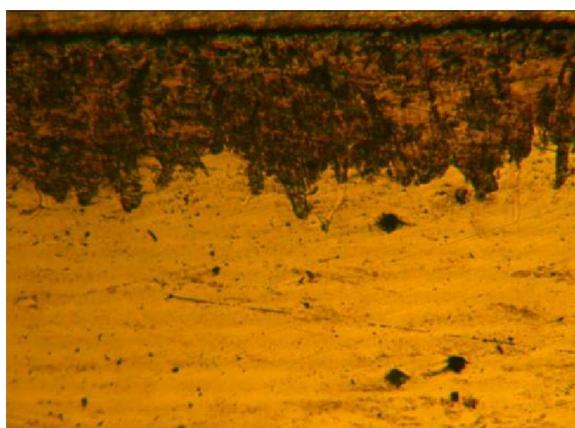
Второй режим



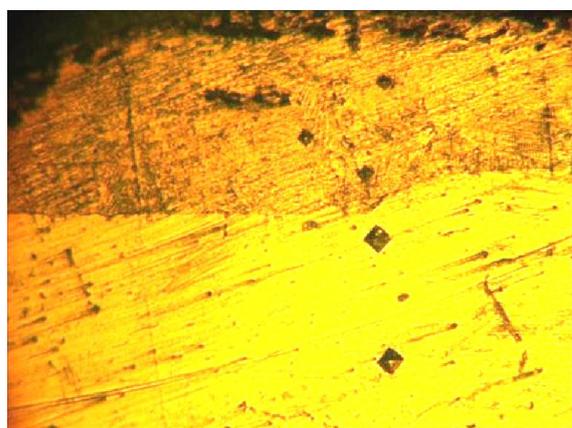
Третий режим



Четвертый режим



Пятый режим



Шестой режим

Рис. 6-11. Фотографии поперечных шлифов боромедненной стали 20 в порядке проведения режимов ХТО с регенерацией составов реакционными гранулами (Neophot, $\times 400$).

Вероятнее всего это связано с образованием в смеси боридов хрома, протекающее в процессе охлаждения контейнера, при котором конденсирующаяся газовая фаза хромосодержащих компонентов и восстановленный металлический хром связывают борсодержащие соединения в объеме насыщающей смеси. Вероятное наличие металлического хрома может также способствовать дополнительному отводу на себя части боридной активной газовой фазы в процессе нагрева при четном режиме термообработки (Рис. 12, 13).

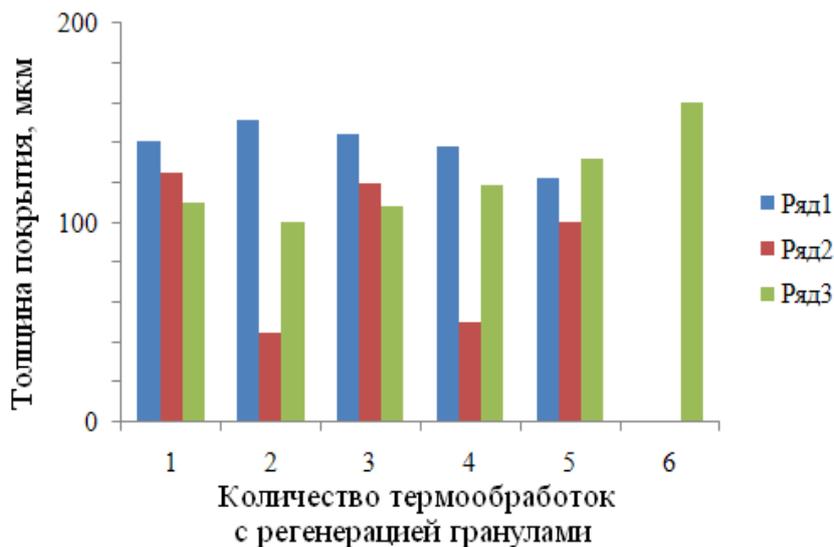


Рис. 12. Зависимость толщины покрытий от количества приемов использования насыщающих составов с регенерацией композиционными гранулами соответствующего состава: Ряд 1 – борирование; Ряд 2 – борохромирование; Ряд 3 – боромеднение.

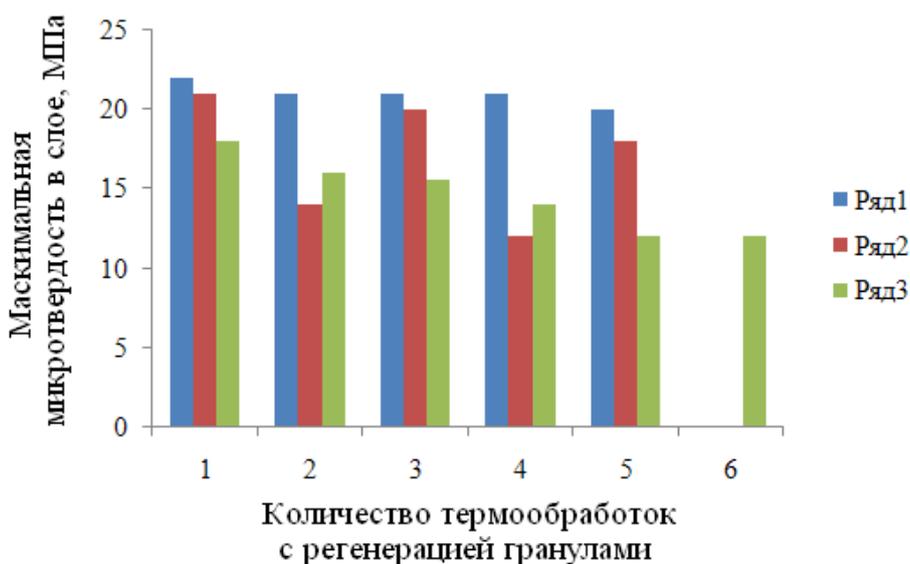


Рис. 13. Зависимость максимальной микротвердости покрытий от количества приемов использования насыщающих составов с регенерацией композиционными гранулами соответствующего состава: Ряд 1 – борирование; Ряд 2 – борохромирование; Ряд 3 – боромеднение.

При варианте боромеднения уменьшение толщины покрытий имело менее выраженный характер. После второго режима ХТО толщина покрытий уменьшилась не значительно и при последующих регенерациях состава 2 гранулами, содержащие дополнительно окись меди, толщина покрытий увеличиваться. Значения микротвердости свидетельствуют об обогащении смеси компонентами восстановленной меди, которая приводит к трансформации получаемых покрытий (рис. 2). Так при шестой термообработке (рис. 11) полученные покрытия теряют игольчатую структуру с сохранением микротвердости в слое порядка 10-12 ГПа.

Выводы

Таким образом показано, что комплексные боридные слои, полученные с дополнительным введением в состав гранул окиси хрома или окиси меди не являются однородными и могут иметь более или менее выраженное сложное строение. Введение дополнительных окислов непосредственно в состав композиционных гранул, предназначенных для синтеза легирующих компонентов совместно с процессом ХТО оказывают существенное влияние на характеристики боридных покрытий. Влияние это не однозначно в структурном отношении боридных слоев и толщины покрытий.

Экспериментальные работы показали, что при составлении составов для получения комплексных боридных покрытий важную роль в насыщающей способности получаемых смесей играет термодинамическая совместимость активных компонентов.

Так при борохромировании проявляется конкурирующее поведение хромсодержащего компонента и железа обрабатываемой детали в образовании термически устойчивых боридов хрома непосредственно в составе смеси, что сказывается на значительном сокращении толщины покрытий при дальнейших использованиях составов.

В случае боромеднения медь не образует термически устойчивых химических соединений с бором, что приводит к обогащению составов как медью, так и бором. Это, в свою очередь, приводит к увеличению насыщающей способности смеси, что сказывается на росте толщины покрытия с образованием твердых комплексных покрытий, не обладающих игольчатой структурой.

Влияние восстанавливаемой меди с целью достижения увеличения пластических свойств выглядит более перспективным. Нехарактерная зависимость распределения микротвердости боромедненного слоя с ее увеличением к основанию слоя является более благоприятной для повышения пластичности и износостойкости защитного покрытия.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ (проект № 12-08-98041-р-сибирь-а).

Список литературы

1. Кавитационостойкие покрытия на железоуглеродистых сплавах / Ворошнин Л.Г. [и др.]; под ред. М.Н. Бодяко. – М.: Наука и техника, 1987. – 248 с.
2. Самсонов Г.В. Бориды / Г.В. Самсонов, Т.И. Серебрякова, В.А. Неронов. – М.: Атомиздат, 1975. – 376 с.
3. Полевой С.Н. Упрочнение металлов: Справочник / С.Н. Полевой, В.Д. Евдокимов. – М.: Машиностроение, 1986. 320 с. ил.
4. Бельский Е.И. Упрочнение литых и деформированных инструментальных сталей / Е.И. Бельский, М.В. Ситкевич, Н.С. Траймак. – Мн.: Наука и техника, 1982. – 280 с. ил.
5. Гурьев А.М. Влияние параметров борохромирования на структуру стали и физико-механические свойства диффузионного слоя / А.М. Гурьев [и др.] // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2007. – Т.4, №1. – С. 26-32.
6. Комплексное насыщение сталей бором и хромом – борохромирование / С.Г. Иванов [и др.] // Ползуновский альманах. – 2008. – №3. – С.53-54.
7. Кошелева Е.А. Разработка технологи диффузионного упрочнения поверхности стальных деталей и инструмента // Ползуновский альманах. – 2010. – №1. – С. 95-101.
8. Гурьев А.М. Многокомпонентное диффузионное упрочнение поверхности деталей машин и инструмента из смесей на основе карбида бора / А.М. Гурьев, А.Д. Грешилов, Е.А. Кошелева и др. // Обработка металлов. – 2010. – №2. – С. 9-23.
9. Влияние боромеднения на прочность и износостойкость среднеуглеродистой стали / Горенбейн А.Е. [и др.] // Защитные покрытия на металлах, 1971, вып. 5.
10. Способ борирования стальных изделий и состав для борирования стальных изделий [Текст] : пат. 1452182 Российская Федерация : МПК С23 С8/68 / Шинкевич Ю.А., Ляхович Л.С., Корнопольцев Н.В., заявитель и патентообладатель Восточно-Сибирский технологический институт. – № заявки 4244695; заявл. 13.05.1987; опубл. 20.10.1993, Бюл. № . – 6 с.
11. Состав для боромеднения [Текст]: А.с. 685716. / Е.И. Бельский, М.В. Ситкевич, В.В. Рогов, В.П. Крюков. – Опубл. 1978, Бюл. №34.
12. Состав для комплексного насыщения стальных изделий . [Текст] : пат. 1438269 Российская Федерация : МПК С23 С12/02 / Ляхович Л.С., Корнопольцев Н.В., Шинкевич Ю.А., Садыков В.Б., заявитель и патентообладатель Восточно-Сибирский технологический институт. – № заявки 4230068; заявл. 14.04.1987; опубл. 21.10.1993, Бюл. № . – 4 с.
13. Корнопольцев В.Н., Разработка технологии борирования в порошковой среде, содержащей борную кислоту / В.Н. Корнопольцев, А.М. Гурьев, Б.Д. Лыгденов // Обработка металлов, 2011. – №2. – С. 40-43.

14. Корнопольцев В.Н. Интенсификация процессов борирования углеродистых сталей порошковыми смесями /Фундаментальные проблемы современного материаловедения// Изд-во. АлтГТУ, Том 10 №2 (2013) – с. 266-271.

Reception complex boride covering and research saturating abilities of the mixtures under repeated usage

V.N. Kornopoltsev, V.I. Mosorov

In work Studies are presented on reception bore-chromium-plated and bore-copper-plated covering with using of oxide alloying element, than its syntheses combined with process of chemicothermal processing (ChTP). The results of the repeated use composition with their regeneration reactionary granule respective composition are brought.

Qualitative covering under bore-chromium-plated it manages to get only under the first acceptance ChTP. The rival behaviour of chrome-bearing component reveals itself under the repeated use with formation termal firm of chromium boride right in composition mixture that tells on significant reduction of the covering thickness.

At regeneration of the mixtures active granule in the event of bore-copper-plated exists increase the thickness of the covering and transformation acicular structures of boride layer with transition in utter covering. Indistinctive dependency of the microhardness distribution of bore-copper covering with its increase to base layer is more favourable for increasing a plasticity and wear resistance

Key word: bore-chromium-plated, bore-copper-plated, chromium oxide, copper oxide, boric acid, mixture regeneration, covering structure, microhardness.

УДК621.789: 620.178.1: 548.734.032

**ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОГО БОРИДНОГО ПОКРЫТИЯ
ФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ**

В.Н. КОРНОПОЛЬЦЕВ, кандидат техн. наук,
А.К. СУБАНАКОВ, кандидат хим. наук,
(ФГБУН БИП СО РАН, г. Улан-Удэ),
В.И. МОСОРОВ, кандидат техн. наук,
(ФГБОУ ВПО ВСГУТУ, г. Улан-Удэ)

Корнопольцев В.Н. – 670009, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6,
Байкальский институт природопользования Сибирского отделения РАН,
e-mail: kompo@mail.ru

Приведены исследования фазового и элементарного составов комплексного боридного покрытия, полученного нагревом детали из стали 45 в порошковой среде, содержащей карбид бора, оловянистую бронзу и реакционные гранулы на основе борной кислоты. Установлено положительное влияние оловянистой бронзы на формирование преимущественно однофазного покрытия из нижнего борида Fe_2B посредством образования на обрабатываемой поверхности жидкокристаллической фазы сплава Cu_2Fe_3 с размерами кристаллической решетки, схожей с размерами решетки боридов железа.

Ключевые слова: карбид бора, борная кислота, оловянистая бронза, борирование, рентгенофазовый анализ, растровая электронная микроскопия.

Введение

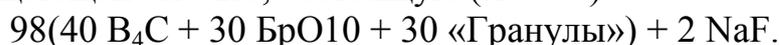
В многочисленных работах [1-5] по борированию стальных деталей показано, что одновременное насыщение двумя и более компонентами более эффективно, чем чистое борирование. Исследования связанные с совместным насыщением стальных поверхностей бором и бронзами может быть перспективно в объединении твердости боридов и антифрикционных свойств бронз. В доступной нам литературе этому вопросу уделено очень мало внимания. Однако положительное влияние оловянистой бронзы при борировании, показанное в работе [5] свидетельствует о существенном влиянии бронзы на формирование боридного слоя.

В работах [6, 7] также показана перспектива усложнения насыщающих составов для борирования введением оловянистой бронзы с целью интенсификации процесса ХТО и получения пластичных покрытий с положительным градиентом микротвердости к максимальным ее значением 17-18 ГПа в середине слоя.

Целью исследования стало изучение состава химических элементов и фазового состава комплексного боридного покрытия.

Техника эксперимента

Для проведения экспериментальных исследований использованы образцы из стали 45, выполненных в виде плоских шайб, толщиной 5...5,5 мм, диаметром 40 мм. Детали упаковывали в контейнер свободным засыпанием насыщающей смесью, состоящую (мас. %):



где гранулы готовили дроблением спека, полученного нагревом композиционной смеси борной кислоты и алюминия, до крошки [8]. Детали упаковывались в контейнер, крышки контейнера герметизировались легкоплавким стеклом. Насыщение проводили при температуре 1223 ± 5 К в течении 4 часов. Контейнер охлаждался на воздухе, образцы извлекались, очищались от насыщающей смеси металлической щеткой под струей водопроводной воды, сушились и подвергались рентгенофазовому анализу. Для изучения состава фаз на различных глубинах с обработанной поверхности образца на шлифовальном круге удалялось 30-40 мкм диффузионного покрытия. Рентгенофазовый анализ проведен на рентгеновском дифрактометре D8 Advance Bruker AXS ($\text{Cu}_{K\alpha}$ -излучение).

Состав химических элементов поверхности поперечных шлифов полученных покрытий проведен на Растровом электронном микроскопе JSM-6510LV JEOL (Япония, 2008) с системой микроанализа INCA Energy 350, Oxford Instruments (Великобритания, 2008).

Обсуждение результатов

На рис. 1 представлена фотография поперечного шлифа борированной стали 45, а также данные элементарного состава покрытия и переходной зоны (таблица 1).

Данные РЭМ в большой степени определяется областью генерации. По данным [9] в системе Cu-Fe область генерации электронного пучка ($d=0,1$ мкм) составляет от 1 до 3 мкм, однако величина мас.% содержания металлов определяется достаточно точно. Для бора, за счет атомного радиуса, меньше, чем у азота, как атмосферы рабочей камеры электронного микроскопа, величина погрешности будет значительной. Однако концентрационное распределение химических элементов по глубине покрытия дает объективные данные.

Исследование элементарного состава боридного покрытия показали, что на глубине боридного слоя до 10 мкм содержится до 2 мас.% меди. Анализ выявил оттеснение углерода с поверхностной зоны в переходную. Причем, в соответствии с литературными данными [10] о влиянии углерода на кинетику формирования боридных покрытий наблюдается нехарактерное уменьшение количества углерода на поверхности покрытия, которое составляет меньшую величину, чем при чистом борировании. Это можно связать с влиянием меди в

поверхностном слое, которая приводит к дополнительному вытеснению углерода с поверхностной зоны обрабатываемой стали.

По результатам РЭМ анализа также определилось наличие в боридном слое алюминия с содержанием к середине боридного слоя менее 1 мас.%. Наличие алюминия связано с присутствием в насыщающей смеси свободного алюминия, который входит в состав гранул для восстановления окисла бора. Однако его количество незначительно и его диффузия наблюдается только в боридном слое игольчатой структуры. Это может свидетельствовать о полноте прохождения реакции восстановления окисла бора в реакционной грануле насыщающей смеси.

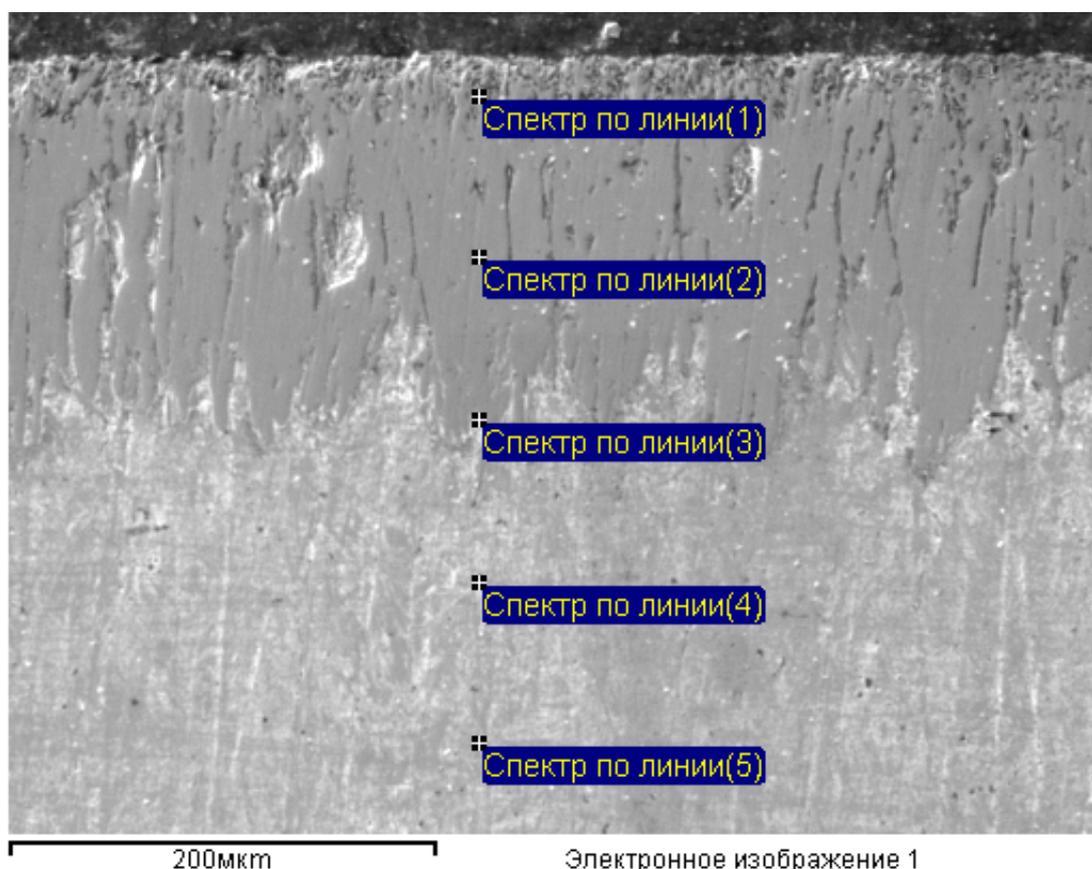


Рис. 1. Фотография поперечного шлифа боробронзированной стали 45.

Таблица 1.

Состав химических элементов поперечного шлифа
боробронзированной стали 45 (вес. ч)

Спектр	B	C	Al	Si	Cr	Mn	Fe	Cu
Спектр по линии (1)	15,79	0,18	0,56	0,09		0,29	80,48	2,33
Спектр по линии (2)	9,68	0,08	0,13	0,06		0,38	89,58	
Спектр по линии (3)	6,82	0,52	0,02	0,19		0,22	91,89	
Спектр по линии (4)		0,44		0,38		0,24	98,81	
Спектр по линии (5)		0,39		0,34	0,18	0,50	98,59	

На рисунке 2 представлена дифрактограмма послойного анализа боридного покрытия и поверхности необработанного образца. Рентгенофазовый анализ поверхности необработанного образца показал один пик, отвечающий кристаллической фазе α -мартенсита.

Наиболее интересным результатом является поверхность обработанного образца (рис.3). После химико-термической обработки кристаллический фазовый состав поверхности образца меняется и на диаграмме проявляются основные пики отвечают двум фазам боридов железа FeB и Fe_2B с преобладающим наличием фазы высшего борида. Причем наличие пиков в различных областях дифрактограммы может свидетельствовать о хаотичном расположении в поверхностном слое кристаллов борида железа, без определенной плоско-направленной структуры, характеризующей боридное покрытие. В состав поверхностного слоя входит также железомедный сплав наличие пиков которого отвечают сплаву Cu_2Fe_3 . Дифракционные пики железомедного сплава и боридной фазы железа на некоторых пиках совпадают, что делает трудным определение их относительного количественного содержания.

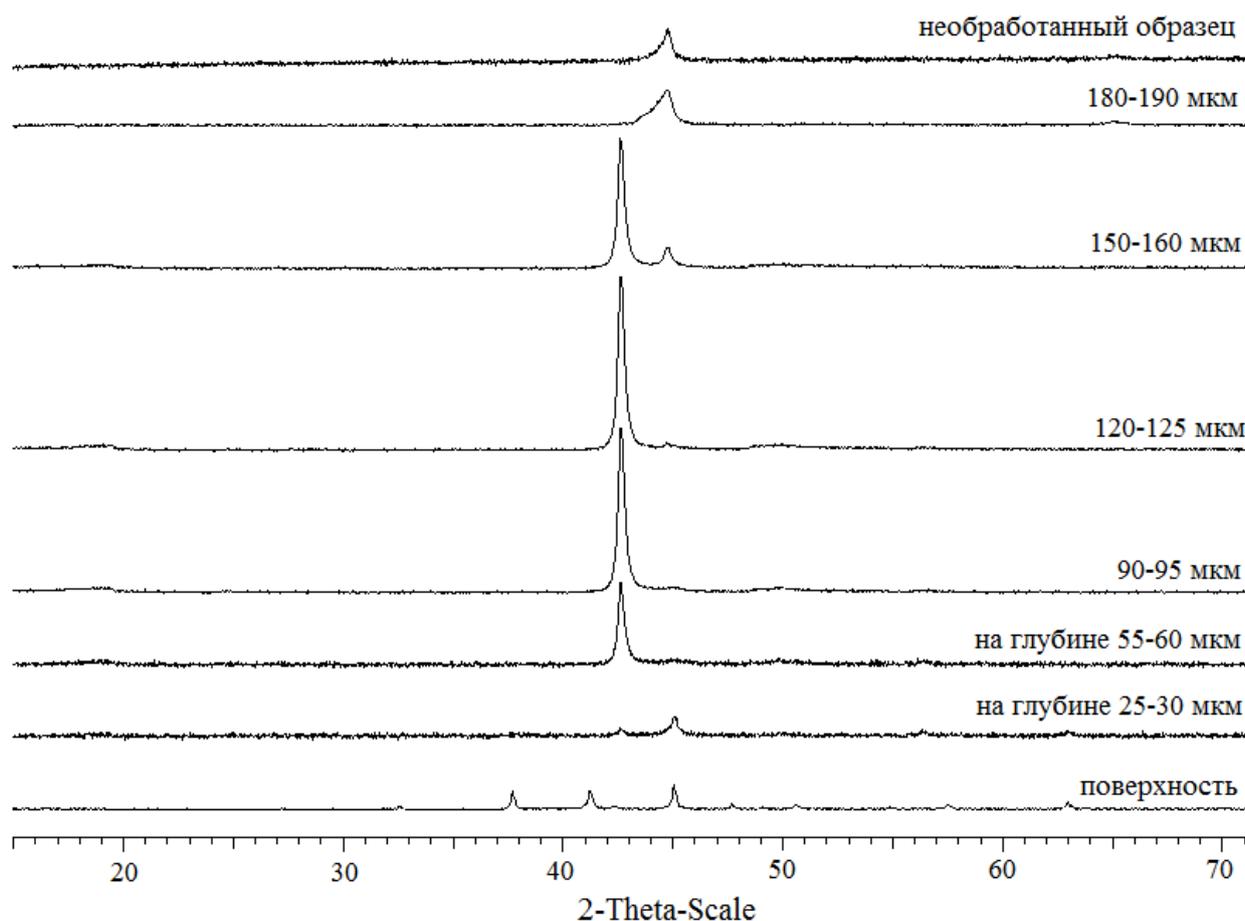


Рис. 2. Дифрактограммы боридного покрытия.

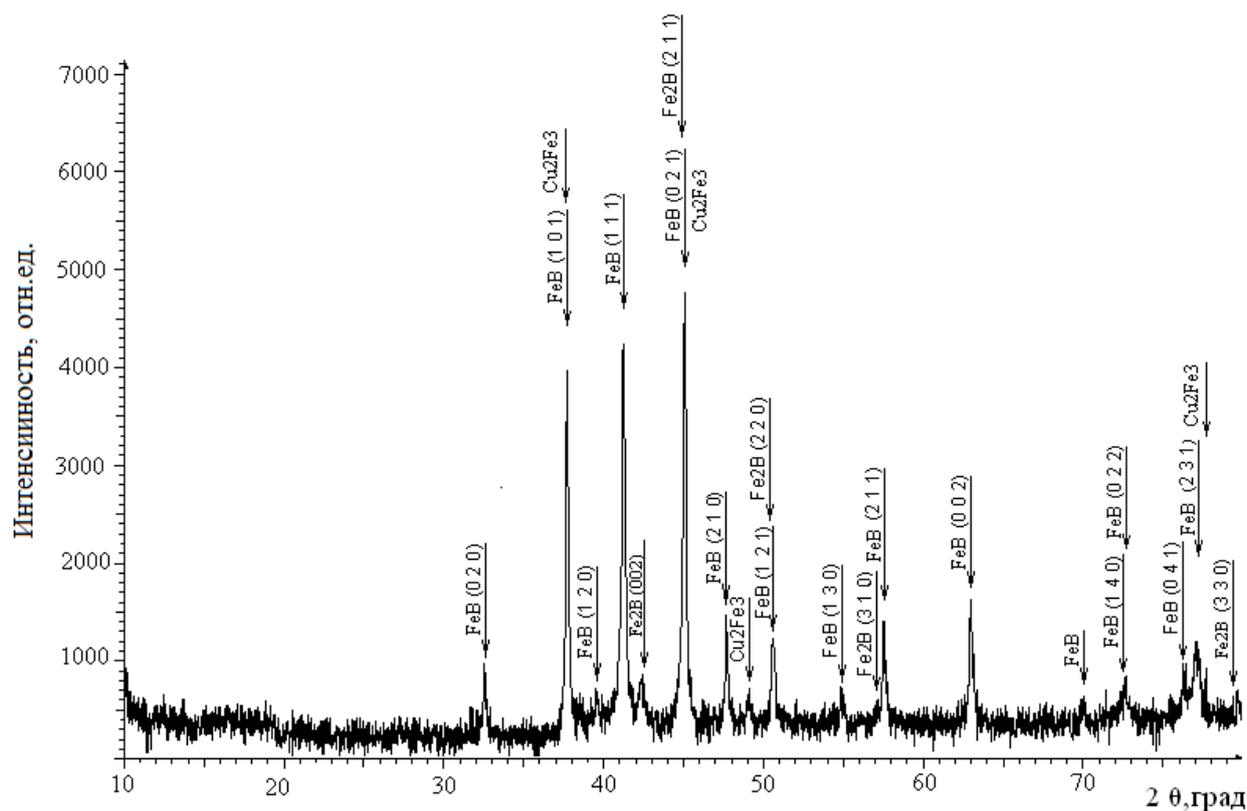


Рис. 3. Дифрактограмма поверхности обработанного образца.

Следов олова на поверхности обработанного образца методом РЭМ и рентгенофазовым анализом не обнаружено. Возможно, это связано с низкой способностью олова образовывать химические соединения с железом и испарением в объем насыщающего состава, а также локальностью из-за низкого содержания.

Однако толщина поверхностного слоя незначительна. При шлифовании поверхностный слой достаточно легко удаляется на глубину 10-15 мкм. При удалении слоя на глубину до 30-40 мкм при проведении анализа регистрируются пики, также относящиеся только к боридам FeB и Fe₂B, однако на этой глубине преобладающее содержание имеет низший борид, фаза которого сохраняется на глубину до 150-160 мкм. Под боридным слоем располагается переходная зона, протяженностью 40-50 мкм, в которой начинает появляться пик, соответствующий изначальному железоуглеродистому сплаву.

Наличие только одного пика-отклика низшего борида железа от грани 002 в середине слоя также может объясняться его текстурированием, т.к. боридная фаза состоит из параллельно расположенных и плотноупакованных кристаллов, что вполне соответствует структуре боридного покрытия и образованию игольчато-дендритного рисунка с перпендикулярным расположением дендритов относительно плоскости поверхности стального образца.

Таким образом, можно констатировать, что введение бронзы в насыщающий состав для борирования определяет структуру получаемых

покрытий, увеличивая степень образования борида Fe_2B . Наличие на поверхности образца следов железомедного сплава подтверждает образование в период химико-термической обработки слоя «жидкометаллической фазы». Он представляет собой тонкий, до 10-15 мкм поверхностный слой низкой микротвердости, содержащий композицию из боридов железа в двух фазах, растворенных в железомедном сплаве.

Хотя сведения о взаимодействии между бором и медью весьма противоречивы, однако известно, что бор в меди растворяется [11]. Более чем двукратное увеличение скорости роста боридного слоя при термообработке также свидетельствует о высокой способности адсорбировать и растворять активные соединения бора пленкой ЖМФ.

Совпадение пиков на диаграмме боридов железа и железомедного сплава может говорить о совпадении размеров их элементарных кристаллических ячеек. В этих условиях медный сплав может оказывать каталитическое влияние на синтез боридов железа. В сочетании с уменьшением энергии смешивания (диффузии) увеличивается интенсивность транспортировки бора из боридов железа в основу обрабатываемого металла. Кроме того, медь способствует более интенсивному вытеснению углерода из приповерхностной зоны, создавая вакансии в кристаллической решетке железа для более благоприятной диффузии бора. При этом слой имеет структуру с превалирующим наличием низшего боридов, что является более предпочтительным с позиции уменьшения хрупкости покрытия из-за снижения перепада напряжения в слое, характерного для двухфазного покрытия.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ (проект № 12-08-98041-р-сибирь-а).

Список литературы

1. Кавитационостойкие покрытия на железоуглеродистых сплавах / Ворошнин Л.Г. [и др.]; под ред. М.Н. Бодяко. – М.: Наука и техника, 1987. – 248 с.
2. Бельский Е.И. Упрочнение литых и деформированных инструментальных сталей / Е.И. Бельский, М.В. Ситкевич, Н.С. Траймак. – Мн.: Наука и техника, 1982. – 280 с. ил.
3. Полевой С.Н. Упрочнение металлов: Справочник / С.Н. Полевой, В.Д. Евдокимов. – М.: Машиностроение, 1986. 320 с. ил. – (Серия справочников для рабочих).
4. Гурьев А.М. Многокомпонентное диффузионное упрочнение поверхности деталей машин и инструмента из смесей на основе карбида бора / А.М. Гурьев [и др.] // Обработка металлов. – 2010. - №2. – с. 19-23.
5. Состав для комплексного насыщения стальных изделий [Текст] : пат. 1349326 Российская Федерация : МПК С23 С12/02. / Ляхович Л.С., Шинкевич

Ю.А., Бурнышев И.Н., Корнопольцев Н.В., заявитель и патентообладатель Восточно-Сибирский технологический институт. – № заявки 4043697; заявл. 27.03.1986; опубл. 21.10.1993, Бюл. № . – 5 с.

6. Корнопольцев В.Н. Получение комплексных боридных покрытий / Ползуновский вестник, 2012. – 1/1. – С. 135-139

7. Корнопольцев В.Н. Интенсификация процессов борирования углеродистых сталей порошковыми смесями /Фундаментальные проблемы современного материаловедения// Изд-во. АлтГТУ, Том 10 №2 (2013) – с. 266-271

8. Пат. 2477337 Российская Федерация: МПК С23С. Способ получения боридных покрытий из борной кислоты/ Корнопольцев В.Н.; Опубл. 10.03.13, бюл. №7. – 5 с.

9. Голдштейн Дж. Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ: В 2-х книгах / Дж. Голдштейн [и др.], пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 303 с.

10. Макрова А.М. Кинетика и механизм формирования защитных покрытий на сталях: дисс... д-ра техн. наук.: 05.16.01 / Макрова Анна Михайловна – Тула, 2000. – 426 с.

11. Самсонов Г.В. Бориды /Г.В. Самсонов, Т.И. Серебрякова, В.А. Неронов. – М.: Атомиздат, 1975. – 376 с.

A study of complex boride covering by physical methods

V.N. Kornopoltsev, A.K. Subonakov, V.I. Mosorov

The phase and chemical element analysis of boride coating, got by heating of the detail from steel 45 in powdered ambience, which containing boron carbide, tin bronze and reactionary granules on base of the boric acid to present. Positive influence of tin bronze on intensification shaping mainly single-phase covering from undermost Fe_2B was installed by means of formation on processed surfaces of the liquid-crystal phase of the alloy Cu_2Fe_3 with size of the crystalline lattice, similar to size of the lattice ferric borides.

Keywords: boron carbide, boric acid, tin bronze, borating, X-ray phase analysis, scanning electron microscopy

УДК 669.715.046.516

ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ НА ПАРАМЕТРЫ МИКРОСТРУКТУРЫ И ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВА Al-15%Si

*М.В. ПОПОВА, доктор техн. наук, профессор,
Н.В. КИБКО, вед. инженер
(СибГИУ, г. Новокузнецк)*

Попова М.В. – 654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42,
Сибирский государственный индустриальный университет,
e-mail: m.popova@rdtc.ru

Проведено исследование влияния раздельного введения в расплав свинца и бериллия в небольшом количестве на параметры микроструктуры, плотность и температурный коэффициент линейного расширения сплава Al-15%Si.

Установлено, что на микроструктуру силумина эффективнее влияет бериллий по сравнению со свинцом, так как способствует уменьшению размера кремния в составе эвтектики дисперсного строения.

Легирование свинцом и бериллием снижает ТКЛР сплава Al-15%Si в высокотемпературном интервале испытания. Наиболее эффективное влияние на тепловое расширение силумина оказывает свинец.

Ключевые слова: легирование, силумины, микроструктура, температурный коэффициент линейного расширения, плотность.

Введение

При разработке новых легких материалов учитывается влияние технологических факторов, в том числе и легирования, на микроструктуру и свойства сплавов системы Al-Si. Введение легирующих элементов в расплав силуминов оказывает эффективное влияние на улучшение микроструктуры, снижение температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР), повышение прочности, пластичности и жаропрочности, увеличения восприимчивости к термической обработке [1, 2].

К группе элементов, положительно влияющих на параметры микроструктуры и свойства сплавов Al-Si, относятся легкоплавкий свинец и тугоплавкий бериллий [3].

Свинец является доступным в технологическом плане легирующим элементом и оказывает эффективное влияние на микроструктуру заэвтектических силуминов. Введенный в расплав даже в небольшом количестве, он способствует модифицированию эвтектики сплавов Al-Si. К тому же свинец влияет на снижение температурного коэффициента линейного расширения силуминов.

Бериллий при введении его в расплав в небольшом количестве приводит к измельчению структурных составляющих сплавов системы Al-Si, так как

является элементом, повышающим содержание водорода, и способствует уменьшению температурного коэффициента линейного расширения [4 – 7].

В настоящей работе исследовано влияние введения в расплав небольшого количества свинца и бериллия на параметры микроструктуры, температурный коэффициент линейного расширения и плотность сплавов Al-15%Si.

Методика экспериментального исследования

В качестве объекта исследования были выбраны сплавы системы Al-15%Si. В расплав Al-15%Si отдельно вводили свинец в количестве 0,5% и бериллий в количестве 0,1%. Затем расплав продували водородом, получаемым при взаимодействии алюминия и щелочи (NaOH) в реакционной колбе с температуры 900°C в течение 10 минут. Сплавы заливали в холодный алюминиевый кокиль. Температура заливки была равна температуре продувки расплава водородом.

Металлографические исследования проводили на оптическом микроскопе OLYMPUS GX51 с программным обеспечением компании СИАМС в диапазоне увеличений 100 – 1000 и на растровом электронном микроскопе типа РЭМ-100У. Температурный коэффициент линейного расширения определяли с помощью фоторегистрирующего дилатометра системы «Шевенар». Плотность измеряли на аналитических весах АДВ-200М.

Результаты и обсуждение

Изучено влияние легирования малым количеством свинца и бериллия на параметры микроструктуры сплава Al-15%Si.

Проведен сравнительный металлографический анализ (при увеличении $\times 1000$) наводороженного двойного силумина и после введения в расплав 0,5% свинца и 0,1% бериллия с последующей обработкой расплава.

Металлографический анализ наводороженного сплава Al-15%Si показал, что его микроструктура представляет собой эвтектику дисперсного строения и первичные кристаллы кремнистой фазы, присутствующие в небольшом количестве (рис. 1а).

В результате введения в расплав 0,5% свинца и 0,1% бериллия с последующим наводороживанием наблюдается появление в структуре эвтектики грубого строения и дендритов α -твердого раствора (рис. 1 б, в). Легирование сплава свинцом в небольшом количестве способствует увеличению размера кремния в составе эвтектики дисперсного строения и росту первичных кристаллов кремнистой фазы (табл.). Наиболее эффективное влияние на микроструктуру силумина оказывает введение в расплав 0,1% бериллия, так как способствует диспергированию кремния в составе мелкодисперсной эвтектики и появлению участков повышенной травимости.

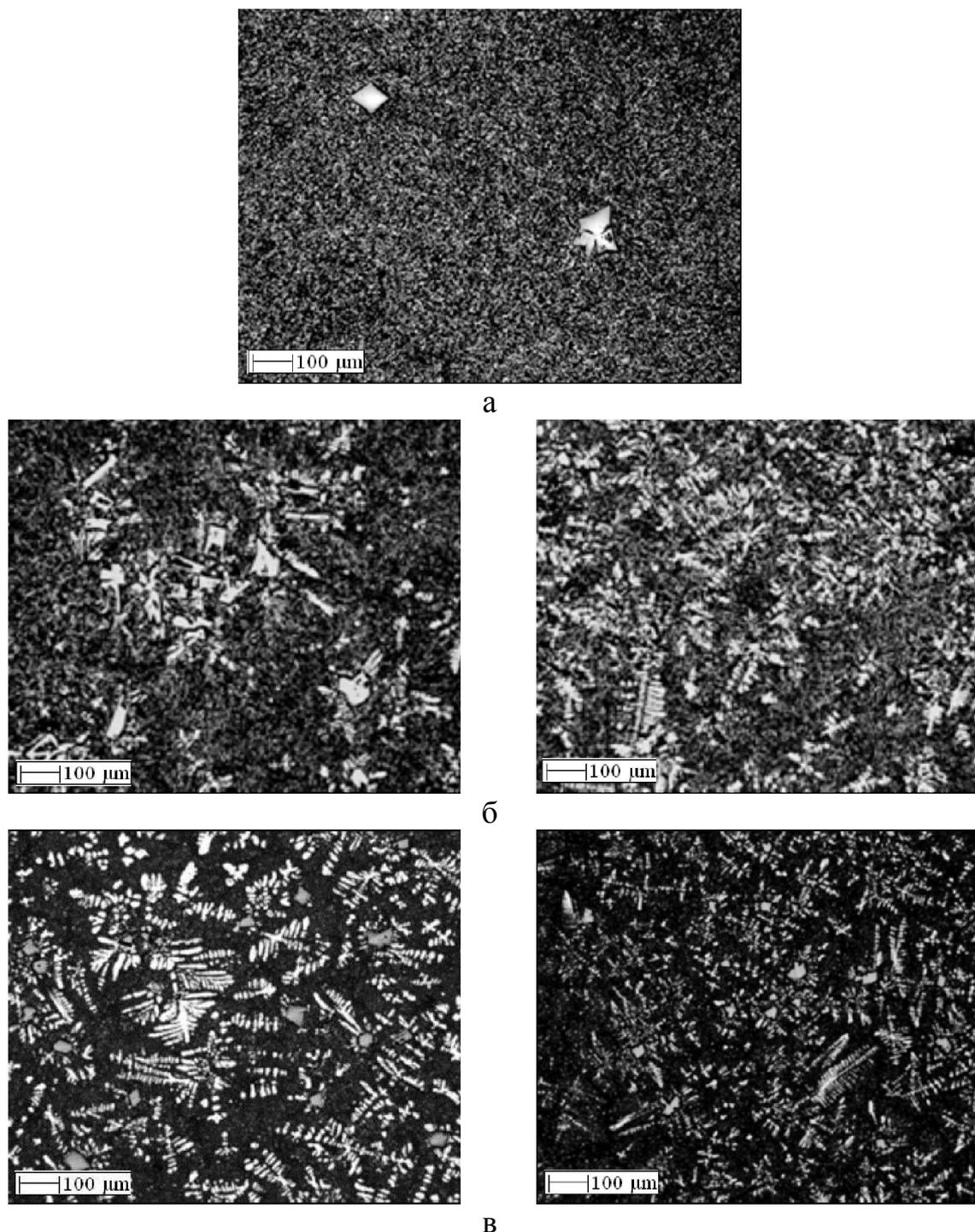


Рис. 1. Влияние легирования на микроструктуру наводороженного сплава Al-15%Si: а – Al-15%Si; б – Al-15%Si-0,5%Pb; в – Al-15%Si-0,1%Be

С помощью растровой электронной микроскопии для исследуемых сплавов подтверждено наличие в структуре α - и β -фаз (твердых растворов на основе алюминия и кремния), а также показан характер их распределения (рис. 2). Установлено, что для двойного наводороженного силумина наблюдается более равномерное распределение кремния по объему сплава по сравнению с легированными силуминами Al-15%Si-0,5%Pb и Al-15%Si-0,1%Be.

Таблица

Сплав	Размер структурных составляющих, мкм			
	первичные кристаллы кремнистой фазы	дендриты твердого раствора	эвтектический кремний	
			округлой формы	игольчатой формы
Al-15%Si	26-150	-	0,9-5,5	-
Al-15%Si-0,5%Pb	23-200	84-311	1,9-5,7	8,8-9,0
Al-15%Si-0,1%Be	30-150	80-300	0,3-0,8	3,4-12

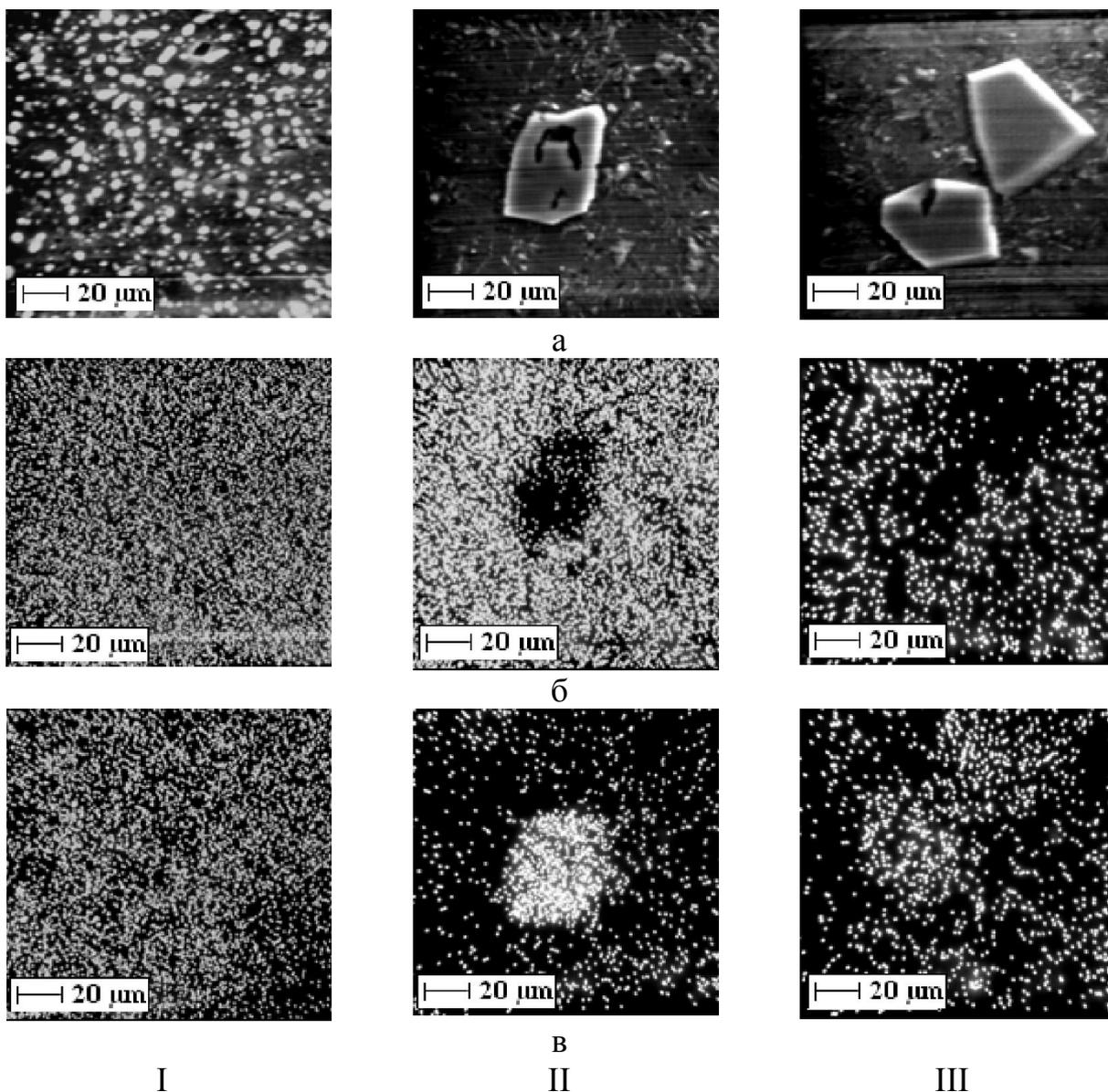


Рис. 2. Электронное изображение наводороженных сплавов системы Al – 15%Si: I – Al–15%Si, II – Al–15%Si–0,5%Pb, III – Al–15%Si–0,1%Be; а – объемное изображение; б – распределение алюминия; в – распределение кремния

Исследовано влияние свинца и бериллия на плотность и температурный коэффициент линейного расширения наводороженного сплава Al-15%Si.

Установлено, что легирование силумина Al-15%Si свинцом, имеющим достаточно высокую плотность 11342 кг/м^3 , способствует повышению плотности сплава с 2602 до 2615 кг/м^3 .

Легирование сплава Al-15%Si бериллием, обладающим по сравнению с ним меньшей плотностью (1848 кг/м^3), практически не оказывает влияние на плотность силумина. Плотность сплава Al-15%Si-0,1%Be составляет 2604 кг/м^3 .

Легирование силумина свинцом в количестве 0,5% и бериллием в количестве 0,1% способствует снижению его температурного коэффициента линейного расширения при высоких температурах испытания. Добавки свинца эффективнее снижают ТКЛР сплава Al-15%Si по сравнению с введением в расплав бериллия (рис. 3).

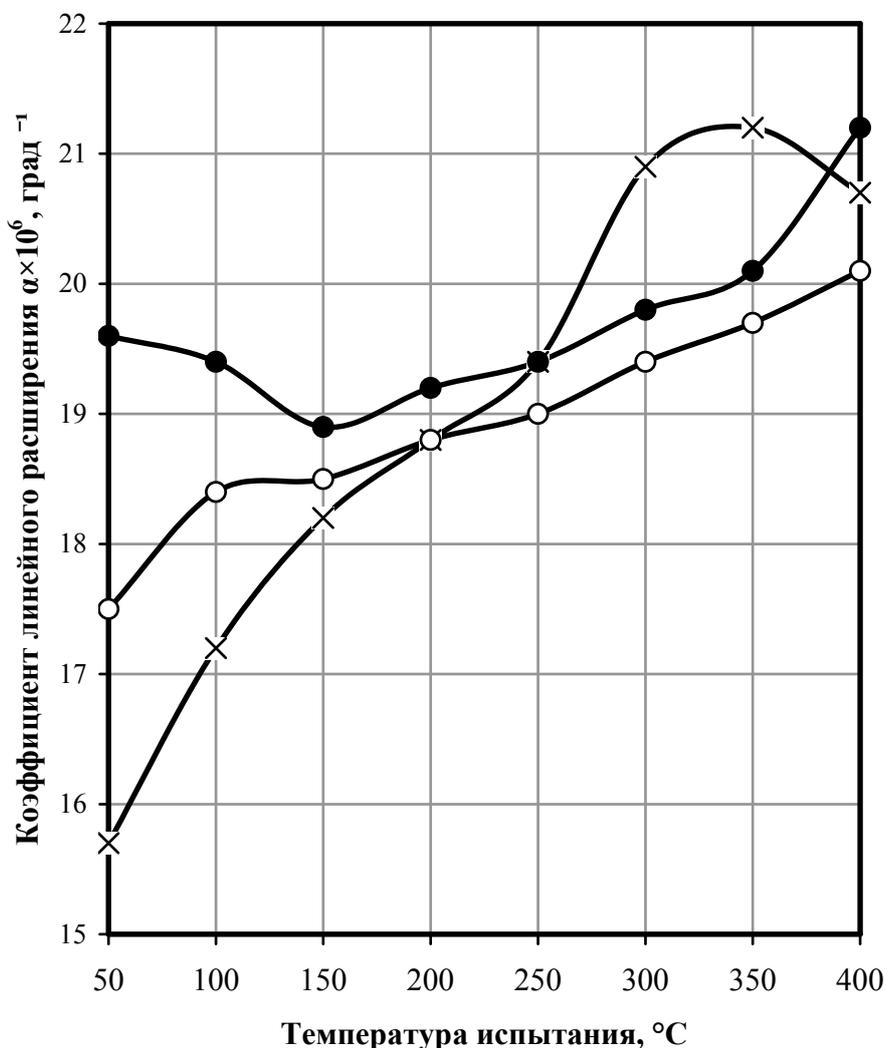


Рис. 3. Влияние легирования на температурный коэффициент линейного расширения наводороженного сплава Al-15%Si: x – x – Al-15%Si; o – o – Al-15%Si-0,5%Pb; ● – ● – Al-15%Si-0,1%Be

Выводы

Установлено, что легирование свинцом в количестве 0,5% и бериллием в количестве 0,1% существенно влияют на форму и размер структурных составляющих наводороженного сплава Al-15%Si. Наиболее эффективное влияние на микроструктуру силумина оказывает бериллий, способствуя измельчению кремния в составе мелкодисперсной эвтектики.

Исследуемые элементы оказывают положительное влияние на ТКЛР наводороженного сплава Al-15%Si, снижая его в высокотемпературном интервале испытания. Свинец более эффективно уменьшает температурный коэффициент линейного расширения двойного силумина по сравнению с бериллием.

Список литературы

1. Силаева В.И. Влияние микролегирования на структуру и свойства сплавов системы Al-Si-Cu / В.И. Силаева, Б.А. Прусаков, Г.И. Эскин // *Металловедение и термическая обработка металлов.* – 2000. – № 6. – С. 37 – 40.
2. Афанасьев В.К. Поршневые силумины : учеб. пособие / под науч. ред. В.К. Афанасьева. – Кемерово : Полиграф, 2005 – 162 с.
3. Легкие сплавы с малым тепловым расширением / В.К. Афанасьев, М.В. Попова, А.А. Ружило [и др.]. – Кемерово : Кузбассвузиздат, 2000. – 376 с.
4. Водород и свойства сплавов алюминия с кремнием / В. К. Афанасьев, И.Н. Афанасьева, М.В. Попова [и др.]. – Абакан : Хакасское кн. изд-во, 1998. – 192 с.
5. Попова М. В. О линейном расширении сплавов алюминия с кремнием / М. В. Попова, В.Ф. Фролов, А.Н. Любушкина // *Изв. вузов. Черная металлургия.* – 2003. – №2. – С. 38 – 40.
6. Ушакова В.В. Линейное расширение литых естественных композиционных материалов с добавками свинца / В.В. Ушакова, М. В. Попова, З.А. Лузянина // *Изв. вузов. Черная металлургия.* – 1994. – № 2. – С. 85 – 86.
7. Линейное расширение и механические свойства литого и деформированного сплава Al-15%Si с добавками легкоплавких элементов / В.В. Ушакова, М.В. Попова, С. С. Шараев [и др.] // *Изв. вузов. Черная металлургия.* – 1995. – № 2. – С. 40 – 42.

Influence of an alloying on parameters of a microstructure and physical properties of an alloy of Al-15%Si

M.V. Popova, N.V. Kibko

Research of influence of separate introduction in lead and beryllium fusion in a small amount on microstructure parameters, density and temperature coefficient of linear expansion of an alloy of Al-15%Si is conducted.

It is established that beryllium in comparison with lead as promotes reduction of the size of silicon as a part of an eutectic of a disperse structure influences microstructure silumin more effectively.

The alloying lead and beryllium reduces TKLR of an alloy of Al-15%Si in a high-temperature interval of test. Lead has the most effective impact on thermal expansion of silumin.

Keywords: alloying, silumin, microstructure, temperature coefficient of linear expansion, density

УДК 620.172.24

ПРИМЕНЕНИЕ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ ТРУБНЫХ СТАЛЕЙ

*А.С. СЫРОМЯТНИКОВА, канд. физ.-мат. наук, доцент
(ИФТПС СО РАН, г. Якутск)*

В.И. ПОПОВ, канд. физ.-мат. наук, доцент

Е.М. ГУЛЯЕВА, магистрант

(СВФУ им. М.К. Аммосова, г. Якутск)

Сыромятникова А.С. – 677980, г. Якутск, ул. Октябрьская, 1
Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН
e-mail: sas@iptpn.ysn.ru

С применением метода атомно-силовой микроскопии (АСМ) установлен характер изменений микроструктуры стали магистрального газопровода при длительной эксплуатации в условиях низких климатических температур. Сформулированы требования к процедуре пробоподготовки образцов из феррито-перлитных сталей для исследования методом АСМ. Выявлены числовые характеристики микроструктуры феррито-перлитных сталей, определяемых методом АСМ дополнительно к данным других методов микроскопии

Ключевые слова: феррито-перлитная сталь, атомно-силовая микроскопия, магистральный трубопровод, длительная эксплуатация

Введение

К объектам повышенного экологического риска возникновения техногенных аварий, вызванных недостаточной эксплуатационной надежностью металла, относятся металлоконструкции из сталей феррито-перлитного и перлитного классов, такие, как магистральные газо- и нефтепроводы, мосты и путепроводы. В последнее десятилетие интенсивно проводятся экспериментальные работы, посвященные изучению деградации механических свойств и структуры металла труб стареющих магистральных газопроводов, которая приводит к возрастанию риска возникновения аварийных ситуаций [1-4]. Изменения физического состояния в процессе длительной эксплуатации могут протекать на различных структурных уровнях материала, поэтому важное значение при изучении их закономерностей приобретает проблема выбора методов исследования и установления характеризующих их качественных и количественных параметров. Целью работы является изучение возможностей метода АСМ для исследования микроструктуры сталей феррито-перлитного класса.

Материал и методика исследования

Объектом исследований являлась сталь марки 09Г2С труб диаметром 530 мм и толщиной стенки 8 мм: после хранения в полевых условиях более 30 лет

(аварийный запас) и после длительной (около 30 лет) эксплуатации в составе действующего магистрального газопровода Республики Саха (Якутия).

Структурные исследования проведены с использованием оптического микроскопа «Axio Observer Dlm», растрового электронного микроскопа JSM-6480LV, просвечивающего электронного микроскопа JEM-4000EX, атомно-силового микроскопа «IntegraSpectra NT MDT». Параметры шероховатости поверхности образцов после механической обработки контролировались с использованием профилометра SJ-201 Mitatoyo.

Результаты и обсуждение

Основными требованиями к пробоподготовке поверхности при сравнительных АСМ-исследованиях, помимо общих требований к пробоподготовке металлографических шлифов, являются следующие: шероховатость исследуемых поверхностей после полировки должна быть минимальной и равной для сравниваемых образцов; травление поверхности образцов должно проводиться при идентичных условиях. Качество подготовки контролировалось измерениями шероховатости на профилометре, которая после полировки составляла 100 нм.

Оптические и АСМ - изображения микроструктуры металлов труб представлены на рис. 1. Числовые характеристики микроструктуры, определенные с использованием обоих методов микроскопии, совпадают и приведены в двух первых строках таблицы.

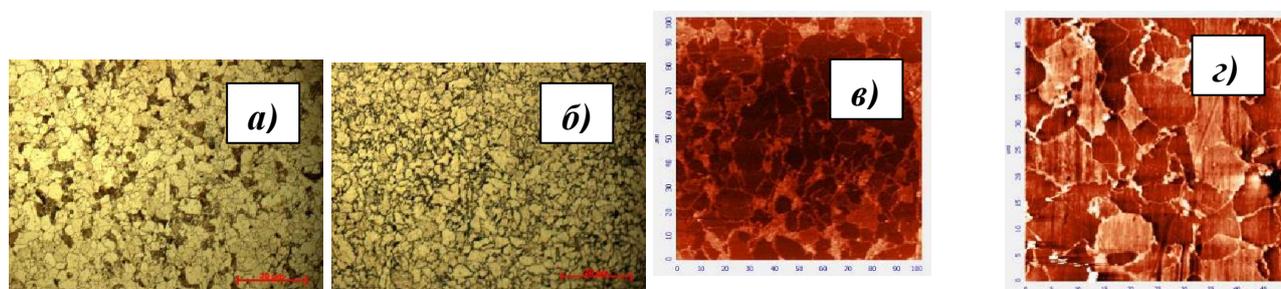


Рис. 1. Оптические (а, б) и АСМ-изображения (в, г) микроструктур металлов труб : труба из аварийного запаса (а, в) и труба после длительной эксплуатации (б, г)

Путем обработки данных АСМ для исследуемых сталей были вычислены следующие параметры: расстояния между цементитными пластинами, ширина и высота межферритных границ и коэффициент их вариации, а также шероховатость фазовых составляющих (табл.).

Таблица

Характеристики микроструктуры сталей, полученные обработкой оптических и АСМ-изображений

Характеристики	Металл трубы из аварийного запаса	Металл трубы после эксплуатации
Средний размер ферритных зерен, мкм	1,63±0,03	1,94±0,03
Содержание перлита, %	15	10
Коэффициент вариации расстояний между цементитными пластинами, %	38	53
Среднее расстояние между цементитными пластинами, мкм	1,188	1,048
Коэффициент вариации границ ферритных зерен по ширине, %	19,87	6,1
Средняя ширина границ ферритных зерен, мкм	0,602	0,522
Коэффициент вариации границ ферритных зерен по высоте, %	24,95	30,64
Средняя высота границ ферритных зерен, мкм	0,325	0,560
Среднеквадратичная шероховатость перлитных колоний, мкм	17,548	20,921
Среднеквадратичная шероховатость ферритных зерен, мкм	45,142	22,870

Анализ результатов АСМ-исследований металлов труб показал следующее. Расстояния между цементитными пластинами перлита в металлах обеих труб равны. Однако, их коэффициент вариации, характеризующий регулярность расположения пластин, в металле трубы после эксплуатации в два раза выше вариации межпластинчатых расстояний в металле трубы из аварийного запаса. Нерегулярность расположения цементитных пластин в металле «старой» трубы объясняется тем, что длительная эксплуатация приводит к деформации (рис. 2, б) и разрушению цементитных пластин перлита, проходящей поперек пластин (рис. 2, в) [2].

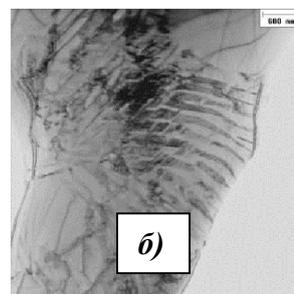
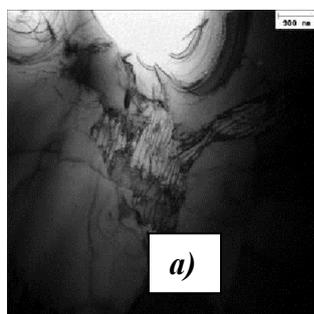


Рис. 2. ПЭМ-изображения структуры перлитных колоний металла трубы из аварийного запаса (а) и после длительной эксплуатации (б, в)

Длительная эксплуатация не приводит к уширению границ ферритных

зерен в металле трубы, наблюдается разброс их значений в узком интервале.

В металлах обеих труб наблюдаются равные значения шероховатости перлитных колоний. Однако, шероховатость поверхности ферритных зерен в металле трубы из аварийного запаса в два раза превышает эту же величину в металле трубы после эксплуатации. Этот экспериментальный результат может быть объяснен тем, что шероховатость протравленной поверхности при наличии дислокационной структуры зависит от их плотности, так как участки, содержащие дислокации, вытравливаются более интенсивно вследствие понижения вблизи дислокации энергии удаления атома с поверхности. В работе [2] показано, что при длительной эксплуатации происходит эволюция дислокационной субструктуры трубной стали - уменьшение скалярной плотности дислокаций и переход от хаотической дислокационной структуры к формированию более упорядоченной, стабильной сетчатой структуры с пониженной скалярной плотностью дислокаций (рис. 3). Формирование при длительной эксплуатации субструктуры в ферритных зернах с пониженной плотностью дислокаций также подтверждается результатами АСМ-исследований.

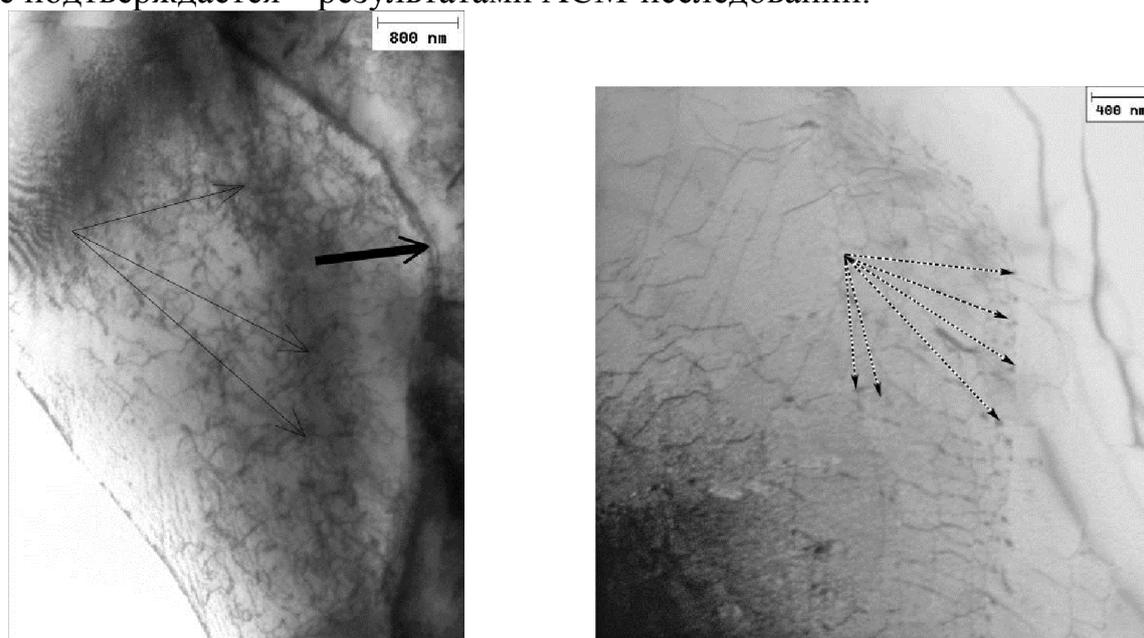


Рис. 3. Дислокационная субструктура зерен феррита металла труб из аварийного запаса (а) и после длительной эксплуатации (б)

Заключение

Метод атомно-силовой микроскопии благодаря наличию трехмерной информации позволяет получить дополнительную к другим методам микроскопии числовые параметры, и при исследовании микроструктуры феррито-перлитной стали является единственным методом количественного определения шероховатости фазовых составляющих, характеристик границ зерен и регулярности структуры перлита, которые могут быть использованы для оценки степени поврежденности материала при длительной

эксплуатации.

Список литературы

1. Большаков А.М., Голиков Н.И., Сыромятникова А.С. и др. Разрушения и повреждение при длительной эксплуатации объектов нефтяной и газовой промышленности// Газовая промышленность. 2007. № 7. С. 89-91.

2. Сыромятникова А.С. Дegradaция физико-механического состояния металла труб магистрального газопровода при длительной эксплуатации в условиях низких климатических температур// Вестник Тамбовского университета. 2013. Т. 18. Вып. 4. С. 1745- 1748.

3. Н. А. Махутов, В. Н. Пермяков, Ю. А. Кравцова, Л. Р. Ботвина. Оценка состояния материала продуктопровода после его длительной эксплуатации//Заводская лаборатория. Диагностика материалов. № 2.2007. Т.73. С.35-43.

4. Нохрин А.В., Чувильдеев В.Н. Старение сталей труб магистральных газопроводов// Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2010. № 5. С.171-180.

Application of atomic-force microscopy for microstructure researches of ferritic-pearlitic steels

A. S. Syromyatnikova, V. I. Popov, E. M. Gulyaeva

The method of atomic-force microscopy (AFM) is applied to research of a microstructure of pipe steel 09Г2С from an emergency stock and after long operation as a part of the Republics Sakha (Yakutia) main gas pipeline. Requirements to samples preparation procedure are formulated, the list of numerical characteristics of the microstructure calculated on AFM to images in addition to optical microscopy is defined. The received results will be co-ordinated with results of research of a microstructure and dislocation substructure of the same metals with use of other methods of microscopy. It is shown, that AFM is a unique method of quantitative definition of a roughness of phase components, characteristics of borders of grains and structure regularities of pearlit of ferritic-pearlitic steels which can be used for estimation of material degradation at long operation.

Keywords: ferritic-pearlitic steel, atomic-force microscopy, the main pipeline, long operation

УДК 621.768.011

ВЛИЯНИЕ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ И ОТЖИГА НА СТРУКТУРУ И УДЕЛЬНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ СТАЛИ МАРКИ СтЗпс

*В.К. АФАНАСЬЕВ, доктор техн. наук, профессор
А.Н. ПРУДНИКОВ, канд. техн. наук, доцент
М.В. ПОПОВА, доктор техн. наук, профессор
В.А. ПРУДНИКОВ, аспирант
(СибГИУ, г. Новокузнецк)*

Прудников А.Н. – 654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42,
Сибирский государственный индустриальный университет,
e-mail: a.prudnikov@mail.ru

Приведены результаты влияния термоциклической деформации и последующего отжига на структуру и удельное электрическое сопротивление листовой стали СтЗпс. Показаны возможности снижения удельного электрического сопротивления на 10 % и более за счет использования рациональных режимов деформационной термоциклической обработки и отжига.

Ключевые слова: сталь, структура, деформация, удельное электрическое сопротивление, термоциклическая обработка

Введение

В области проводниковых материалов низкоуглеродистая сталь является наиболее доступным и дешевым материалом, обладающим высокой механической прочностью при разрыве. Однако ее применение ограничено такими недостатками как низкая коррозионная стойкость и повышенное удельное электрическое сопротивление по сравнению с медью и алюминием. Удельное электрическое сопротивление является структурно чувствительным свойством и поэтому может существенно изменяться при формировании в материале различных структурных состояний. Одним из наиболее эффективных способов воздействия на структуру и свойства стали является деформация и термическая обработка. Известны довольно активные способы совместного циклического воздействия температуры и деформации на структуру и физико-механические свойства металлов и сплавов [1]. В меньшей мере изучено изменение физических свойств при таких видах совместной обработки сталей. Поэтому целью работы являлось исследование влияния деформационной термоциклической обработки (ДТЦО) на структуру и удельное сопротивление стали СтЗпс.

Методика эксперимента

В качестве материала исследования была выбрана низкоуглеродистая сталь обыкновенного качества Ст3пс. Сталь была выплавлена на ОАО «НКМК» (г. Новокузнецк). Химический состав стали, определенный на эмиссионном спектрометре ARL4460 приведен в таблице 1.

Сляб из опытной стали имел размеры 1265×500×1800 мм. Термоциклическую деформацию сляба проводили на листопрокатном стане в условиях ОАО «НКМК».

Таблица 1

Химический состав обрабатываемой стали Ст3пс

Марка	Содержание компонентов, % (вес.)							
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu
Ст3пс	0,19	0,54	0,07	0,013	0,028	0,3	0,03	0,07

Было проведено 5 циклов деформации с обжатием в каждом цикле 10-15 %. Температура нагрева под деформацию составляла 1300 °С, время выдержки сляба в печи перед прокаткой 2-2,5 ч. Охлаждение заготовки проводили на воздухе до температуры ниже A_{r1} : в 1-ом и 3-ем циклах до 500-550 °С, а во 2-ом, 4-ом и 5-ом циклах до 50-100 °С. Толщина заготовки после 5-го цикла деформации составляла 90 мм. Далее эта заготовка была прокатана с 1300 °С до толщины 5 мм по технологии листопрокатного цеха ОАО «НКМК». Из полученного листа были вырезаны образцы размером 5×20×100 мм и прокатаны до толщины 4, 3, 2 и 1 мм по следующему режиму: нагрев и выдержка при 850 °С в течение 30 минут, охлаждение до 750 °С и прокатка до толщины 4 мм (степень обжатия 20 %), охлаждение на воздухе. В последующих циклах прокатку осуществляли по маршруту 3 → 2 → 1 мм. Степень обжатия составляла 25, 30 и 50 % соответственно. Термическую обработку проводили в лабораторных печах сопротивления типа СНОЛ. Для исследования микроструктуры стали использовали оптический микроскоп ЛабоМет-И1, а для измерения электрического сопротивления применяли двойной мост Томсона М88. Образцы для измерения электрического сопротивления имели квадратное сечение со сторонами, соответствующими толщине листа, 1, 2, 3, 4 и 5 мм и длину 100 мм.

Результаты и обсуждение

Металлографический анализ образцов из Ст3пс, прокатанной по промышленной технологии на ОАО «НКМК» и с использованием

термоциклической деформации, показал, что в обоих случаях микроструктура листа представляет собой зерна феррита и колонии перлита, равномерно расположенные по всему объему. Однако в случае использования предварительной циклической деформации средний размер зерна несколько меньше и составляет около 6 мкм по сравнению с величиной зерна, получаемой в стали после прокатки по промышленной технологии и равной в среднем 8 мкм. Среднее значение удельного электрического сопротивления образцов, вырезанных из стального листа толщиной 5 мм, полученного с использованием предварительной циклической деформации, на 5÷10 % ниже, чем у листа, изготовленного по технологии ОАО «НКМК». Так, среднее значение удельного электрического сопротивления стали, подвергнутой предварительной ДТЦО, составляет $16,3 \cdot 10^{-8}$ Ом·м, в то время как для промышленного листа из этой стали оно равно $17,5 \cdot 10^{-8}$ Ом·м.

В дальнейшем листовая сталь, изготовленная с использованием термоциклической деформации, была подвергнута ДТЦО (4 цикла) до достижения толщины 1 мм. Установлено, что с увеличением количества циклов деформации в структуре прокатанного листа (толщина 1 мм) уменьшается размер зерна феррита и перлитных колоний в среднем до 2-3 мкм, а также происходит рост удельного электрического сопротивления. Это повышение, по-видимому, связано с увеличением протяженности границ зерен и неполным снятием наклепа при данной обработке, что является превалирующим фактором в формировании величины удельного электрического сопротивления. Причем, с увеличением степени обжатия в цикле величина удельного сопротивления возрастает более интенсивно.

Результаты исследования влияния отжига при 600 °С в течение 1-10 ч на удельное электрическое сопротивление листовой стали, прокатанной по промышленному режиму и с применением ДТЦО, приведены в таблице 2.

Таблица 2

Влияние времени отжига при 600 °С на удельное электрическое сопротивление листовой стали СтЗпс, прокатанной по промышленной технологии и подвергнутой ДТЦО

Время отжига, ч	Удельное электрическое сопротивление, $\rho \cdot 10^{-8}$, Ом·м	
	Промышленный режим	Режим с ДТЦО
–	17,3	16,8
1	17,0	16,2
3	16,6	15,7
5	16,2	15,5
10	16,1	15,3

Закономерность изменения удельного электрического сопротивления для опытной и промышленной стали одна и та же: с увеличением времени отжига его значения снижаются, однако уровень разный. После отжига сталь, подвергнутая ДТЦО, имеет удельное сопротивление на 5÷6 % ниже, а минимальное значение соответствует времени отжига 10 ч и составляет $15,3 \cdot 10^{-8}$ Ом·м.

Выводы

1. Использование ДТЦО позволяет получить в листовой стали марки Ст3пс мелкозернистую структуру и снизить удельное электрическое сопротивление на 5÷10 % по сравнению с промышленной технологией.
2. Применение отжига при 600 °С позволяет дополнительно уменьшить уровень удельного электрического сопротивления стали в среднем на 5 %.

Список литературы

1. Федюкин В.К. Термоциклическая обработка металлов и деталей машин/ В.К. Федюкин, М.Е. Смагоринский – Л. :Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1989.– 255 с.

Influence of thermocyclic deformation and annealing on the structure and specific electrical resistivity steel grade Ст3пс

V.K. Afanasyev, A.N Prudnikov, M.V Popova, V.A Prudnikov

The results of influence the thermal cyclic deformation and subsequent of annealing t the structure and the specific electric resistivity of sheet steel of Ст3пс. The possibilities of reducing the specific electrical resistivity 10% or more through the use of rational modes of deformation thermocyclic treatment and annealing.

Keywords: steel, structure, deformation, specific electrical resistivity, deformation thermocyclic treatment

УДК 621.785.5:621.793.6

ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ДИФФУЗИОННЫХ БОРИДНЫХ ПОКРЫТИЙ НА РАБОЧИХ ОРГАНАХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

В.В. ЗОБНЕВ, аспирант
А.М. МАРКОВ, доктор техн. наук, профессор,
С.Г. ИВАНОВ, к.т.н., докторант
А.М. ГУРЬЕВ, доктор техн. наук, профессор,
(АлтГТУ, г. Барнаул)

Зобнев В.В. – 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
e-mail: serg225582@mail.ru

В работе исследовано влияние технологических параметров насыщения и последующего абразивного износа незакрепленные частицы на эволюцию поверхностной микроструктуры диффузионных покрытий на конструкционных сталях (Сталь 45 и 65Г).

Ключевые слова: упрочнение поверхности, диффузия, сталь, борирование, повышение ресурса.

Введение

Современному сельскому хозяйству требуются надежные рабочие органы машин, обладающие рядом высоких характеристик, таких как: высокие прочность и пластичность, износо- и коррозионная стойкость и многие другие. Эта проблема решается в основном за счет производства объемнолегированных сталей. Однако, в связи с постоянно растущей стоимостью легирующих материалов, наряду с объемным легированием имеют также различные способы нанесения покрытий: электроискровая наплавка, напыление, наплавка ТВЧ, дуговая наплавка износостойкими материалами.

Диффузионное борирование является одним из распространенных видов химико-термической обработки железоуглеродистых сплавов, позволяющих существенно повысить ресурс работы. Боридные слои, полученные диффузионным борированием на стальных деталях значительно (в 5-30 раз) повышают износостойкость, теплостойкость (в 1,5 — 2 раза) и коррозионную стойкость, что позволяет повысить их срок службы [1-5].

Настоящая работа посвящена изучению эволюции микроструктуры и физико-механических свойств сталей, подвергнутых одновременному диффузионному насыщению бором, хромом (борохромированию) и бором, титаном (боротитанированию) в условиях ТВЧ-нагрева. В работе исследовано влияние износа на деградацию микроструктуры диффузионного борохромированного и боротитанированного покрытий сталях, обычно

применяемых для производства стрелчатых лап культиваторов типа СЛ-3 для предпосевной обработки почвы.

Материалы и методы исследования

В качестве образцов различных классов сталей были выбраны: сталь 45 – как представитель углеродистых конструкционных сталей, в качестве эталона была выбрана сталь 65Г.

Стрелчатые лапы типа СЛ-3 были упрочнены по традиционной технологии (ТВЧ-наплавка сормайтывым порошком ПГСР-3) и борохромированием а также боротитанированием в соответствии с рекомендациями [6-8].

Микроструктура получившихся покрытий на стали 65Г представлена на рисунке 1. В качестве борохромирующей обмазки использовали среду, содержащую в своем составе бор, железо, кислород, хром, натрий, фтор, хлор, азот. Для процесса боротитанирования применяли среду, дополнительно содержащую вместо хрома аналогичное количество титана.

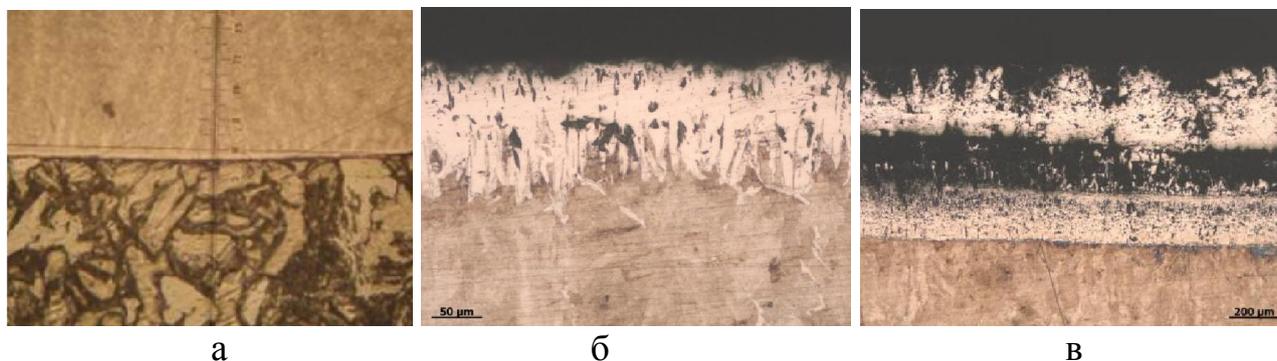


Рис. 1. Микроструктура покрытий на стали 65Г, полученных в условиях ТВЧ-нагрева: а) наплавка ПГСР-3, б) борохромирование, в) боротитанирование.

Результаты и обсуждение

При одновременном диффузионном борохромировании получается слой, практически не отличающийся от классических боридных слоев (рисунок 1, б). – единственное морфологическое отличие состоит только в строении игл: при одновременном борохромировании стали боридные иглы утолщаются, затуляются, сплошность слоя при этом растет. В процессе одновременного боротитанирования получают слои сложной морфологии, представленные на

рисунке 1, в. Условно боротитанированный слой можно разделить на 5 частей: верхняя, нетравящаяся часть диффузионного слоя по всей вероятности представляет собой смесь боридов титана и чистого титана, следующий (темный) подслои представляет собой преимущественно смесь диборида и карбоборидов титана, в пользу данного предположения говорит тот факт, что данный подслои является таким хрупким, что выкрашивается в процессе приготовления шлифа. Третий по счету подслои, расположенный под темной прослойкой является переходным и состоит из титана и боридов титана, которые находятся в порах титанированного слоя. Предпоследний подслои представляет собой столбчатые кристаллы титана, легированные бором и углеродом. И непосредственно к основному материалу прилегает карбидный слой, состоящий из карбидов титана. Межфазные границы, разделяющие фазы между собой являются гладкими, что в комбинации с высокой твердостью и хрупкостью приводят к низкой работоспособности данных покрытий, так как при приложении нормальных и тем более касательных напряжений данные слои скалываются, а их осколки, обладающие высокой твердостью, являются абразивом, значительно увеличивающим износ.

Отсутствие титана под покрытием можно объяснить тем, что титан, обладая более высоким сродством к неметаллическим элементам, чем железо, соединяется с бором на поверхности диффузионного слоя и образует бориды титана, которые в условиях данного эксперимента не диспропорционируют. Данное предположение подтверждается тем, что на дифракционных изображениях поверхности диффузионного покрытия, полученных с помощью рентгеновского дифрактометра ДРОН 6,0 фиксируются только пики титана, бора, углерода и их соединений, пиков других элементов и их соединений на рентгенограммах не обнаружено.

После упрочнения все упрочненные лапы работали в условиях реального износа. Износ периодически контролировали визуально, за величину полного износа был принят износ, при котором отламывалось крыло лапы. Следует отметить, что условия работы лапы культиватора относятся к тяжелым, так как стрелчатая лапа работает в сложных условиях, сочетающих поверхностный абразивный износ, а также наличие изгибающих усилий, приводящих к колебаниям крыльев лапы и вследствие этого, возможным сколам упрочняющего покрытия.

График сравнительной стойкости упрочненных лап представлен на рисунке 2.

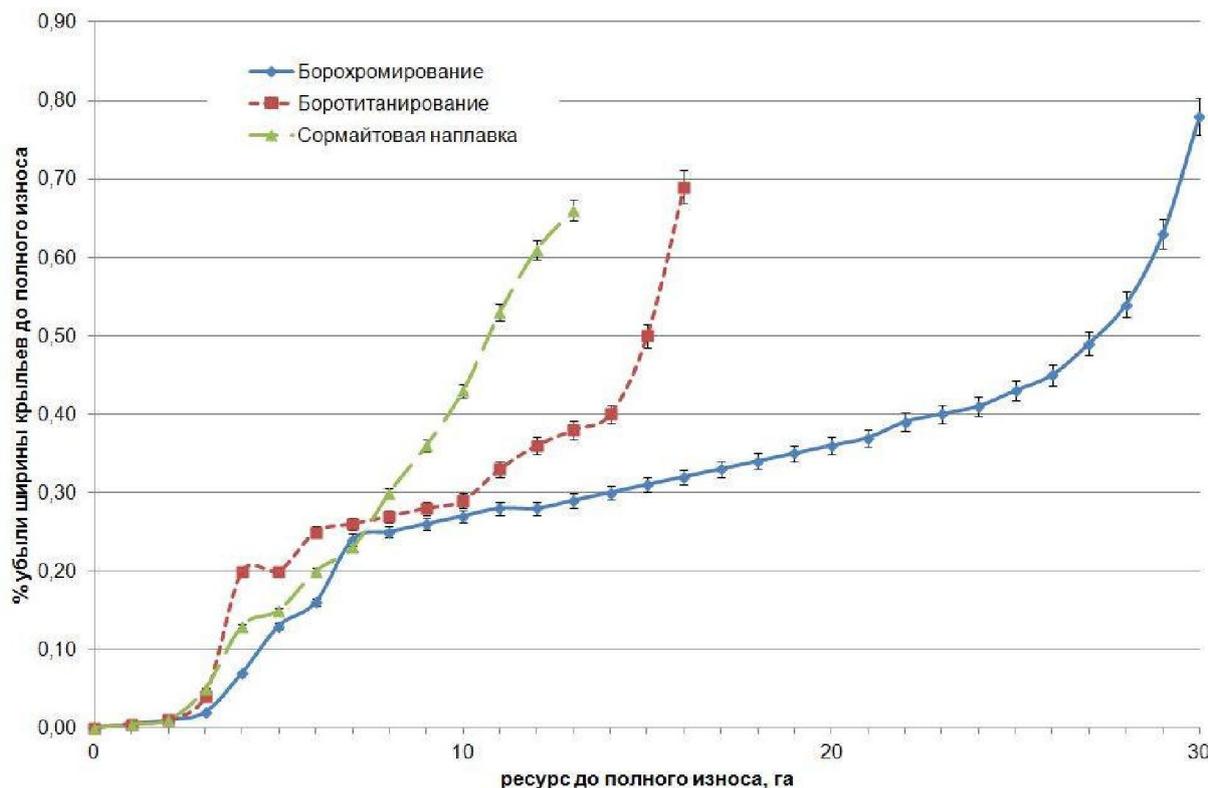


Рис. 2. Сравнительная износостойкость упрочненных стрелчатых лап из стали 45.

Выводы

Наиболее высокую износостойкость показали стрелчатые лапы из углеродистой конструкционной стали 45, подвергнутой одновременному диффузионному борохромированию, закалке с температуры борохромирования и последующему низкому отпуску – износостойкость борохромированных стрелчатых лап в 2,4 раза превысила износостойкость аналогичных изделий, подвергнутых боротитанированию и в 2,5 раза – износостойкость стрелчатых лап, подвергнутых ТВЧ наплавке сормайтом.

Список литературы

1. Новый способ диффузионного термоциклического упрочнения поверхностей железоуглеродистых сплавов *Гурьев А.М., Лыгденов Б.Д., Иванов С.Г., Власова О.А., Кошелева Е.А., Гурьев М.А., Земляков С.А.* Ползуновский альманах. 2008. № 3. С. 10-16.
2. Комплексное насыщение сталей бором и хромом – борохромирование *Иванов С.Г., Гурьев А.М., Кошелева Е.А., Власова О.А., Гурьев М.А.* Ползуновский альманах. 2008. № 3. С. 53.
3. Разработка состава насыщающей смеси и технологии диффузионного борохромирования тяжело нагруженных деталей машин и инструмента *Иванов*

С.Г. диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. Барнаул, 2007

4. Влияние состава насыщающей среды на структуру и свойства диффузионного слоя при титанировании сталей *Лыгденов Б.Д., Гурьев А.М.* Известия высших учебных заведений. Физика. 2000. Т. 43. № 11. С. 269.

5. Теория и практика получения литого инструмента *Гурьев А.М., Хараев Ю.П.* Барнаул, 2005.-222с.

6. Способ упрочнения стальных деталей *Гурьев А.М., Иванов С.Г., Власова О.А., Кошелева Е.А., Гурьев М.А., Лыгденов Б.Д.* патент на изобретение RUS 2381299 12.05.2008

7. Способ упрочнения деталей из конструкционных и инструментальных сталей *Гурьев А.М., Иванов С.Г., Лыгденов Б.Д., Земляков С.А., Власова О.А., Кошелева Е.А., Гурьев М.А.* патент на изобретение RUS 2345175 03.04.2007

8. Способ упрочнения деталей из штамповых сталей *Гурьев А.М., Иванов С.Г., Земляков С.А., Власова О.А., Кошелева Е.А., Гурьев М.А.* патент на изобретение RUS 2360031 18.07.2007

9. Физические основы химико-термоциклической обработки сталей *Гурьев А.М., Лыгденов Б.Д., Попова Н.А., Козлов Э.В.* Барнаул, 2008.–256с.

10. Изменение фазового состава и механизм формирования структуры переходной зоны при термоциклическом борировании феррито-перлитной стали *Гурьев А.М., Козлов Э.В., Жданов А.Н., Игнатенко Л.Н., Попова Н.А.* Известия высших учебных заведений. Физика. 2001. № 2. С. 58.

Wear resistance of multicomponent boronizing coating on working organs of agricultural machinery

V.V. Zobnev, A.M. Markov, S.G. Ivanov, A.M. Guriev

The influence of the technological parameters of saturation and subsequent abrasion of loose particles on the microstructure evolution of surface diffusion coatings on Steel 45 and 65Г.

Key words: surface hardening, diffusion, steel, boronizing, resource increase.

УДК 621.785.5:621.793.6

ЗАВИСИМОСТЬ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ОТ МОРФОЛОГИИ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ДИФфуЗИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА СТАЛЯХ

*С.Г. ИВАНОВ, к.т.н., докторант,
А.М. ГУРЬЕВ, доктор техн. наук, профессор,
Т.Г. ИВАНОВА, аспирант,
М.А. ГУРЬЕВ, к.т.н., докторант
И.А. ГАРМАЕВА, к.т.н., докторант
(АлтГТУ, г. Барнаул)*

Иванов С.Г. – 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
e-mail: serg225582@mail.ru

Исследована влияние микроструктуры многокомпонентных диффузионных покрытий на основе бора на ресурс работы накатных роликов, изготовленных из конструкционной (Сталь 45) и инструментальной (X12M) сталей.

Ключевые слова: упрочнение поверхности, диффузия, сталь, борирование, повышение ресурса.

Введение

Диффузионное борирование является одним из распространенных видов химико-термической обработки железоуглеродистых сплавов, однако в силу слабой изученности, применяется недостаточно часто. Боридные слои, полученные диффузионным борированием на стальных деталях значительно (в 5-30 раз) повышают износостойкость, теплостойкость (в 1,5 — 2 раза) и коррозионную стойкость, что позволяет повысить ресурс упрочненного изделия.

Материалы и методы исследования

В качестве образцов были выбраны: сталь 45 – как представитель углеродистых конструкционных сталей, в качестве инструментальной стали была выбрана штамповая сталь X12M. Из этих марок сталей были изготовлены накатные ролики для накатывания ребристой неровности на поверхностях деталей из стали Ст3 [1-3].

После изготовления (механическая обработка), накатные ролики были упрочнены в соответствии с рекомендациями [4 - 7] методом одновременного комплексного борохромирования либо боротитанирования в изотермическом

режиме при температуре 950°C с выдержкой при температуре насыщения в течение 2,5 ч в камерной печи СНОЛ 360/12,5-И2. Затем ролики подвергли закалке (сталь 45 – в воде, сталь X12M – в масле) непосредственно с температуры насыщения с последующим низким отпуском при температуре 200°C в течение 2 часов для снятия напряжений в соответствии с рекомендациями [6]. В качестве борохромирующей обмазки использовали среду, содержащую в своем составе бор, железо, кислород, хром, натрий, фтор, хлор, азот. Для процесса боротитанирования применяли среду, дополнительно содержащую вместо хрома титан.

Результаты и обсуждение

Микроструктура получившихся диффузионных покрытий представлена на рисунке 1. Как видно из рисунка, на углеродистых сталях микроструктура борохромированного слоя имеет классический игольчатый вид, присущий боридным покрытиям, в то время как микроструктура борохромированного покрытия на стали X12M существенно отличается по строению от боридных покрытий на высоколегированных хромистых сталях типа X12. Боридный слой на этих сталях имеет достаточно гладкую границу, но все-таки сохраняет видимость игольчатого. В то время как борохромированный слой на стали X12M имеет вид, представленный на рисунке 1 (б) – слой представляет собой разрозненные скопления глобулярных частиц, относительно равномерно распределенных в железной матрице, но при этом практически не контактирующих между собой. Верхняя, белая часть слоя представляет собой смесь карбидов, боридов и карбоборидов хрома и железа, причем относительная доля соединений железа в этой части диффузионного слоя невелика (не превышает 37–40%), в то время как нижняя часть слоя представляет собой преимущественно смесь карбидов, карбоборидов и боридов железа, легированных хромом.

В процессе одновременного боротитанирования получают слои сложной морфологии, представленные на рисунке 1(в). Условно боротитанированный слой можно разделить на 5 частей: верхняя, нетравящаяся часть диффузионного слоя по всей вероятности представляет собой смесь боридов титана и чистого титана, следующий (темный) подслой представляет собой преимущественно смесь диборида и карбоборидов титана, в пользу данного предположения говорит тот факт, что данный подслой является таким чрезвычайно хрупким, что выкрашивается в процессе приготовления шлифа. Третий по счету подслой, расположенный под темной

прослойкой является переходным и состоит из титана и боридов титана, которые находятся в порах титанированного слоя. Предпоследний подслоя представляет собой столбчатые кристаллы титана, легированные бором и углеродом. И непосредственно к основному материалу прилегает карбидный слой, состоящий из карбидов титана. Межфазные границы, разделяющие фазы между собой являются гладкими, что в комбинации с высокой твердостью и хрупкостью приводят к низкой работоспособности данных покрытий, так как при приложении нормальных и тем более касательных напряжений данные слои скалываются, а их осколки, обладающие высокой твердостью, являются абразивом, значительно увеличивающим износ.

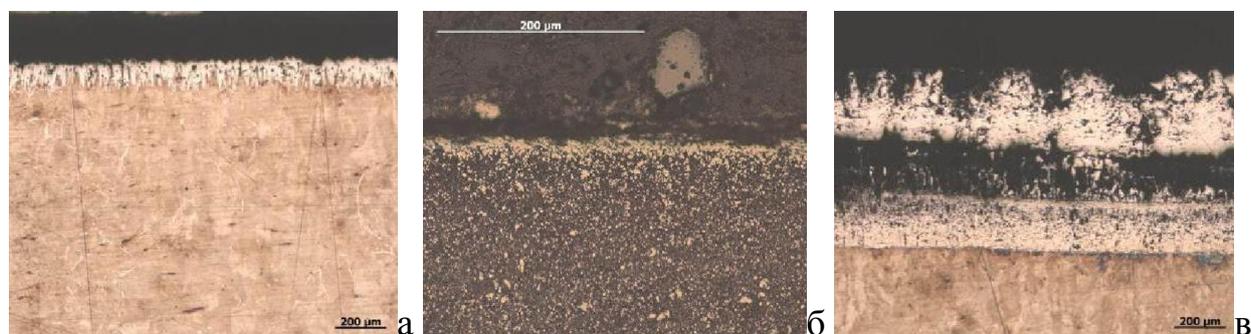


Рис. 1. Микроструктура покрытия, полученного комплексным насыщением бором, хромом и титаном на сталях: борохромированная сталь 45 (а), борохромированная сталь X12М (б), боротитанированная сталь 45 (в)

Отсутствие титана в диффузионном слое можно объяснить тем, что титан, обладая более высоким сродством к неметаллическим элементам, чем железо, соединяется с бором на поверхности диффузионного слоя и образует бориды титана, которые при температуре насыщения не диспропорционируют. Данное предположение подтверждается тем, что на дифракционных изображениях поверхности диффузионного покрытия, полученных с помощью рентгеновского дифрактометра ДРОН 6,0 фиксируются только пики титана, бора, углерода и их соединений, пиков других элементов и их соединений на рентгенограммах не обнаружено.

После упрочнения накатные ролики работали в условиях реального износа при накатке поверхностей. Наряду с упрочненными накатками использовали также и неупрочненные накатки из стали 45, подвергнутые закалке и низкому отпуску. Износ контролировали по изменению высоты зуба, за величину полного износа была принята величина убыли высоты зуба на величину более 0,8 мм. При этом,

также следует учесть, что режим работы сочетает как компоненту абразивного и адгезионного износа вследствие трения, так и компоненту износа вследствие деформации зуба, так как в процессе работы присутствуют высокие контактные давления, достигающие 200Н/см^2 . Следует отметить, что накатной инструмент относится к тяжело нагруженному инструменту, работающему в сложных условиях. График сравнительной стойкости накатных роликов представлен на рисунке 2, за параметр ресурса работы было принято время непрерывной работы накатного ролика до убыли высоты зуба на величину более 0,8 мм, либо такая деформация формы зуба, которая не позволяла получить четкий рельеф накатанной поверхности.

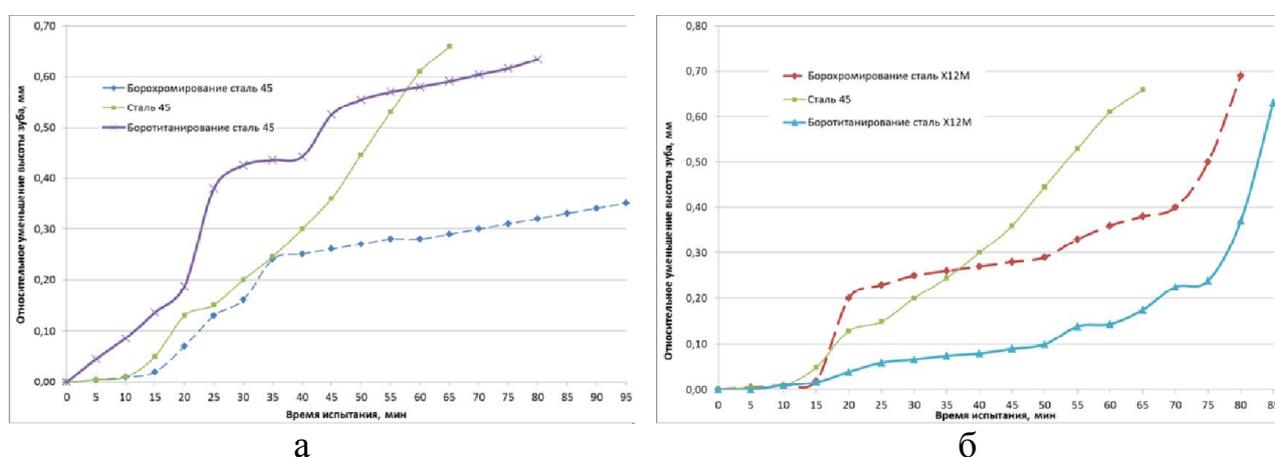


Рис. 2. Сравнительная износостойкость накатных роликов. а) ролики из стали 45, б) – ролики из стали X12М.

После испытаний на износостойкость была исследована структура накатных роликов, для чего была осуществлена вырезка образцов в радиальном и аксиальном направлениях. Результаты металлографических исследований изношенных накатных роликов, разрезанных в радиальном направлении (по длине накатного зуба) представлены на рисунке 4 и ниже.

Как видно из представленных фотографий микроструктуры, характер износа материала в зависимости от типа стали различается в достаточно сильной степени: в случае стали 45 износ имеет преимущественно вид выкрашивания диффузионного слоя вследствие чрезмерных нагрузок, приводящих к деформации материала зуба в случае уменьшения толщины диффузионного слоя, о чем свидетельствуют резкие изменения размера зуба на этапе приработки (временной промежуток 0–15 минут) и после 20 минут работы накатного ролика. В случае накатного ролика из инструментальной стали X12М износ имел абразивный характер наряду с деформацией материала зуба в результате высоких нагрузок, так как толщина

диффузионного слоя на данном классе сталей не превышает 60–80 мкм и, кроме того, оптимальная температура закалки для этой стали находится в интервале 1000–1050°C, что может быть сопряжено с образованием легкоплавкой боридной эвтектики, плавящейся приблизительно в этом же интервале температур (1070–1150°C) и при незначительном повышении температуры насыщения выше 1050°C вследствие естественных флуктуаций температурного поля по объему печи вследствие конвекции и неравномерности теплового излучения от стенок и пода печи может привести к браку. При закалке с выбранной температуры насыщения 950°C в стали X12M возможно сохранение достаточно высокого (до 12–15% масс.) количества остаточного аустенита обладающего пониженными прочностными характеристиками, кроме того, пониженная температура приводит к неполному растворению карбидов хрома, их коагуляции, и как следствие – обеднению железной матрицы легирующими элементами.

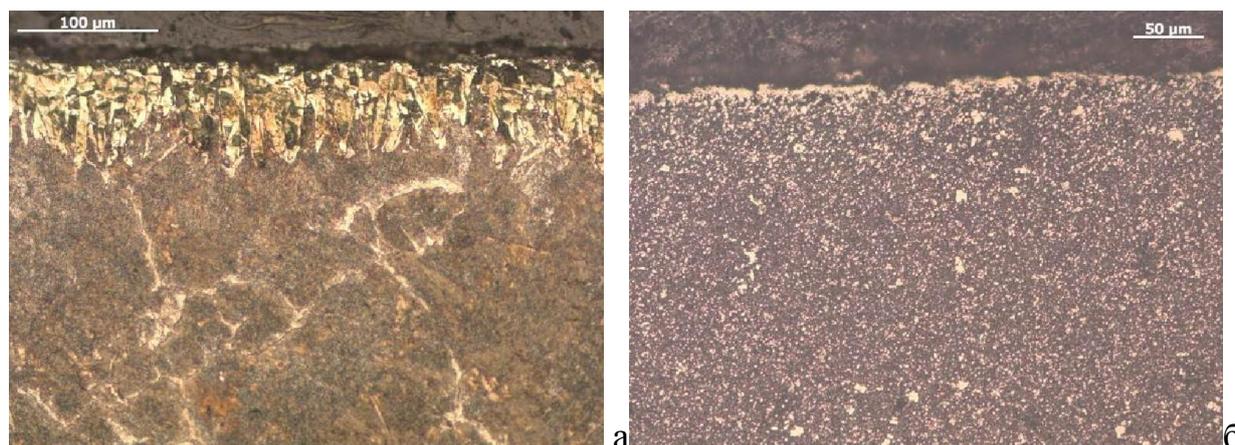


Рисунок 4. Микроструктура боридного слоя на сталях
Сталь 45 (а) и X12М (б) после ХТО и подвергнутых износу.

Выводы

Наиболее высокую износостойкость показали накатные ролики из углеродистой конструкционной стали 45, подвергнутой одновременному диффузионному борохромированию, закалке с температуры борохромирования и последующему низкому отпуску – износостойкость борохромированных накатных роликов из стали 45 в 7 раз превысила износостойкость аналогичных изделий из стали X12M и в 8,6 раза – износостойкость накатных роликов из стали X12M, подвергнутых закалке и низкому отпуску.

Считаем, что в данной ситуации целесообразна замена высоколегированной стали X12M на углеродистую сталь 45 с

диффузионным борохромированием. В этом случае возможно получение дополнительного экономического эффекта вследствие уменьшения себестоимости изготовления накатных роликов и экономии материальных и энергоресурсов в результате более простых режимов механической, термической и химико-термической обработки.

При изготовлении тяжело нагруженных деталей машин и инструмента из высоколегированных сталей, с целью повышения их стойкости, можно рекомендовать химико-термическую обработку (борохромирование) в режиме циклически меняющейся температуры нагрева вблизи температуры фазового $\alpha \leftrightarrow \gamma$ превращения, что способствует интенсификации диффузионных процессов при химико-термической обработке, приводит к растворению мелких карбидов и более равномерному распределению оставшихся в матрице.

Список литературы

1. Физические основы химико-термоциклической обработки сталей *Гурьев А.М., Лыгденов Б.Д., Попова Н.А., Козлов Э.В.* Барнаул, 2008.–250с.
2. Структура и свойства упрочненных бором и бором совместно с титаном поверхности штамповых сталей 5ХНВ и 5Х2НМВФ *Гурьев А.М., Иванов С.Г., Гурьев М.А., Иванов А.Г., Лыгденов Б.Д., Земляков С.А., Долгоров А.А.* Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2010. Т. 7. № 1. С. 27-31.
3. Механизм диффузии бора, хрома и титана при одновременном многокомпонентном насыщении поверхности железоуглеродистых сплавов *Гурьев А.М., Иванов С.Г.* Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2011. Т. 8. № 3. С. 92-96.
4. Диффузионное термоциклическое упрочнение поверхности стальных изделий бором, титаном и хромом *Гурьев А.М., Лыгденов Б.Д., Иванов С.Г., Власова О.А., Кошелева Е.А., Гармаева И.А., Гурьев М.А.* Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2007. Т. 4. № 1. С. 30-35.
5. Transition zone forming by different diffusion techniques in borating process of ferrite-pearlite steels under the thermocyclic conditions *Guriev A.M., Kozlov E.V., Lygdenov B.D., Kirienko A.M., Chernyh E.V.* Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2004. Т. 1. № 2. С. 54-60.
6. Многокомпонентное диффузионное упрочнение поверхности деталей машин и инструмента из смесей на основе карбида бора *Гурьев А.М., Грешилов А.Д., Кошелева Е.А., Иванов С.Г., Гурьев М.А., Иванов А.Г., Долгоров А.А.* Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. 2010. № 2. С. 19-23.

7. Особенности формирования структуры диффузионного слоя на литой стали при химико-термической обработке *Гурьев А.М., Лыгденов Б.Д., Махаров Д.М., Мосоров В.И., Черных Е.В., Гурьева О.А., Иванов С.Г.* *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. 2005. Т. 2. № 1. С. 39-41.

8. Механизм образования боридных игл при диффузионном комплексном борохромировании из насыщающих обмазок *Гурьев А.М., Иванов С.Г., Грешилов А.Д., Земляков С.А.* *Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты*. 2011. № 3. С. 34-40.

9. Технология нанесения многокомпонентных упрочняющих покрытий на стальные детали *Гурьев М.А., Фильчаков Д.С., Гармаева И.А., Иванов С.Г., Гурьев А.М., Околович Г.А.* *Ползуновский вестник*. 2012. № 1-1. С. 73-78.

10. Диффузионные покрытия сталей и сплавов *Гурьев А.М., Иванов С.Г., Гармаева И.А.* Барнаул, 2013.–221с.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №13-08-98107.

Работа выполнена в рамках базовой части государственного задания Минобрнауки на 2014г., тема №885.

Dependence of durability morphology multicomponent diffusion coatings on steel

S.G. Ivanov, A.M. Guriev, T.G. Ivanova, M.A. Guriev, I.A. Garmaeva

Investigated the influence of the microstructure of multicomponent diffusion coatings on the basis of boron on life of the rolling rollers made of constructional (Steel 45) and instrumental (X12M) steels.

Keywords: surface hardening, diffusion, steel, Boriding, increasing resource.

УДК 621.791.01

ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ПРИ КОНТАКТНОЙ СВАРКЕ ЗАГОТОВОК ИЗ РАЗНОРОДНЫХ СТАЛЕЙ¹

*А.А. ЧЕВАКИНСКАЯ, магистрант,
А.В. ИВАНОВА, студент,
А.А. НИКУЛИНА, доцент, канд. техн. наук,
НГТУ, г. Новосибирск*

Чевакинская А.А. – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: 4evakins@mail.ru

В качестве объектов исследования использовались сварные соединения перлитной и аустенитной сталей, полученные методом стыковой контактной сварки. Проведены структурные исследования и оценка микротвердости сварных соединений, выполненных из разнородных сталей в исходном состоянии (без дополнительной вставки) и с дополнительной вставкой из стали 20 в двух вариантах - толщиной 20 и 5 мм. Показано, что использование низкоуглеродистой вставки приводит к уменьшению количества высокопрочных зон, формирующихся в процессе сварки.

Ключевые слова: разнородные стали, контактная сварка, структура

1. Введение

В настоящее время сварка применяется не только для соединения между собой металлов, но и для разнородных сталей. Связано это с экономическим аспектом. Использование комбинированных конструкций, т.е. конструкций, сваренных из разнородных материалов, позволяет существенно сэкономить на дорогостоящих высоколегированных сплавах. При этом свариваемые материалы могут отличаться химическим составом, физическими свойствами и обладать различными прочностными характеристиками.

Ярким примером применения комбинированной конструкции является сварная железнодорожная крестовина, где за счет использования сварки значительно уменьшается количество дорогостоящей стали Гадфильда, а также исключается выкрашивание поверхности крестовины и рельса при прохождении колеса, поскольку между ними отсутствует зазор. К данным элементам железнодорожного пути предъявляют высокие требования надежности, поскольку использование крестовин с трещинами недопустимо.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ, по государственному заданию № 2014/138, проект № 257

Согласно работе [1] сварка крестовины и рельса производится через сталь 12X18Н10Т (рис. 1), что позволяет соединить условия охлаждения данных

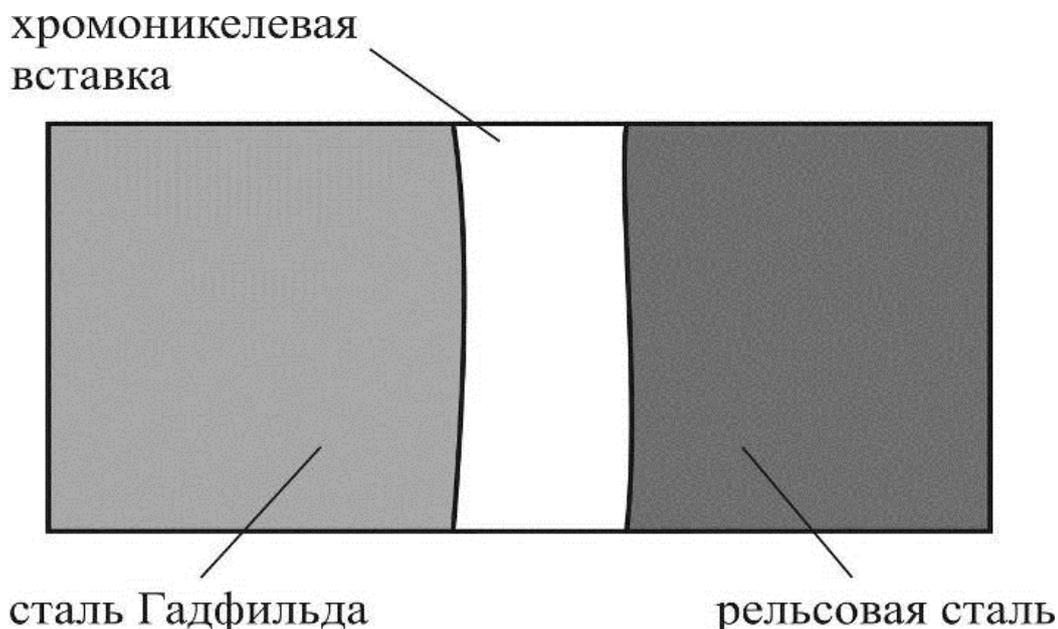


Рис. 1. Схема сваривания железнодорожной крестовины с рельсом

сталей. Для стали Гадфильда после сварки необходимо быстрое охлаждение, в то время как для углеродистой - умеренное, чтобы исключить образование мартенситных структур. Однако ранее проведенные исследования [2 - 5] показали, что в сварном шве между углеродистой (рельсовой) и хромоникелевой сталями возникают высокопрочные мартенситные структуры. Для их исключения в работе [1] предлагается проводить длительную термическую обработку: отжиг при температуре 1000 °С в течение 3-5 часов, что является экономически невыгодным. Одним из вариантов решения данной проблемы может быть использование промежуточного (барьерного) слоя между углеродистой и хромоникелевой сталями, что может ограничить диффузию углерода в хромоникелевую сталь и уменьшить доступ легирующих элементов в углеродистую сталь [6].

2. Материалы и методы исследования

Объектами исследований являлись сварные соединения, полученные методом стыковой контактной сварки заготовок из сталей Э76 и 12X18Н10Т со вставкой из низкоуглеродистой стали 20 толщиной 20 и 5 мм, а также исходные сварные соединения, полученные на одном режиме. Структурные исследования проводили с

использованием светового микроскопа Carl Zeiss Axio Observer.Z1m, измерение микротвердости по методу Виккерсу осуществляли на микротвердомере Wolpert Group 402MVD, прочностные характеристики определяли по схеме трехточечного изгиба (промышленное испытание).

3. Результаты и обсуждение

Толщина вставки выбиралась исходя из условий, что она должна быть достаточной, чтобы снизить взаимную диффузию легирующих элементов и

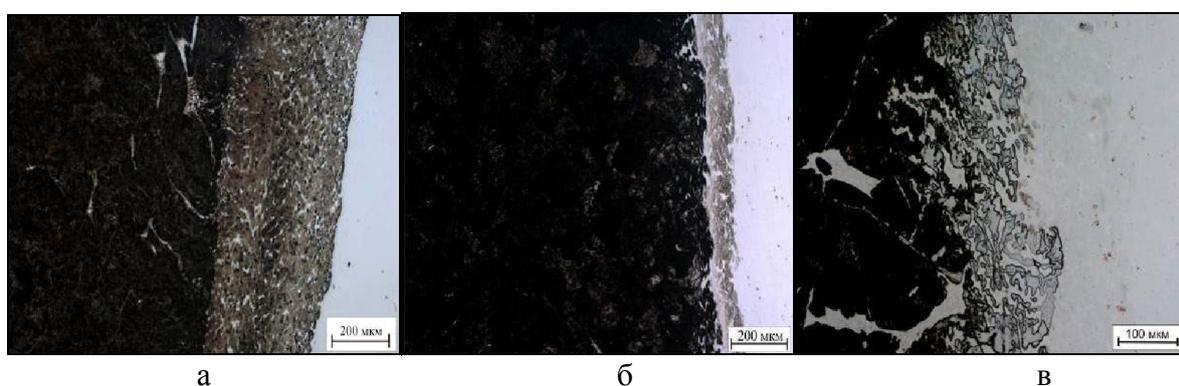


Рис. 2. Общий вид переходной зоны исходного сварного соединения (а), с низкоуглеродистой вставкой толщиной 5 мм (б) и 20 мм (в).

углерода, но при этом исключить образование самостоятельного слоя в сварном шве. Согласно результатам структурных исследований сварные швы со вставкой и без нее характеризуются наличием четкой видимой границы сварного шва, локализованных зон в углеродистой стали и мартенситной прослойки в хромоникелевой стали, что также согласуется с ранее проведенными исследованиями исходных соединений [2, 3]. Однако для соединений со вставкой количество и ширина данных зон существенно ниже (рис. 2). В соединениях со вставкой толщиной 5 мм наблюдается минимальное количество локализованных закаленных зон в углеродистой стали. Глубина их залегания от видимой границы сварного шва составляет не более 200 мкм. В то время как в исходных сварных соединениях закаленные участки могут располагаться в рельсовой стали на глубине до 500 мкм.

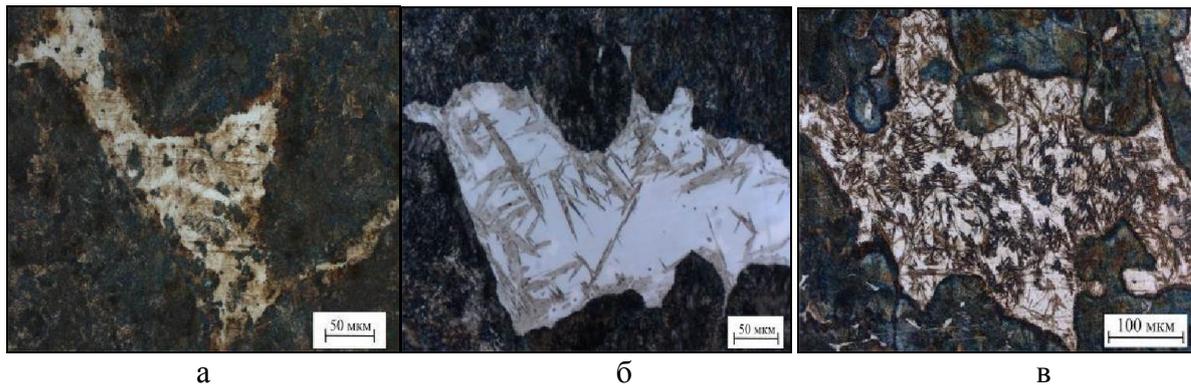


Рис. 3. Локализованные зоны исходного сварного соединения (а), с низкоуглеродистой вставкой толщиной 5 мм (б) и 20 мм (в).

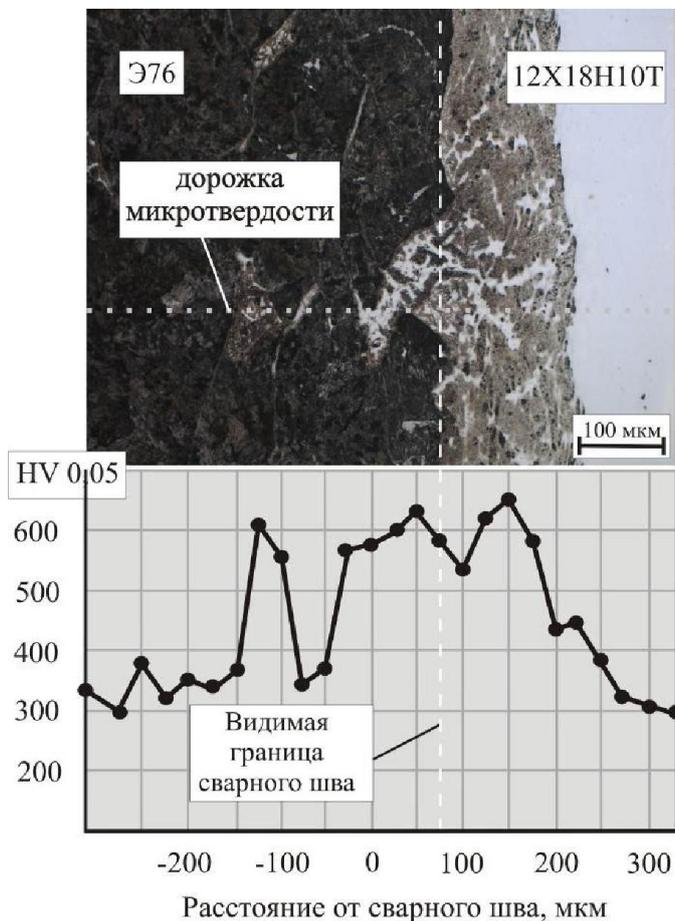


Рис. 4. Неоднородность мартенситной прослойки в исходном сварном соединении.

Также можно отметить, что соотношение мартенсита и остаточного аустенита в локализованных зонах в трех типах соединений различно. На рис. 3 видно, что минимальное количество мартенсита характерно для соединения со вставкой толщиной 5 мм. Мартенситная прослойка во всех трех видах соединений характеризуется неоднородностью, что подтвердили дюрOMETрические исследования. При этом максимальный уровень микротвердости мартенситной прослойки в исходном сварном соединении может достигать 8700 МПа, с дополнительной вставкой толщиной 20 мм – 8000 МПа, со вставкой толщиной 5 мм – 7000 МПа. В качестве примера существенной неоднородности соединений на рис. 4 приведены результаты исследований микротвердости исходного сварного шва. Резкий скачок

уровня микротвердости со стороны перлитной стали наблюдается в локализованных областях и в мартенситной прослойке со стороны хромоникелевой стали.

Для оценки надежности сварных соединений были проведены испытания по схеме трехточечного изгиба. Разрушение образцов из исходных соединений и из соединений со вставкой толщиной 20 мм сопровождалось образованием хрупкого излома по сварному шву (рис. 5 а). Образцы с тонкой вставкой разрушились по рельсовой стали с формированием вязкого и псевдовязкого изломов (рис. 5 б). При этом разрушающая нагрузка для исходного соединения в среднем составила 1240 кН, для соединений со вставками толщиной 20 и 5 мм – 1043 и 1313 кН соответственно.



Рис. 5. Излом сварного соединения со вставкой 20 мм (а) и 5 мм (б) после испытаний по схеме трехточечного изгиба.

4. Выводы

Таким образом, использование барьерного слоя определенной толщины при контактной сварке аустенитной и перлитной сталей позволяет повысить надежность комбинированных сварных соединений. Низкоуглеродистая вставка толщиной 5 мм способствует уменьшению глубины залегания, количества локализованных зон и объемной доли образующегося в них мартенсита. Дальнейшие исследования соединений с различной толщиной барьерного слоя позволят определить оптимальную толщину промежуточной вставки.

Список литературы

1. Способ соединения деталей стрелки: пат. 1819305 СССР. № 5001090/11; заявл. 19.07.91; опубл. 30.05.93, Бюл. № 20. – 2 с.

2. Особенности хрупкого разрушения сварных соединений разнородных сталей / А.А. Бивалькевич, А.А. Батаев, В.Г. Буров, В.А. Батаев, С.В. Хлебников // Ползуновский вестник. – Барнаул, 2004. - №2. - С. 44 – 46.

3. Никулина А.А., Батаев А.А., Смирнов А.И., Буров В.Г. Структурные исследования сварных швов, полученных методом стыковой контактной сварки заготовок из разнородных сталей // Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. 2010. № 2. С. 24-28.

4. Генкин И.З. Сварные рельсы и стрелочные переводы / И.З. Генкин // Путь и путевое хозяйство. – 2000. – № 12. – С. 14 – 20.

5. Кучук-Яценко С.И., Швец Ю.В., Думчев Е.А. и др. Контактная стыковая сварка железнодорожных крестовин с рельсовыми окончаниями через промежуточную вставку // Автомат. сварка. 2005. № 1. С. 6–9.

6. Способ сварного соединения крестовины из марганцовистой стали с рельсом из углеродистой стали: пат. 2361030 Рос. Федерация. № 2007142082/11; заявл. 13.11.07 ; опубл. 10.07.09, Бюл. № 19. – 7 с.

Study of dissimilar steels joints structure after contact welding

A.A. Chevakinskaya, A.V. Ivanova, A.A. Nikulina

Welded joints of perlitic and austenitic steels obtained by the contact welding method are investigated. Structural studies and microhardness evaluation of dissimilar steels welds with an intermediate insert of low-carbon steel with 0.2 C wt. % by thickness of 5 and 20 mm and without it are carried out. It is shown that using of intermediate low-carbon steel sheet during contact welding causes the reduction of high-strength zones amount and their peak levels microhardness.

Key words: dissimilar steels, contact welding, structure

УДК 661.811

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА СИНТЕЗА ДИБОРИДА ТИТАНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОВОЛОКНИСТОГО УГЛЕРОДА

*Ю.Л. КРУТСКИЙ, канд. техн. наук, доцент,
Е.В. АНТОНОВА, инженер,
А.Г. БАННОВ, канд. техн. наук, доцент,
И.С. ФРОЛОВА, студент,
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Фролова И.С. – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: irson_mahabbat@mail.ru

В статье представлены результаты исследования синтеза порошкообразного диборида титана и его характеристик. Диборид титана был получен из диоксида титана, карбида бора и нановолокнистого углерода в индукционной печи. Наличие диборида титана в образцах было определено с помощью рентгенофазового анализа. Форма частиц и размер частиц образцов диборида титана были определены методом сканирующей электронной микроскопии. Была определена термоокислительная стабильность диборида титана. Полученный материал содержал одну фазу - диборида титана, частицы размером 3-5 мкм. Начало окисления диборида титана ~ 450°C.

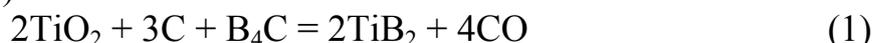
Ключевые слова: диборид титана, нановолокнистый углерод, синтез.

1. Введение

Диборид титана обладает комплексом уникальных физико-механических свойств. Это, прежде всего, высокая температура плавления, высокая твердость, низкое электрическое сопротивление, высокая теплопроводность, стойкость к абразивному износу и воздействию агрессивных сред. В связи с этим диборид титана используется в современной технике в составе износостойких и эрозионностойких материалов, при изготовлении деталей химической аппаратуры, в составе керметов TiB_2-Ti для ядерной энергетики [1, 2].

В данной работе проведено исследование процесса синтеза диборида титана с использованием нановолокнистого углерода (НВУ) и анализ его характеристик.

Реакция процесса образования диборида титана приведена ниже (карбидоборный метод [3]):



Этот способ применяется наиболее часто. Источником углерода является ламповая сажа с удельной поверхностью 14-18 м²/г. Используемый карбид

бора (ГОСТ 5744) имеет дисперсность от 3 до 200 мкм и может содержать значительное количество примесей. Температура процесса 1900 °С, время синтеза 1 час [4].

Использование более дисперсных реагентов позволит снизить параметры синтеза, а применение карбида бора с небольшим содержанием примесей получить наряду с этим более чистый диборид титана.

В связи с этим при исследовании данного процесса в качестве восстановителя использовался нановолокнистый углерод (НВУ).

В данной работе проведено исследование процесса синтеза диборида титана с использованием нановолокнистого углерода (НВУ) и анализ его характеристик.

2. Методика экспериментальных исследований

Исходная шихта состояла из порошков диоксида титана, нановолокнистого углерода и карбида бора в соответствии со стехиометрией для приведенной выше реакции. Нановолокнистый углерод был получен каталитическом разложении метана с использованием Ni-содержащих катализаторов при температуре 550 °С. Размер гранул НВУ составляет 4-8 мм. Гранулы НВУ образованы плотно переплетенными волокнами диаметром 10-100 нм. НВУ достаточно чист: содержащиеся в нем примеси представляют собой остатки исходного катализатора (90 % Ni/10 % Al₂O₃); их содержание не превышает 1 %. Гранулы сравнительно легко растираются в порошок. Величина его удельной поверхности находится в пределах 140-160 м²/г, т.е. значительно выше, чем у ламповой сажи [5, 6]. Используемый в экспериментах карбид бора был получен синтезом из элементов с использованием нановолокнистого углерода при температуре 1900 °С [7]. Содержание примесей в нем находится на уровне 1,5 % масс., а средний размер частиц не превышает 1 мкм.

Расчетным путем, с использованием данных по изобарно-изотермическим потенциалам образования соединений [1, 8] определена температура начала восстановления для вышеуказанной реакции при давлении СО 0,1 МПа. Она составила 1250 К (~ 1000°С). С учетом возможного протекания реакции через образование низших оксидов титана (TiO₂ → Ti₃O₅ → Ti₂O₃ → TiO) реальная температура процесса должна быть значительно выше и в то же время не превышать температуру плавления диборида титана (3225 °С) [3], поскольку целью данной работы является получение этого соединения в порошкообразном состоянии.

Процесс синтеза проводился в индукционной печи тигельного типа в среде аргона при температурах 1800°С, 1600°С, 1400°С в течение 30 мин. Защитная среда из инертного газа выбрана для предотвращения азотирования

карбида бора при высоких температурах [1, 3]. Температуры процесса были выбраны исходя из вышеуказанных соображений. Экспериментальная убыль массы составляла 45,3 %, 43,3 % и 40,48 % масс. соответственно. Расчетная убыль массы в предположении полного протекания реакции боридообразования 44, 4 % масс. Это свидетельствует о том, что температура 1400⁰С недостаточна для завершения процесса. Таким образом, процесс целесообразно проводить при температурах 1600-1800 ⁰С.

Продукты синтеза исследовались рентгенофазовым анализом (РФА) на дифрактометре ДРОН-3 с использованием $\text{Cu K}\alpha$ излучения ($\lambda = 0,15406$ нм).

Морфология поверхности и элементный состав образцов изучались на растровом электронном микроскопе (РЭМ) S-3400N производства фирмы «Hitachi», оборудованным приставкой для энергодисперсионного анализа производства фирмы «Oxford Instruments». Микрофотографии поверхности образцов были получены в режиме низкого вакуума детектором обратно-рассеянных электронов.

3. Результаты и обсуждение

Рентгенофазовым анализом установлено, что полученные при температурах 1600 и 1800 ⁰С материалы состоят из одной фазы - диборида титана. Дифрактограммы образцов практически идентичны. На рис. 1 приведена дифрактограмма образца, синтезированного при 1600 ⁰С.

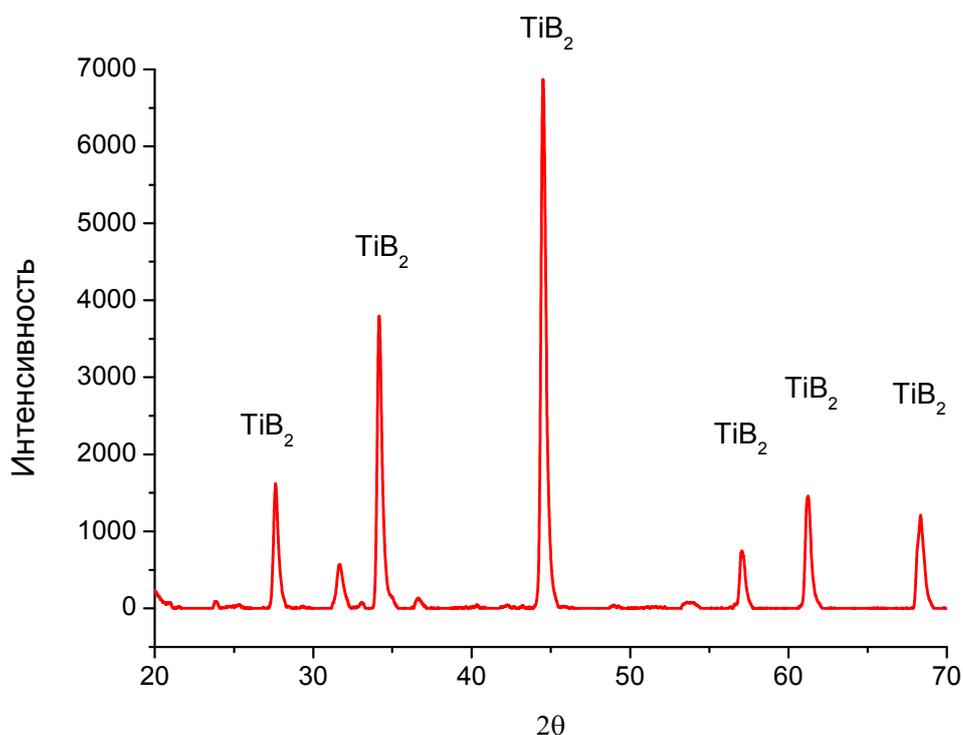


Рис. 1. Спектры РФА образца, синтезированного при 1600 ⁰С

С привлечением метода сканирующей электронной микроскопии (рис.2) установлено, что материалы состоят из частиц длиной 3-5 мкм и диаметром 2 мкм. По результатам энергодисперсионного анализа образцы содержат титан, бор и незначительные количества кислорода и углерода; наличие азота не обнаружено.

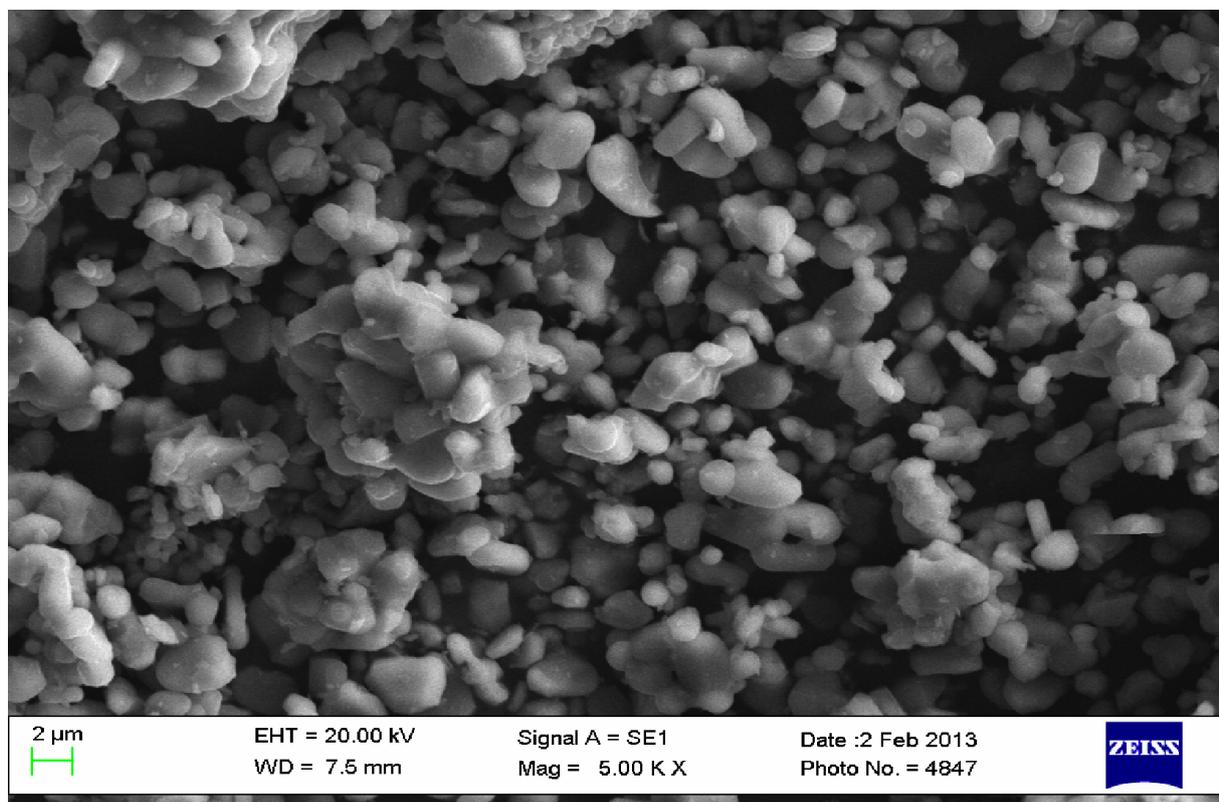


Рис. 2. Снимок РЭМ образца, синтезированного при 1600 °С

Тугоплавкие соединения и изделия из них обычно эксплуатируются в экстремальных условиях, в том числе и в окислительных средах. Поэтому стойкость их к действию кислорода при повышенных температурах является важным свойством. Термоокислительная стабильность полученных образцов диборидов определялась с использованием прибора синхронного термического анализа NETZSCH STA 449 C *Jupiter*. В ходе анализа проводили окисление образцов в атмосфере кислорода и аргона при нагревании до температуры 1100 °С со скоростью 20 К/мин и выдерживании при температуре 1100 °С в течение 3 часов для полноты реакции окисления. Анализировались данные термогравиметрии (ТГ) и дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК).

При окислении диборида титана термодинамически наиболее вероятно протекание следующей реакции [9]:



В предположении полного протекания реакции (2) расчетная прибыль массы при полном окислении чистого диборида титана составляет 114,29 % масс.

Дериватограммы образцов, синтезированных при 1600 °С и 1800 °С, практически идентичны. Прибыль массы, свидетельствующая о начале процесса окисления, начинается с температуры ~ 450 °С. При достижении температуры 1100 °С прибыль массы составляет ~ 82 % масс., т.е. ~ 72 % от расчетной. Это свидетельствует о неполном окислении образца, что явно связано с защитным действием образующейся на поверхности частиц жидкой пленки оксида бора.

4. Выводы

Использование более дисперсных реагентов позволило снизить параметры синтеза, а применение карбида бора с небольшим содержанием примесей получить наряду с этим более чистый диборид титана.

Полученный материал вследствие высокой чистоты и дисперсности может быть использован для изготовления керамики.

Список литературы

1. Свойства, получение и применение тугоплавких соединений / под ред. Косолаповой Т.Я. – М.: Металлургия, 1986. 928 с.
2. Mroz C. Titanium Diboride. American Ceramic Society Bulletin, 1995, V. 74, N 6, p. 158-159.
3. Серебрякова Т.И., Неронов В.А. Пешев П.Д. Высокотемпературные бориды. М.: Металлургия, Челябинское отделение, 1991. 368 с.
4. Карасев А.И. Получение порошков технических боридов титана, циркония, хрома и вольфрама борокарбидным методом. Порошковая металлургия, 1973, № 10, с. 1-5.
5. Kuvshinov G.G., Mogilnykh Yu.I., Kuvshinov D.G., Yermakov D.Yu., Yermakova M.A., Salanov A.N., Rudina N.A. Mechanism of Porous Filamentous Carbon Granule Formation on Catalytic Hydrocarbon Decomposition. Carbon. – 1999. - 37. - P.1239-1246.
6. Соловьев Е.А. Получение водорода и нановолокнистого углерода селективным каталитическим пиролизом легких углеводородов. Автореферат дис.канд.тех.наук. –М. 2008.22 с.
7. Krutskii Yi.L., Bannov A.G., Sokolov V.V. a. o. Synthesis of Highly Dispersed Boron Carbide from Nanofibrous Carbon. Nanotechnologies in Russia, 2013, V. 8, N 3-4, p. 191-198.

8. Физико-химические свойства окислов. / Под ред. Самсонова Г.В. М.: Металлургия, 1978. 472с.

9. Войтович Р.Ф., Пугач Е.А. Окисление тугоплавких соединений. М.: Металлургия, 1978. 112 с.

The studying of the synthesis of titanium diboride with the use nanofibrous carbon

Yu. L. Krutskiy, A.V. Antonova, I.S. Frolova, A.G. Bannov

The results of a studying the synthesis of the titanium diboride fine powder and its characteristics investigation are presented in the article. Titanium diboride was obtained from titanium dioxide, boron carbide and nanofibrous carbon in an induction furnace. The present of titanium diboride on the samples was identified by X-ray diffraction.

The shape and size of particles of titanium diboride samples were determined by scanning electron microscopy. Thermooxidation stability of TiB_2 was determined. The resulting material contained a single phase - titanium diboride and particles with the size of 3-5 μm . As- received diboride started to oxidize at $\sim 450^\circ\text{C}$.

Key words: titanium diboride, nanofibrous carbon, synthesis.

УДК 669 – 15:621.793.6

ДИФфуЗИОННОЕ УПРОЧНЕНИЕ ШТАМПОВОЙ ОСНАСТКИ

*В.А. БУТУХАНОВ, аспирант
Б.Д. ЛЫГДЕНОВ, доктор техн. наук, доцент,
Б.Ш. ЦЫРЕТОРОВ
(ВСГУТУ, г. Улан-Удэ)*

Бутуханов В.А. – 670013, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40В,
Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления,
e-mail: butuhanov_vyacheslav@mail.ru

В данной работе исследованы структуры диффузионных покрытий на штамповой оснастке из сталей X12Ф1 и У8А для вырубки шайб после химико-термической обработки в насыщающих обмазках и термической обработки (закалка + отпуск). Изучены изменения линейных размеров изделий в зависимости от толщины диффузионных слоев.

Ключевые слова: химико-термическая обработка, диффузионные покрытия, насыщающая обмазка, термическая обработка

1. Введение

Штампы холодного деформирования работают в условиях высоких и переменных нагрузок, которые характеризуются: 1) высокими знакопеременными напряжениями; 2) изнашиванием рабочих частей [1].

ХТО позволяет значительно упрочнить поверхностные слои материала штампового инструмента, работающие в более сложных условиях, чем его сердцевина. ХТО высокие показатели твердости, износостойкости, надежная защита рабочих поверхностей от окисления в печи при нагреве под закалку. Минусы: после диффузионного упрочнения оказывается практически невозможным применить финишную механическую обработку для устранения поволоков и деформаций, возникающих в результате закалки [2].

2. Материалы и методы

В качестве нагревательного устройства использовали электропечь сопротивления СНОЛ 12/12-В.

Для изучения микроструктуры изготавливали поперечные шлифы. Толщину покрытий и микроструктуру сталей после ванадийалитирования исследовали на металлографическом микроскопе «НЕОРНОТ-21».

По результатам исследований данной работы проведено диффузионное упрочнение и термическая обработка комплекта штамповой оснастки

кривошипного пресса КВ-2132 для вырубке шайбы 22 (ГОСТ 2235-77) из полосы (сталь ВСтЗкп) толщиной 6 мм. Комплект штамповой оснастки включает в себя: пуансон (сталь Х12Ф1), матрицу (сталь У8А), пуансон-матрицу (сталь У8А).



Рис. 1. Комплект штамповой оснастки (слева направо: пуансон, пуансон-матрица, матрица) и штампуемое изделие – шайба 22

3. Результаты и обсуждение

Установлено, что основная причина выхода инструмента из строя – изнашивание кромок рабочих поверхностей.

Боридные покрытия обеспечивают работоспособность изделий, эксплуатируемых при одновременном воздействии ряда неблагоприятных факторов: изнашивания, коррозии и т.п. [3]. Однако высокая хрупкость боридных покрытий не позволяет в полной мере использовать этот процесс ХТО для многих видов холодноштампового инструмента. В связи с тем, что рассматриваемый инструмент работает в условиях изнашивания, сопровождающегося динамическими воздействиями, то решено было применить покрытие, которое обладает меньшей хрупкостью. Это обеспечивается, если в диффузионном слое содержится небольшое количество или же вообще отсутствует высокобористая фаза FeB. К таким слоям можно отнести борхромированные (практически однофазные) слои [4].

Толщина диффузионных слоев не должна превышать 50-80 мкм. Это вызвано тем, что диффузионные слои более 100 мкм склонны к скалыванию в процессе эксплуатации.

Использование диффузионных покрытий указанной толщины практически исключает механическую обработку рабочих поверхностей оснастки.

Технология диффузионного упрочнения включает следующие этапы: подготовка рабочих поверхностей к упрочнению; нанесение обмазки на упрочняемые участки поверхности; диффузионное насыщение; закалка и отпуск инструмента; очистка поверхностей от остатков обмазки; контроль качества упрочнения.

Обмазка имела состав: 60% B_4C + 35% Cr_2O_3 + 5% NaF.

Предварительно были проведены исследования кинетики формирования диффузионных слоев на образцах из сталей X12Ф1 и У8А. Результаты представлены в табл.1.

Таблица 1

Результаты исследования кинетики формирования борохромированных слоев на сталях X12Ф1 и У8А

Режим борохромирования		Толщина слоя, мкм
T, °C	τ, часов	
Сталь X12Ф1		
950	4	30-35
1000	2	45-50
	4	55-60
1050	2	60-65
	4	85-95
Сталь У8А		
950	2	45-60
	3	80-85
	4	100-110
1000	2	87-95

Поверхности упрочняемых участков инструментов перед нанесением обмазки проходили окончательную механическую обработку. Разведённую водой обмазку наносили на обезжиренные рабочие поверхности изделий с помощью кисти. Толщина обмазки составляла не менее 4 мм. После нанесения обмазки изделия просушивались при комнатной температуре в течение суток. Фотография изделий после нанесения обмазки представлена на рис. 2.



Рис. 2. Изделия после нанесения обмазки

Пуансон из стали X12Ф1 подвергался совмещенному диффузионному насыщению с нагревом под закалку – при 1050 °С в течение 2 часов. Это обеспечило сокращение общей длительности производственного цикла и надежную защиту упрочняемых участков от окисления в условиях продолжительной высокотемпературных воздействий печной среды. После выдержки следовала закалка в масле и отпуск при 400 - 450 °С. Режим диффузионного насыщения и термической обработки пуансона представлен на рис. 3.

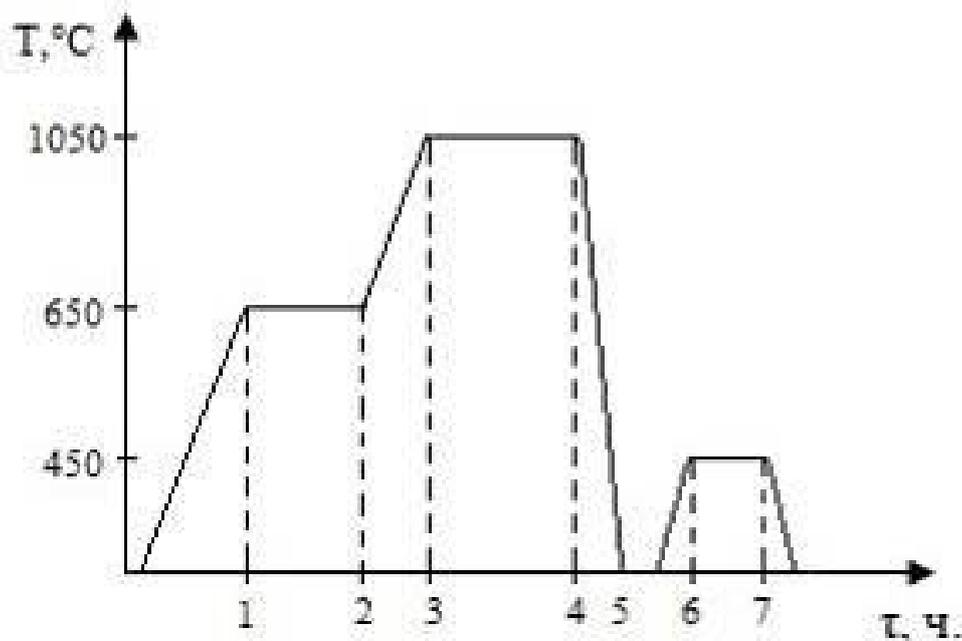


Рис. 3. Режим диффузионного насыщения и термической обработки пуансона из стали X12Ф1:

1,2 – подогрев; 3,4 – диффузионное насыщение и выдержка под закалку; 4,5 – закалка (масло); 6,7 – отпуск

Пуансон-матрица и матрица из стали У8А подвергались диффузионному насыщению и термической обработке по следующему режиму. Диффузионное насыщение осуществлялось при температуре 950 °С в течение 3 часов, далее следовало охлаждение с печью до температуры закалки 790 – 800 °С. Закалка производилась через воду в масло, затем – отпуск при температуре 200 – 250 °С. Режим диффузионного насыщения и термической обработки указанных изделий представлен на рис. 4.

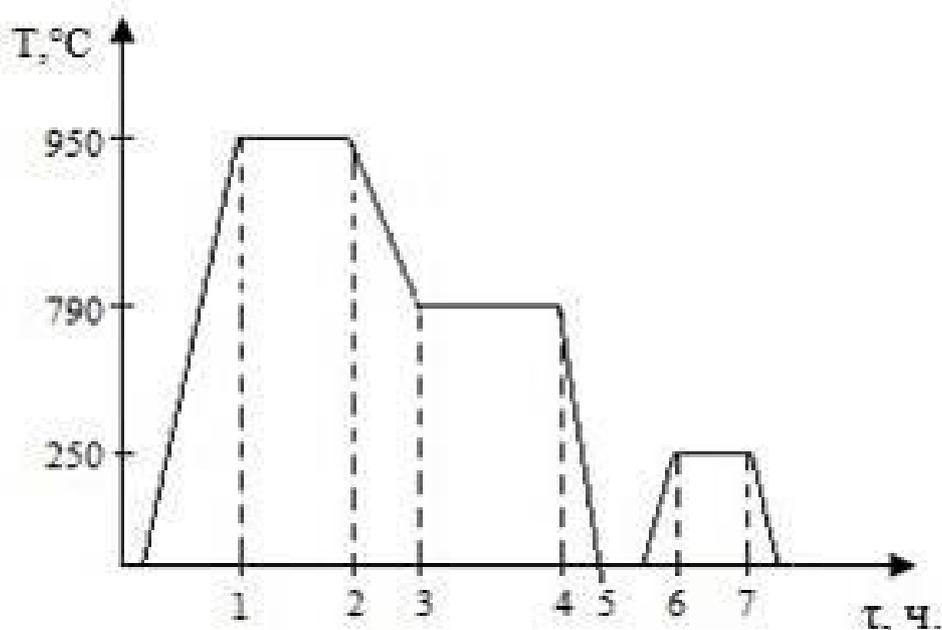


Рис. 4. Режим диффузионного насыщения и термической обработки стали пуансон-матрицы и матрицы из стали У8А:
1,2 – диффузионное насыщение; 3,4 – выдержка под закалку; 4,5 – закалка (через воду в масло); 6,7 - отпуск

После необходимой выдержки инструмент охлаждался в соответствующей технологическому процессу охлаждающей среде. Целостность обмазки при этом сохранялась. Нагрев при отпуске позволил удалить из обмазки закалочное масло. Таким образом, материал обмазки возможно использовать повторно.

Контроль качества заключался в установлении изменения размеров и поверхностной твердости образцов-свидетелей, а также в определении структуры и толщины диффузионного слоя.

На стали X12Ф1 получен диффузионный слой толщиной 60-65 мкм. Твердость изделия после термической обработки составила 54-57 HRC. Микроструктура диффузионного слоя представлена на рис. 5.

При изготовлении пуансона предложено заменить сталь X12Ф1 на сталь У8А с диффузионным покрытием.

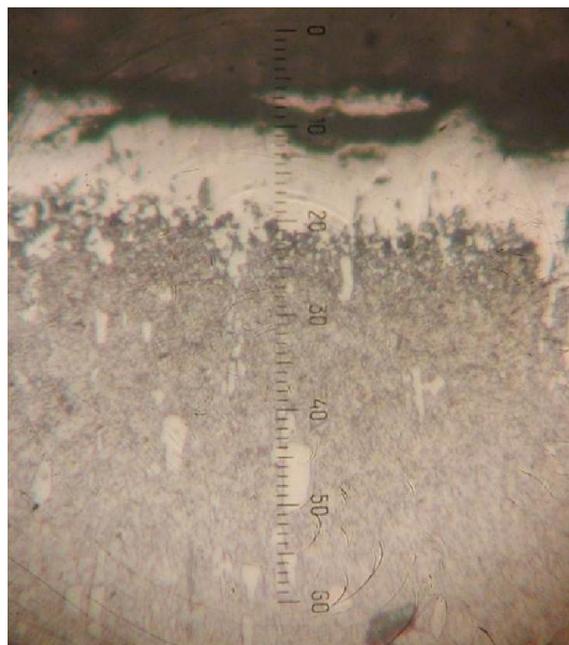


Рис. 5. Микроструктура диффузионного слоя на стали X12Φ1 после насыщения при 1050 °С в течение 2 часов, $h=60-65$ мкм, $\times 200$ (цена деления шкалы – 6 мкм).

На стали У8А получен диффузионный слой толщиной 80-85 мкм. Твердость изделий после термической обработки составила 56-59 HRC. Микроструктуры диффузионных слоев при различных режимах диффузионного насыщения представлены на рис. 6.

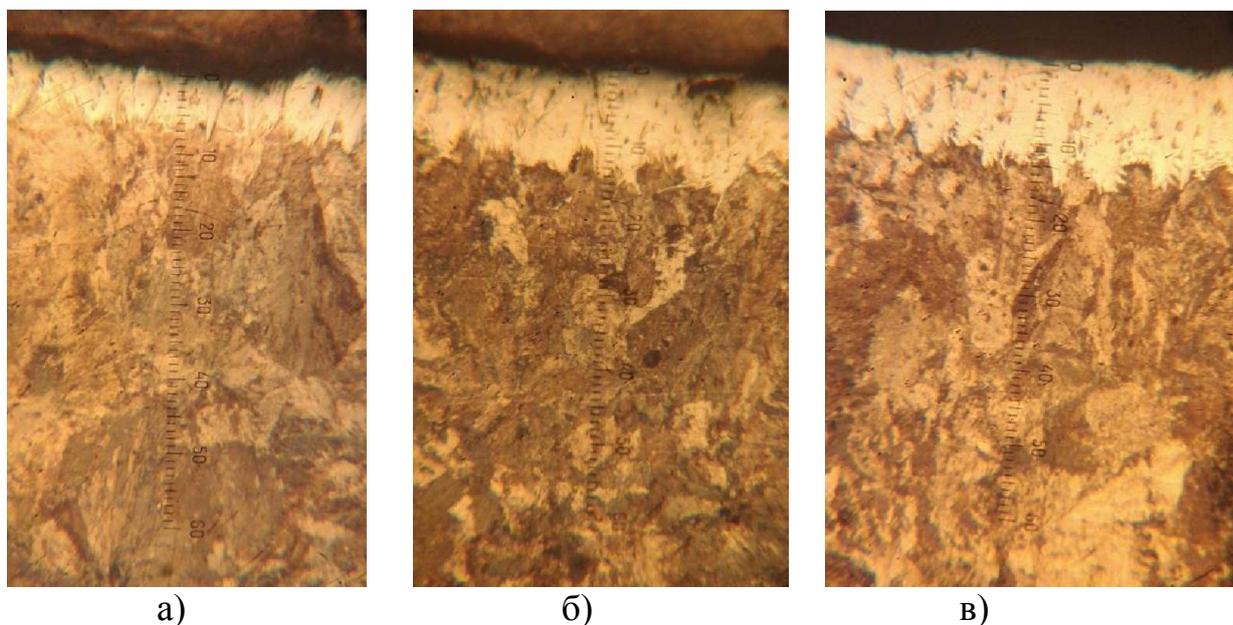


Рис. 6. Микроструктуры диффузионных слоев на стали У8А при различных режимах борохромирования, $\times 200$ (цена деления шкалы – 6 мкм):
а) 950 °С, 2 ч., $h = 40-55$ мкм; б) 950 °С, 3 ч., $h = 80-85$ мкм; в) 1000 °С, 2 ч., $h = 90$ мкм.

Изготовление инструмента в окончательный размер требует знания размерных изменений при диффузионном упрочнении. Для установления влияния диффузионного насыщения на изменения размеров образцы-спутники из сталей X12Ф1 и У8А были предварительно измерены с помощью микрометра. Затем измерены повторно после диффузионного насыщения и термической обработки (закалка + отпуск). В результате установлено, что изменения вследствие диффузионного насыщения зависят от толщины покрытий. Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Влияние толщины диффузионного покрытия на изменения размеров деталей

Толщина диффузионного слоя, мкм	Увеличение размера, мкм
Сталь X12Ф1	
60-65	15-17
Сталь У8А	
80-85	7-10

В результате проведенных производственных испытаний установлено, что стойкость штамповой оснастки, подвергнутой процессу диффузионного насыщения, превышает стойкость неупрочненных изделий в 6 раз.

Выводы

1. Изменения вследствие диффузионного насыщения зависят от толщины покрытий.
2. При проведении термической обработки в качестве финишной операции совмещается черновая и чистовая обработка рабочих поверхностей.
3. Диффузионное насыщение позволяет значительно упрочнить поверхностные слои материала штампового инструмента – увеличение стойкости в 6 раз.

Список литературы

1. Зубцов М.Е., Корсаков В.Д. Стойкость штампов. Л.: Машиностроение, 1971. - С. 62.
2. Арзамасов Б.Н. Химико-термическая обработка металлов в активизированных газовых средах. М.: Машиностроение, 1979. - С. 57.
3. Гурьев А.М. Термоциклическое и химико-термоциклическое упрочнение сталей / Гурьев А.М., Ворошнин Л.Г., Хараев Ю.П., Лыгденов Б.Д.,

Земляков С.А., Гурьева О.А., Колядин А.А., Попова О.В. // Ползуновский вестник. – 2005. – №2-2. – С. 36 -39.

4. Гурьев А.М. Новый способ диффузионного термоциклического упрочнения поверхностей железоуглеродистых сплавов / Гурьев А.М., Лыгденов Б.Д., Иванов С.Г., Власова О.А., Кошелева Е.А., Гурьев М.А., Земляков С.А. // Ползуновский альманах. – 2008. - №3. – С. 10-16.

The hardening of stamping tools by diffusion

V.A. Butukhanov, B.D. Lygdenov, B.Sh. Tsyretorov

The structure of diffusion layers on stamping tools investigated in this paper. The change of sizes and the thickness of diffusion layers studied.

Keywords: thermo-chemical treatment, diffusion layers, paste, thermal treatment

УДК 666.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЛАЖНОСТИ И ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ПРЕСС-ПОРОШКА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СПЕЧЕННОЙ АЛЮМООКСИДНОЙ КЕРАМИКИ²

*Н.С. БЕЛОУСОВА, канд. техн. наук, доцент
С.В. ВЕСЕЛОВ, канд. техн. наук, доцент
Д.А. АНУФРИЕНКО, магистрант
Р.С. ТИМАРЕВСКИЙ, магистрант
Р.И. КУЗЬМИН, студент
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Белусова Н.С. – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: belousova_ns@mail.ru

Представлены результаты микроструктурных исследований и испытаний на прочность при изгибе для алюмооксидной керамики. Установлены зависимости влияния гранулометрического состава пресс-порошка и его влажности на прочность керамического материала. Показано, что изменение влажности пресс-порошка позволяет повысить прочность материала $\sigma_{изг}$ с 367 до 427 МПа. Изменение фракционного состава пресс-порошка позволяет увеличить прочность материала на 25 %.

Ключевые слова: Техническая керамика, плотная керамика, оксид алюминия, пресс-порошок, влажность, гранулометрический состав, прочность.

1. Введение

В настоящее время отмечается рост научного и промышленного интереса к керамическим материалам. Применение мелкодисперсного сырьевого материала позволяет формировать мелкозернистую структуру с повышенными прочностными характеристиками. Обязательным этапом керамического производства является гранулирование. По сравнению с мелкодисперсными порошковыми материалами гранулы обладают лучшей подвижностью, не налипают на поверхность пресс-формы, не слёживаются, не пылят при транспортировке и использовании. От свойств пресс-порошка, а именно его влажности, гранулометрического состава, дисперсности, формы, структуры, сыпучести и др. зависит процесс формования, качество прессовок и, следовательно, эксплуатационные свойства керамического материала. Поэтому на этапе формования необходимо контролировать параметры пресс-порошка.

² Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства (договор № 02.G25.31.0060 от 12.02.2013 г.)

Целью представленной работы является оценка влияния таких параметров пресс-порошка, как влажность и гранулометрический состав на структуру и свойства керамического материала.

2. Материалы и методы исследования

Для изготовления керамических образцов использовали порошок $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ марки *Almatis CT3000SG* (Германия). Диспергирование 40 % водной суспензии производили с использованием ультразвуковой обработки в течении 30 минут. При приготовлении суспензии использовали диспергатор марки *Dolapix CE64*, связующее вещество *OptapixAC 95* и пластифицирующий компонент *Zuzoplast 9002* (*Zschimmer & Schwarz*, Германия) в пропорциях к массе порошка, рекомендованных производителем добавок. Гранулирование суспензии осуществляли в распылительном сушиле *Mobil Minor*. Формование образцов производили методом одноосного прессования с одним подвижным пуансоном и подвижной матрицей при давлении 90 МПа. Спекание прессовок осуществляли при температуре 1600 °С по режиму, представленному на рис. 1. Температуры спекания и изотермических полочек выбраны по результатам дилатометрических исследований и хемосорбционного анализа используемого материала.

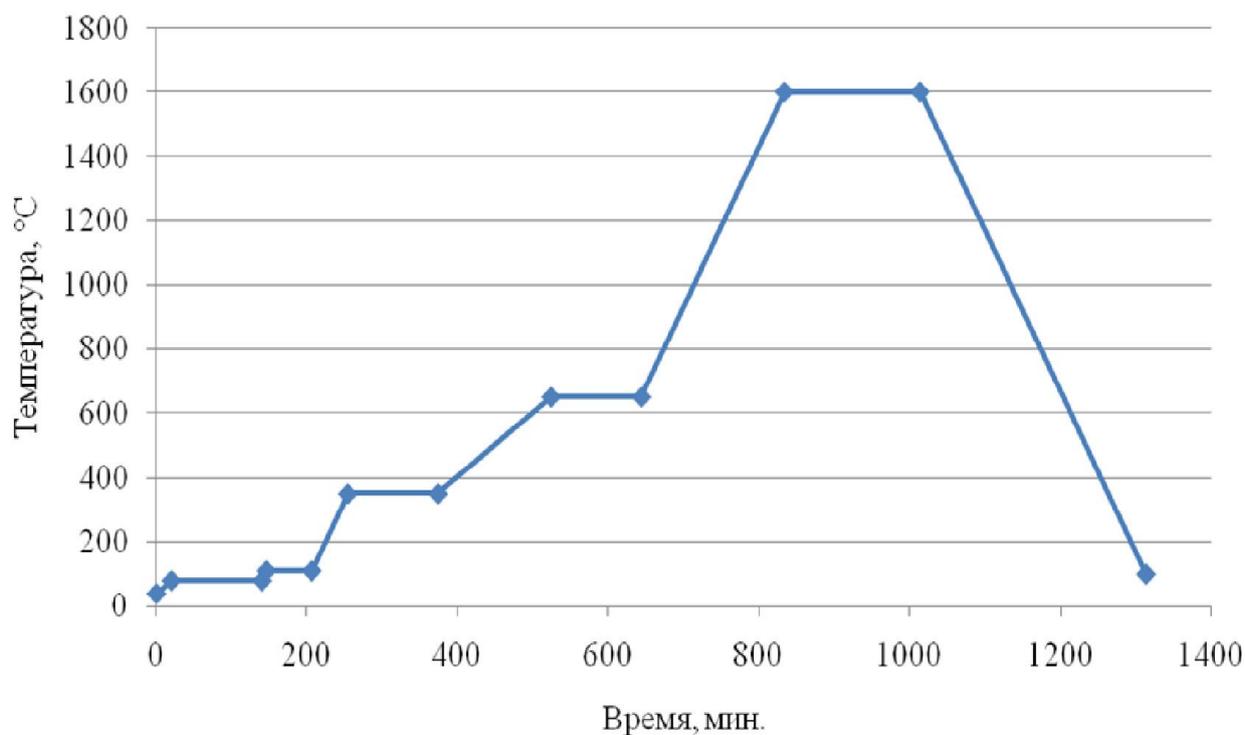


Рис. 1. Режим спекания алюмооксидной керамики

Для оценки влияния влажности пресс-порошка на структуру и конечную прочность материала перед формованием пресс-порошок выдерживали в течении 2 суток при температуре 25 °С в герметичной камере в воздушной атмосфере с относительной влажностью 35, 55, 99 %.

Для оценки влияния фракционного состава пресс-порошка на процесс формования, качество прессовок, структуру и прочность керамического материала полученный на сушиле пресс-порошок просеивали в системе вибросит для получения фракций -20 мкм, -100 мкм, 60 - 100 мкм.

Механические характеристики полученных образцов оценивали по результатам испытаний на трёхточечный изгиб. Кроме этого оценивалась плотность образцов, усадка, проводились структурные исследования с использованием растрового электронного микроскопа.

3. Результаты и обсуждение

Используемый при изготовлении образцов пресс-порошок имеет правильную шарообразную форму гранул с плотной структурой (рис. 2).

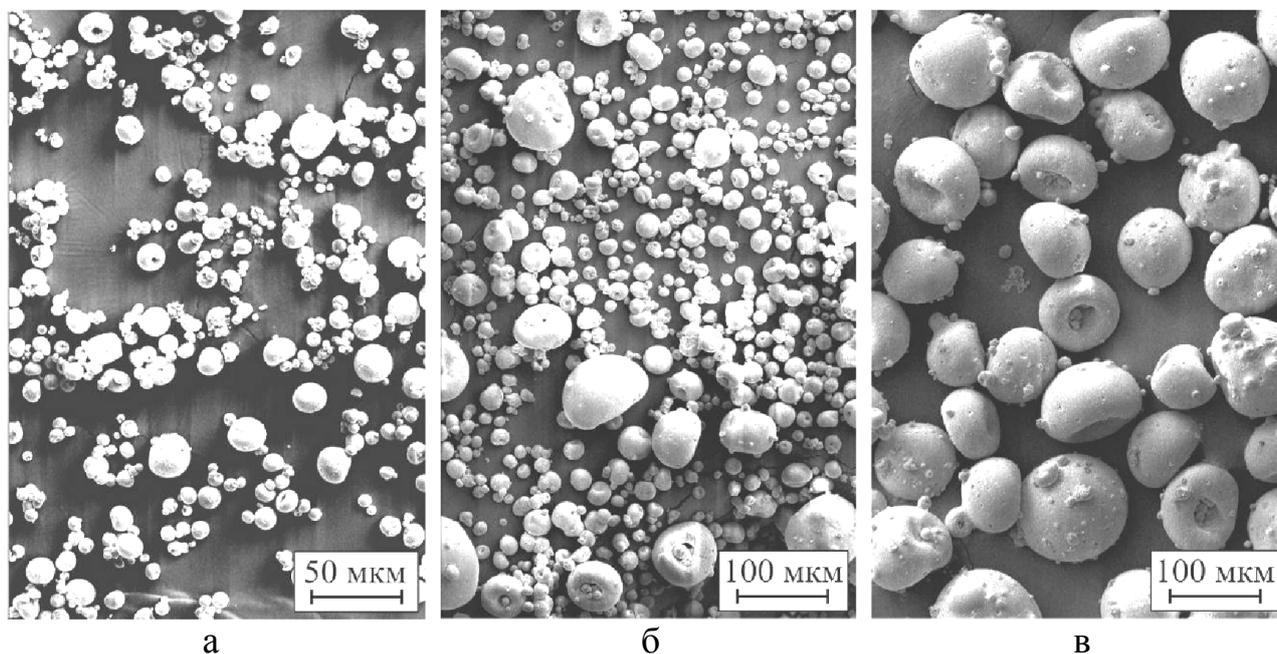


Рис. 2. Фракционный состав пресс-порошка: а – 1 серия (- 20 мкм), б – 2 серия (- 150 мкм), в – 3 серия (60 – 100 мкм)

По результатам проведённых экспериментов (табл. 1) можно отметить заметное влияние гранулометрического состава пресс-порошка на свойства спеченного керамического материала.

Таблица 1

Влияние размера фракций на характеристики керамического материала

№ серии	Фракционный состав, мкм	Плотность после спекания, г/см ³	Усадка, %	Прочность на изгиб $\sigma_{изг}$, МПа
Серия 1	- 20	3,85	17,4	390
Серия 2	- 150	3,85	17,1	345
Серия 3	60 - 100	3,87	17,05	427

Максимальным значением прочности на сжатие обладает материал, полученный из пресс-порошка с фракционным составом 60 – 100 мкм. Наличие мелкой фракции в пресс-порошке 1 и 2 серии снижает сыпучесть и формуемость пресс-порошка. Более низкие значения плотности керамического материала ($\rho = 3,85$ г/см³) свидетельствует о наличии в структуре дефектов, несплошностей, образующихся на этапе формования. Последующее спекание и усадка не позволяют полностью устранить эти дефекты (рис. 3), что отражается на снижении прочности керамики.

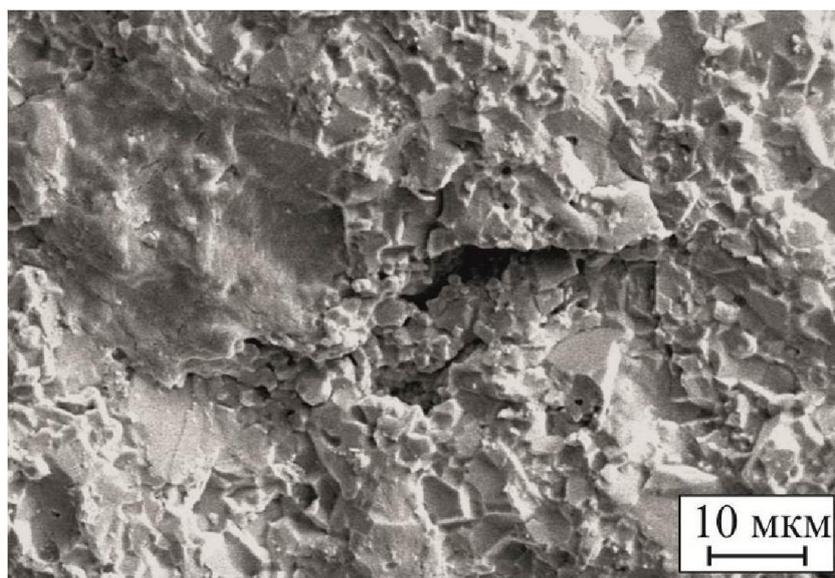


Рис. 3. Характерный дефект керамического материала, полученного из пресс-порошка с фракционным составом –150 мкм.

Следует отметить зависимость свойства керамического материала от диапазона фракционного состава пресс-порошка. Использование пресс-порошка с узким распределением гранул по размеру (серии 1, 3) обеспечивает более высокие показатели прочности на изгиб. При этом более низкая прочность образцов 1 серии объясняется большей площадью контакта между гранулами пресс-порошка с дисперсностью фракций – 20 по сравнению с фракционным составом 60 – 100 мкм и большим уровнем внутреннего трения гранул при формовании. Это приводит к неравномерному распределению пресс-порошка и появлению дефектов. Это свидетельствует о необходимости

отсева мелкой фракции пресс-порошка и предпочтительном использовании пресс-порошка с узким распределением по фракционному составу.

В таблице 2 представлены результаты по влиянию влажности пресс-порошка на свойства керамического материала. Влажность влияет на динамические характеристики пресс-порошка, обеспечивающие уплотнение гранул на начальных этапах формования, и возможность разрушаться при определённом давлении. По результатам экспериментов видно, что наилучшим значением прочности на сжатие обладают образцы, полученные из пресс-порошка, состояние которого контролировали в атмосфере с относительной влажностью 55 %.

Таблица 2

Влияние влажности пресс-порошка на характеристики керамического материала

№ серии	Влажность атмосферы в камере, %	Плотность после спекания, г/см ³	Усадка, %	Прочность на изгиб $\sigma_{изг}$, МПа
Серия 4	35	3,86	17,2	367
Серия 5	55	3,87	17,05	427
Серия 6	99	3,83	16,9	380

При недостаточной влажности на этапе формования между гранулами не происходит химического взаимодействия. В результате в структуре материала после спекания наблюдаются дефекты в виде границ гранул (рис. 4 а). При избыточной влажности наблюдается другой механизм снижения прочности керамики. Необходимость удаления большого количества влаги во время спекания приводит к формированию пор (рис. 4 б) и снижению плотности и прочность образцов.

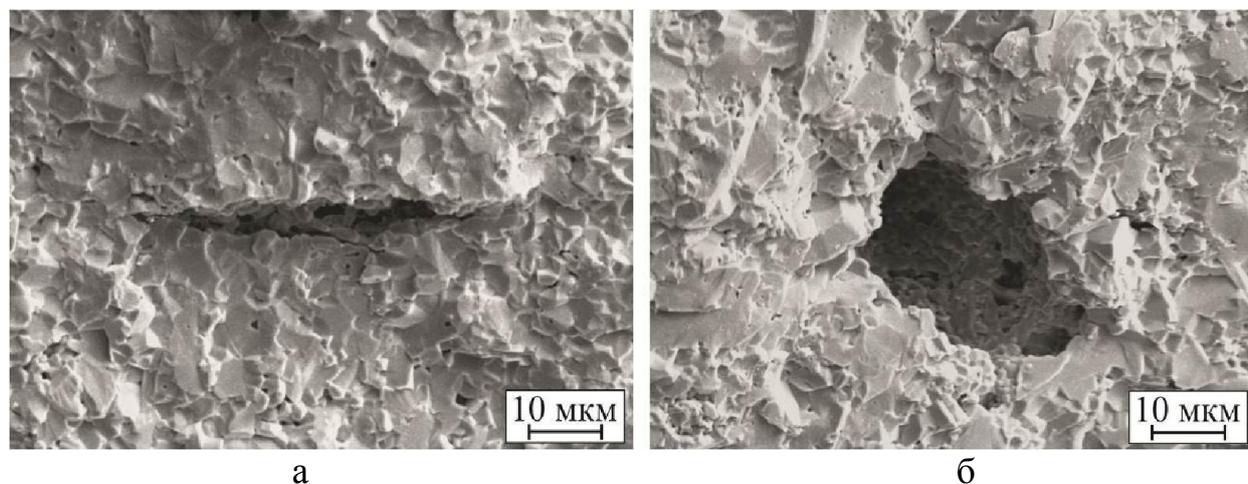


Рис. 4. Дефекты керамического материала, связанные с недостаточной (а) и избыточной (б) влажностью пресс-порошка.

4. Выводы

Высокие значения прочности керамики определяются минимальным количеством дефектов, формирующихся на этапе формования пресс-порошка и спекания материала. Эксперименты показали, что увеличению количества структурных дефектов способствует наличие мелкой фракции гранул пресс-порошка и широкий диапазон фракционного состава гранул. Использование пресс-порошка с фракционным составом 60 – 100 мкм позволяет повысить значение прочности на сжатие алюмооксидной керамики с 345 МПа до 427 МПа при контроле влажности пресс-порошка в атмосфере с относительной влажностью 55 %.

Humidity and granulometric composition influence on the structure and properties of sintered alumina ceramic

N.S. Belousova, S.V. Veselov, D.A. Anufrienko, R.S. Timarevskiy, R.I. Kuzmin

The results of alumina ceramic microstructure investigation and bending strength tests are presented. The influence of molding powder granulometric composition and its humidity on the strength of ceramic samples is stated. It is shown that humidity variation leads to the increase of ceramic bending strength from 367 MPa to 427 MPa. Granulometric composition changing results in strength rise up to 25 %.

Key words: Technical ceramic, dense ceramic, alumina, molding powder, humidity, granulometric composition, bending strength.

УДК 666.3

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДОБАВКИ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА АЛЮМООКСИДНОЙ КЕРАМИКИ

С.В. ВЕСЕЛОВ, канд. техн. наук, доцент
Н.С. БЕЛОУСОВА, канд. техн. наук, доцент
Н.Ю. ЧЕРКАСОВА, магистрант
О.А. ГОРЯЙНОВА, магистрант
Е.В. МЕЛЬНИКОВА, магистрант
А.О. ЛАЗАРЕВ, студент
(НГТУ, г. Новосибирск)

Веселов С.В. – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: veselov_s@inbox.ru

Представлены результаты микроструктурных исследований и испытаний на прочность при изгибе для алюмооксидной и алюмоциркониевой керамики с 20 масс. % $3Y-ZrO_2$. Показано, что введение легирующей добавки позволяет уменьшить размер зерен Al_2O_3 в спеченной керамике с 2 – 5 мкм до 0,2 – 1 мкм. Уменьшение размеров зерен приводит к росту прочности керамического материала с 270 МПа до 350 МПа. Показано, что низкий уровень прочности керамики связан прежде всего с присутствием в спеченных образцах крупных дефектов в виде сохранившихся на этапе формования границ гранул пресс-порошка.

Ключевые слова: Плотная керамика, диоксид циркония, алюмооксидная керамика, алюмоциркониевая керамика

Введение

Техническая керамика является одним из основных материалов, применяемых в промышленности и повседневной жизни, что обусловлено ее уникальными химическими, физическими и механическими свойствами. В последнее время интенсивно развивается производство мелкозернистой алюмооксидной керамики, а так же расширяется сфера ее применения. Появляются новые разработки в областях броневой защиты, электротехнической промышленности, запорной арматуры трубопроводов и др. По сравнению с традиционной керамикой, материалы с размером зерен в микронном и субмикронном диапазоне обладают повышенными характеристиками прочности и трещиностойкости, что обеспечивает рост эксплуатационных характеристик изготавливаемых из них изделий.

Основными особенностями производства мелкозернистой керамики являются подготовка порошкового сырья высокой дисперсности и сдерживание роста зерен керамики на этапе спекания. В процессе термической обработки сырой керамики необходимо с одной стороны уменьшить объемную долю

дефектов материала, сохранившихся на этапе прессования, с другой стороны обеспечить протекание диффузионного механизма спекания и исключить миграционные процессы, способствующий ускоренному росту зерен.

Одним из существующих способов сохранения мелкозернистой структуры керамики на этапе спекания является использование частиц второй фазы. Данные частицы, располагаясь по границам зерен основного материала, являются сдерживающими барьерами растущих в процессе термической обработки зерен.

С целью повышения уровня прочностных свойств алюмооксидной керамики в работе было проведено исследование влияния легирующей добавки диоксида циркония на структуру и свойства материала.

Методика экспериментального исследования

Исследования проводились на образцах алюмооксидной и алюмоциркониевой керамики, подготовленных по технологии с использованием сухого одноосного прессования. В качестве основного материала использовали оксид алюминия марки *CT 3000 SG (Almatis)* с размером частиц $d_{50} = 0,5$ мкм и $d_{90} = 2,0$ мкм. Материалом легирующей добавки служил порошок диоксида циркония, частично стабилизированный 5,5 вес. % Y_2O_3 , марки *PSZ-5.5YS (Stanford Materials)*. Технология изготовления керамических образцов состояла из следующих этапов: подготовка стабильной водной суспензии, гранулирование (сушка суспензии с последующим дроблением конгломератов), просев на системе вибросит до получения фракции 100 – 250 мкм, одноосное прессование при давлении 90 МПа и спекание.

Диспергирование порошкового сырья производили в течение 24 часов в шаровой мельнице при скорости вращения полимерного барабана 90 об./мин. В качестве мелющих тел использовали шары диаметром 2,8 мм, изготовленные из диоксида циркония. Загрузка мельницы составляла ≈ 50 об. %, при этом соотношение мелющих тел к порошку составляло 5:1 по массе. В качестве диспергатора использовали *DolapixCE 64 (Zschimmer&Schwarz)* в количестве 0,5 % от массы сухого порошка.

Согласно результатам гранулометрического анализа установлено, что для алюмооксидной суспензии $d_{50} \approx 0,52$ мкм, $d_{90} \approx 1,13$ мкм, для диоксид циркониевой суспензии $d_{50} \approx 0,48$ мкм и $d_{90} \approx 1,17$ мкм. При изготовлении композиционной керамики подготовку алюмооксидной и диоксид циркониевой суспензий производили отдельно с последующим смешиванием в пропорции, обеспечивающей формирование в спеченных образцах 20 масс. % $3Y-ZrO_2$.

Спекание образцов производили в лабораторной печи *LHT 02/17 (Nabertherm)* в соответствии со следующим режимом: скорость нагрева и

охлаждения составляла 5 °С/мин, изотермические выдержки производили при 110, 250, 350 и 650 °С в течение 1 часа и при 1600 °С в течение 3 часов.

Микроструктурный анализ спеченных образцов был выполнен на растровом электронном микроскопе *CarlZeiss EVO50 XVP*. Перед анализом для обеспечения электропроводности на поверхность микрошлифов производили напыление слоя золота толщиной 20 нм.

Анализ механических свойств материала производили на основании результатов испытаний на прочность по схеме трехточечного изгиба. Испытание производили в соответствии с ГОСТ 24409-80 на универсальной сервогидравлической установке *Instron 3369*.

Результаты и обсуждение

Предварительный анализ спеченных образцов свидетельствует о положительном влиянии добавки диоксида циркония на характер спекания алюмооксидной керамики. Установлено, что величина линейной усадки алюмооксидной и алюмоциркониевой керамик составляют 15,4 и 17,6 %, соответственно. Полученные данные указывают на интенсификацию протекающих при спекании процессов за счет введения частиц ZrO_2 .

Согласно результатам микроструктурных исследований спеченных образцов, установлено существенное влияние легирующей добавки. При спекании алюмооксидной керамики формируется структура материала, характеризующаяся размером зерен порядка 2 – 5 мкм (рисунок 1 б). В то же время, средний размер зерен Al_2O_3 в композиционной керамике составляет ≈ 1 мкм (рисунок 2 б). Таким образом, используемый в работе способ диспергирования и введения частиц диоксида циркония позволяет сформировать равномерное распределение частиц второй фазы, которые на этапе спекания эффективно сдерживают рост зерен Al_2O_3 матрицы.

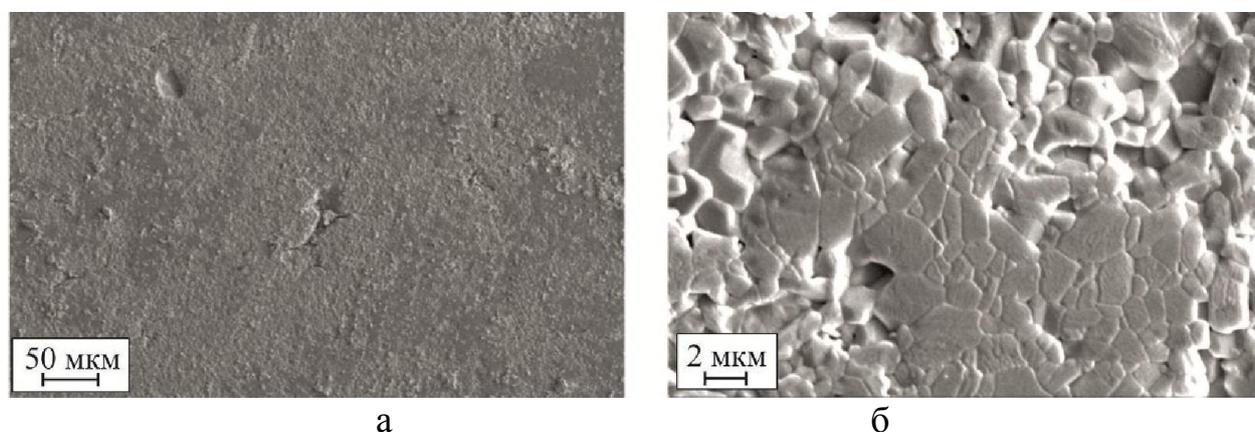
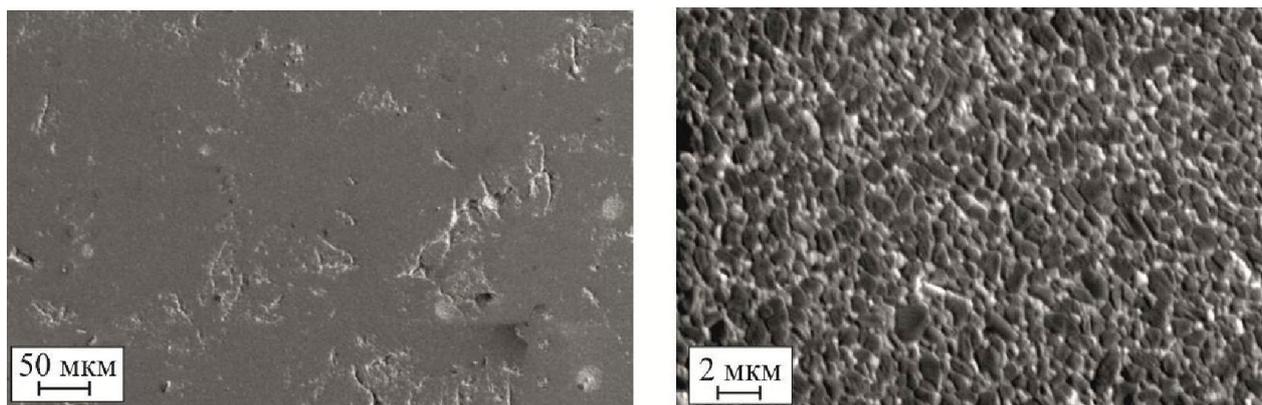


Рис. 1. Микроструктура алюмооксидной керамики



а б
Рис. 2. Микроструктура алюмоциркониевой керамики

Введение ингибиторов роста зерен позволяет эффективно снизить скорость процесса миграции границ частиц, являющегося одной из основных движущих сил спекания. В результате снижения интенсивности данного процесса в спеченных образцах сохраняется значительная объемная доля дефектов, полученных на этапе прессования. Установлено, что обе серии образцов содержат характерные дефекты в виде следов границ гранул (рисунок 1 а, 2 а). Кроме того, согласно представленным фотографиям введение диоксида циркония способствует сохранению данного вида дефектов прессовки в большей объемной доле по сравнению с образцами алюмооксидной керамики.

При проведении испытаний на прочность по схеме трехточечного изгиба было установлено, что для образцов алюмооксидной и алюмоциркониевой керамики $\sigma_{\text{изг}} \approx 270$ МПа и 350 МПа соответственно. Полученные величины существенно уступают литературным данным, согласно которым прочность мелкозернистой Al_2O_3 керамики составляет ≈ 450 МПа, а алюмоциркониевой достигает 800 МПа. Нами предполагается, что низкий уровень прочностных свойств связан с присутствием в структуре керамики дефектов в виде границ гранул, описанных выше.

Выводы

Представленные в работе экспериментальные исследования свидетельствуют о положительном влиянии добавки $3Y-ZrO_2$ на микроструктуру и свойства алюмооксидной керамики. Введение 20 вес. % частиц $3Y-ZrO_2$ в алюмооксидную матрицу способствует уменьшению среднего размера зерна с 2 – 5 мкм до 0,2 – 1 мкм. Кроме того, использование легирующей добавки обеспечивает повышение прочности материала при изгибе с 270 МПа до 350 МПа. В то же время указанные величины прочности существенно уступают литературным данным. Основной причиной низкой прочности является присутствие в спеченных образцах дефектов в виде границ

гранул пресс-порошка. Сохранение границ пресс-порошка в спрессованных образцах свидетельствует о некорректно подобранном режиме формования или физико-химическом состоянии органических добавок. В связи с этим для дальнейшего повышения прочности материала необходимы дополнительные исследования по разработке режимов прессования и спекания композиционной керамики.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства (договор № 02.G25.31.0060 от 12.02.2013 г.)

An appraisal of zirconia additives influence on alumina ceramic structure and properties

S.V. Veselov, N.S. Belousova, N.Yu. Cherkasova, O.A. Goryainova, E.V. Melnikova

The results of microstructure investigation and bending strength tests of alumina and ZTA (with 20 wt. % 3Y-ZrO₂) ceramics are presented. It is shown that zirconia inclusion provides Al₂O₃ grains size diminishing in the sintered ceramic from 2 – 5 μm to 0,2 – 1 μm. Grain size reducing promotes strength increase of ceramic from 270 MPa to 350 MPa. It was revealed that low ceramic samples strength is related with the presence of bulk defects looks like granule boundaries.

Key words : Oxide ceramic, zirconia, alumina, ZTA ceramic

УДК 621.9.048.7, 621.785

НАСЫЩЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК ИЗ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ УГЛЕРОДОМ ПРИ ВНЕВАКУУМНОЙ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ОБРАБОТКЕ

*Д.Д. ГОЛОВИН, магистрант
А.А. ЛОСИНСКАЯ, ассистент
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Головин Д.Д. – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: urlerbro@rambler.ru

В процессе вневакуумной электронно-лучевой наплавки на цилиндрических заготовках из стали 20 были сформированы высокоуглеродистые слои толщиной до 2 мм с повышенной твердостью (до 7 ГПа). Основными структурными составляющими в наплавленных слоях являются ледебурит, вторичный цементит видманштеттова типа и перлит.

Ключевые слова: Вневакуумная электронно-лучевая наплавка, сталь, твердость, углеродное волокно, цилиндрические образцы.

Введение

Большое количество деталей машин и элементов конструкций в процессе эксплуатации подвергаются интенсивному изнашиванию. Поэтому одна из основных задач современного материаловедения связана с необходимостью разработки эффективных методов поверхностного упрочнения металлических материалов. Обусловлено это особой ролью поверхностных слоев в обеспечении надежности и долговечности деталей машин, работающих в условиях интенсивного внешнего воздействия.

Одним из способов повышения износостойкости низкоуглеродистых сталей является цементация, заключающаяся в диффузионном насыщении поверхностных слоев сталей углеродом при высоких температурах [1]. Однако традиционная технология обладает рядом недостатков, связанных с высокой энергоемкостью и большой длительностью процесса. Избежать отмеченных недостатков позволяет использование высокоэнергетических методов обработки металлических материалов, которые широко распространены в современном машиностроении. Одним из таких методов является электронно-лучевая наплавка. В предыдущих исследованиях в качестве насыщающего материала использовались углеродсодержащие порошки [2, 3]. Целью работы является изучение возможности формирования высокоуглеродистых слоев на стальных цилиндрических заготовках методом вневакуумного электронно-лучевого оплавления углеродных волокон.

Материалы и методы

Заготовки, на которые производилась наплавка, представляли собой трубу из стали 20 диаметром 48 мм, толщина стенок составляла 4 мм. В качестве наплавляемого материала использовали углеродное волокно GG 210-P, а также смесь порошков карбонильного железа, сварочного флюса MgF_2 и связующего вещества (клей БФ).

Обработка проводилась на ускорителе электронов ЭЛВ-6, разработанном и изготовленном в Институте ядерной физики им. Г.И. Будкера (Новосибирск). Энергия пучка электронов составляла 1,4 МэВ, скорость обработки - 20 мм/с, расстояние от выпускного отверстия - 90 мм, ток пучка электронов - 8–10 мА. В процессе обработки на заготовки наносились спиральные дорожки, ширина которых соответствовала диаметру пучка электронов на обрабатываемой поверхности и составляла 12 мм.

Исследование структуры полученных покрытий проводили на оптическом микроскопе Carl Zeiss Axio Observer Z1m. Для выявления структуры использовали 5%-ый раствор HNO_3 . Оценку микротвердости осуществляли на приборе Wolpert Group 402MVD при нагрузке на индентор 0,98 Н.

Результаты и обсуждение

Металлографические исследования показали, что подобранные в ходе работы режимы обработки, позволяют формировать наплавленные слои толщиной до 2-х миллиметров. Видно, что концентрация углерода по глубине наплавленных слоев не одинакова. Структуру наплавленного слоя можно условно разделить на пять зон (рис. 1):

- I - белый эвтектический чугун;
- II - доэвтектический чугун;
- III - заэвтектоидная сталь;
- IV - эвтектоидная сталь;
- V - зона термического влияния.

В структуре поверхностного слоя наблюдается ледебурит (рис. 1), что характерно для эвтектического белого чугуна. Следующий по глубине слой имеет структуру доэвтектического чугуна, в этом слое наряду с ледебуритом содержатся колонии перлита. На большем расстоянии от поверхности концентрация углерода в слое значительно уменьшается, здесь наблюдаются вторичный цементит видманштеттского типа и перлит, при этом структура соответствует заэвтектоидной стали. Далее располагается зона термического влияния с ферритом видманштеттского типа. Наличие этой зоны характерно при использовании высокоэнергетических методов воздействия.

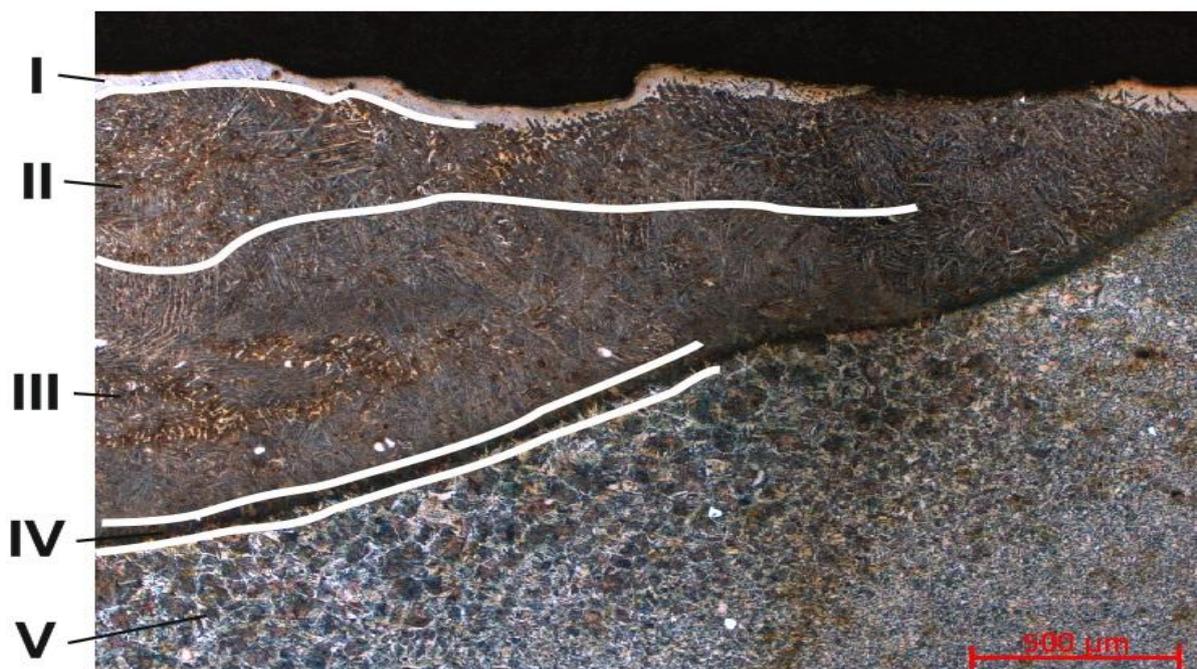


Рис. 1. Структура наплавленного слоя

При измерении микротвердости было установлено, что максимальная твердость наплавленных слоев составляет 7000 МПа, что в 3,5 раза выше по сравнению с основным материалом (2000 МПа), это должно благоприятно сказаться на триботехнических свойствах материала.

Выводы

Таким образом было выявлено, что электронно-лучевая наплавка углеродного волокна является эффективным методом поверхностного упрочнения стальных деталей цилиндрической формы и позволяет сформировать на них наплавленный слой толщиной до 2-х миллиметров с повышенным содержанием углерода. При этом максимальная твердость полученных покрытий в 3,5 раза выше твердости основного материала.

Список литературы

1. Прогрессивные методы химико-термической обработки [Текст] / под ред. Г. Н. Дубинина, Я. Д. Когана. – Москва : Машиностроение, 1979. – 184 с.
2. Структура и свойства поверхностных слоев низкоуглеродистой стали, полученных методом наплавки углеродсодержащих порошковых смесей и последующей закалки [Текст] / А. А. Лосинская, М. Г. Голковский, Е. А.

Дробяз, Н. В. Плотникова, В. В. Самойленко // Обработка металлов. Технология. Оборудование. Инструменты. – 2013. – № 4. – С. 5–11.

3. Лосинская А. А. Формирование на сталях высокоуглеродистых слоев с использованием высокоэнергетического электронного луча [Текст] / А. А. Лосинская, Д. Д. Головин // Наука. Промышленность. Оборона: тр. 14 Всерос. науч.-техн. конф. для студентов аспирантов и молодых ученых. (НПО–2013), Новосибирск, 24–26 апр. 2013 г. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2013. – С. 353–355.

Saturation of surface layers of low carbon steel cylindrical workpieces with carbon using atmospheric electron beam cladding

D.D. Golovin, A.A. Losinskaya

During atmospheric electron beam cladding the high-carbon layers on cylindrical workpieces were formed. The thickness of obtained layers has achieved 2 mm with a high hardness (up to 7 GPa). Atmospheric electron beam cladding is effective and highly productive method of steel hardening.

Key words: Atmospheric electron beam cladding, steel, hardness, carbon fiber, cylindrical workpieces.

УДК 621.1

**ПЛАЗМЕННОЕ НАПЫЛЕНИЕ ПОРОШКОВЫХ ПОКРЫТИЙ
ПРИ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЙ ФОКУСИРОВКЕ ДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ**

*В.И. КУЗЬМИН, канд. техн. наук, старший науч. сотр.,
Е.В. КАРТАЕВ, канд. физ.-мат. наук, старший науч. сотр.,
Д.В. СЕРГАЧЁВ, аспирант*

(ИТПМ СО РАН, г. Новосибирск),

Е.Е. КОРНИЕНКО, канд. техн. наук, доцент,

*Е.Ю. ЛАПУШКИНА, студент,
(НГТУ, г. Новосибирск)*

*А.О. ТОКАРЕВ, доктор техн. наук, доцент
(НГАВТ, г. Новосибирск)*

Кузьмин В.И. – 630090, Россия, г. Новосибирск, Академика Ржанова, 4/1,
Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН,
e-mail: vikuzmin57@mail.ru

В работе приведены преимущества плазменного напыления с распределённым кольцевым вводом порошка по сравнению с точечным. Показано, что в отличие от точечного ввода, кольцевой ввод с газодинамической фокусировкой обеспечивает плотный осесимметричный гетерогенный поток, что способствует максимальной скорости истечения плазменной струи и максимальному проплавлению частиц напыляемого порошка. При этом существенно возрастают физико-механические характеристики нанесённых покрытий.

Ключевые слова: Плазмотрон с межэлектродными вставками (МЭВ), узел кольцевого ввода порошковых материалов, напыление керамических и металлических материалов, осесимметричный гетерогенный поток, напылённые покрытия.

1. Введение

В настоящее время наиболее распространённым способом ввода порошка в плазменную струю, генерируемую плазмотроном, является точечный поперечный ввод. Его осуществляют, как правило, под углом 90° к оси плазменного потока через трубку-шихтопровод на срез выходного сопла или через отверстие в самом сопле. Реализация этого способа вносит существенные возмущения в несущий поток, что увеличивает взаимодействие плазменной струи с окружающей средой. Это приводит к быстрой диссипации высокотемпературной области струи и искажению радиального температурного профиля [1]. При этом в потоке плазмы возникают неоднородности полей температуры и скорости, что способствует одновременному существованию в его сечении частиц, имеющих значительные отличия по тепловой и кинетической энергии и даже находящихся в различных агрегатных

состояниях. Всё это значительно снижает качество покрытий при плазменном напылении. Кроме того, локальный точечный ввод имеет низкий к.п.д. использования энергии плазменной струи (не более 6 %) [2].

Наиболее перспективным, с точки зрения получения осесимметричного высокотемпературного гетерогенного потока, является использование узла кольцевого ввода порошка. Осесимметричный радиально-сходящийся поток частиц непосредственно за зоной анодной привязки дугового разряда позволяет существенно увеличить эффективность взаимодействия потока плазмы с порошком, что значительно повышает качество покрытий и производительность обработки материала. Теоретические расчёты показали, что, использование узла кольцевого ввода способствует более эффективному нагреву частиц и увеличению максимальной производительности обработки более чем на порядок, по сравнению с односторонним точечным вводом [3].

Первые публикации об использовании узлов кольцевого ввода появились более 20 лет назад. В работе [4] приводится схема устройства, содержащего кроме кольцевой щели для ввода порошка дополнительную кольцевую щель для подачи фокусирующего газа. На сегодняшний день примеров широкого использования таких устройств не известно. Скорее всего, это связано со следующими проблемами: сложность организации устойчивого и равномерного распределения порошка по кольцевой щели; зарастание щели порошком и продуктами эрозии анода; трудность формирования высокотемпературного гетерогенного потока с малым углом раскрытия.

Перспективность использования данного способа и связанные с ним проблемы послужили основанием для разработки оригинального узла. Разработанный узел ввода имеет много общего с конструкцией узла, схема которого приведена в работе [4], но принцип организации равномерного распределения порошка по периметру кольцевой щели является оригинальным.

2. Материалы и методы исследования

Объектами исследований в настоящей работе служили керамический порошок (Al_2O_3), обработанный в потоках плазмы, и покрытия, сформированные из металлического порошка.

Обработку порошка и напыление покрытий выполняли в ИТПМ СО РАН с использованием разработанного авторами работы узла кольцевого ввода порошка. Узел ввода был спроектирован для разработанного ранее плазмотрона постоянного тока номинальной мощностью 50 кВт. Электродуговой плазмотрон выполнен по линейной схеме с секционированной межэлектродной вставкой (МЭВ), что обеспечивает высокое рабочее напряжение, хорошую осевую симметрию плазменной струи и минимальный уровень пульсаций его

параметров. Схема плазмотрона представлена на рис.1. Плазмотрон рассчитан на работу как в турбулентном, так и в ламинарном режиме. Это обеспечивает максимальную скорость истечения плазменной струи при напылении металлических порошков и максимальное время пребывания частиц в плазменном потоке при напылении керамических порошков.

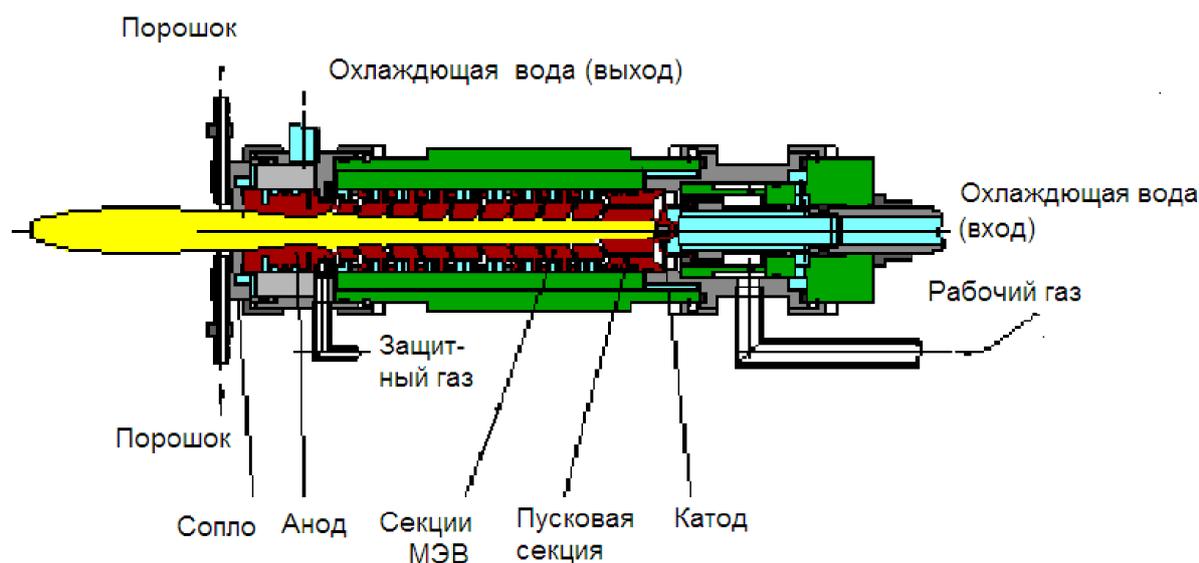


Рис. 1. Схема плазмотрона

В качестве керамического материала использовали порошок Al_2O_3 дисперсностью 40 мкм. Порошок вводили в плазменную струю и на расстоянии $\sim 1,5$ м от среза сопла собирали в воду. Режим, на котором обрабатывали порошок: ток дуги – 200 А; напряжение на дуге – 250 В; расход плазмообразующего газа – 1,5 г/с; расход порошка – 2 кг/час. В качестве рабочих газов (плазмообразующий, защитный, транспортирующий, фокусирующий) использовали воздух. Плазмообразующий газ подавали в канал плазмотрона тангенциально со стороны катода при помощи кольца закрутки. Защитный газ подавали в зазор между последней секцией МЭВ и анодом также тангенциально через кольцо закрутки.

Кроме того, проводили исследования покрытий, сформированных на сварных трубах из низкоуглеродистой стали ВСт1сп с наружным диаметром 60 мм, толщиной стенки 3 мм и длиной 20 мм. Материалом покрытия служил самофлюсующийся порошок на никелевой основе ПР-Н77Х15СЗР2-3 дисперсностью 40/100 мкм. Режимы плазменного напыления: расход плазмообразующего газа – 3 г/с, расход порошка – 5 кг/час, дистанция напыления – 170 мм, ток дуги и напряжение – 140 А и 265 В, 170 А и 258 В, 200 А и 250 В, 230 А и 243 В соответственно. Непосредственно перед напылением

поверхность труб подвергали пескоструйной обработке. После напыления, для снижения уровня остаточных напряжений в покрытиях, проводили отжиг при температуре 350 °С в течение 3 часов.

Металлографические исследования покрытий выполняли на оптическом микроскопе *Carl Zeiss AxioObserver A1m* и растровом электронном микроскопе *Carl Zeiss EVO50 XVP*. Измерения микротвердости проводили на твердомере для проведения испытаний по Виккерсу 402.

3. Результаты и обсуждение

Изображение частиц порошка Al_2O_3 приведено на рис. 2.

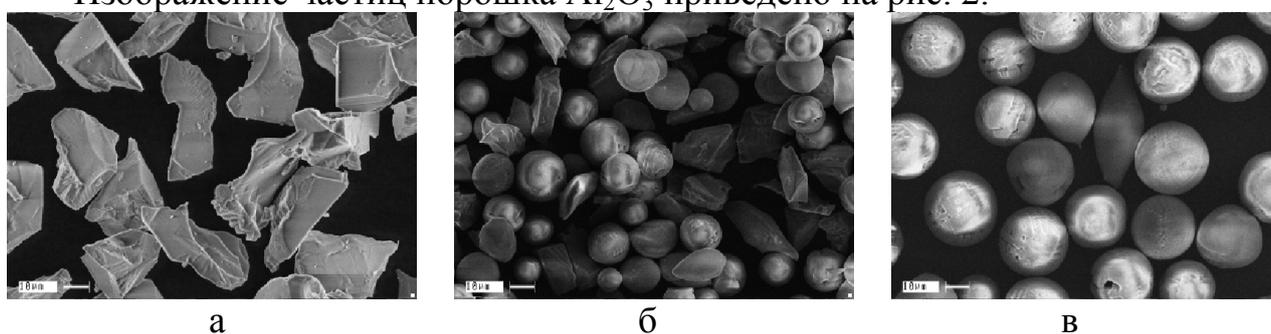


Рис. 2. Частицы порошка Al_2O_3 : а – до обработки; б – после обработки в плазменной струе с точечным вводом; в – после обработки в плазменной струе с кольцевым вводом порошка.

В исходном состоянии частицы имеют колотую форму (рис. 2, а). Порошок после обработки в плазменной струе представлен на рис. 2, б и в. По степени сфероидизации частиц можно судить об эффективности нагрева (плавления) частиц. Проведенные исследования наглядно иллюстрируют преимущества кольцевого ввода порошка. Степень сфероидизации частиц практически 100 % (рис. 2, в).

Необходимо отметить, что при точечном вводе порошка на плазмотронах мощностью до 50 кВт напыление керамических покрытий проводится при небольшом расходе плазмообразующего газа (до 1 г/с). Это требуется для того, чтобы увеличить время нахождения тугоплавких, с низкой теплопроводностью частиц в плазменном потоке для полного их проплавления. В случае использования узла кольцевого ввода и при увеличенном расходе плазмообразующего газа (1,5 г/с и более) обеспечивается полное проплавление частиц и существенно большая скорость напыляемого материала, что повышает качество плазменных покрытий.

Проведённый ранее эксперимент показал, что при напылении покрытий на одинаковых режимах на одинаковые образцы толщина покрытий при использовании узла кольцевого ввода с

газодинамической фокусировкой на 50 % больше, чем при точечном вводе. Это свидетельствует о существенно большем коэффициенте использования материала.

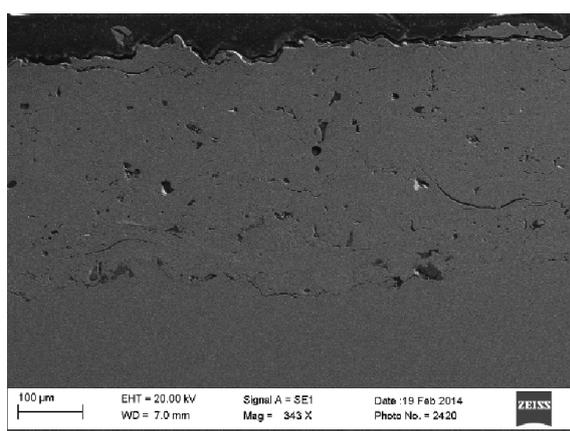
Кроме того, было показано, что пористость керамических покрытий из Al_2O_3 при напылении на керамическую основу в случае кольцевого ввода порошка составляет менее 1 % [5], хотя по данным разных авторов, пористость керамических покрытий составляет 8...15 %.

Результаты исследований металлических покрытий из порошка ПР-Н77Х15СЗР2-3, напыленных с использованием кольцевого ввода, приведены ниже.

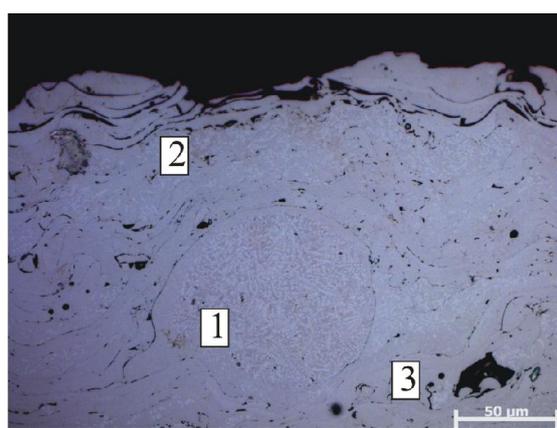
Частицы порошка имеют преимущественно сферическую форму и дендритное строение.

Толщина полученных покрытий составляет 350...400 мкм (рис. 3, а). На рис. 3, б видно, что в покрытиях наблюдаются частицы с различной степенью проплавления: частицы 1 типа – не расплавившиеся и недеформированные (сохранили округлую форму и дендритное строение) (1 на рис. 3, б); частицы 2 типа – не расплавившиеся, но пластически деформированные (имеют расплюснутую форму и сохраняют дендритное строение) (рис. 3, б, (2)); частицы 3 типа – расплавившиеся (имеют расплюснутую форму и не имеют дендритного строения) (рис. 3, б, (3)).

Количество частиц 1 типа в покрытиях не велико и с увеличением тока дуги уменьшается, что обусловлено повышением температуры плазмы.



а



б

Рис. 3. Микроструктура покрытий, полученных на токе дуги 140 А: а – покрытие и основной металл; б – различные типы частиц в покрытии: 1 – не расплавившаяся частица, 2 – частица в пластифицированном состоянии, 3 – расплавленная частица.

Результаты измерений микротвердости показали, что среднее значение твердости сформированных покрытий (~ 8000 МПа) в 4 раза выше твердости основного металла (1500...2000 МПа) и ~ в 2 раза выше твердости частиц исходного порошка (~ 3900 МПа). Стоит отметить, что распределение значений микротвердости в покрытиях неравномерно, что можно связать с их структурной неоднородностью. Минимальные значения твердости имеют частицы первого типа – 6000...7000 МПа. Более высокую микротвердость частиц второго типа (8000...9000 МПа) можно объяснить упругопластической деформацией, которая происходит во время соударения их о поверхность. Максимальные значения микротвердости у частиц третьего типа (9000...10500 МПа) связаны со структурными изменениями, происходящими во время кристаллизации, в частности, формированием мелкодисперсной гетерофазной структуры. Для объяснения данного эффекта в настоящее время проводятся более глубокие исследования.

4. Выводы

Таким образом, результаты исследований свидетельствуют о преимуществах распределённого кольцевого ввода. Использование данной конструкции позволяет существенно увеличить эффективность взаимодействия напыляемого порошка с потоком термической плазмы и, соответственно, сформировать покрытия с повышенными физико-механическими характеристиками.

Список литературы

1. Бекетов И., Кузьмин В. И., Картаев Е. В. и др. Оптимизация ввода дисперсного материала в поток термической плазмы плазматрона для напыления защитных и износостойких покрытий // Сибирский научный вестник. Новосибирский научный центр «Ноосферные знания и технологии» Российской Академии естественных наук, вып. XII. Новосибирск : Изд. НГАВТ, 2009. С. 148-151.
2. Клубникин В. С. Электротермические плазменные устройства и процессы напыления порошковых материалов. Докт. дис. техн. наук. ЛПИ им. М. И. Калинина // Ленинград, 1985. 447 с.
3. Солоненко О. П., Сорокин А. Л. Межфазный обмен теплом в условиях радиально-кольцевой инъекции дисперсного материала в поток плазмы // Известия СО АН СССР, серия техн. наук, вып. 5. Новосибирск : «Наука», Сибирское отделение, 1990. С. 75-82.

4. Ермаков С. А., Карасёв М. В., Клубникин В. С. и др. Способ плазменной обработки и плазмотрон // Патент ВО 90/12123, 1990.

5. Григорьев С. Н., Ковалёв О. Б., Кузьмин В. И. и др. Новые возможности технологии плазменного напыления износостойких покрытий // Трение и износ, т. 34, № 3, 2013. С. 221-226.

Plasma spraying of powder coating with gas-dynamic focusing of disperse phase

V. I. Kuz'min, E.V. Kartaev, D.V. Sergachev, E.E. Kornienko, E.U. Lapushkina,
A.O. Tokarev

The advantages of plasma spraying with distributed annular injection of powder as compared to point injection are presented in the paper. It is shown that annular injection with gas-dynamic focusing provides for dense axisymmetric heterogeneous flow in contrast to the point injection. It promotes the maximum velocity of the plasma jet and the maximum penetration of particles of sprayed powder. It is shown that in this case physico-mechanical properties of the sprayed coatings are essentially improved.

Keywords: Plasma torch with an inter-electrode insert, unit of annular injection of power materials, spraying of ceramic and metal materials, axisymmetric heterogeneous flow, sprayed coatings.

УДК 621.791.92

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ БОРОСОДЕРЖАЩИХ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ В ПРОЦЕССЕ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ОБРАБОТКИ³

*Д.С. КРИВЕЖЕНКО, аспирант,
Е.А. ДРОБЯЗ, канд. техн. наук, доцент,
Т.А. ЗИМОГЛЯДОВА, магистрант,
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Д.С. Кривеженко – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: dinylkaa@yandex.ru

С применением методов оптической и растровой электронной микроскопии исследована структура упрочненных слоев. Показано, что при вневакуумной электронно-лучевой наплавке боросодержащей порошковой смеси на сталь происходит формирование гетерогенной структуры, состоящей из высокопрочных боридов и пластинчатой эвтектики.

Ключевые слова: вневакуумная электронно-лучевая обработка, бориды железа, микроструктура.

1. Введение

Благодаря высоким триботехническим свойствам боросодержащие покрытия применяются для упрочнения деталей машин, работающих в условиях интенсивного абразивного изнашивания. В настоящее время существует большое количество методов поверхностного упрочнения железоуглеродистых сплавов. Как правило, реализация традиционных способов химико-термической обработки связана с большой длительностью процесса насыщения, а также небольшой глубиной диффузионного слоя. Применение высокоэнергетических технологий обработки, к числу которых относится вневакуумная электронно-лучевая наплавка, способствует значительному увеличению глубины упрочненного слоя. Кроме того, высокие скорости процесса обработки, обеспечивают повышение производительности процесса. За счет нагрева до температур, близких к температурам плавления, и высокой скорости охлаждения формируется развитая градиентная структура наплавленного слоя [1].

2. Материалы и методы

Формирование упрочняющих покрытий осуществлялось с применением промышленного ускорителя электронов, разработанного в Институте ядерной

³ Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ, по государственному заданию № 2014/138, проект № 257

физики им. Г.И. Будкера СО РАН. Наплавка проводилась по следующим параметрам: ток пучка – 24...30 мА, энергия пучка электронов – 1,4 МэВ, плотность насыпки – 0,2 г/см², скорость перемещения образцов относительно электронного пучка – 10 мм/с. В качестве насыщающей среды применялся порошок карбида бора с добавлением порошка железа и флюса MgF₂. Материалом основы являлась сталь 20.

Металлографический анализ структуры полученных образцов проводился на оптическом микроскопе AxioObserver Alm в диапазоне увеличений x25...x1000. Изучение тонкой структуры сформированных покрытий осуществлялось на растровом электронном микроскопе Carl Zeiss EVO 50 XVP. Химическое травление образцов выполняли в 3 %-ном растворе азотной кислоты в этиловом спирте.

3. Результаты и обсуждение

Результаты структурных исследований свидетельствуют о формировании боридного покрытия с гетерогенной структурой, толщина которого достигает 2...3 мм. В общем случае в структуре наплавленного слоя можно выделить области заэвтектического, эвтектического и доэвтектического типа [2]. Заэвтектическую зону составляют бориды различной формы и ориентации, между которыми происходит выделение пластинчатой эвтектики (Рис. 1а). Доэвтектическая зона, как правило, выделяется в области границы с основным металлом в виде эвтектических колоний и дендритных построений скелетообразной формы (рис. 1б).

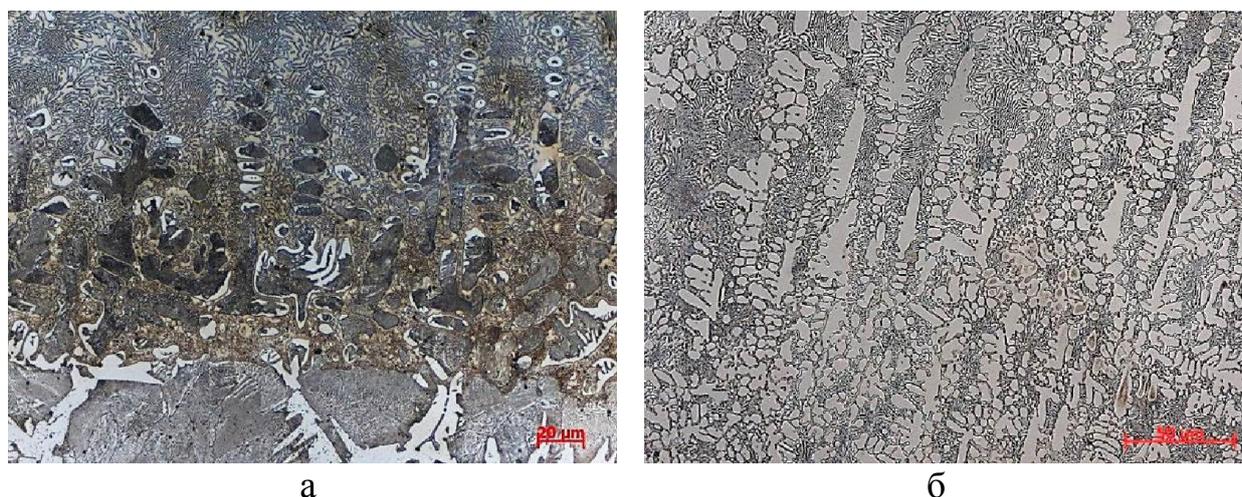


Рис. 1. Микроструктура покрытия, полученного наплавкой с применением электронного пучка, выведенного в воздушную атмосферу:
а – доэвтектическая область, б – заэвтектическая область

В сформированных покрытиях отсутствуют поры и трещины, граница с основным металлом четкая, отслоений не наблюдается. Однако, необходимо

отметить, что вневакуумная электронно-лучевая наплавка с током пучка 24 мА способствует формированию покрытия с наиболее высокой плотностью распределения боридов (рис. 2). Эвтектическая структура проявляется только в переходной зоне.



Рис. 2. Микроструктура покрытия, полученного при наплавке с током пучка 24 мА.

4. Выводы

Мощный электронный пучок, выведенный в атмосферу, позволяет с высокой скоростью формировать на поверхности стальных заготовок покрытия глубиной до 3 мм с повышенным содержанием высокопрочных боридных включений. Выбранные в работе режимы наплавки борсодержащих порошковых смесей, выполняются с высокой производительностью, в десятки раз большей, чем при осуществлении традиционной химико-термической обработки.

Наплавка порошка карбида бора электронным лучом, выведенным в воздушную атмосферу, обеспечивает формирование градиентной структуры поверхностных слоев, функцию упрочняющей фазы которых выполняют скопления боридов железа, ориентированных в различных направлениях. В

большинстве случаев кристаллы боридов железа при электронно-лучевой наплавке выделяются в форме закономерно ориентированных стержней, между которыми располагается пластинчатая эвтектика.

Список литературы

1. Крукович М.Г., Прусаков Б.А., Сизов И.Г. Пластичность борированных слоев. М.: Физматлит, 2010. 384 с.
2. Лазерное борирование высокопрочного чугуна / И.А. Тананко, А.А. Левченко, Р.Т. Гуйва, В.А. Гуйва, Е.Ю. Ситцевая / Физика и химия обработки материалов. 1991. №5. С. 89-95.

Structure Formation Features of Boron-containing Coatings Obtained by High-speed Treatment

D.S. Krivezhenko, E.A. Drobyaz, T.A. Zimoglyadova

The structure of hardened layers was studied by optical and scanning electron microscopy. It is shown that there is the formation of heterogeneous structure during electron-beam cladding in atmosphere of boron-containing mixture on low carbon steel substrate. The structure consists of high-strength borides and lamellar eutectic.

Key words: Electron-beam treatment in atmosphere, iron borides, microstructure.

УДК 621.762.53

**ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКРОВОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ ДЛЯ
ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ
НАНОРАЗМЕРНЫХ ЧАСТИЦ КАРБИДА ВОЛЬФРАМА**

**С.Ю. НАГАВКИН, магистрант,
(НГТУ, г. Новосибирск)**

Нагавкин С.Ю. – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: nagavkin@inbox.ru

Рассмотрены вопросы получения наноразмерного порошка карбида вольфрама. Исследован твёрдый сплав, полученный по технологии искрового плазменного спекания. Установлено, что материал имеет размер упрочняющей фазы менее 500 нм и сочетает высокую микротвердость (25000 МПа) с высокой прочностью на сжатие (3800 МПа). Относительная износостойкость полученного материала на 25% превышает износостойкость твердого сплава ВК6.

Ключевые слова: Механическая активация, карбид вольфрама, искровое плазменное спекание.

Введение

Твердосплавный металлорежущий инструмент, используемый в машиностроении, подвергается экстремальному воздействию температуры и механических нагрузок. Основными механизмами его отказа являются износ, тепломеханическая усталость и хрупкое разрушение. Понимание причин выхода из строя режущих инструментов и возможность прогнозирования срока их службы являются ключевыми факторами в развитии нового материала для инструмента с улучшенным комплексом свойств.

Один из перспективных путей повышения качества твердосплавного инструмента заключается в получении наноразмерного зерна упрочняющей фазы. Известно, что при одинаковом химическом составе свойства нанокompозитов зачастую превосходят свойства крупнозернистых аналогов [1, 2]. Одной из проблем, возникающих при производстве вольфрамкобальтовых режущих инструментов, является невозможность сохранения наноразмерной структуры при традиционном вакуумном спекании. По сравнению с классической технологией производства твёрдых сплавов современная технология искрового плазменного спекания обладает рядом преимуществ. В ходе такого процесса происходит лишь поверхностное оплавление спекаемых частиц, что позволяет сохранить исходный размер упрочняющей фазы.

Методика экспериментального исследования

Последовательность получения композита с использованием технологии искрового плазменного спекания включала следующие операции:

- механическая активация смеси порошков вольфрама и углерода в высокоэнергетической шаровой мельнице АГО-2;
- реализация процесса теплового взрыва в индукционной печи в среде защитного газа (аргона);
- размол полученных продуктов и перемешивание с порошком связующего материала (никеля). В качестве металла связки использовали никель;
- искровое плазменное спекание проводили на установке SPS Labox 1575, в институте гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН при температуре 1200 °С. Фотографии используемых порошковых смесей представлены на рисунке 1.

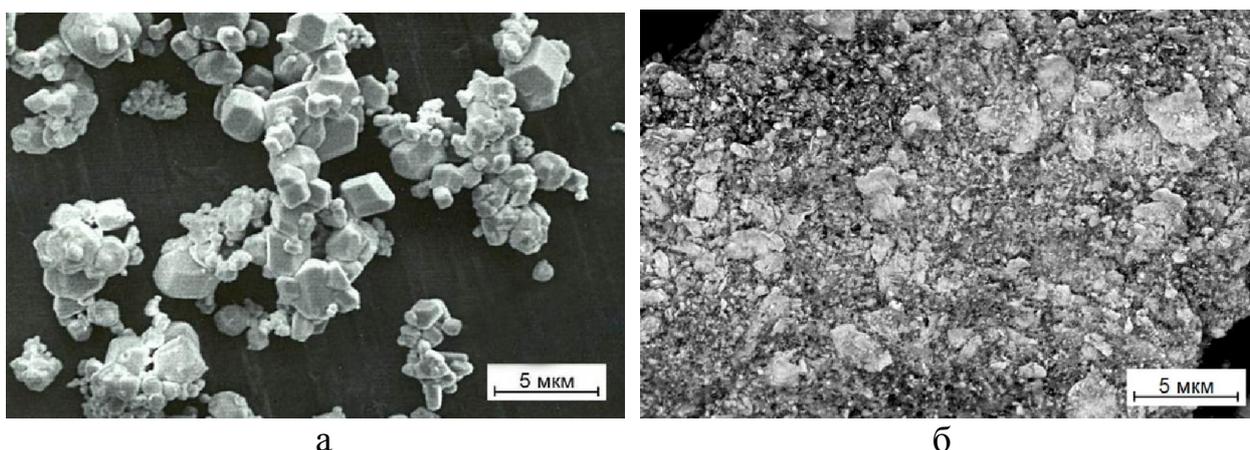


Рис. 1. Исходный порошок вольфрама (а) и порошковая смесь после механической активации (б)

Исследование структуры полученного композита проводили на световом микроскопе Carl Zeiss Axio Observer Z1m в диапазоне увеличений от 100 до 1500 крат. Измерение значений микротвердости осуществляли на приборе Wolpert Group 402MVD при нагрузке 1,96 Н. Для исследования тонкой структуры металлографических шлифов и морфологии порошковых смесей использовали растровый электронный микроскоп Carl Zeiss EVO 50 XVP, оснащенный микрорентгеноспектральным анализатором INCA X-ACT. В качестве критериев, определяющих механические свойства полученного материала, использовали предел прочности при сжатии (ГОСТ 27034-86) и относительную износостойкость при трении о закрепленные частицы абразива (ГОСТ 17367-71, эталон - твердый сплав ВК6).

Результаты и обсуждение

Металлографические исследования показали, что при спекании порошковой смеси происходит образование классической двухфазной структуры твердого сплава. Отличительной особенностью от промышленных сплавов системы ВК является размер упрочняющей фазы - карбида вольфрама (менее 500 нм) и наличие островков металла-связки (никеля) размером от 5 до 20 мкм (рис. 2, а). Микротвердость полученного композита значительно превышает значения, характерные для стандартных твердых сплавов (14000-16000 МПа) и составляет 25000 МПа. Микротвердость никелевых включений составляет 500-700 МПа.

Относительная износостойкость образцов на 25% превышает износостойкость промышленного твердого сплава ВК6. Следует отметить, что повышение значений микротвердости и износостойкости не приводит к снижению прочностных характеристик. Прочность на сжатие полученного материала составила 3800 МПа, что соизмеримо с прочностью твердого сплава ВК6 (4300 МПа). В процессе нагружения образцов, имеет место значительная пластическая деформация островков металла-связки (рис. 2, б).

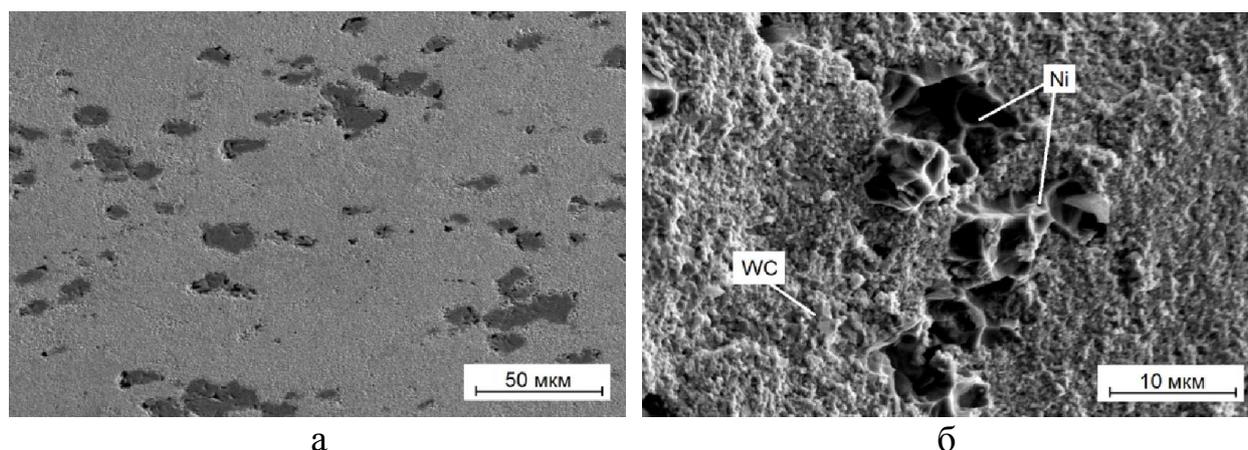


Рис. 2. Микроструктура спеченного методом искрового плазменного спекания твёрдого сплава (а) и фрактограмма его излома (б)

Выводы

Анализ полученных результатов свидетельствует о перспективности использования технологии искрового плазменного спекания для получения композиционных материалов с наноразмерной упрочняющей фазой, обладающих высоким уровнем механических свойств.

Данная технология позволяет сохранить размер частиц карбида вольфрама в полученном материале на уровне 500 нм и меньше. Дальнейшие исследования будут направлены на решение следующих научных задач:

1. Исследование влияния времени механической активации на морфологию и размер частиц порошковой смеси;
2. Оптимизация режимов размола продуктов теплового взрыва и перемешивания со связующим материалом с целью получения равномерного распределения компонентов порошковой смеси и исключения образования крупных включений металла-связки.
3. Исследование влияния технологических режимов искрового плазменного спекания на размер упрочняющей фазы композиционного материала.

Список литературы

1. Панов, В. С. Технология и свойства спеченных твердых сплавов и изделий из них: учеб. пособие / В. С. Панов, А. М. Чувилин, В. А. Фальковский. – Москва: МИСИС, 2004. – 464 с.
2. Либенсон, Г. А. Производство порошковых изделий: учеб. для техникумов / Г. А. Либенсон. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Металлургия, 1990. – 240 с.

Perspectives of spark plasma sintering in producing composite materials, based on nanoscale particles of tungsten carbide

S.Y. Nagavkin

Issues of production of nanoparticles of tungsten carbide have been considered. Composite material, produced with spark plasma sintering technology was investigated. It was established, that the material has a size of hardening phase less than 500 nm and combines high microhardness (25000 MPa), and high compressive strength (3800 MPa). The relative wear resistance of the obtained material exceeds the wear resistance of hard alloy VK6 by 25%.

Key words: Mechanical activation, tungsten carbide, spark plasma sintering.

УДК 539.4:620.2

ПРИМЕНЕНИЕ КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ ШТАМПОВАННЫХ ПОКОВОК

*А.И. ПОПЕЛЮХ, канд. техн. наук, доцент,
М.Р. ЮРКЕВИЧ, магистрант,
П.А. ПОПЕЛЮХ, аспирант,
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Попелюх А.И. - 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: aip13@mail.ru

Предложен технологический процесс упрочнения заготовок из стали 40Х2Н2МА, сочетающий операции горячей объемной штамповки с последующей высокотемпературной термомеханической обработкой с мартенсито-бейнитным превращением аустенита. По сравнению с традиционной технологией закалки предложенная термомеханическая обработка, при сопоставимых показателях прочности позволяет в 2 раза повысить показатели ударной вязкости стали и в 6 раз ее сопротивление усталостному разрушению. Обработку целесообразно применять для упрочнения поковок деталей ударных машин, изготавливаемых с использованием технологии горячей объемной штамповки.

Ключевые слова: штамповка, термомеханическая обработка, мартенсит, бейнит, надежность.

1. Введение

Повышение прочности конструкционных металлических материалов является актуальной проблемой современной техники. Один из возможных способов получения высоких показателей прочности, трещиностойкости и износостойкости деталей заключается в формировании в стали смешанных высокопрочных структур, которые могут быть получены новыми видами термомеханической обработки. Проведенные ранее исследования по созданию в стали высокопрочной структуры, обладающей значительным сопротивлением усталостному разрушению, показали, что одной из перспективных технологий является термическая обработка со смешанным мартенсито-бейнитным превращением аустенита [1].

На кафедре материаловедения в машиностроении НГТУ разработан новый способ комбинированной высокотемпературной термомеханической обработки стали со смешанным мартенсито-бейнитным превращением аустенита (ВТММБ). Суть технологического процесса ВТММБ заключается в следующем: стальные заготовки нагревают до температуры аустенитизации и деформируют, в результате чего в стали формируется структура мелкозернистого аустенита (рис.1). После деформации заготовки охлаждают с высокой скоростью в расплаве селитры до температуры T_p , находящейся между температурами на-

чала и окончания мартенситного превращения. В условиях переохлаждения происходит частичный распад аустенита с образованием в стали определенного количества мартенсита. Финальная стадия термической обработки заключается в нагреве заготовки до температуры промежуточного превращения $T_{из}$, при которой оставшийся аустенит превращается в структуру нижнего бейнита, а образовавшийся ранее мартенсит отпускается.

2. Материалы и методы исследования

Реализация предложенного способа ВТММБ обработки для упрочнения стали 40Х2Н2МА с деформацией прокаткой показала, существенное увеличение показателей ударной вязкости и трещиностойкости по сравнению с известными видами термической и термомеханической обработки [2]. Цель данной работы заключалась в оценке возможности применения высокотемпературной термомеханической обработки с мартенсито – бейнитным превращением аустенита для упрочнения деталей ударных машин, изготавливаемых с использованием технологии горячей объемной штамповки.

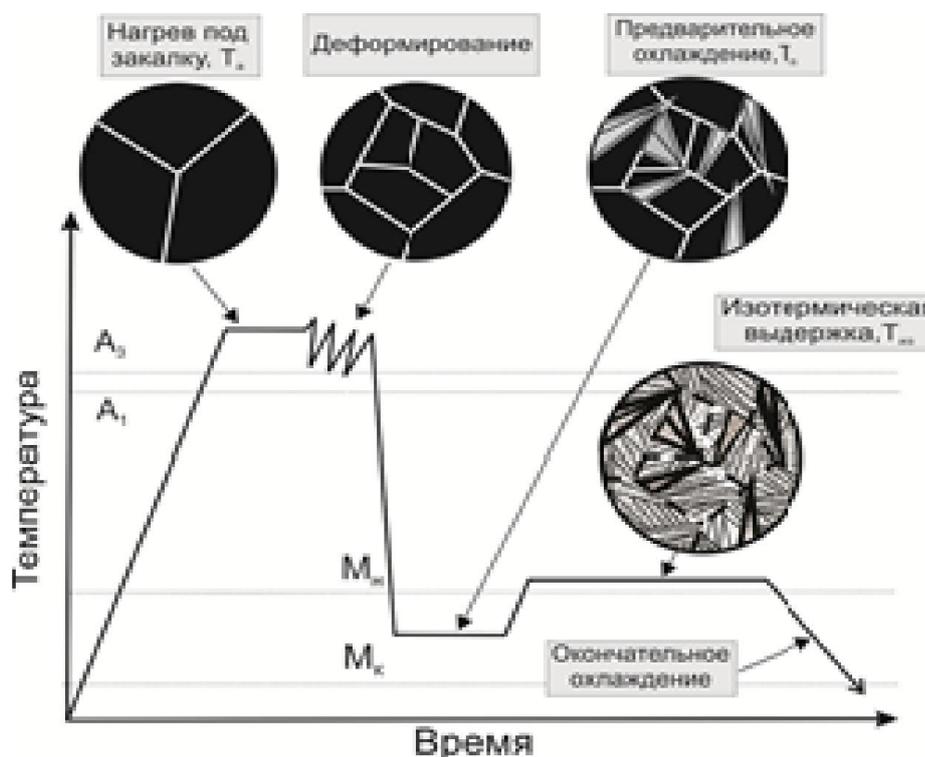


Рис. 1. Схема высокотемпературной термомеханической обработки со смешанным мартенсито-бейнитным превращением аустенита ВТММБ

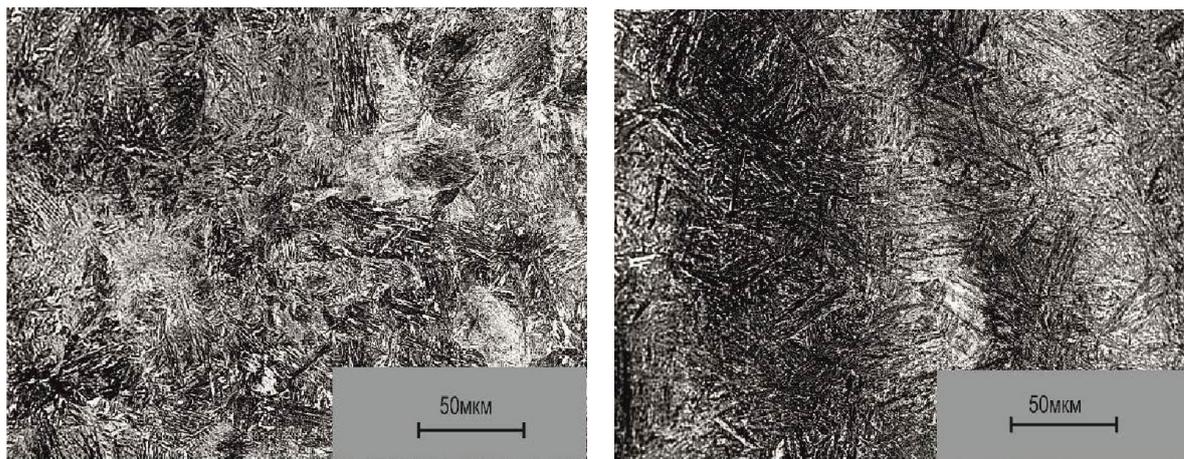
В качестве материала для исследования была использована высококачественная среднеуглеродистая легированная сталь марки 40Х2Н2МА, которая широко используется для изготовления наиболее ответственных деталей ма-

шин. Высокотемпературную термомеханическую обработку стали 40X2H2MA с мартенсито-бейнитным превращением аустенита (ВТММБ) проводили по следующим режимам. Заготовки из стали размером 25*25*35 мм нагревали в камерной печи до температуры 970 градусов и выдерживали при этой температуре в течение 20 минут. Затем на прессе «Monarch» заготовки деформировали со степенью 30 % и охлаждали в расплаве солей при температуре 270 градусов в течение 5 минут. Последующую изотермическую выдержку заготовок производили в камерной печи при температуре 350 градусов. Окончательное охлаждение заготовок осуществляли на спокойном воздухе. Режим деформирования стали был выбран на основании результатов научных исследований технологии регулируемого термопластического упрочнения, длительное время проводимых под руководством Л.И. Тушинского на кафедре материаловедения в машиностроении НГТУ [3] и ранее проведенных научных исследований [2].

Эффективность предлагаемого способа термической обработки стали оценивалась путем сравнения со свойствами, получаемыми в результате упрочнения по традиционной технологии закалки с отпуском. Закалку с отпуском проводили по следующим режимам: нагрев до 870 °С с выдержкой при этой температуре в течение 20 минут, охлаждение в масле и отпуск в камерной печи в течение 1 часа при температуре 400 °С. В качестве критериев для сравнения эффективности различных видов термической и термомеханической обработки стали использовали механические свойства при испытаниях на растяжение, ударный изгиб и показатели усталостной долговечности. Для выявления особенностей формирования структуры стали при различных видах термической и термомеханической обработки были проведены металлографические исследования на микроскопе Carl Zeiss AxioObserver A1m.

3. Результаты и обсуждение

Исследование структуры показывает, что сталь после закалки и отпуска при 400 °С имеет мелкодисперсную структуру феррито-карбидной смеси (рис. 2 а). После упрочнения стали после по технологии ВТММБ материал штамповки состоит из мелкодисперсной смеси нижнего бейнита и продуктов отпуска мартенсита. В материале штамповки обнаружены слои, обладающие различной травимостью (рис. 2 б).



а

б

Рис. 2. Микроструктура стали 40X2H2MA после закалки с отпуском (а) и обработки по технологии ВТММБ (б)

Для оценки анизотропии свойств исследуемые образцы были вырезаны в двух направлениях (поперек и вдоль слоя). Карта раскроя образцов представлена на рисунке 3. Установлено, что слоистая структура стали обеспечивает различные показатели прочности, ударной вязкости, и трещиностойкости в зависимости от ориентации слоев по отношению к направлению действия внешней нагрузки.

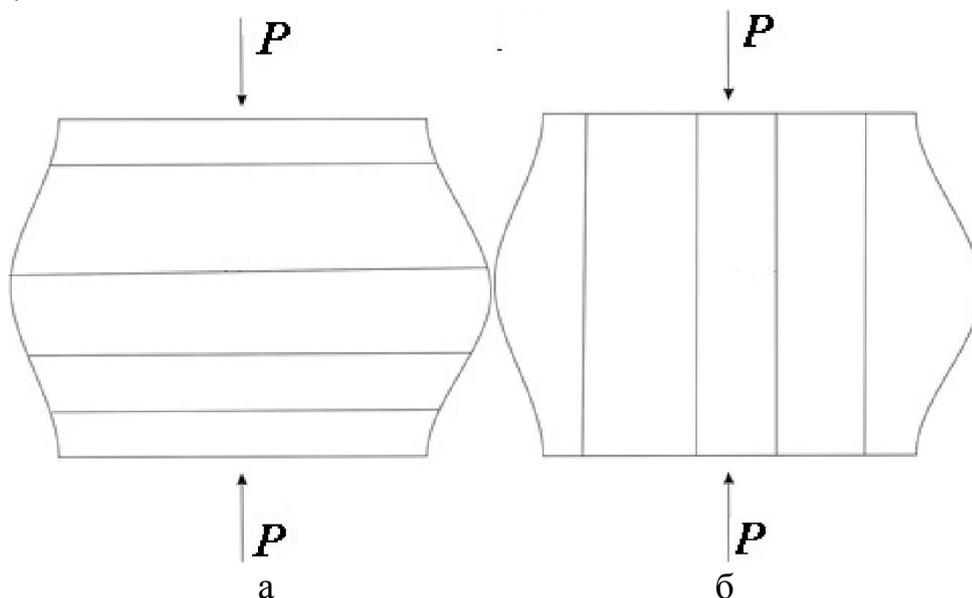


Рис. 3. Схема раскроя образцов поперек (а) и вдоль слоев (б) (P – усилие осадки)

Результаты оценки прочностных характеристик материалов при статических испытаниях на растяжение, показали, что высокотемпературная термомеханическая обработка стали не приводит к существенному снижению прочностных характеристик стали по сравнению с традиционной технологией закалки

с последующим отпуском. Результаты испытания стали на ударный изгиб, свидетельствуют о том, что упрочнение стали по технологическому процессу ВТММБ с ориентацией слоев перпендикулярно направлению удара позволяет повысить показатели ударной вязкости более чем в два раза. Механические свойства стали после различных способов термического упрочнения приведены в таблице.

Таблица

Механические свойства стали 40X2H2MA после различных видов термического упрочнения

Способ термического упрочнения	<i>HRC</i>	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_b , МПа	<i>KCU</i> , Дж/см ²	Долговечность, цикл
Закалка с отпуском, $T_{отп} = 400$ °С	45	1207	1484	48.5	86400
ВТММБ (поперек слоев)	46	983	1290	111.0	500700
ВТММБ (вдоль слоев)	46	895	1302	63.5	65100

Для оценки влияния вида обработки на сопротивление стали усталостному разрушению были проведены испытания на циклическое растяжение образцов прямоугольной формы размером 100 x 20 x 3 мм с концентратором напряжения. Максимальная растягивающая нагрузка в цикле составляла 15 кН, частота нагружения была равна 5 Гц. Испытания образцов показали, что в случае ориентации слоев в стали перпендикулярно направлению роста усталостной трещины высокотемпературная термомеханическая обработка с мартенсито – бейнитным превращением аустенита обеспечивает высокое сопротивление усталостному разрушению. Долговечность образцов, упрочненных по технологии ВТММБ, почти в 6 раз превышает аналогичные показатели закаленной и отпущенной стали.

4. Выводы

Совмещение операций горячей объемной штамповки с высокотемпературной термомеханической обработкой с мартенсито-бейнитным превращением аустенита (ВТММБ) позволяет обеспечить высокую прочность, ударную вязкость и трещиностойкость получаемых поковок. Сталь, обработанная по технологии ВТММБ при сопоставимых показателях прочности, более чем в два раза выше ударную вязкость и в шесть раз выше сопротивление усталостному разрушению по сравнению со сталью, упрочненной по традиционной тех-

нологии закалки. Новый технологический процесс целесообразно применять для упрочнения поковок деталей ударных машин, изготавливаемых с использованием технологии горячей объемной штамповки

Список литературы

1. Попелюх А. И., Батаев А. А., Теплых А. М., Огнев А. Ю., Головин Е. Д. Способ термической обработки инструментальной стали со смешанным мартенситно-бейнитным превращением аустенита //Сталь №4 -2011 С.69-73
2. П.А. Попелюх, А.И.Попелюх, М.Р.Юркевич. Комбинированная термомеханическая обработка стали с мартенсито-бейнитным превращением аустенита. Обработка металлов.№2 2013.- С 62-68
3. Тушинский Л.И. Теория и технология упрочнения металлических сплавов Отв. ред. Е.И. Шемякин; Акад. наук СССР, Сиб. отд-ние, Ин-т горного дела. – Новосибирск: Наука, 1990. – 303 с.

Combined thermomechanical treatment application for forged piece strengthening

A.I. Popelyukh, M.R. Yurkevich, P.A Popelyukh

A new method for combined thermo-mechanical treatment of steel 0.4%C 2%Cr 2%N 1%M is developed. The thermo-mechanical processing includes hot forging and rapid cooling down to the temperature in the range between the beginning and finishing of martensitic transformation. The final stage of heat treatment is heating up to the temperature of bainite transformation in which the remaining austenite transforms into the structure of bainite and previously formed martensite tempers. In comparison with well known techniques of thermal treatment, the developed thermo-mechanical treatment increases the impact toughness of the steel up to 2 times and fatigue crack resistance up to 6 times (at equal values of strength parameters). The technological process of high-temperature thermo-mechanical treatment is recommended for treatment of high-strength blank forging.

Key words: stamping, thermo-mechanical treatment, martensite, bainite, reliability.

669.15-194

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ МЕДИ НА СТРУКТУРУ СЕРОГО ЧУГУНА

Н.В. СТЕПАНОВА, аспирант

Н.В. Степанова – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
naty@ya.ru

Была исследована структура серого чугуна с содержанием меди от 0,08 до 14,7 мас. %. Показана зависимость склонности чугуна к отбелу от концентрации меди. При содержании в чугуне 0,9 % Al и 14,7 % Cu в структуре образуются включения ϵ -меди размером до 240 мкм. Распределение включений по размеру имеет два пика на 30 – 40 мкм и 150 – 160 мкм.

Ключевые слова: чугун, структура, включения меди

Введение

Сплавы на основе чугунов с высоким содержанием меди являются перспективными антифрикционными материалами, способными заменить более дорогостоящую бронзу в крупных узлах трения - скольжения [1]. Разработка материала требует изучения влияния легирующих материалов на свойства сплава. В виду этого, исследования, направленные на изучение влияния меди на свойства чугуна является актуальным. Поскольку свойства материала находятся во взаимосвязи со структурой, были проведены исследования, направленные на выявление структурных особенностей чугунов с разным содержанием меди.

Методика экспериментального исследования:

Для проведения исследования использовался чугун, содержащий 3,1 % C, 0,51 % Mn, 0,23 % Si, 0,9 % Al. Содержание меди изменялось от 0,08 до 14,7 мас. %. Микроструктурные исследования проводились на оптическом микроскопе Carl Zeiss Axio Observer A1m на шлифах, химически травленных четырехпроцентным спиртовым раствором HNO₃. Для определения склонности чугуна к «отбелу» были отлиты образцы диаметром 82 мм. Нижняя часть литейной формы была снабжена холодильником, для обеспечения направленной кристаллизации.

Результаты и обсуждения:

В результате проведения металлографических исследований выявлено, что медь влияет на распределение графита в структуре чугуна. При содержании меди в чугуне до 6 % графит имеет пластинчатую форму значительных изменений формы и размера графита не происходит. При повышении содержания меди выше 10 % графит приобретает вермикулярную форму с междендритным распределением. Графит представляет собой мелкую сетку из пластинок длиной около 1 - 2 мкм.

Медь оказывает влияние на процесс графитизации железоуглеродистых сплавов не только в части распределения графитовых включений, но и в части изменения скорости кристаллизации. С повышением концентрации меди в чугуне изменяется склонность к «отбелу». На рисунке 1 видно, что при повышении концентрации меди толщина отбеленного слоя уменьшается. Минимальная глубина отбеленного слоя соответствует концентрации меди 6,57 мас. %. При концентрации меди 14,7 мас. % вся отливка представляет собой белый чугун с вкраплениями серого чугуна. Полученные данные коррелируют с литературными данными [2]. При повышении температуры заливки чугуна с высоким содержанием меди (более 8 – 10 мас. %) возможно получение серого чугуна, но в данном случае температура заливки всех образцов была одинакова, по этому, образец с 14,7 % меди представляет собой отливку белого чугуна.

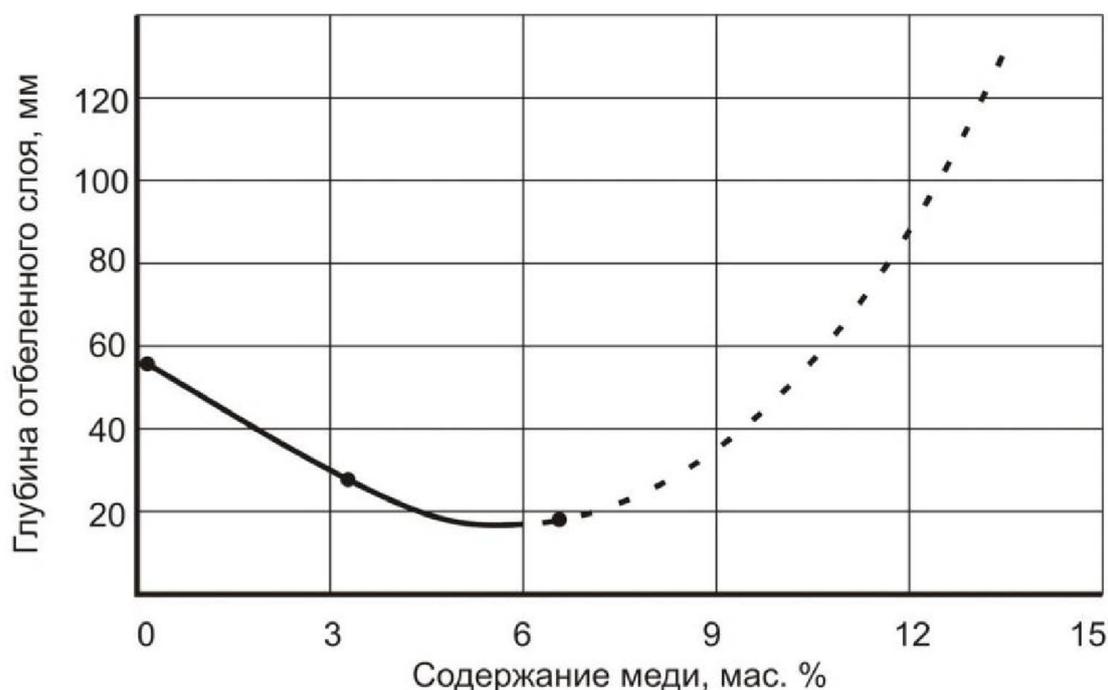


Рис. 1. Зависимость глубины отбеленного слоя от концентрации меди в сером чугуне

Методами оптической металлографии выявлено, что даже если образец чугуна с низким содержанием меди имел феррито-перлитную структуру, то при повышении концентрации меди до 3,27 мас. % и выше феррит в структуре уже не встречается (рис. 2), а при концентрации меди 14,7 мас. % структура образца содержит перлит и ледебурит.

При содержании в чугуне до 6 % меди крупные включения ϵ -меди не встречаются. В образце чугуна, содержащем 14,7 % меди шаровидные включения ϵ -меди равномерно распределены в плоскости шлифа. Объемная доля медьсодержащих частиц в структуре чугуна, выявленных методами оптической металлографии составила 3,35 %. Диаметр самых крупных из них достигает 240 мкм. В процессе построения диаграммы распределения медьсодержащих частиц учитывалась площадь, занимаемая частицами и их размер. На диаграмме (рис. 3) видны два пика распределений Гаусса, приходящихся на размер частиц 30 – 40 мкм и 150 – 160 мкм. Это связано с разными условиями образования этих частиц.

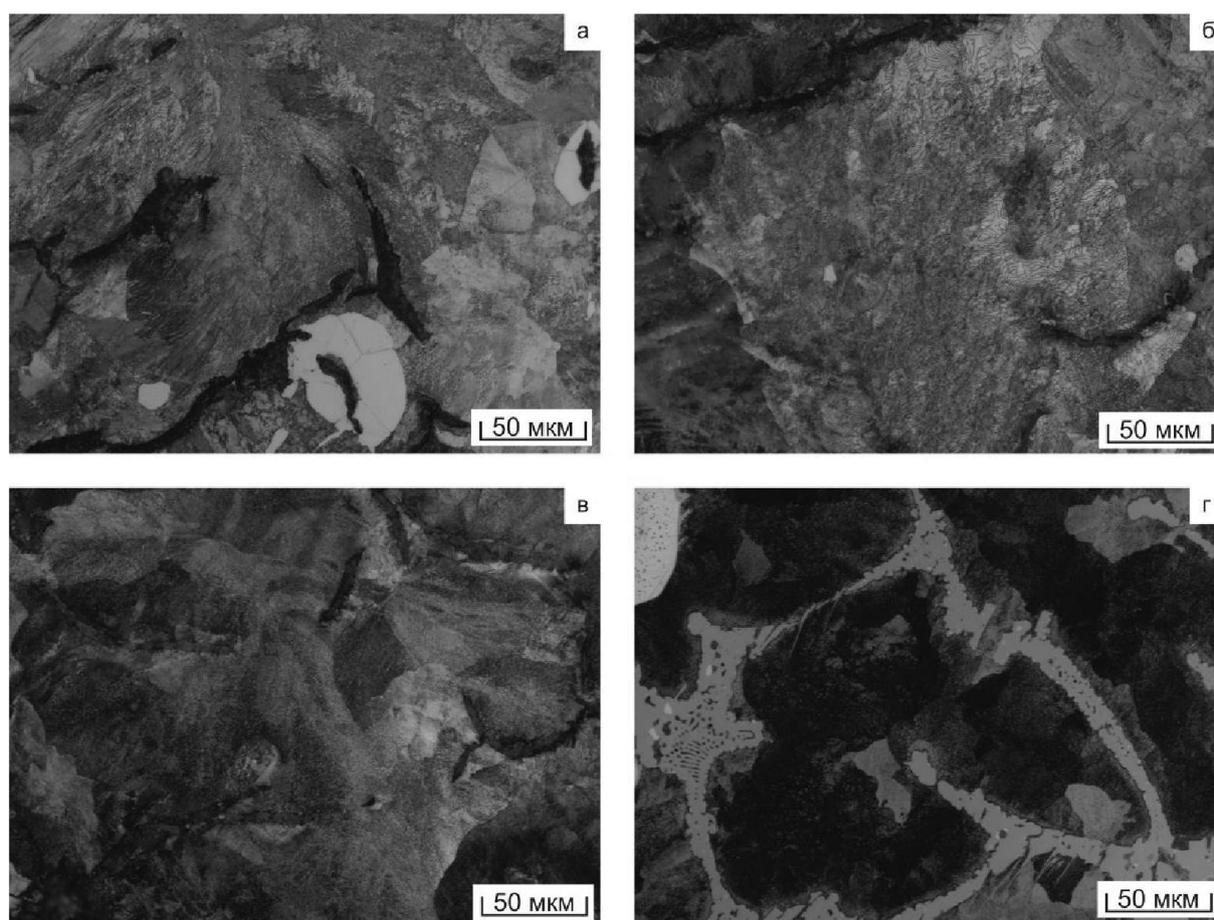


Рис. 2. Структур чугуна (а – 0,08 мас. % Cu, б – 3,27 мас. % Cu, в – 6,57 мас. % Cu, г – 14,7 мас. % Cu)

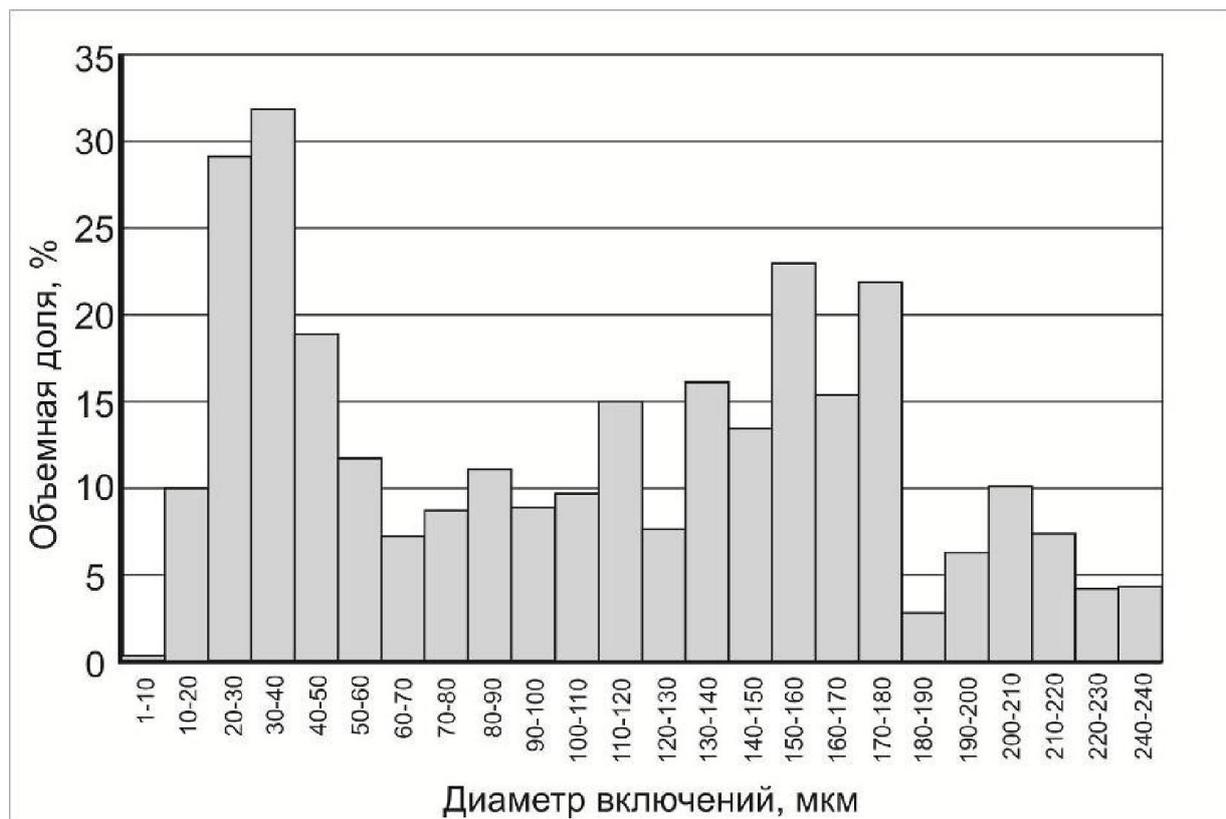


Рис. 3. Распределение по размерам медьсодержащих включений в образце чугуна, легированного 14,4 % меди и 0,9 % алюминия

Проанализировав диаграмму состояния Fe-Cu [3] можно сделать вывод, что при концентрации меди 14,7 % в сплаве все медьсодержащие частицы вероятно сформировались в результате вторичной кристаллизации. Частицы размером 150 – 160 мкм образовались в интервале температур $\sim 1280 - 1094$ °С, под кривой ретроградного солидуса, выделяясь из аустенита за счет диффузии, при этом частицы остаются в жидком состоянии вплоть до 1094 °С. В интервале температур 1094 – 850 °С уже в твердом состоянии образуются более мелкие частицы, а крупные увеличиваются в размере.

На основании диаграммы состояния Fe-Cu [4] максимальная растворимость меди в аустените составляет всего 13,4 мас. %, поэтому крупные частицы, размером 150 – 160 мкм образуются из жидкого состояния, а частицы, размером 30 – 40 мкм в процессе вторичной кристаллизации в интервале температур $\sim 1350 - 1094$ °С.

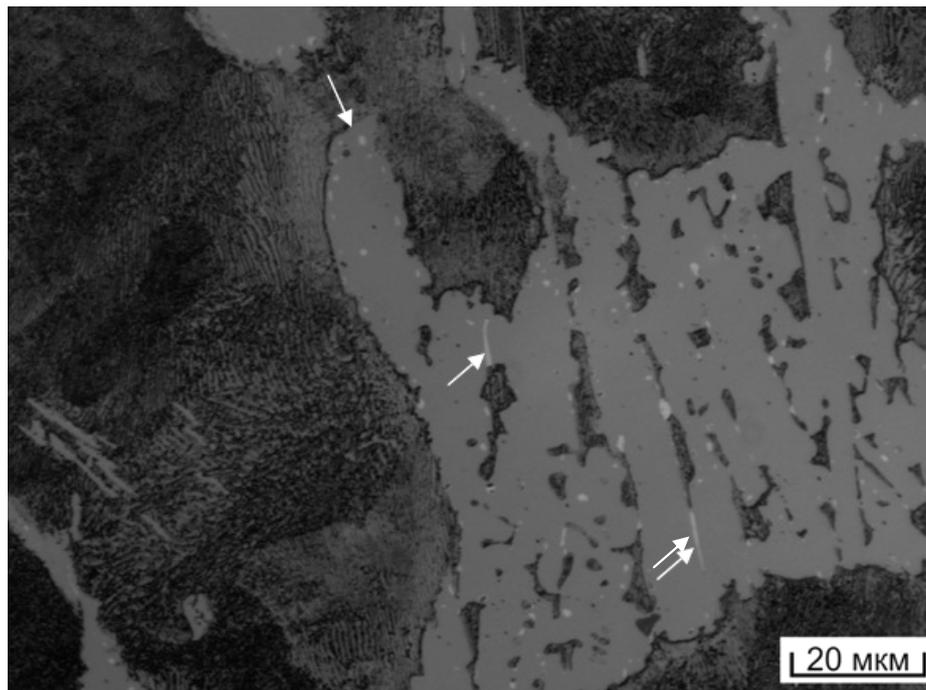


Рис. 4. Структура чугуна, легированного 0,9 мас. % Al и 14,7 мас. % Cu.
Стрелкой показаны включения меди

Определение температурного интервала и условий образования включений не представляется возможным, вследствие серьезных расхождений литературных данных [3, 4]. Округлая форма включений размером 2 – 240 мкм косвенно свидетельствует об их формировании в результате первичной кристаллизации.

Множество включений ϵ -меди размером 1 - 5 мкм имеют неправильную форму и располагаются сеткой в цементите входящем в состав ледебурита на расстоянии $\sim 5 - 10$ мкм от края между цементитом и перлитом, либо между зернами цементита (рис. 4). Вероятно, в процессе охлаждения в интервале температур 1094 – 850 °С ϵ -медь выделилась по границам зерна аустенита, и оттесняемая вторичным цементитом оказалась между первичным и вторичным цементитом.

Поскольку медь в железе при комнатной температуре практически не растворяется, то вся оставшаяся медь выделяется в феррите в виде включений размером ~ 20 нм [5].

Выводы

1. С повышением содержания меди в чугуне длина графитовых включений уменьшается. При содержании меди 14,7 % размер графитовых включений составляет $\sim 1 - 2$ мкм. Они располагаются колониями в междендритном пространстве.

2. С повышением содержания меди до 6 - 7 мас. % в чугунах, содержащих 3,1 % С при направленной кристаллизации глубина отбеленного слоя уменьшается. Дальнейшее повышение содержания меди увеличивает склонность к отбелу. При 14,7 % Cu структура образца соответствует белому чугуну.

3. При содержании в чугунах от 0 до ~ 7 % Cu включения ε -меди методами оптической микроскопии не обнаруживаются.

4. При содержании в чугунах 14,7 % Cu распределение шаровидных включений ε -меди имеют два пика на 30 – 40 мкм и 150 – 160 мкм.

Список литературы

1. Головин Е.Д. Влияние меди на антифрикционные свойства серых чугунов / Е.Д. Головин, В.А. Кузнецов, В. Кумар, П.А. Попелюх, Н.В. Степанова // Обработка металлов. Технология. Оборудование. Инструменты. - 2012. - № 1(54). - С. 81-84.

2. Сильман Г.И. О механизмах влияния меди на формирование структуры в чугунах / Г.И. Сильман, В.В. Камынин, В.В. Гончаров // Материаловедение и термическая обработка металлов №8. - 2007. - С. 16-22.

3. Диаграммы состояния двойных и многокомпонентных систем на основе железа: Справочник / Под ред. О.А. Банных, М.Е. Дрица.- М.: Металлургия, 1986. 440 с.

4. Лякишев Н.П. Диаграммы состояния металлических систем: Справочник: В 3 т.: Т. 2 /Под общ. ред. Лякишева Н.П. - М.: Машиностроение, 1996. - 1024 с.

5. Stepanova N.V. The effect of doping with copper and aluminium on structure, mechanical and friction properties of steel / N.V. Stepanova, A.A. Razumakov // The 8 international forum on strategic technologies (IFOST 2013): proc., Mongolia, Ulaanbaatar, 28 June – 1 July 2013. – Ulaanbaatar, 2013. – Vol. 1. – P.240-242.

Effect of copper content on the structure of gray cast iron

N.V. Stepanova

The structure of gray cast iron with a copper content of 0.08 to 14.7 wt. % investigated. The tendency to whiten cast iron of copper concentration shows. When the content of iron 0,9 % Al and 14,7 % Cu in the structure meet the inclusion ε -copper up to 240 microns. The distribution has two peaks at 30 - 40 μm and 150 - 160 μm .

Keywords: cast iron, structure, copper inclusions

669.15-194

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ МЕДИ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЕРОГО ЧУГУНА

Н.В. СТЕПАНОВА, аспирант
А.А. РАЗУМАКОВ, аспирант
И.Ю. ЖИЛЬЦОВ, аспирант
И.А. СОКОЛОВ, студент
(НГТУ, г. Новосибирск)

Н.В. Степанова – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
naty@ya.ru

Была исследована структура и механические свойства серого чугуна с содержанием меди от 0,08 до 14,7 мас. %. При содержании в чугуне 0,9 % Al и 14,7 % Cu в структуре образуются включения ϵ -меди размером до 240 мкм. Повышение содержания меди до ~ 7 мас. % в чугуне вызывает увеличение микротвердости перлита, твердости по Бринеллю и предела прочности при растяжении. При концентрации меди 14,7 мас. % происходит падение прочности при повышении твердости, что связано с появлением в структуре чугуна ледебурита.

Ключевые слова: чугун, структура, включения меди, твердость, прочность при растяжении

Введение

В настоящее время существует проблема в необходимости замены бронз в крупных узлах трения, ввиду малого срока службы и высокой стоимости деталей. Рассматриваются сплавы на основе чугуна с высоким содержанием меди, как перспективных антифрикционных материалов [1]. По этому, исследования, направленные на изучение влияния меди на структуру и свойства чугуна является актуальным. Проведены исследования, направленные на выявление структурных особенностей чугуна с содержанием меди от 0,08 до 14,7 мас. %, оказывающих влияние на механические свойства этих материалов.

Методика экспериментального исследования

Были отлиты образцы чугуна, содержащие 3,1 % C, 0,51 % Mn, 0,23 % Si, 0,9 % Al. Содержание меди изменялось от 0,08 до 14,7 мас. %. Микроструктурные исследования проводились на оптическом микроскопе Carl Zeiss Axio Observer A1m на шлифах, химически травленных четырехпроцентным спиртовым раствором HNO_3 . Твердость по Бринеллю определялась по ГОСТ 9012 на приборе ТШ-2 с нагрузкой на индентор 3000 кг. Микротвердость по Виккерсу определялась на приборе 402MVD с нагрузкой на

индентор 100 г. Одноосное статическое растяжение было проведено на универсальной сервогидравлической системе типа Instron 300DX.

Результаты и обсуждения

В результате проведенных металлографических исследований выявлено, что медь влияет на распределение графита в структуре чугуна. При содержании меди в чугуне до 6 % графит имеет пластинчатую форму (рис. 1 а). Значительных изменений формы и размера графита не происходит. При повышении содержания меди выше 10 % графит приобретает вермикулярную форму с междендритным распределением. Графит представляет собой мелкую сетку из пластинок длиной около 1 - 2 мкм (рис. 1 б).

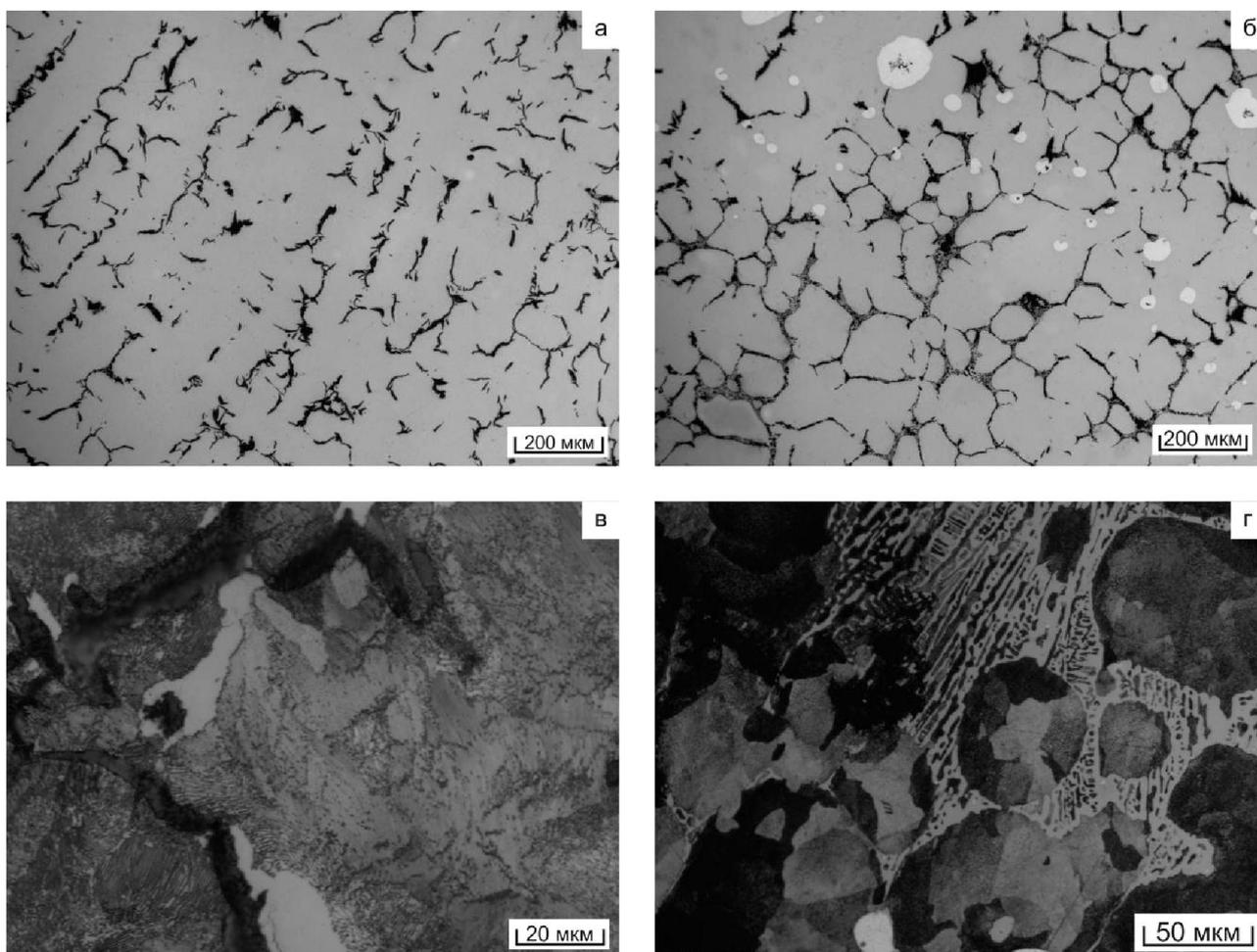


Рис. 1. Структур чугуна (а, в – 0,08 мас. % Cu, б, г – 14,7 мас. % Cu)

Методами оптической металлографии выявлено, что даже если чугуносодержащий 0,08 мас. % меди имел феррито-перлитную структуру, то при повышении концентрации меди до 3,27 мас. % и выше феррит в структуре уже

не встречается, а при концентрации меди 14,7 мас. % структура образца содержит перлит и ледебурит (рис. 1 в, г).

В чугуне, содержащем до 6 % меди крупные включения ϵ -меди не встречаются. В образце, содержащем 14,7 % меди шаровидные включения ϵ -меди равномерно распределены в плоскости шлифа (рис. 1 б, г). Объемная доля медьсодержащих частиц в структуре чугуна, выявленных методами оптической металлографии составила 3,35 %. Диаметр самых крупных из них достигает 240 мкм.

Поскольку медь в железе при комнатной температуре практически не растворяется, то вся оставшаяся медь выделяется в феррите в виде включений размером ~ 20 нм [2].

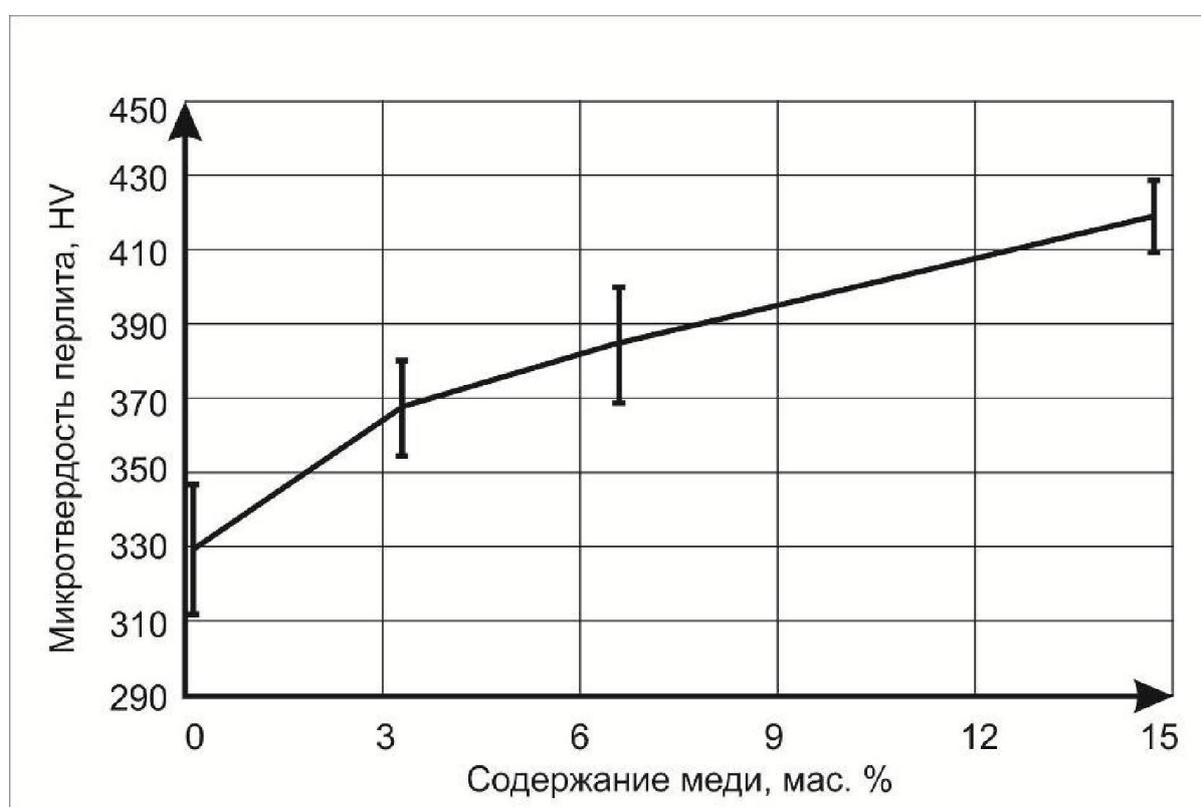


Рис. 2. Влияние меди на микротвердость перлита в чугунах

Вероятно, в процессе деформации наноразмерные включения останавливают дислокации, за счет чего повышается твердость перлита (рис. 2), и как следствие, всего материала (рис. 3).

Твердость коррелирует с прочностью при растяжении, поэтому заметен рост прочности (рис. 4). Рост прочности и твердости также можно связывать с увеличением доли цементита в образцах с ростом содержания меди. Такая картина характерна для образцов с содержанием меди до 6,57 % включительно.

При концентрации меди 14,7 % заметен рост твердости и микротвердости перлита совместно с падением предела прочности. Это связано с появлением ледебурита в структуре чугуна. Влияние увеличения микротвердости перлита,

как величины вызывающей повышение прочности, нивелируется охрупчиванием материала в виду появления в структуре чугуна ледебурита.

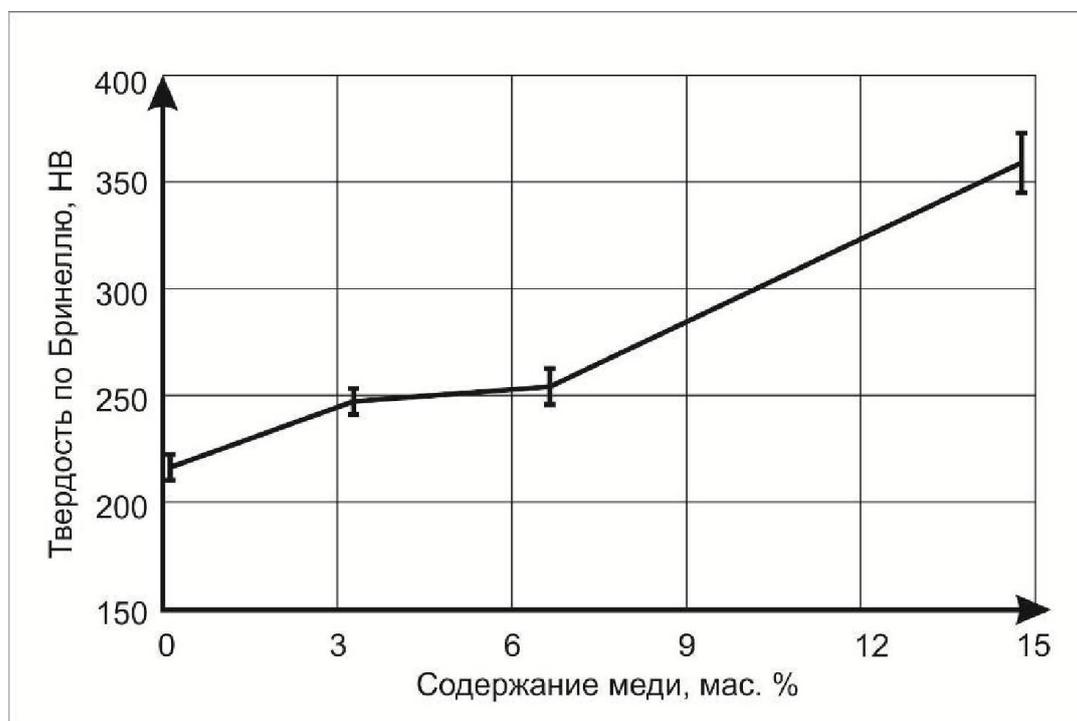


Рис. 3. Влияние меди на твердость по Бринеллю чугуна

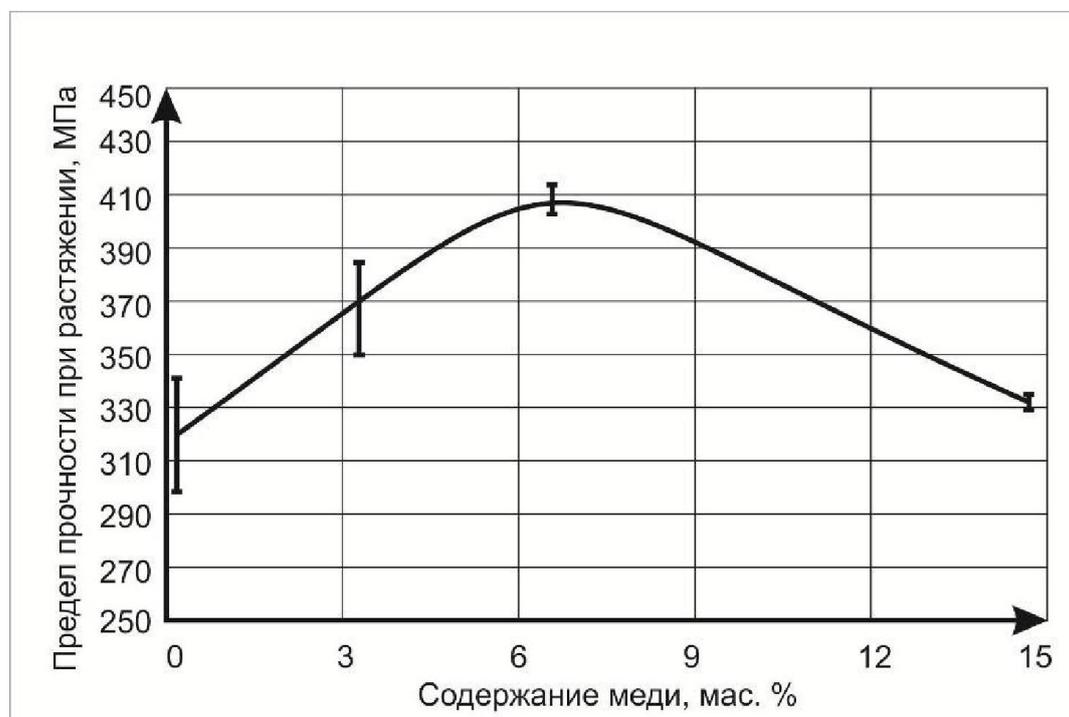


Рис. 4. Влияние меди на предел прочности при растяжении чугуна, легированного алюминием

Выводы

1. С повышением содержания меди в чугунах длина графитовых включений уменьшается. При содержании меди 14,7 % размер графитовых включений составляет ~ 1 – 2 мкм. Они располагаются колониями в междендритном пространстве.

2. При содержании в чугунах от 0 до ~ 7 мас. % Cu включения ϵ -меди методами оптической микроскопии не обнаруживаются.

3. С повышением содержания меди до ~ 7 мас. % Cu в чугунах увеличивается микротвердость перлита, твердость по Бринеллю и предел прочности при растяжении.

4. При концентрации меди 14,7 % заметен рост твердости и микротвердости перлита совместно с падением предела прочности в виду структурных изменений.

Список литературы

1. Головин Е.Д. Влияние меди на антифрикционные свойства серых чугунов / Е.Д. Головин, В.А. Кузнецов, В. Кумар, П.А. Попелюх, Н.В. Степанова // Обработка металлов. Технология. Оборудование. Инструменты. - 2012. - № 1(54). - С. 81-84.

2. Stepanova N.V. The effect of doping with copper and aluminium on structure, mechanical and friction properties of steel / N.V. Stepanova, A.A. Razumakov // The 8 international forum on strategic technologies (IFOST 2013): proc., Mongolia, Ulaanbaatar, 28 June – 1 July 2013. – Ulaanbaatar, 2013. – Vol. 1. – P.240-242.

Effect of copper content on the structure and mechanical properties of gray cast iron

N. V. Stepanova, A. A. Razumakov, I. U. Zhil'tsov, I. A. Sokolov

The structure and mechanical properties of gray cast iron with a copper content of 0.08 to 14.7 wt. % investigated. When the content of iron 0,9 % Al and 14,7 % Cu in the structure meet the inclusion ϵ -copper up to 240 microns. The distribution has two peaks at 30 - 40 μm and 150 - 160 μm . Increasing the copper content in the iron causes an increase in microhardness of pearlite, hardness and tensile strength.

Keywords: cast iron, structure, copper inclusions, hardness, tensile strength

УДК 539.219.3

ФОРМИРОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ТИПА «ТИТАН – АЛЮМИНИД ТИТАНА» МЕТОДОМ ИСКРОВОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ

Д.В. ЛАЗУРЕНКО, канд. техн. наук
О.Э. МАТЦ, студент
К.А. КУЗЬМИН, студент
(НГТУ, г. Новосибирск)

Лазуренко Д.В. - 630073, г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет
e-mail: pavlyukova_87@mail.ru

Рассмотрены особенности формирования структуры многослойных материалов системы «металл - интерметаллид». Было показано, что эффективной технологией формирования высококачественных слоистых материалов с интерметаллидными прослойками является искровое плазменное спекание металлических заготовок в цилиндрических формах при 830 °С и давлении 3 кН в течение 5 минут. Обработка при указанных режимах позволяет получить материал с высококачественными прослойками интерметаллидной фазы и микротвердостью до 3800 МПа.

Ключевые слова: плазменное искровое спекание; слоистые композиционные материалы; алюминиды титана.

1. Введение

В настоящее время актуальной является проблема разработки новых материалов, обладающих повышенным комплексом механических свойств и работающих в специфических условиях нагружения. К основным отраслям промышленности, предъявляющим повышенные требования к таким механическим характеристикам конструкционных материалов, как удельная прочность, удельная жесткость, жаропрочность, жаростойкость, коррозионная стойкость, относятся авиастроение, ракетостроение и химическая промышленность. Материалами, удовлетворяющими указанным требованиям, являются интерметаллиды [1-4]. Однако, несмотря на все достоинства интерметаллидных структур, их использование в промышленном производстве существенно ограничено, что объясняется низкими показателями пластичности и трещиностойкости, характерными для материалов такого типа [5]. Таким образом, целесообразным представляется формирование композиционных материалов с интерметаллидной составляющей. Одними из перспективных композитов на металл-интерметаллидной основе являются слоистые материалы, формирование интерметаллидной прослойки в которых реализуется в процессе химического взаимодействия двух металлов при нагреве.

К основным способом получения материалов типа «металл - интерметаллид» можно отнести диффузионную сварку, прокатку с последующим нагревом металлических заготовок и сварку взрывом в сочетании с дополнительной термической обработкой. Однако нашедшая в последние годы широкое применение технология искрового плазменного спекания, предназначенная для синтеза широкой номенклатуры материалов, может быть применима также к формированию слоистых металл-интерметаллидных композиционных материалов.

Одной из наиболее исследуемых металлических систем, склонных к химическому взаимодействию с образованием интерметаллидной фазы, является система «алюминий – титан». Интерметаллиды, образующиеся при взаимодействии данной пары, обладают высокой прочностью и низкой плотностью, а комбинирование их с вязкими металлическими прослойками позволяет значительно повысить пластичность и трещиностойкость материалов [6-7]. Таким образом, формирование слоистых материалов типа «титан-алюминид титана» методом искрового плазменного спекания представляется актуальной задачей.

2. Материалы и методы

Формирование композитов с интерметаллидными прослойками возможно по двум основным температурным режимам: при температуре, ниже температуры плавления алюминия ($660\text{ }^{\circ}\text{C}$) и при температуре выше перехода алюминия в жидкую фазу. При реализации второго режима диффузионные процессы будут протекать значительно быстрее, однако, в процессе спекания образцов под давлением возможно вытекание алюминия из заготовок в рабочую камеру SPS установки. Для предотвращения указанной технологической особенности были подготовлены цилиндрической формы из титана, состоящие из двух половин. Алюминиевые и титановые фольги, имеющие форму окружностей, располагались в одной из полуформ, совпадающей с ними по внутреннему диаметру (26 мм), поочередно. Вторая полуформа, диаметром 30 мм, использовалась в качестве крышки. Толщина алюминиевой и титановой фольг составила 100 и 200 мкм соответственно. Для изготовления одного образца было использовано 70 металлических пластин.

Подготовленные образцы помещались в камеру установки для плазменного искрового спекания *Labox-1575*. Обработка образцов проводилась по двум режимам. Первый режим заключался в нагреве образца до температуры $830\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выдержке при этой температуре в течение 1 минуты. Нагрев проводился со скоростью $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ в минуту. Давление на образец составляло 3 кН. Искровое плазменное спекание второго образца проводилось

при тех же давлении и температуре, однако длительность выдержки была увеличена до 5 минут.

Структурные исследования полученных образцов проводили на оптическом микроскопе *Carl Zeiss Axio Observer Zlm* и растровом электронном микроскопе *Carl Zeiss EVO 50 XVP*. Фазовый состав композиций был определен методом рентгеноструктурного анализа с помощью рентгеновского дифрактометра ARL X'TRA. Микротвердость определялась на приборе Wolpert Group 402 MVD

3. Результаты и обсуждение

Структурные исследования показали, что сочетания давления и температуры, подобранные для реализации технологии искрового плазменного спекания являются избыточными, вследствие чего алюминий был частично выдавлен из образца, не успев провзаимодействовать с титаном. Кроме того, пластичность титана при повышенной температуре существенно возрастает, вследствие чего происходит деформация титановой формы. Таким образом, совокупность указанных факторов привела к общему уменьшению толщины образцов на 10..30 %.

Результаты металлографических исследований свидетельствуют о формировании многослойных композитов типа «металл - интерметаллид». Толщина интерметаллидной прослойки в обоих образцах неравномерная и отличается, как для отдельных интерметаллидных прослоек, так и в пределах одного слоя. Средняя толщина прослоек алюминиды титана в образцах варьируется в диапазоне от 45 до 80 мкм. Следует отметить, что плотность интерметаллида в прослойках, характеризующихся меньшей толщиной, значительно выше (рис. 1).

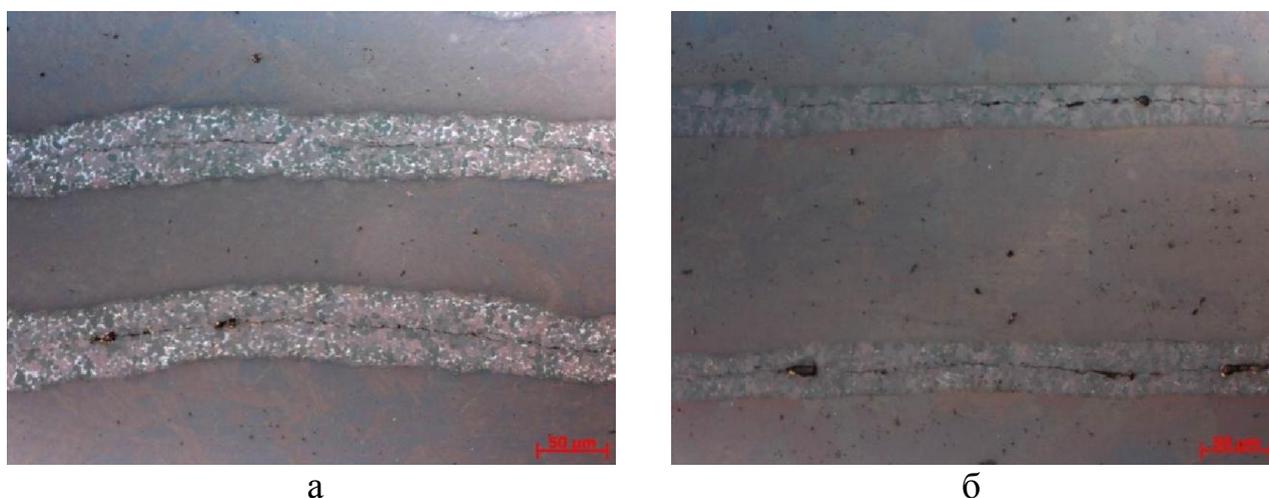


Рис. 1. Структура интерметаллидных прослоек различной толщины в образце, сформированном по режиму №1.

В тоже время в образце, сформированном по режиму №2, рыхлые интерметаллидные прослойки практически отсутствуют, что можно объяснить более длительной выдержкой материала при повышенной температуре (рис 2 а). Интерметаллид с менее плотной структурой был обнаружен только в краевых участках образца (рис 2 б).

Следует отметить особенность, наблюдаемую в прослойках интерметаллида, сформированного в процессе пятиминутной выдержки. На границах раздела таких прослоек с титаном наблюдается образование еще одного тонкого слоя, который, предположительно, может иметь химический и фазовый состав, отличающийся от состава основной прослойки алюминидов (рис. 3). Толщина указанной прослойки составляет 1,5...2 мкм. Визуально можно определить, что она образована тремя составляющими. Вероятнее всего, в данном случае мы наблюдаем формирование обогащенных титаном фаз. Их образование обусловлено взаимодействием титана с интерметаллидом в отсутствие алюминия, который, в процессе взаимодействия с титаном, был истрачен на формирование триалюминидов титана – наиболее термодинамически выгодной интерметаллидной фазы в исследуемой системе.

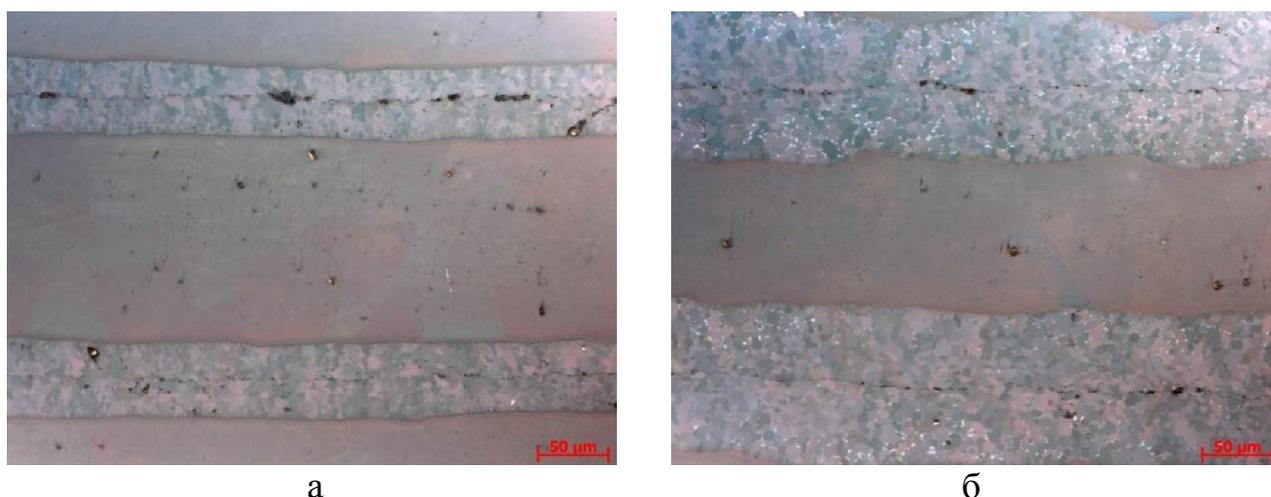


Рис. 2. Структура интерметаллидных прослоек различной толщины в образце, сформированном по режиму №2: а – центральная часть образца; б – краевой участок.

Однако рентгеноструктурный анализ не позволил достоверно определить наличие каких-либо фаз, кроме алюминия, титана и Al_3Ti , что свидетельствует об их низкой объемной доле в структуре материала (рис. 4).

Результаты исследования микротвердости полученных материалов приведены на рис. 5. Было установлено, что микротвердость интерметаллидных прослоек, сформированных в процессе выдержки многослойного пакета в течение 1 минуты ниже, чем микротвердость триалюминидов титана, сформированного в образце по режиму №2, что объясняется более плотной структурой последнего. Средний уровень микротвердости интерметаллидов в

образцах, сформированных по режимам №1 и №2, составляет ~2900 МПа и 3800 МПа соответственно.

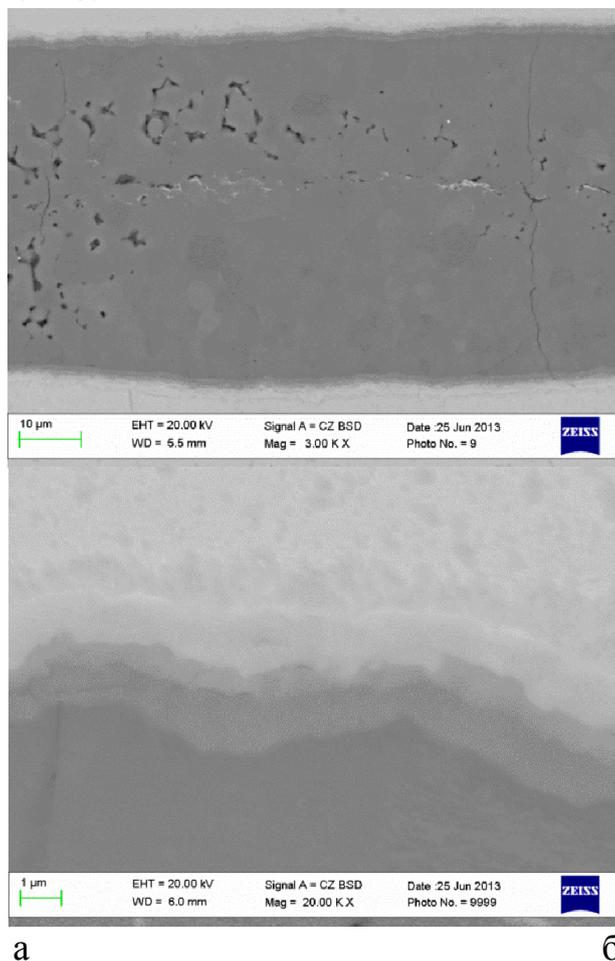


Рис. 3. Прослойка обогащенной титаном фазы на границе раздела «Ti-Al₃Ti».

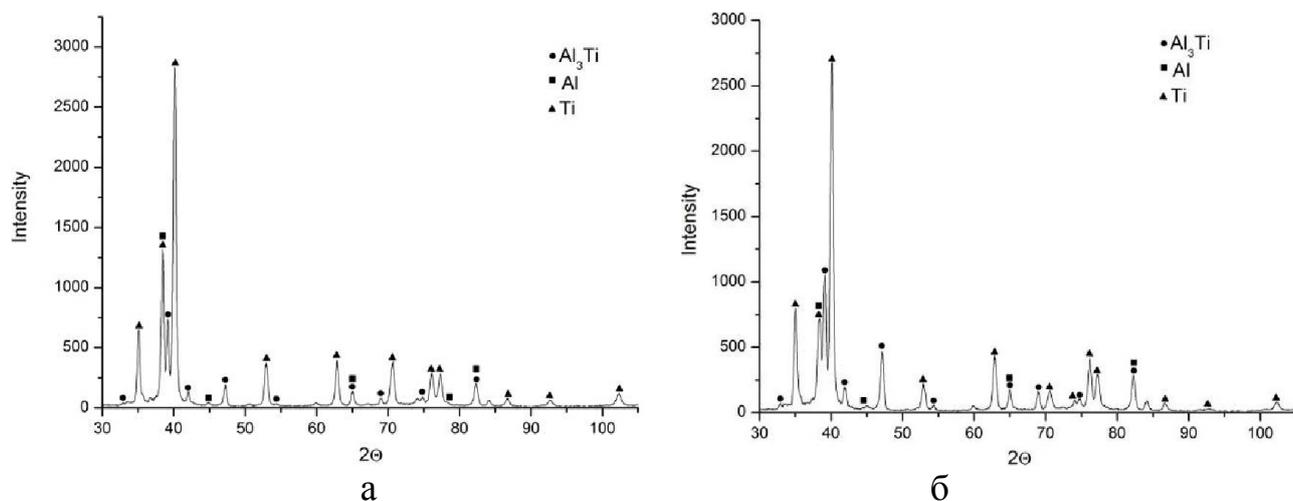


Рис. 4. Результаты рентгенофазового анализа образцов, сформированных по режиму №1 (а) и №2 (б).

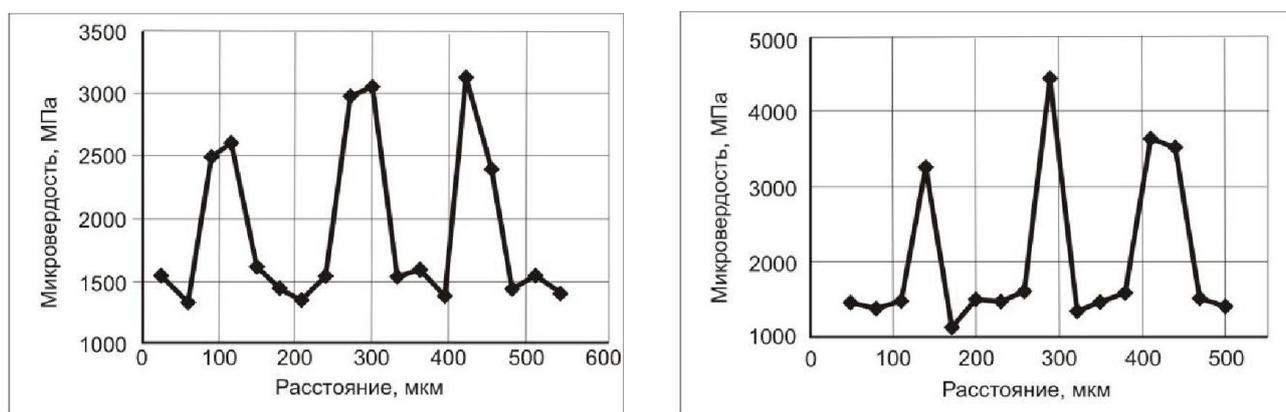


Рис. 5. Результаты дюрометрических исследований композитов, сформированных по режиму №1 (а) и по режиму №2 (б).

4. Выводы

На основании результатов проведенных исследований, можно сделать вывод, что искровое плазменное спекание является эффективной технологией формирования слоистых композитов типа «титан – алюминид титана». После 5 минут выдержки при температуре 830 °С и давлении 3 кН формируется интерметаллид с плотной структурой, не содержащей повышенного количества дефектов. Микротвердость интерметаллида, сформированного по указанному режиму, составляет 3800 МПа.

Список литературы

1. *Yap L. T., Pourkashanian M.* Low NO_x Oxy-fuel flames for uniform heat transfer . Proceedings the minerals, metals and materials society. 1996. P. 655–660.
2. *Евич Я. И., Подрезов Ю. Н., Ремез М. В., Коржова Н. П., Легкая Т. Н., Мельник В. Х.* Температурная зависимость предела текучести сплавов на основе триалюминида титана с L12-решеткой. Электронная микроскопия и прочность материалов : сб. науч. тр. Київ : ИПМ НАН.
3. *Zhang F., Lu L., Lai M. O., Froes F. H. S.* Grain growth and recrystallization of nanocrystalline Al₃Ti prepared by mechanical alloying. Journal of materials science. 2003. Vol. 38, № 3. P. 613–619.
4. *Milman Yu. V. , Miracle D. B. , Chugunova S. I. , Voskoboinik I. V. , Korzhova N. P., Legkaya T. N., Podrezov Yu. N.* Mechanical behavior of Al₃Ti intermetallics and L12 phases on its basis. Intermetallics. 2001. Vol. 9, iss. 9. P. 839–845.

5. Adharapurapu R. R., Vecchio K. S., Jiang F., Rohatgi A. Effects of ductile laminate thickness, volume fraction, and orientation on fatigue-crack propagation in Ti-Al₃Ti metal-intermetallic laminate composites. Metallurgical and materials transactions: A. 2005. Vol. 36, № 6 (june). P. 1595–1608.

6. Harach D. J., Vecchio K. S. Microstructure evolution in metal-intermetallic laminate (MIL) composites synthesized by reactive foil sintering in air. Metallurgical and material transaction: A. 2001. Vol. 32 (6). P. 1493–1505.

7. Rohatgi A., Harach D. d J., Vecchio K. S., Harvey K. P. Resistance-curve and fracture behavior of Ti-Al₃Ti metallic-intermetallic laminate (MIL) composites. Acta Materialia. 2003. Vol. 51, № 10. P. 2933–2957.

Formation of “titanium – titanium aluminide” composite materials by the method of spark plasma sintering

D.V. Lazurenko, O.E. Matts, K.A. Kuzmin

Particularities of the multilayered “metal - intermetallic” materials structure formation were considered. Spark plasma sintering of metal blanks in cylindrical molds at the temperature of 830 °C and 3 kN pressure during 5 minutes was founded as the most efficient technology of formation of materials with intermetallic layers. The regime described above allows fabricating material with high-quality intermetallic layers and up to 3800 MPa microhardness level.

Key words: spark plasma sintering, multilayered composites, titanium aluminides.

УДК 621.791.92, 621.793.79

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА НАПЛАВОЧНОЙ СМЕСИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ТИТАНА

*О.Г. ЛЕНИВЦЕВА, аспирант,
В.В. САМОЙЛЕНКО, аспирант,
П.Н. КОМАРОВ, студент,
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Ленивцева О.Г. – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: lenivtseva_olga@mail.ru

Работа посвящена исследованию структуры и свойств материалов, полученных методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки порошков карбида титана и карбида ниобия на заготовки из технически чистого титана. Процесс наплавки осуществлялся на промышленном ускорителе электронов ЭЛВ-6 в Институте ядерной физики СО РАН, особенностью которого является возможность выводить пучок электронов в воздушную атмосферу. Для защиты материалов от окисления в процессе обработки в порошковую смесь добавляли 50 % защитного флюса. В структуре полученных покрытий присутствуют карбидные частицы различной морфологии. Микротвердость полученных слоев в несколько раз превышает твердость технически чистого титана. В работе показано, что износостойкость поверхностного слоя, полученного при наплавке порошков карбида титана в 9,4 раз выше износостойкости титана ВТ1-0.

Ключевые слова: титан, электронно-лучевая наплавка, карбид титана, микротвердость, износостойкость.

Введение

Титановые сплавы являются важнейшими материалами, используемыми в современной промышленности. Крупнейшим производителем титанового полуфабриката в мире является российская корпорация «ВСМПО-АВИСМА». Основные потребители их продукции - мировые авиакомпании, предприятия химической и ядерной промышленности, медицина. Широкое распространение титановых сплавов обусловлено их высокой удельной прочностью и отличной коррозионной стойкостью [1]. В то же время они отличаются низкой износостойкостью, высоким коэффициентом трения и склонностью к контактному схватыванию. Это существенно ограничивает области применения данного материала. Использование традиционных методов химико-термической обработки (борирование, цементация, азотирование) для поверхностного упрочнения титановых сплавов не рационально, поскольку для получения упрочненного слоя толщиной свыше 100 мкм необходимо значительно увеличивать время и температуру выдержки [2]. Однако подобные

условия обработки требуют повышенного расхода электрической энергии и приводят к росту зерна титана.

Перспективным методом повышения триботехнических свойств титана является получение высокопрочных поверхностных слоев с использованием процессов наплавки лазерным и электронным лучом. Функцию упрочняющих частиц может выполнять карбид титана, который обладает высокой твердостью, износостойкостью и низким коэффициентом трения. Формирование частиц карбидов в поверхностном слое титановой заготовки возможно путем наплавки смеси порошков TiC+Ti [3], TiC [4,5], TiC+Al [6], углеродных нанотрубок [7] и графита [4, 8, 9].

В данной работе применялась технология наплавки порошков карбида титана и ниобия с использованием мощного промышленного ускорителя электронов ЭЛВ-6. Оборудование разработано специалистами Института ядерной физики СО РАН им. Г.И. Будкера в 80-х годах прошлого века и в настоящее время не имеет аналогов в мире [10]. Отличительной особенностью данного ускорителя электронов является вывод пучка электронов в воздушную атмосферу, что является преимуществом при обработке крупногабаритных изделий. В процессе высокоскоростного нагрева и охлаждения на поверхности титановых заготовок формируется структура, обеспечивающая повышение комплекса физико-механических свойств материала. Нанесение упрочняющих покрытий является экономически выгодным процессом и позволяет рационально использовать упрочняющие компоненты лишь в тонком поверхностном слое, сохраняя при этом свойства основного металла.

Основной целью данной работы было изучение влияния состава исходной наплавочной смеси на структуру и свойства поверхностного слоя титана ВТ1-0.

Материалы и методы исследования

В качестве материала основы использовались пластины размером 10x50 мм, изготовленные из листа титанового сплава ВТ1-0 толщиной 10 мм. Наплавочная смесь состояла из порошков карбида титана (образец ТС) и карбида ниобия (образец НС). С целью защиты обрабатываемых материалов от воздействия газов атмосферы и обеспечения равномерного плавления в порошковую смесь добавляли 50 % (вес.) защитного флюса CaF₂. Обработка проводилась на промышленном ускорителе электронов ЭЛВ-6 в Институте ядерной физики СО РАН им. Будкера. Плотность порошковой насыпки составляла 0,2 г на 1 см².

Технологические режимы наплавки подбирались на основе проведенных ранее экспериментальных исследований [11]. Энергия пучка электронов составляла 1,4 МэВ, скорость перемещения образцов относительно

электронного луча – 25 мм/с, ток пучка – 32 мА, частота сканирования – 50 Гц, расстояние от выпускного окна до заготовки – 90 мм.

Для изучения структуры наплавленного слоя и зоны термического влияния использовался оптический микроскоп Carl Zeiss Axio Observer A1m и растровый электронный микроскоп Carl Zeiss EVO 50 XVP. Оценка уровня микротвердости наплавленного слоя проводилась на микротвердомере Wolpert Group 402 MVD под нагрузкой 0,98 Н.

Износостойкость наплавленного слоя определялась в условиях воздействия нежестко закрепленных абразивных частиц по ГОСТ 23.208-79.

Результаты и обсуждение

При реализации технологии электронно-лучевой наплавки порошков карбидов на заготовки из титана VT1-0 были сформированы качественные покрытия. Структура полученных материалов имеет градиентное строение и характеризуется наличием трех зон: наплавленный слой, зона термического влияния (ЗТВ) и исходная структура титана. Покрытие и ЗТВ разделяется тонкой полоской материала, имеющего игольчатую структуру. Температура и скорость нагрева каждой из указанных зон в процессе наплавки была различной.

Наибольший интерес с точки зрения структурно-фазовых превращений представляет зона переплавленного металла, толщина которой составляет 1,4-1,7 мм. Температура в данной зоне была достаточной для расплавления порошков карбидов и поверхности основного металла при обработке пучком электронов. Вследствие низкой растворимости углерода в β -Ti в процессе кристаллизации в наплавленном слое формируются многочисленные включения карбидных частиц различной морфологии. Следует отметить, что объемная доля и форма карбидных частиц изменяются по толщине покрытия.

На рисунке 1 представлены микрофотографии структуры покрытий. В образце ТС были обнаружены карбидные частицы дендритной морфологии (рис. 1, а), в то время как эвтектический карбид титана наблюдается в основном вблизи ЗТВ и реже встречается в центральной части покрытия (рисунок 1, а, б). В структуре образца NS (рис. 1, в, г) выявлены конгломераты мелкодисперсных карбидных частиц. При этом дендритные построения встречаются реже. По границам зерен матричной фазы наблюдается сетка эвтектического карбида.

Микротвердость матричной фазы в переплавленном слое в 1,5-2 раза превышает твердость технически чистого титана и снижается от поверхности вглубь покрытия. В зоне термического влияния показатели микротвердости соответствуют уровню твердости основного металла.

Результаты триботехнических исследований показали, что износостойкость образца NS практически не повышается по сравнению с

технически чистым титаном. В результате трения происходит интенсивный износ титановой матрицы и выкашивание мелкодисперсных карбидных частиц. Потеря массы образца ТС в процессе изнашивания в 9,4 раза ниже потери массы технически чистого титана. Можно предположить, что карбидные частицы дендритной морфологии оказывают положительное влияние на показатели износостойкости титана, препятствуя интенсивному изнашиванию основы.

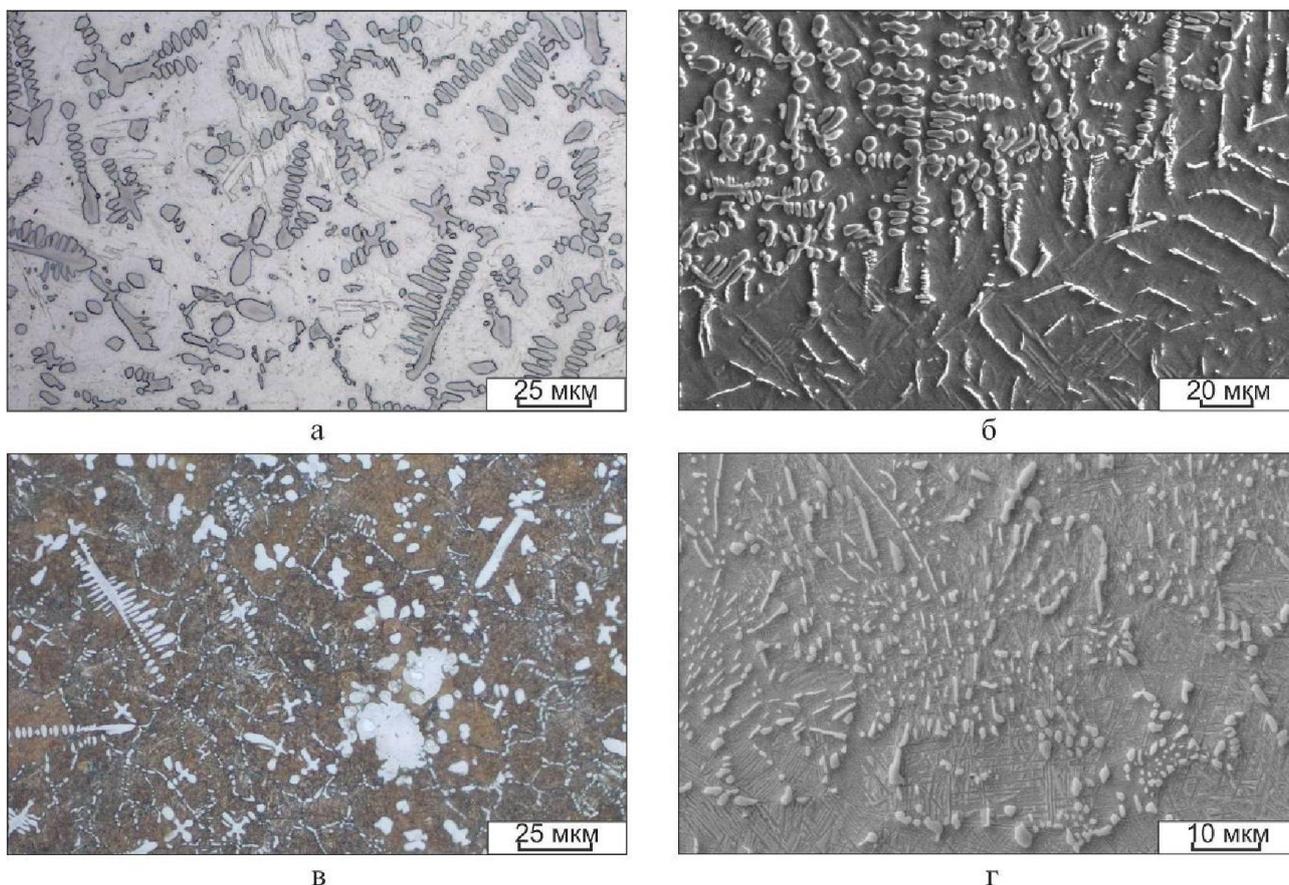


Рис. 1. Структура наплавленного слоя:
а, б – образец ТС; в, г – образец NS

Выводы

Использование технологии вневакуумной электронно-лучевой наплавки порошков карбидов на титановую основу позволяет формировать качественные покрытия. При этом твердость наплавленных слоев в несколько раз превышает твердость основного металла. Потеря массы образца ТС, полученного при наплавке порошка TiC в 9,4 раза меньше потери массы технически чистого титана. Наплавка порошка карбида ниобия не оказывает значительного прироста износостойкости.

Список литературы

1. *Lütjering G., Williams J. C.* Titanium (Engineering Materials and Processes). Berlin : Springer, 2007. 442 p
2. Чечулин Б. Б. Титановые сплавы в машиностроении. Л.: Машиностроение, 1977. 248 с.
3. Surface modification of TC4 Ti alloy by laser cladding with TiC+Ti powders/ *K. Zhang, J. Zou, J. Li, Z. Yu, H. Wang* // Transactions of Nonferrous Metals Society of China. 2010. Vol. 20. Iss.11. P. 2192-2197.
4. Structural and mechanical characterization of Ti/TiC cermet coatings synthesized by laser melting / *Fouilland-Paille, S. Ettaqi, S. Benayoun, J.J. Hantzpergue* // Surface and Coatings Technology. 1997. Vol. 88. Iss.1. P. 204-211.
5. *Oh J.Ch., Lee S., Golkovski M.G.* Improvement of the hardness and wear resistance of (TiC,TiN)/Ti-6Al-4V surface-alloyed materials fabricated by high-energy electron-beam irradiation // Metallurgical & Materials Transactions: A. 2001. Vol. 32. Iss.. P. 2995–3005.
6. Microstructure characteristics of Ti₃Al/TiC ceramic layer deposited by laser cladding / *J. Li, C. Chen, L. Zong* // International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. 2011. Vol. 29. Iss. 1. P. 204-211.
7. *Savalani M.M., Ng C.C., Li Q.H., Man H.C.* In situ formation of titanium carbide using titanium and carbon-nanotube powders by laser cladding // Applied Surface Science. 2012. Vol. 258. Iss. 7. P. 3173–3177.
8. *Hamedi M.J., Torkamany M.J., Sabbaghzadeh J.* Effect of pulsed laser parameters on in-situ TiC synthesis in laser surface treatment // Optics and Lasers in Engineering. 2011. Vol. 49. Iss. 4. P. 557–563.
9. *Courant B., Hantzpergue J.J., Benayoun S.* Surface Treatment of titanium by laser irradiation to improve resistance to dry-sliding friction // Wear. 1999. Vol. 236. P. 39–46.
10. *Salimov R.A., Cherepkov V.G., Golubenko J.I., Krainov G.S., Korabelnikov B.M., Kuznetsov S.A., Kuksanov N.K., Malinin A.B., Nemytov P.I., Petrov S.E., Prudnikov V.V., Fadeev S.N., Veis M.E.* D.C. high power electron accelerators of ELV-series: status, development, applications // Radiation Physics and Chemistry. – 2000. – Vol. 57. – Iss. 3–6. – P. 661-665.
11. *Батаев И.А., Журавина Т.В., Руктуев А.А., Ленивецва О.Г., Ромашова Ю.Н.* Структурные исследования покрытий системы «титан-тантал», полученных методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки // Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. 2012. № 3(56). С. 56–59.
12. Вневакуумная электронно-лучевая наплавка углеродсодержащих порошковых смесей на заготовки из титана VT1-0 / *О. Г. Ленивецва, И. А. Батаев, В.В. Иванцовский, Н.С. Белоусова, Е.Д. Головин, Т.А. Зимоглядова*// Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. 2013. № 4 (61). С. 49-57.

Influence of the mixture powders composition on the structure and properties of titanium surface layers

O.G. Lenivtseva, V.V. Samoylenko, P.N. Komarov

The paper is devoted to investigation of the structure and properties of materials obtained by the method of electron beam cladding of titanium carbide and niobium carbide powders into substrate of CP-titanium in air. The overlay welding process was carried out by using the industrial electron accelerator ELV- 6 at the Institute of Nuclear Physics. The particularity of this device is the injection of electron beam to the atmosphere. Protection of materials against the oxidation during the treatment process was realized by adding the 50 % protective flux to the powder mixture. The structure of titanium alloy coating contains the carbide particles with different morphologies. The microhardness level of titanium surface layers is greater than the hardness of commercially pure titanium by several times. It was shown that the wear resistance of the surface layer fabricated during the overlay welding of titanium carbide powders is higher than the wear resistance of titanium VT1- 0 by 9.4 times.

Key words: titanium, electron-beam cladding, titanium carbide, microhardness, wear resistance

УДК 621.762:669.2

ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИТА «АЛЮМИНИД НИКЕЛЯ – НИКЕЛЬ» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ИСКРОВОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ

*Л.И. ШЕВЦОВА, аспирант,
Т.С. САМЕЙЩЕВА, аспирант,
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Шевцова Л.И.– 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: edeliya@ngs.ru

Композиты «алюминид никеля – никель» были получены с использованием технологии искрового плазменного спекания порошковой смеси никеля и алюминид никеля. В работе обсуждается влияние содержания никеля на механические свойства спеченных композитов. Установлено, что при одинаковых условиях спекания предел прочности при изгибе спечённого компакта максимален при содержании никеля ~ 30 % масс. (1900 МПа).

Ключевые слова: интерметаллиды, алюминид никеля, композит, порошковая металлургия, искровое плазменное спекание.

1. Введение

Известно, что интерметаллиды и материалы на их основе обладают характерными свойствами, в том числе низкой плотностью, высокими значениями температуры плавления, коррозионной стойкости и стойкости к окислению. Алюминиды никеля и сплавы на их основе считаются перспективными материалами для ряда отраслей химического машиностроения, авиации и космоса [1-3]. Однако более широкое промышленное применение данных материалов ограничено их повышенной хрупкостью при комнатной температуре, а также сложностью технологии получения готовых изделий.

В последние годы работы многих исследователей были направлены на изучение структуры и свойств материалов, получаемых по технологии искрового плазменного спекания [4-6]. Искровое плазменное спекание (SPS-метод) является эффективным методом порошковой металлургии, позволяющим получать высокоплотные материалы с повышенным комплексом механических свойств [5,6]. В работе [7] были определены оптимальные режимы спекания порошка алюминид никеля.

В представленной работе для получения композитов «алюминид никеля – никель» использовали технологию искрового плазменного спекания порошков алюминид никеля и никеля. Цель работы заключалась в изучении влияния соотношения компонентов на прочностные свойства спеченных компактов.

2. Материалы и методы исследования

В качестве исходных материалов использовали порошки карбонильного никеля (диаметром до 5 мкм) и промышленный порошок ПН85Ю15 (основная фаза Ni_3Al , 80 мкм). Порошковые смеси были получены путем перемешивания компонентов в планетарной шаровой мельнице Fritch Pulverisette 6. Процесс перемешивания осуществляли в течение 6 часов в изопропиловом спирте. Частота вращения опорного диска мельницы составляла 100 об/мин. Соотношение масс шаров и порошковой смеси было равным 5:1.

Образцы получали с помощью технологии искрового плазменного спекания порошковых смесей на установке Labox-1575 в Институте гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН. Процесс осуществляли следующим образом: готовую порошковую смесь засыпали в графитовую пресс-форму, затем помещали её в вакуумную камеру установки. Спекание проводили при следующих условиях: скорость нагрева и охлаждения составляла 100 °С/мин, давление прессования – 40 МПа, температура спекания – 1100 °С. В результате спекания были получены образцы цилиндрической формы диаметром 30 мм и высотой 5...6 мм. Плотность компактов рассчитывали, измеряя их массу и линейные размеры.

Металлографические исследования спеченных компактов выполняли на оптическом микроскопе Carl Zeiss Axio Observer Alm с использованием метода светлого поля. Электронномикроскопические исследования проводили на приборе типа Carl Zeiss EVO 50 XVP. Рентгенофазовый анализ спечённых образцов проводили на рентгеновском θ - θ дифрактометре ARL X`TRA.

Оценку твердости спеченных материалов проводили на приборе Wolpert Group 402 MVD. Отпечатки наносили при нагрузке на алмазный индентор 9,8 Н. Для определения среднего значения твердости на один образец наносили не менее 10 отпечатков.

Для оценки прочностных свойств материалов проводили испытания на трёхточечный изгиб при комнатной температуре. Образцы размерами 4x3x30 мм вырезали из спеченных заготовок на установке электроэрозионной резки Sodick AG 400L. Скорость перемещения траверсы при деформации образцов составляла 0,5 мин⁻¹.

3. Результаты и их обсуждение

При проведении рентгеноструктурного анализа спечённых образцов установлено, что фазовый состав материала, полученного

спеканием исходного порошка ПН85Ю15, представляет собой алюминиды двух типов: Ni_3Al и $NiAl$. Основной фазой является соединение Ni_3Al . В композите, полученном при введении в порошковую смесь 10 % (масс.) никеля, фаза $NiAl$ отсутствует. При анализе сплава, полученного в результате спекания порошковой смеси ПН85Ю15 и никеля в соотношении 7:3, зафиксированы фазы, соответствующие никелю и соединению Ni_3Al .

Структура материалов, полученных по технологии искрового плазменного спекания порошковых смесей однородна по всему объему. Макротрещины в спеченных образцах отсутствуют, однако имеются дефекты в виде мелких пор. Относительная плотность всех образцов, полученных SPS-методом, превышает 90 %. Такие значения плотности благоприятно отражаются на механических свойствах спеченных материалов.

Результаты измерения твердости анализируемых материалов с различным содержанием никеля отражены на рис. 1. Наибольшее значение твердости (3100 МПа) соответствует материалу, полученному при спекании порошка ПН85Ю15. Твердость компактов, полученных при добавлении в порошковую смесь 10-30 % Ni , снижается. При увеличении содержания никеля до 70 % твердость материалов снижается до 1500 МПа.

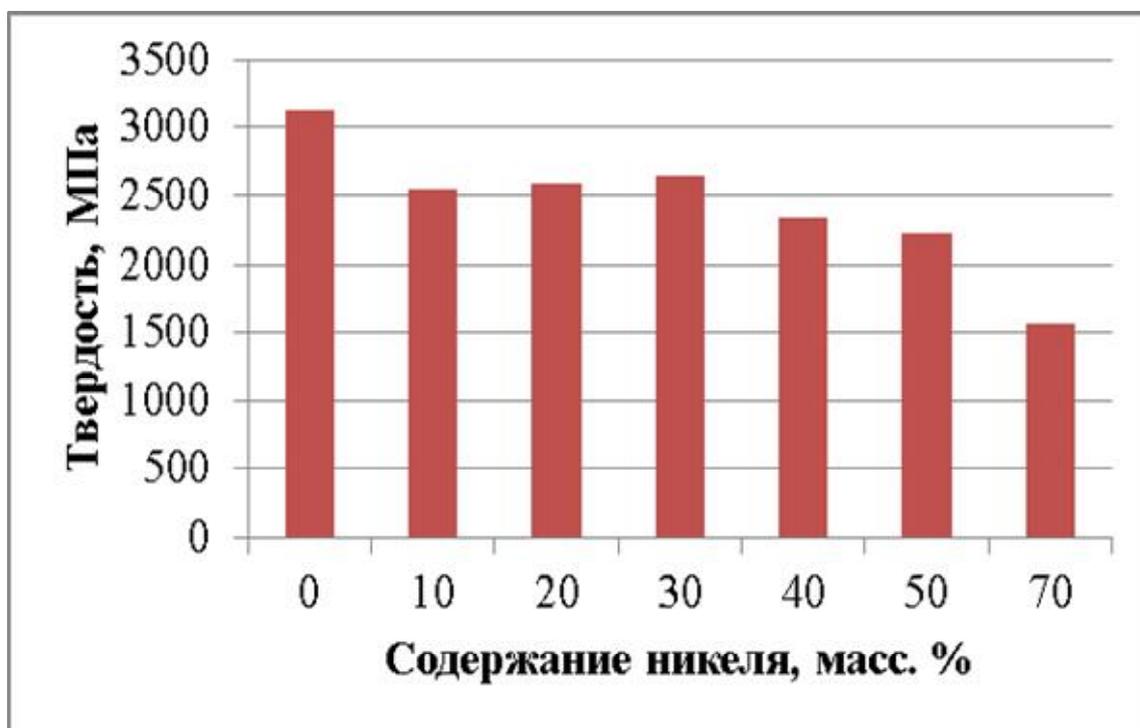


Рис. 1. Твердость композита «алюминид никеля – никель».

В качестве критерия прочностных свойств материалов использовали величину предела прочности при изгибе. Максимальной прочностью (1900 МПа) обладает композит, полученный при спекании порошковой смеси алюминида никеля и никеля в соотношении 3:7. Предел прочности образца, полученного спеканием порошка ПН85Ю15 (890 МПа), почти в два раза меньше. При увеличении содержания никеля более 30 % предел прочности компактов постепенно уменьшается.

На рис. 2 представлена зависимость предела прочности спеченных компактов от содержания в порошковой смеси никеля.

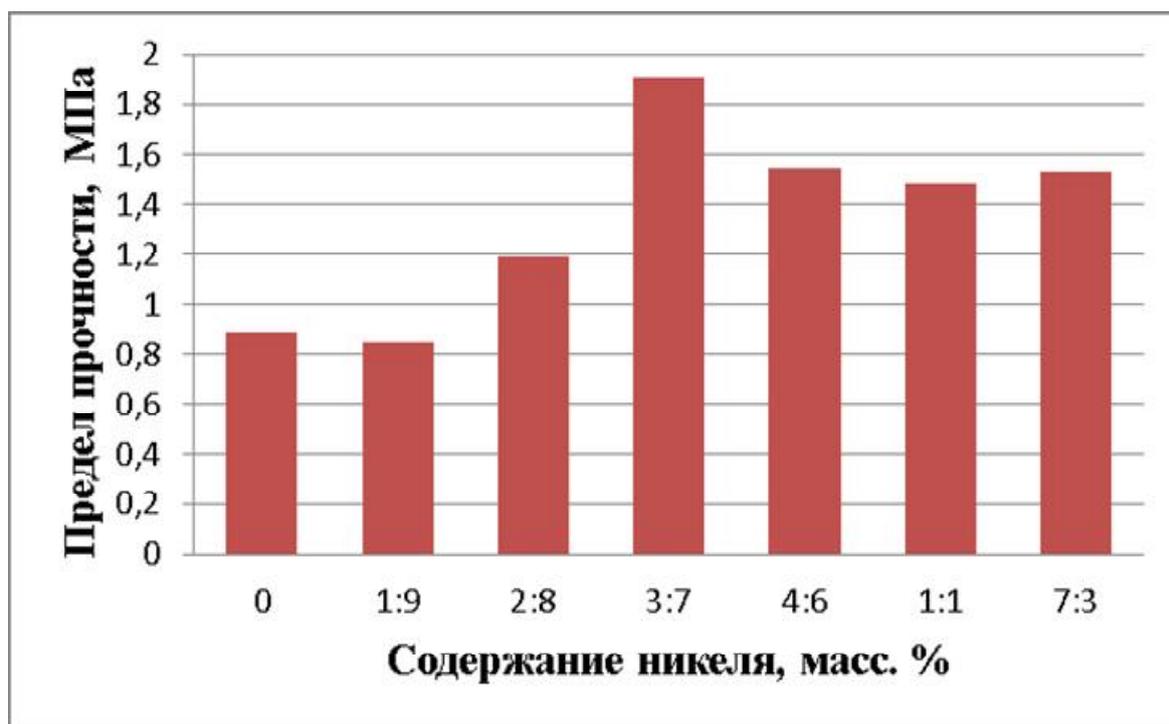


Рис.2. Предел прочности при изгибе композита «алюминид никеля – никель».

Выводы

1. Анализ результатов экспериментальных исследований свидетельствуют о том, что добавление в порошковую смесь мелких частиц никеля благоприятно отражается на плотности и прочностных свойствах спеченных композитов.

2. Наиболее высокие показатели механических свойств зафиксированы при испытании композита, содержащего 70 % порошка ПН85Ю15 и 30 % Ni.

Список литературы

1. Stone, H. E. N. The oxidation resistance and hardness of some intermetallic compounds // *Journal of Materials Science*. – 1974. – V. 9. – P. 607-613.
2. Taub A. I., Fleischer R. L. Intermetallic Compounds for High-Temperature Structural Use // *Science*. – 1989. – V. 243. – № 4891. – P. 616-621.
3. Deevi S.C., Sikka V.K. Nickel and iron aluminides: an overview on properties, processing, and applications // *Intermetallics*. – 1996. – № 4. – P. 357-375.
4. Tokita M. Trends in Advanced SPS (Spark Plasma Sintering) Systems and Technology // *J. Soc. Powd. Tech. Japan*. – 1993. – V. 30. – № 11. – P. 790-804.
5. D. Hulbert, D. Jiang, D. Dudina, A. Mukherjee. The synthesis and consolidation of hard materials by spark plasma sintering // *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. – 2009. – V. 27. – № 2. – P. 367-375.
6. D. H. Kwon, T. D. Nguyen, D. Dudina, J. S. Kim, Y. J. Yum, and Y. S. Kwon. Properties of dispersion strengthened Cu-TiB₂ nanocomposites prepared by spark plasma sintering // *Diffusion and Defect Data B*. – 2007. – V. 119 – P. 63-66.
7. Шевцова Л.И., Батаев И.А., Мали В.И., Анисимов А.Г., Лазуренко Д.В., Самейщева Т.С. Влияние температуры нагрева на структуру и механические свойства материала, полученного искровым плазменным спеканием порошка ПН85Ю15 // *Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты*. – 2003. - № 4 (61) – С. 35-42.

Fabrication of the "nickel aluminide - nickel" composite by using the spark plasma sintering technology

L.I. Shevtsova, T.S. Sameyshcheva

“Nickel aluminide – nickel” composites were fabricated by the spark plasma sintering of powder mixtures containing nickel and nickel aluminide. The effect of nickel content on the mechanical properties of the sintered composites is considered in this paper. It was found that under the same sintering conditions bending strength of sintered compacts has a maximum at nickel content of ~ 30 wt%. (1900 MPa).

Key words: intermetallics, nickel aluminide, composite, powder metallurgy, spark plasma sintering.

УДК 621.791.92

ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ И СТРУКТУРЫ ПОКРЫТИЙ ТРЕХКОМПОНЕНТНОЙ СИСТЕМЫ Ti-Ta-Nb СФОРМИРОВАННЫХ НА ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНА VT1-0 ВНЕВАКУУМНОЙ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ОБРАБОТКОЙ

*П.Н. КОМАРОВ, магистрант,
А.А. РУКТУЕВ, аспирант,
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Комаров П.Н. – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: pasha-molotov@mail.ru

В работе приведены результаты исследований свойств и структуры, пластин из титана марки VT1-0 поверхностно легированных танталом и ниобием методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки. В результате обработки на поверхности был сформирован бездефектный слой толщиной до 2 мм. Методами оптической и растровой электронной микроскопии установлено, что в покрытии наблюдается дендритная ликвация легирующих элементов. Структура покрытий имеет мелкодисперсное пластинчатое строение, что объясняется высокой скоростью кристаллизации. Стойкость к коррозии в кипящем 68 % растворе HNO_3 оценивалась весовым методом. Установлено, что легирование 16 % Ta и 5 % Nb снижает скорость коррозии по сравнению с технически чистым титаном в 24 раза, а при легировании 16 % Ta и 16 % Nb скорость коррозии снижается в 96 раз.

Ключевые слова: поверхностное легирование; электронно-лучевая наплавка; коррозионная стойкость; титановые сплавы; металлические порошки.

1. Введение

Титан и титановые сплавы благодаря своей высокой коррозионной стойкости и удельной прочности находят широкое применение в химической промышленности и ядерной энергетике.

В работах [1,2] отмечается, что перспективными являются материалы на основе титана легированного танталом и ниобием. Повышение коррозионной стойкости этих сплавов обеспечивается за счет формирования на поверхности плотных оксидных пленок типа Ta_2O_5 и Nb_2O_5 вместо TiO_2 . Однако, применение таких сплавов ограничено высокой стоимостью тантала и сложностью процесса их изготовления, который требует дорогостоящего оборудования для вакуумно-дугового переплава.

Снижение себестоимости материала можно добиться за счет легирования не всего объема материала, а лишь тонкого поверхностного слоя находящегося в контакте с агрессивной средой или частичной замены тантала ниобием, который обладает практически такой же коррозионной стойкостью.

Оба варианта реализуются при формировании покрытия из ниобия и тантала на титановой заготовке методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки. В работах [3,4] отмечается высокая эффективность метода вневакуумной электронно-лучевой обработки для формирования покрытий таких систем.

2. Методика экспериментального исследования

Заготовки для наплавки были изготовлены из технически чистого титана ВТ1-0. Наплавляемый материал состоял из смеси порошков тантала, ниобия и титана и флюса. Порошок титана выполнял функцию смачивающей компоненты. В качестве флюса применялась смесь солей CaF_2 и LiF .

Титановые пластины размерами 12,5x50x100 мм с помещённым на них слоем порошковой смеси, содержащей наплавочный материал и флюс, перемещались под пучком в продольном направлении. Расстояние от выпускного отверстия до поверхности образца составляло 90 мм. Гауссов диаметр пучка на поверхности образца был равен 12 мм. Для увеличения производительности обработки применялось сканирование пучка с помощью электромагнитного сканирующего устройства. Размах сканирования был равен 50 мм и совпадал с шириной образцов.

В результате обработки были сформированы образцы с содержанием в поверхностном слое 16 % (вес.) Ta и 5 – 16 % (вес.) Nb.

3. Результаты и обсуждение

Металлографические исследования полученных образцов позволили выделить четыре основных зоны: зона наплавленного покрытия, переходная зона, зона термического влияния и область, не подвергшаяся тепловому воздействию, т.е. не претерпевшая структурных изменений (рис. 1а).

Выявлено, что поверхностный слой имеет дендритное строение (рис. 1б), при дальнейших исследованиях было замечено, что границы зерен пересекают дендритные ветви. Дендритная ликвация, в данном случае, является вполне ожидаемым результатом в виду того, что процесс вневакуумной электронно-лучевой наплавки происходит в достаточно короткое время и является неравновесным.

На приведенных изображениях заметна большая разница в травлении поверхности между дендритами и междендритным пространством, что указывает на обогащение дендритов танталом и ниобием.

Методом сканирующей электронной микроскопии было выявлено пластинчатое строение внутреннего объема зерен.

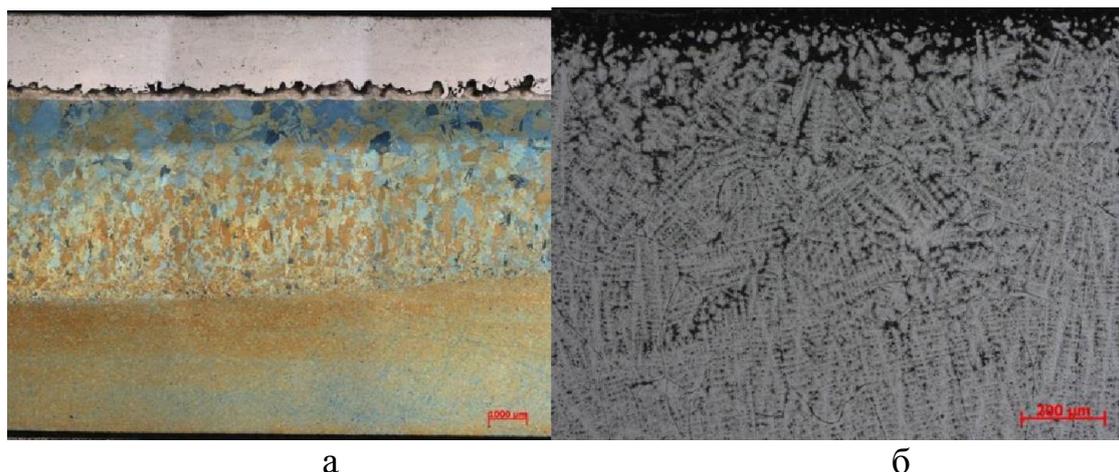


Рис. 1. Общий вид материала (а) и структура покрытия (б).

Коррозионная стойкость материала оценивалась по потере массы за 240 часов выдержки в кипящем 68% растворе азотной кислоты. В качестве материалов сравнения был использован титан марки ВТ1-0, а также технически чистые тантал и ниобий. Итоговые результаты представлены в таблице.

Исследуемый материал	Скорость коррозии, мм/год
Титан ВТ1-0	0,192
Тантал	0,001
Ниобий	0,023
Наплавленный слой 16% Та – 5% Nb	0,008
Наплавленный слой 16% Та – 16% Nb	0,002

4. Выводы

Таким образом, можно сделать вывод, что технология вневакуумной электронно-лучевой наплавки позволяет формировать бездефектные покрытия с высокой коррозионной стойкостью. При легировании титана 16% и ниобия 5% скорость коррозии по сравнению с чистым титаном снижается в 24 раза, а добавление 16% тантала и 16% ниобия снижает скорость коррозии в 96 раз, что сопоставимо со стойкостью чистого тантала [5].

Список литературы

1. Kapoor K., Vivekanand K., Gopalkrishna T., Saneal T., De P.K. High corrosion resistant Ti – 5% Ta – 1.8 % Nb alloy for fuel reprocessing application // Journal of Nuclear Materials. – 2003. – Vol. 322. – P. 36-44.
2. Ningshen S., KamachiMudali U., Mukherjee P., Sarkar A., Barat P., Padhy N., Raj B., Ningshen S. Influence of oxygen ion irradiation on the corrosion aspects of Ti – 5% Ta – 2% Nb alloy and oxide coated titanium // Corrosion Science
3. Golkovski M.G., Bataev I.A., Bataev A.A., Ruktuev A.A., Zhuravina T.V., Kuksanov N.K., Salimov R.A., Bataev V.A. Atmospheric electron-beam surface alloying of titanium with tantalum // Materials Science and Engineering. – 2013. – Vol. 578. – P. 310-317.
4. Журавина Т.В., Батаев И.А., Руктуев А.А., Алхимов А.П., Ленивцева О.Г., Бутыленкова О.А. Структурные исследования покрытий системы «титан-тантал», полученных методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки // Обработка металлов. Технология. Оборудование. Инструменты. – 2012 - № 1(54). – С. 90-95.
5. De Souza K.A., Robin A. Influence of concentration and temperature on the corrosion behavior of titanium, titanium-20% and 40% tantalum alloys and tantalum in sulfuric acid solution // Materials Chemistry and Physics. – 2007. – Vol. 103. – P. 351-360.

Choice of design parameters of base details at the design stage

P.N. Komarov, A.A. Ruktuev

In this paper we study structure and properties of cp-Ti surfaced alloyed with Ta and Nb. The surface alloying was done by non-vacuum electron beam cladding. The thickness of the high quality defect-free clad layer reached 2 mm. The coatings had dendritic morphology with fine lamellar structure inside dendrites. The rate of corrosion of the best coatings in boiling 68 % nitric acid was 96 times less in comparison with pure Ti.

Key words: surface alloying; electron-beam cladding; corrosion resistance; titanium alloys; metal powders

УДК 621.9.048.7

**МНОГОСЛОЙНАЯ НАПЛАВКА КАРБИДОСОДЕРЖАЩИХ ПОРОШКОВЫХ
СМЕСЕЙ НА УГЛЕРОДИСТУЮ СТАЛЬ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА, ВЫВЕДЕННОГО В
ВОЗДУШНУЮ АТМОСФЕРУ**

*Д.О. МУЛЬ, аспирант
А.Н. ШМИДТ, магистрант
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Муль Д.О. - 630073, г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет
e-mail: ddariol@yandex.ru

Рассмотрены особенности формирования структуры многослойных покрытий, полученных с применением вневакуумной электронно-лучевой наплавки карбидов титана на среднеуглеродистую сталь. Наплавка двух и более слоев порошковой смеси приводит к увеличению толщины покрытия и объемной доли упрочняющей фазы. Экспериментально установлено, что наплавленные многослойные покрытия обладают повышенным уровнем микротвердости.

Ключевые слова: вневакуумная электронно-лучевая наплавка, поверхностное легирование, износостойкость, карбиды, сталь

1. Введение

В настоящее время актуальной является проблема поверхностного упрочнения изделий, работающих в условиях интенсивного изнашивания. Большое влияние на характер поведения образцов в таких условиях работы оказывает присутствие в зоне контакта трущихся деталей абразивных частиц, способствующих ускоренному разрушению поверхностных слоев материалов. Введение карбидных частиц в поверхностный слой материала позволяет повысить, как его твердость, так и износостойкость. Одним из эффективных способов поверхностного упрочнения стальных заготовок является вневакуумная электронно-лучевая наплавка (ВЭЛН). Благодаря ряду преимуществ, таких как: простота, высокая стабильность, безотходность и экологическая чистота, высокая производительность процесса, возможность гибкого управления процессом наплавки путем изменения параметров электронного луча, возможность расплавлять практически любой материал, ВЭЛН обеспечивает формирование покрытий с необходимой структурой и свойствами [1]. Важное достоинство процесса заключается в том, что использование данной технологии позволяет обрабатывать крупногабаритные детали и элементы конструкций.

Легирование поверхности карбидообразующими элементами или карбидами металлов V-VII переходных групп периодической таблицы Менделеева способствует формированию ультрадисперсной структуры с распределенными в ней твердыми карбидными частицами [2-6]. Структура такого типа обладает повышенными дюрOMETрическими и триботехническими свойствами. При наплавке карбидосодержащих порошковых смесей на сталь равномерное распределение карбидов в поверхностном слое обеспечивается введением смачивающей компоненты, например железа.

Увеличение концентрации твердых частиц в металлической матрице способствует повышению твердости и износостойкости поверхностного слоя материала. Увеличение объемной доли карбидов в покрытии может быть обеспечено путем наплавки нескольких слоев порошковой смеси.

Целью данной работы является исследование дюрOMETрических и триботехнических свойств среднеуглеродистой стали после наплавки нескольких слоев карбидосодержащих порошковых смесей с использованием высокоэнергетического электронного пучка, выведенного в воздушную атмосферу.

2. Материалы и методы

Наплавку карбидосодержащих порошковых смесей осуществляли в Институте ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН с применением промышленного ускорителя электронов ЭВЛ-6. Обработку пластин из стали 45 осуществляли по режимам: энергия электронов пучка – 1,4 МэВ; расстояние от выпускного отверстия до образца – 90 см; ток пучка в зависимости от количества слоев варьировался в пределах от 26 до 29 мА. Стол с предварительно установленной на нем заготовкой перемещался со скоростью 1 см/с. Частота сканирования электронного пучка, достаточная для обработки всей поверхности заготовки, составляла 50 Гц. Плотность насыпки наплавочной смеси была равной 0,33 г/см².

Исследовали 3 типа образцов с покрытиями, полученными путем наплавки нескольких слоев порошков карбида титана. Режимы, по которым проводили наплавку, представлены в таблице. Образец первого типа соответствует наплавке одного слоя порошковой смеси. Наплавочная смесь имела следующий состав: 20 масс. % TiC, 30 масс. % смачивающей составляющей (Fe) и 50 масс. % флюса (MgF₂). Выбор силы тока основывался на рекомендациях специалистов ИЯФ СО РАН. Ток пучка составлял 26 мА.

Образцы второго типа подверглись двухслойной наплавке. Первый слой наплавляли по вышеописанному режиму. При наплавке второго слоя была повышена объемная доля смачивающей компоненты (до 33,3 масс. % Fe) и сила тока (до 29 мА).

Образцы типа 3 соответствовали наплавке трех слоев. Два первых слоя были сформированы по режиму образцов второго типа.

Структурные исследования полученных образцов проводили на оптическом микроскопе *Carl Zeiss Axio Observer Zlm*. ДюрOMETрические исследования осуществляли на поперечных шлифах с использованием микротвердомера типа *Wolpert Group 402MVD*.

Состав наплавочной смеси и значение силы тока

Тип покрытия	Количество слоев	Состав наплавочной смеси, масс %		Сила тока, мА
		Основные элементы наплавочной смеси	Флюс	
№ 1	1 слой	20 TiC + 30 Fe	50 MgF ₂	26
№2	1 слой	20 TiC + 30 Fe	50 MgF ₂	26
	2 слой	16,7 TiC + 33,3 Fe	50 MgF ₂	29
№3	1 слой	20 TiC + 30 Fe	50 MgF ₂	26
	2 слой	16,7 TiC + 33,3 Fe	50 MgF ₂	29
	3 слой	16,7 TiC + 33,3 Fe	50 MgF ₂	29

3. Результаты исследований и их обсуждение

Визуальный анализ полученных образцов позволяет сделать вывод о том, что после наплавки поверхность материалов является ровной, без видимых макродефектов в виде пор и трещин. Толщина одно-, двух- и трехслойных покрытий составила 0,8 мм, 1,1 мм и 2,2 мм соответственно.

На рисунке 1, а представлен снимок структуры однослойного покрытия, зафиксированный при изучении нетравленного шлифа в поперечном сечении образца. В металлической матрице равномерно распределены твердые частицы карбида титана. На микрофотографии двухслойного покрытия (рис. 1, б) наблюдается дендритное строение карбидных частиц, размер которых превышает карбиды, имеющиеся в однослойном покрытии. В покрытии также наблюдаются крупные частицы карбида титана, не растворившиеся в процессе наплавки порошковой смеси. Металлографически в структуре зафиксированы раковины, по границам которых наблюдаются скопления частиц карбида титана. При исследовании трехслойного покрытия (рис. 3, в) установлено, что концентрация частиц карбида титана дендритной морфологии увеличилась, в то время как размеры раковин и нерастворившихся карбидных частиц уменьшились.

Результаты измерения микротвердости сформированных покрытий, зон термического влияния и основного металла

представлены на рисунке 2. Микротвердость основного металла составила 2100 МПа. Твердость локальных участков покрытий различна, что отражается в виде характерных скачков на приведенном графике. Трехслойное покрытие обладает максимальным уровнем микротвердости (до 7000 МПа), что обусловлено наибольшей объемной долей карбидных частиц в материале. Микротвердость однослойного и двухслойного покрытий изменяется в пределах от 4000 до 4800 МПа.

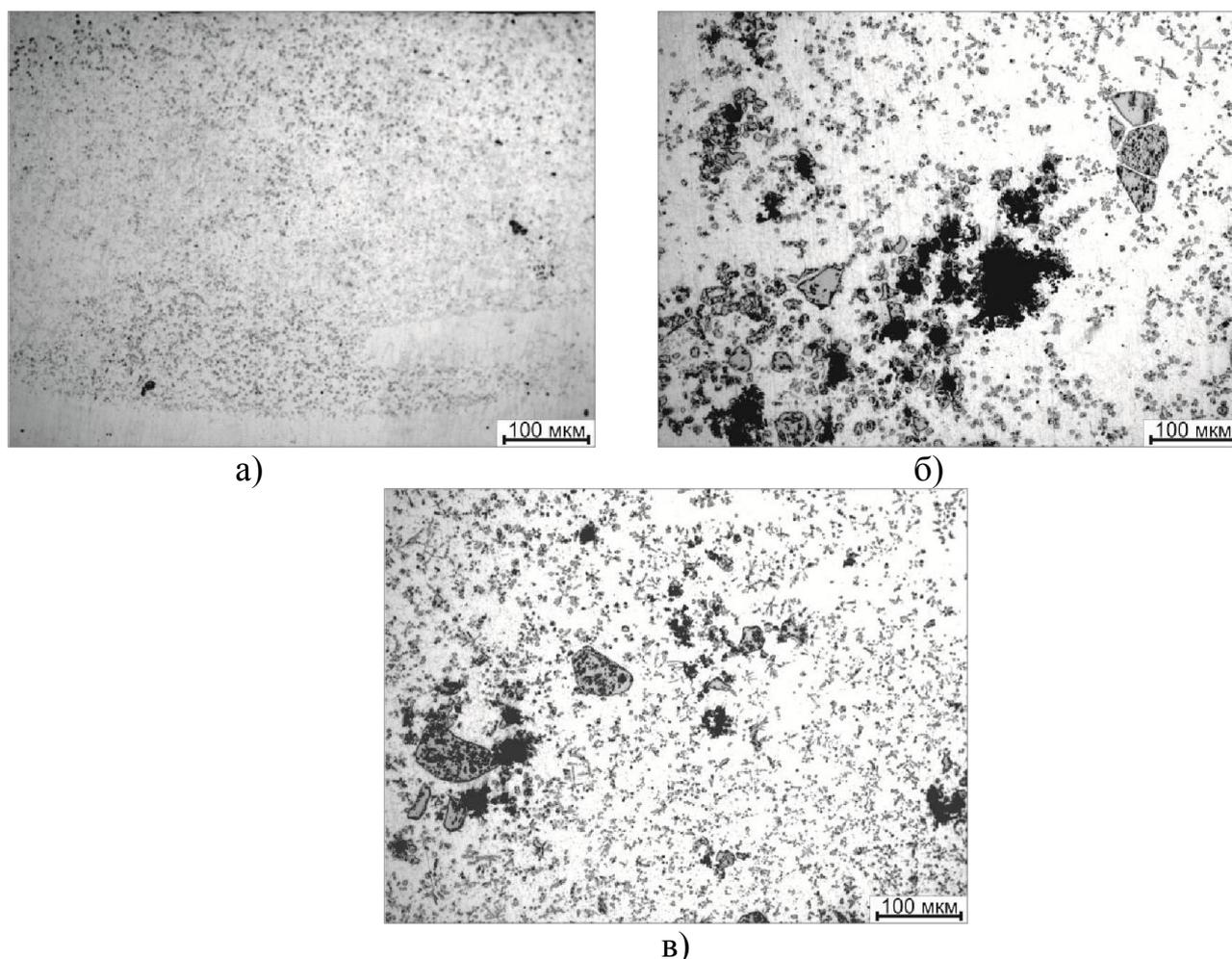


Рис 1. Структура покрытий, полученных методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки: а – одно-, б – двух-, в – трехслойное покрытие

Ширина зон термического влияния на образцах первого и второго типа составляет 0,7 мм и 0,9 мм соответственно. Микротвердость в этих зонах меняется от 3700 до 2000 МПа. Переход от покрытия к основному металлу на образцах третьего типа является более резким.

4. Выводы

Многослойные покрытия, сформированные наплавкой карбида титана на сталь 45 с использованием энергии электронного пучка, обладают повышенным уровнем микротвердости. Микротвердость и толщина покрытия возрастают с увеличением объемной доли введенных карбидных частиц. Максимальный уровень микротвердости (7000 МПа) зафиксирован на образцах, полученных при наплавке трех слоев порошковой смеси.

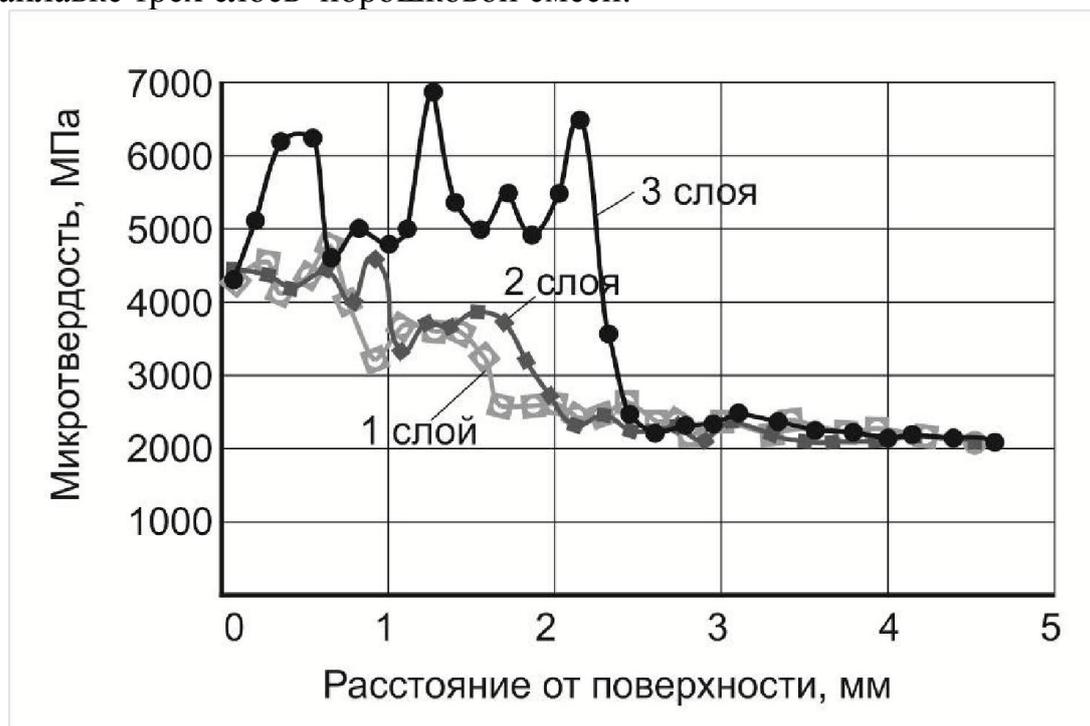


Рис. 2. Микротвердость образцов с покрытиями, сформированными вневакуумной электронно-лучевой наплавкой карбида титана на сталь 45

Список литературы

1. Голковский М.Г. Закалка и наплавка релятивистским электронным пучком вне вакуума. Технологические возможности метода. Saarbrücken: LAPLAMBERT Academic Publishing. 2013. 317 с.
2. Формирование структуры металла электронно-лучевой наплавки карбидом вольфрама / И.М. Полетика [и др.]. // Перспективные материалы, 2009. №4.
3. Структура и свойства коррозионно-стойких покрытий, полученных методом электронно-лучевой наплавки в атмосфере воздуха / И.М. Полетика [и др.]. // Металловедение и термическая обработка металлов, 2009. №12 (654).

4. Структура и свойства покрытий, полученных электронно-лучевой наплавкой / И.М. Полетика [и др.]. // Физика и химия обработки материалов, 2007. №6, с.48-56.

5. Microstructure and hardness improvement of TiC/stainless steel surface composites fabricated by high-energy electron beam irradiation / Jongmin Lee [et al.]. // Materials Science and Engineering A323 (2002). p. 251 – 259.

6. Структура и свойства стали после вневакуумной электронно-лучевой наплавки порошков титана, тантала, молибдена и графита / Д.О. Муль [и др.]. // Обработка металлов. 2013. № 3. с. 115-120.

Cladding of multilayers carbide-containing coatings on carbon steel substrates by high-energy electron beam, injected in atmosphere

D.O. Mul, A.N. Shmidt

The features of the structure formation of multilayer coatings obtained by electron beam cladding of titanium carbides on carbon steel are considered. It is revealed that electron beam cladding of more than one layer provides increasing of the coating thickness and its titanium carbides concentration. Experimentally was found, that obtained multilayer coatings have high hardness properties.

Key words: non-vacuum electron beam cladding, surface hardening, wear resistance, carbides, steel

УДК 621.2.082.18

**ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ТЕЛЕЖКИ ГРУЗОВОГО ВАГОНА
ПУТЕМ РАЦИОНАЛЬНОГО ВЫБОРА МАТЕРИАЛА**

А. М. МАРКОВ, д.т.н., профессор
Д. А. ГАБЕЦ, аспирант
А. В. ГАБЕЦ, директор по развитию
ООО «СибТрансМаш»

Габец Д. А. - 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова
e-mail: gabets22@mail.ru

В данной работе рассматриваются возможности повышения надежности тележки грузового вагона путем применения более износостойких материалов при изготовлении колпака скользуна.

Ключевые слова: колпак скользуна, износостойкий чугун, модернизация тележки грузового вагона.

Парк грузовых вагонов Российской Федерации и стран СНГ в основном оборудован трехэлементными тележками модели 18-100. Определенные конструктивные недостатки тележки приводят к износу ее частей, таких как: фрикционный клин, колпак скользуна и подпятник надрессорной балки, что приводит к снижению безопасности.

Скользуны предназначены для гашения боковых колебаний кузова вагона, ограничения влияния тележки, повышения устойчивости движения вагона, улучшения работы подпятникового узла и уменьшения его износа.

Конструкция стандартного колпака скользуна достаточно проста (рис.1).

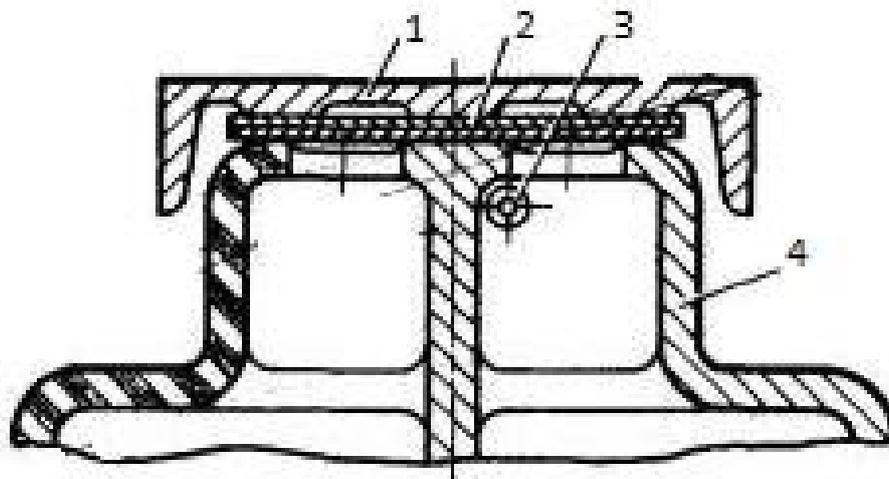


Рис. 1. Стандартный скользуна трехэлементной тележки модели 18-100:
1 – колпак; 2 – прокладка; 3 – болт; 4 – опора.

Скользун состоит из опоры (4), отлитой вместе с надressорной балкой, колпака (1), надетого на опору, прокладок (2), для регулировки зазоров между скользящими рамы вагона и тележек, болта (3), предохраняющего колпак от падения. [1].

Колпак скользунa, изготавливается из стали 20ГЛ ГОСТ 977-88, с заданной твердостью 143-187 НВ, которая обладает недостаточной износостойкостью, что приводит к быстрому выходу из строя деталей тележки.

Как наиболее перспективный вариант модернизации тележки рассматривается использование износостойких чугунов в качестве материала для колпака скользунa.

Износостойкие чугуны обладают улучшенным комплексом основных физико-механических и служебных свойств, меньшей склонностью к разрушению, а также более высоким уровнем сопротивления ударному и длительному циклическому воздействию. Однако примеров применения износостойких чугунов для деталей тележки грузового вагона недостаточно. Это вызывает необходимость проведения цикла исследований влияния химического состава чугуна на износостойкость.

В качестве оценки влияния твердости на износостойкость принята методика согласно ГОСТ 23.225-99, которая основана на сравнении износостойкости двух контактирующих поверхностей в условиях контактно-абразивного изнашивания.

Износостойкость можно вычислить по следующей формуле:

$$E = c \cdot \sqrt{H_1^2 + H_2^2} / \sqrt{H_{1эм}^2 + H_{2эм}^2}$$

где c - коэффициент пропорциональности; H_1, H_2 - твердости металлов двух контактирующих деталей, МПа; $H_{1эм}, H_{2эм}$ - твердости металлов двух контактирующих эталонных деталей, МПа.

Исходя из условий работы колпака скользунa, рассмотрим следующие пары трения: сталь 20ГЛ - сталь 20ГЛ, сталь 20ГЛ – сталь 09Г2С, износостойкий чугун - сталь 20ГЛ, износостойкий чугун – сталь 09Г2С.

Так как коэффициент пропорциональности пар трения и твердость эталонных деталей одинакова, то коэффициент износостойкости будет зависеть только от твердости контактируемых пар трения. Таким образом, чем выше твердость, тем выше будет их износостойкость.

Чугун предпочтительней, так как его твердость по сравнению со сталью 20ГЛ больше приблизительно на 27,5%.

План проведения исследования

Исследования проводятся на машине трения 2168 УМТ (рис. 2) предназначенной для испытания фрикционных и смазочных материалов с

максимальным моментом трения 40 НМ и максимальной частотой вращения 3000 мин⁻¹. Для определения весового износа использовались аналитические весы АДВ – 200.

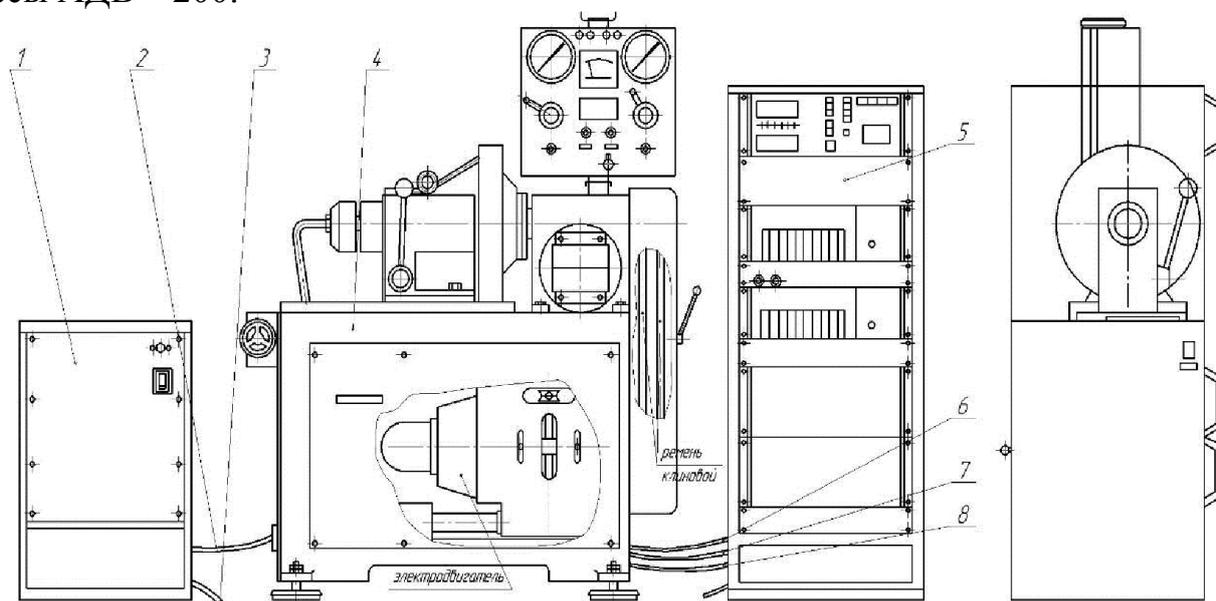


Рис. 2. Машина трения 2168 УМТ. 4 – испытательная установка, 5 – пульт управления, 1 – пульт с силовым оборудованием и 2,6,7,8 – устройства соединительные.

Испытания будут проводиться по схеме диск – колодка (рис. 3).

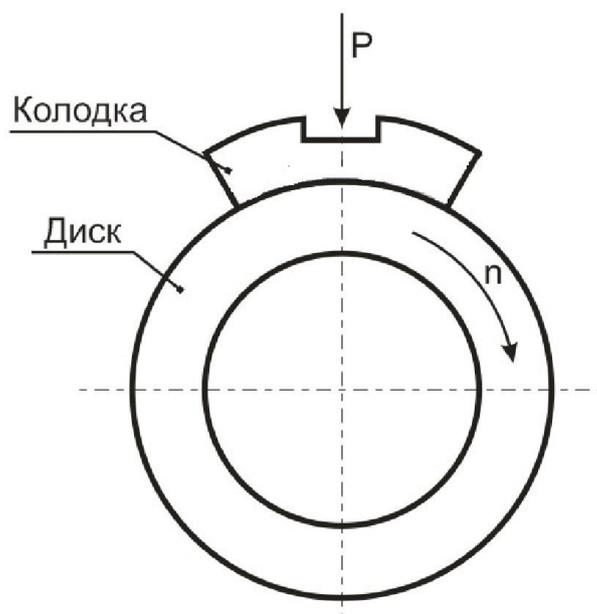


Рис. 3. Схема испытаний: Диск – колодка.

Исследуются следующие пары трения:

- Сталь 20ГЛ + Сталь 20ГЛ;
- Сталь 20ГЛ + 09Г2С;

- Износостойкий чугун + Сталь 2ГЛ;
- Износостойкий чугун + 09Г2С.

В качестве изменяемых параметров при испытаниях выступают:

- окружная скорость вращения на поверхности диска (V), м/с;
- усилие прижима колодки к диску (P), Н;
- длина пути пройденного диском относительно поверхности колодки (L), м.

Параметры испытаний для определения зависимости износа материала от скорости и нагрузки. Путь для каждой пары трения составляет 2000 м. Параметры испытаний приведены в таблицах 1, 2, 3.

Таблица 1

Нагрузка, создаваемая на колодке.

p , МПа	1	2	3
P , Н	200	600	1000

Таблица 2

Скорость, создаваемая на диске.

V , м/с	0,2	0,5	1
n , об/мин	100	250	500

Таблица 3

Контрольные точки измерения весового износа

L , м	400	800	1200	1600	2000
---------	-----	-----	------	------	------

Режим испытаний одинаков для всех пар трения.

Список литературы

1. Лукин В. В., Анисимов П. С., Федосеев Ю. П.. Вагоны. Общий курс: Учебник для вузов ж.д. трансп. /Под ред. В. В. Лукина. М.: Маршрут, 2004. - С.103.

Parts reability improvement of freight-car truck by judicious choice of material

A. M. Markov, D. A. Gabets, A. V. Gabets

In this paper we shall present possibilities of parts reability improvement of freight-car truck by use more abrasion-resistant materials, when we will make cap side bearings.

Keywords: cap side bearings, abrasion-resistant cast iron, rebuilding of freight-car truck

УДК 621.002:658.562(571.17)

**ПРОБЛЕМА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
В УСЛОВИЯХ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ КУЗБАССА**

*Л.П. КОРОТКОВА, канд. техн. наук, доцент,
Д.В. ВИДИН, старший преподаватель
С.В. ЛАЩИННИНА, старший преподаватель
(КузГТУ, г. Кемерово)*

Короткова Л.П. – 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28,
Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева,
e-mail: techmet@list.ru

Вскрыта проблема низкого качества поставляемых на предприятия металлических материалов и конструкций. Приведены результаты комплексного контроля качества сталей и чугунов в состоянии поставки и после термической обработки для различных изделий. Выявлены основные причины низкого качества материалов и пути их устранения с целью обеспечения высоких эксплуатационных свойств.

Ключевые слова: качество, стали, чугуны, эксплуатационные свойства, микроструктура, макроанализ, сортамент, неметаллические включения, размер зерна, механические свойства, термическая обработка, полосчатость, горячекатаный прокат, литая заготовка, графитовые включения.

Введение

В последнее время обострилась проблема соответствия качества сплавов установленным нормативам. Основная причина в том, что поставщики металла часто выдают на свою продукцию сертификаты, не соответствующие действительности. В связи с тем, что на многих машиностроительных предприятиях либо отсутствуют лаборатории по контролю качества материалов, либо утеряны их компетентный кадровый состав, методическое и лабораторное оснащение, то эта проблема перерастает в плоскость изготовления дефектной продукции.

На кафедре "Технология металлов" КузГТУ всесторонне изучены отдельные аспекты данной проблемы на примере оценки качества сталей и сплавов, используемых на предприятиях Кемеровской области, и предложены пути ее решения.

Методика исследований

Для реализации задачи повышения качества выпускаемой машиностроительной продукции на кафедре разработана методика контроля качества конструкционных сталей и чугунов [1]. Методика базируется на действующих государственных стандартах, а ее

использование позволяет решить проблему, связанную с обеспечением требуемых эксплуатационных характеристик в изделиях.

Задача решалась комплексно и включала в себя следующие основные этапы:

- контроль качества различных партий конструкционных материалов в состоянии поставки на соответствие требованиям стандартов по следующим параметрам: визуальный контроль, измерительный контроль, химический анализ, механические и технологические испытания, металлографические исследования;
- формулирование рекомендаций по отбраковке некачественных партий металла на основе результатов контроля качества сплавов в состоянии поставки;
- анализ термической обработки на всех основных технологических этапах производства, разработка рекомендаций по предварительной термической обработке с целью устранения выявленных дефектов микроструктуры, корректировка упрочняющей термообработки с целью обеспечения требуемого комплекса свойств деталям и конструкциям.

Результаты исследований и обсуждение

Работа проводилась на ряде предприятий Кузбасса, применительно к изделиям, отличающимся по назначению и области применения. Это позволило, в итоге, выявить системные проблемы, связанные с качеством материалов и их термической обработкой, и способствовало решению задач по повышению эксплуатационных характеристик изделий машиностроительной продукции.

I. На предприятии, занимающемся изготовлением горношахтного оборудования (ГШО), в процессе освоения производства гидравлических крепей вскрылась проблема низкой прочности гидроцилиндров. Поэтому были поставлены задачи подбора конструкционных сталей, разработки рекомендаций по предварительной и упрочняющей термическим обработкам с целью обеспечения основных механических свойств для этого изделия на требуемом уровне [2, 3].

Визуально-измерительный контроль подтвердил соответствие проката заявленным сортаментам горячекатаных труб. Состояние наружной и внутренней поверхности труб было удовлетворительное,

дефектов в виде закатов, плевен, наружных трещин не было обнаружено. При этом установлено, что во одной из партий металлопроката отклонения в размерах толщины труб превышают допустимые.

Химический анализ позволил идентифицировать поставляемые стали на соответствие маркам – это были горячекатаные трубы из сталей 45, 30ХГСА и 35Х. По основным элементам химический состав всех сталей соответствовал стандартам (ГОСТ 1050 и ГОСТ 4543), но было выявлено завышенное содержание серы (0,0038–0,0047).

Металлографические исследования (см. рис. 1) включали в себя: оценку загрязненности неметаллическими включениями по ГОСТ 1778 ($\times 100$, в продольном направлении); определение величины зерна по ГОСТ 5639 ($\times 200$, после травления методом сравнения по шкале в поперечном направлении); полосчатости; исследования микроструктуры ($\times 500$, после травления на шлифах в продольном направлении). Результаты этих исследований проиллюстрированы на рис. 1.

Исследования структуры свидетельствуют о различиях в термической обработке сталей в состоянии поставки: трубы из стали 45 – это горячекатаный нормализованный прокат с феррито-перлитной структурой (рис. 1, а, б); трубы из сталей 30ХГСА и 35Х – это улучшенный горячекатаный прокат со структурой зернистого сорбита (рис. 1, в, г) [4]. В некоторых партиях из стали 45 выявлена дефектная перегретая структуру с признаками видманштетта, с недопустимым размером зерна, соответствующим 5 баллу (рис. 1, б). В трубах из стали 35Х выявлен дефект структуры – наличие включений феррита в сорбитной структуре (рис. 1, г). Обнаружены дополнительно дефекты в структуре стали в виде неметаллических включений, недеформируемых оксидов 2а – 4а и силикатов 2б – 4б баллов, что превышает предельно допустимые значения. Признаки строчечной структуры отсутствуют.

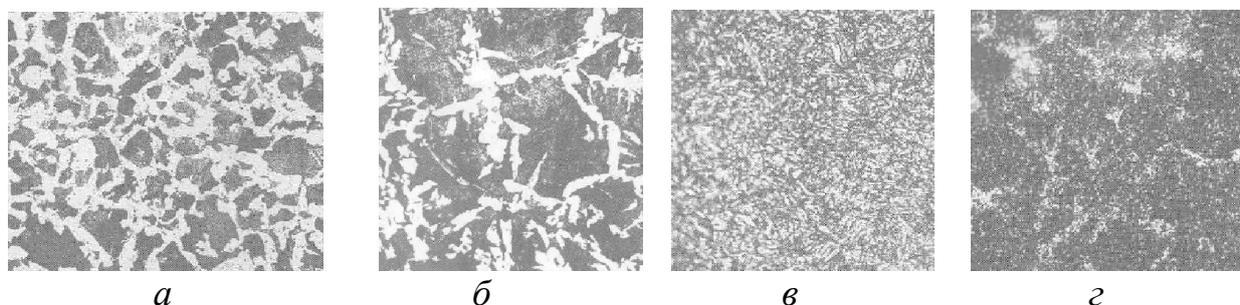


Рис. 1. Микроструктура горячекатаных труб в состоянии поставки:
а – пластинчатый перлит и сетка феррита; б – пластинчатый перлит с игольчатым ферритом (видманштетт 1,5 балла); в – сорбит, г – сорбит и феррит

Таким образом, металлографические исследования свидетельствуют о низком качестве сталей в состоянии поставки. Во всех предложенных для изучения партиях труб обнаружены неустраняемые дефекты структуры металлургического производства в виде неметаллических включений, превышающие предельно допустимые значения. Кроме того, в микроструктуре выявлены дефекты, связанные с некачественно выполненной предварительной термической обработкой, – перегрев, который проявился в виде крупного зерна с признаками видманштетта (рис. 1, б); недогрев при закалке, который привел к частичному сохранению зерен феррита в структуре улучшенной стали (рис. 1, г). Недогрев и перегрев в структуре сталей могут быть устранены последующей термической обработкой [5].

Рекомендации по термической обработке разрабатывались с учетом качества сталей в состоянии поставки и требований к стойкам гидроцилиндров по основным механическим свойствам. Были рассмотрены следующие варианты термообработки:

Нормализация. Для труб из стали 45 эта термообработка может служить одновременно и предварительной (для исправления крупнозернистой микроструктуры), и упрочняющей.

Улучшение. Может быть рекомендовано для всех рассматриваемых марок сталей одновременно в качестве предварительной и упрочняющей термической обработки. Тем более, что трубы из сталей 35Х и 30ХГСА поставляются в виде улучшенного проката и термообработка для них на машиностроительном предприятии не требуется. При назначении термической обработки в виде улучшения следует учитывать прокаливаемость сталей, она должна быть выше толщины трубы.

Нормализация с последующим улучшением. Нормализация необходима для устранения дефектов структуры, например, неоднородной феррито-сорбитной структуры в трубах из стали 30ХГСА и крупного зерна в трубах из стали 45. Улучшение - для получения однородной сорбитной структуры.

Предприятию было рекомендовано в рассмотренном случае использовать третий вариант термической обработки. Это позволило обеспечить требуемый комплекс основных механических свойств гидроцилиндров. В дальнейшем, по причине низкого качества горячекатаного проката в состоянии поставки, необходимо наладить систематический комплексный контроль качества сталей, и корректировать термическую обработку с учетом его результатов, руководствуясь разработанными рекомендациями.

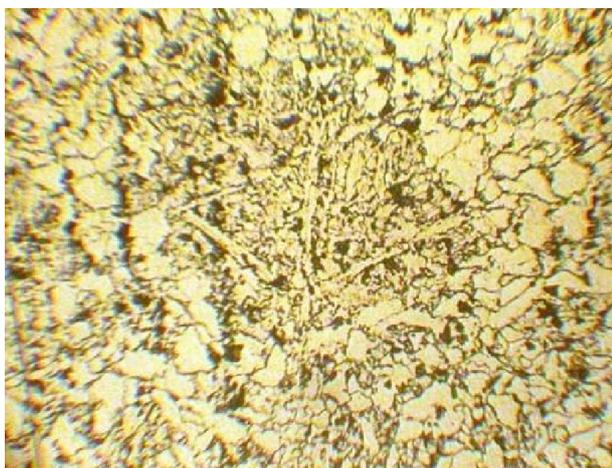
II. В настоящее время на предприятиях нередко используется металлопродукция зарубежного производства. В частности на тепловых станциях Кузбасса были применены трубы китайского производства из стали 12Х1МФ. Эти трубы по сравнению с российского производства показали заниженную жаростойкость [6, 7, 8].

Для выявления причин пониженной стойкости был проведен контроль качества металла труб согласно ТУ 14-ЗР-55-2001.

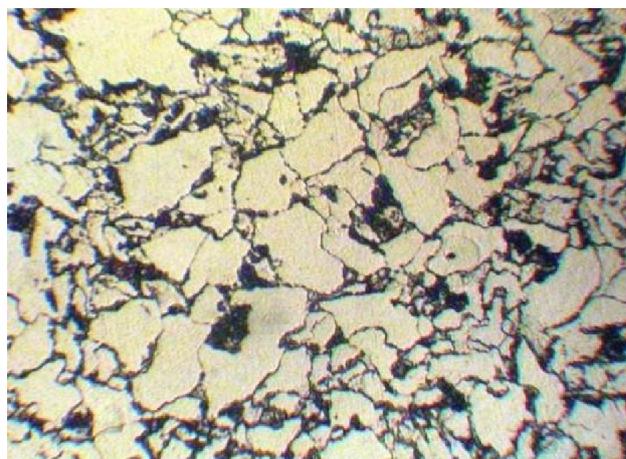
Контроль химического состава не обнаружил отклонений химического состава металла труб из стали 12Х1МФ от разных производителей. Механические и технологические испытания образцов труб не выявили отклонений параметров по прочности и пластичности. Однако следует отметить, что прочностные характеристики сталей российского производителя были на 10–15% выше.

При металлографических исследованиях определялись: загрязненность неметаллическими включениями (сульфиды и оксиды не выше 1 балла для каждого); полосчатость находилась в пределах допустимого (не превышала 2–3 балл); обезуглероженный слой на наружной поверхности не превышал допустимые значения (не более 0,1 мм). Существенные различия были обнаружены в размере зерна. У отечественной металлопродукции балл зерна был не ниже 8–7. В структуре труб китайского производства была обнаружена разнотерность и неравномерность структуры по периметру и толщине стенки трубы. Микроструктура состояла из крупных зерен бейнита (3–4 балл) и мелких участков сорбита, перлита и феррита (7–8 балл). Причем, перлит переотпуска располагался по границам и субграницам зерен отпущенного игольчатого бейнита (рис. 2).

Таким образом, трубы из стали 12Х1МФ китайского производства в целом удовлетворяют требованиям ТУ 14-ЗР-55-2001, при этом их основные параметры качества находятся на нижнем приделе допустимого, существенно же они отличаются неоднородной микроструктурой. В процессе эксплуатации все эти факторы приводят к снижению ресурса жаропрочности и к уменьшению срока эксплуатации изделий. Следовательно, трубы китайского производителя по качеству уступают российскому производителю.



4 балл



5 балл

Рис. 2. Микроструктура труб китайского производства из стали 12Х1МФ, х500

III. Изучались также случаи поломки изделий из чугунного литья. Например, исследования проводились на чугунном корпусе коробки отбора мощности спецмашины на базе ЗИЛ 130 после аварийного разрушения. В качестве эталона, для сравнения, использовался аналогичный корпус, отработавший стандартный ресурс.

Макроанализ разрушенного корпуса коробки позволил выявить дефекты металлопродукции в виде горячих трещин на поверхности, пригаров и значительного окисления поверхности. Перечисленные дефекты являются дефектами металлургического производства и свидетельствуют о низком качестве литой заготовки.

По результатам металлографических исследований в соответствии с ГОСТ 3443 микроструктура основы чугуна в обеих коробках охарактеризована как мелкодисперсная феррито-перлитная. Обнаружены несоответствия по форме и размеру графитовых включений. В эталонном чугуне графит был вермикулярной формы, мелкодисперсный, соответствовал ВГф2 по шкале 2А (рис. 3, б). В аварийной коробке форма графитовых включений более грубая, соответствовала ПГф4 по шкале А (рис. 3, а). К тому же в микроструктуре выявлена фосfidная эвтектика, соответствующая эталону ФЭ3 по шкале А (рис. 3, в) – это недопустимый дефект микроструктуры [4].

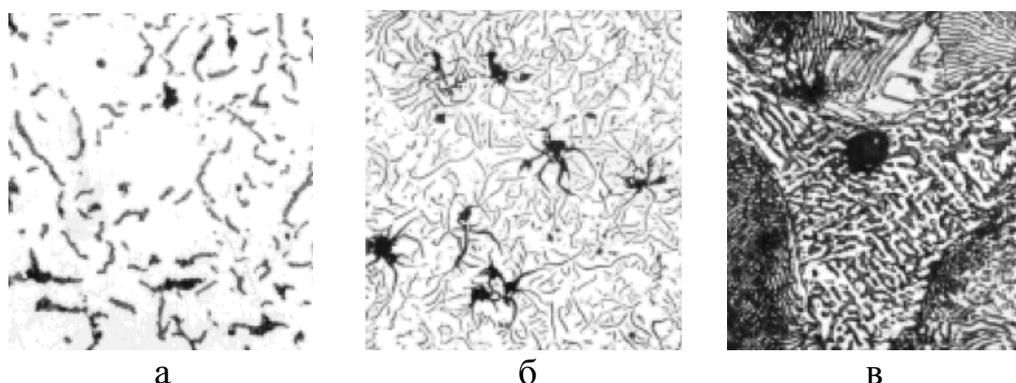


Рис. 3 Микроструктура чугуна:

а – вермикулярная форма графита; б – гнездообразная форма графита;
в – фосfidная эвтектика

Таким образом, была установлена причина разрушения коробки отбора мощности, которая заключается в недопустимо низком качестве литой заготовки. Наличие макродефектов в виде горячих трещин, пригаров, окислов на поверхности и микродефектов в виде фосfidной эвтектики и грубых включений графита гнездообразной формы привело к значительному снижению прочности. В результате уже на этапе сборки произошло разрушение корпуса коробки по хрупкому механизму.

Выводы

1. Приведенные результаты исследований свидетельствуют о низком качестве металлопродукции, используемой на различных предприятиях, несмотря на наличие сертификатов.

2. На машиностроительных предприятиях остро стоит задача своевременного выявления системных проблем, связанных с качеством материалов в состоянии поставки и их термической обработкой.

3. Предлагаемые методики и полученные результаты способствуют решению задачи по повышению качества, а следовательно, обеспечению заданных эксплуатационных характеристик различных изделий машиностроительной продукции.

В целом следует констатировать, что проблема контроля качества металлов приобретает все большую актуальность и для ее решения целесообразно либо восстанавливать, усиливать и развивать заводские ЦЗЛ, либо создавать централизованные лаборатории (например, на базе технических вузов), которые решали проблемы для группы предприятий в регионе.

Список литературы

1. Короткова Л.П., Шатько Д.Б., Дубинкин Д.М. Контроль качества материалов (в машиностроительном производстве). – ФГБОУ ВПО «Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева». – Кемерово, 2011. – 171 с.

2. Металлы и сплавы. Справочник. / под ред. Ю. П. Солнцева. – С.-Пб.: АНО НПО «Профессионал», АНО НПО «Мир и Семья», 2003. – 1066 с.

3. Зубченко, А. С. Марочник сталей и сплавов / под ред. А. С. Зубченко. – М. : Машиностроение, 2001. – 1066 с.

4. Франценюк, И. В. Альбом микроструктур чугуна, стали, цветных металлов и их сплавов. – М. : ИКЦ «Академкнига», 2004. – 192 с.

5. Гольдштейн М. И. Специальные стали : учеб. для вузов / М. И. Гольдштейн, С. В. Грачев, Ю. Г. Векслер. – М. : Metallurgy, 1985. – 408 с.

6. Березина Т. Г. Изменения структуры, свойств и накопление поврежденности при ползучести в тепловых сталях: учеб. пособие / Т. Г. Березина, – Челябинск: ЧФ ПЭИПК, 2003. – 125 с.

7. Ларичев В. А. Качественные стали для современных котельных установок: учеб. пособие / В. А. Ларичев, – Москва, 2001. – 311 с.

8. Крутасова Е. И. Надежность металла энергетического оборудования / Е. И. Крутасова, – М. : Энергоиздат, 1981. – 240 с.

Quality control problems of structural materials under Machine-building enterprises Kuzbass

L.P. Korotkova, D.V. Vidin, S.V. Laschinina

Uncovered the problem of low quality supplied into metallic materials and structures. The results of a comprehensive quality control of steel and iron status of delivery and after heat treatment for various products. The basic causes of low quality materials and ways to overcome them in order to ensure high performance properties.

Key words: quality steels, cast irons, operating properties, microstructure, macro-analysis, gauge, non-metallic inclusions, grain size, mechanical properties, heat treatment, banding, hot-rolled, cast billet, graphite inclusions.



**ЭКОНОМИКА
И ОРГАНИЗАЦИЯ
ИННОВАЦИОННЫХ
ПРОЦЕССОВ
В МАШИНОСТРОЕНИИ**

*Economics
and Organization of
the Business Innovative
Processes
in Machine Building*



УДК 621.002:658.589

ИННОВАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ В РАМКАХ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА

*Д.Б. ШАТЬКО, кандидат техн. наук, доцент,
Д.И. ШАТЬКО, магистрант
(КузГТУ, г. Кемерово)*

Шатько Д.Б. – 650026, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28,
Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева,
e-mail: shdb.tm@mail.ru

В статье рассмотрены некоторые аспекты инновационной деятельности машиностроительных предприятий с точки зрения влияния на нее системы менеджмента качества. Затронуты вопросы инновационной активности персонала организации.

Ключевые слова: Инновация, конкурентоспособность, инновационная активность, инновационная восприимчивость, инновационный потенциал, система менеджмента качества, анализ со стороны руководства, улучшение.

В настоящее время большинству отечественных машиностроительных предприятий присущ ряд проблем в области продвижения инноваций:

- нехватка оборотных средств для финансирования нововведений;
- необходимость внедрения высоких технологий, сопровождающихся большими капиталовложениями при модернизации производства;
- нежелание инвесторов вкладывать средства в инновационные проекты с большим сроком окупаемости;
- высокие требования к технологической конкурентоспособности производств со стороны международных рынков и пр.

В условиях макроэкономики конкурентоспособными могут стать предприятия, ведущие активную инвестиционную и инновационную деятельность. В круг первостепенных задач таких предприятий должно входить систематическое освоение передовых научно-технических достижений, управленческих и организационных разработок, которые позволят снизить издержки производства, повысить производительность труда, обеспечить выпуск продукции и услуг высокого качества.

Конкурентоспособность предприятия напрямую зависит от наличия у него эффективно функционирующей системы управления качеством выпускаемой продукции, следовательно, то предприятие, где эффективно действует система менеджмента качества, имеет значительные преимущества перед конкурентами, в том числе и в области инноваций.

Инновационная деятельность характеризуется рядом терминов и определений, среди которых можно выделить:

- Инновация (нововведение) – первое применение на практике нового научного, производственного, технического, экономического, организационного и др. решения [1].

- Улучшение – изменение, произошедшее внутри системы, но не приведшее к значительному изменению ее функционирования. Улучшение не влияет на нормальное существование системы и незначительно воздействует на прилагаемый объект.

- Новшество – потенциальная инновация до ее коммерциализации (использования новшества на практике).

- Изобретение – новое техническое решение.

Изобретения и новшества приобретают статус инноваций после их коммерциализации (использования на практике).

Таким образом, данные термины объединяет факт новизны, а отличие инновации в том, что это «новое» внедряется, и при практической реализации достигается положительный эффект.

В качестве наглядного примера постоянного улучшения продукции, в том числе за счет инновационных решений, можно привести трехуровневую модель СМК (рис. 1).



Рис. 1. Трехуровневая модель системы качества

При планомерном и регулярном улучшении процессов производства продукции (оказания услуг), результатом является постоянное улучшение самой продукции или услуг.

Постоянное улучшение СМК происходит путем улучшения отдельных элементов системы менеджмента качества. Исходные данные, требуемые для анализа «областей совершенствования» поступают от внутренних аудитов и анализа СМК со стороны руководства.

Инновационный подход в СМК, предполагает обновление всей системы менеджмента путем выявления проблемных мест и трудных задач на двух других уровнях, разработанных для достижения намеченной стратегии.

Инновации в СМК предусматривают необходимость проведения анализа со стороны руководства и самооценки.

Отсюда следует, что инновационная система на предприятии неизбежно будет обеспечивать изменения, адекватные изменениям внешней среды и общей системы управления предприятием, что объединяет вполне автономные производственную систему и СМК.

Значительные изменения самих систем (инноваций) можно реализовывать в рамках действующей СМК, например в соответствии с п. 7.3 ISO 9001 : 2008 «Проектирование и разработка». Кроме того, при проведении корректирующих и предупреждающих действий, обеспечивающих один из принципов «Постоянное улучшение», так же предполагается «прорывные» изменения системы.

Постоянное улучшение, предполагает как незначительные улучшения на уровне рабочего места, так и значительные, затрагивающие всю систему управления предприятием в целом.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что СМК уже включает в себя инновационные изменения системы.

Инновации в СМК содержат три элемента:

1. Приобретение знаний и инноваций;
2. Стратегический анализ со стороны руководства;
3. Самооценка.

Иерархию этапов планирования на предприятии, можно представить таким образом (рис. 2).

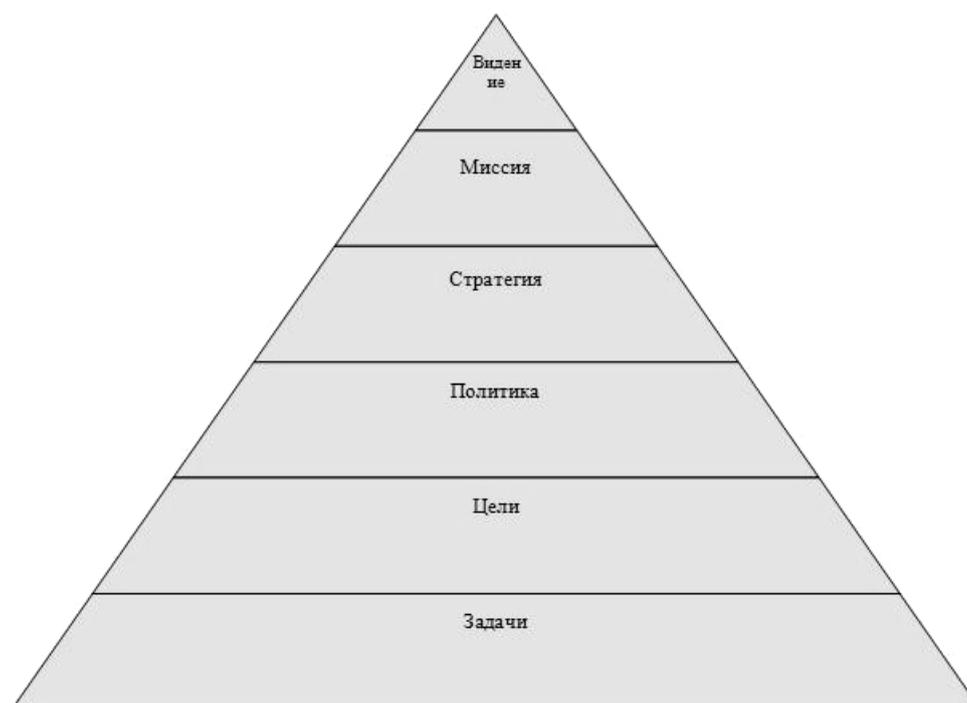


Рис. 2. Иерархия этапов планирования

Стратегическое планирование оказывает влияние на политику и цели организации. Во время анализа системы менеджмента качества со стороны руководства вносятся изменения в политику организации (если это требуется), как следствие это оказывает влияние на более высокие уровни планирования.

Самооценка также непосредственно выполняется в СМК, она основана на цикле Деминга «P-D-C-A». Суть метода заключается в том, что при прохождении полного цикла после стратегического планирования и реализации требуемых мероприятий, организация контролирует выполнение данных мероприятий и, при необходимости, вносит коррективы с целью улучшения процесса.

Все вышеуказанные обстоятельства обусловили возрастание актуальности исследования процесса введения инноваций на предприятиях машиностроения.

Следует широко использовать и другие мероприятия, направленные на активизацию инновационной деятельности, например, содействие и всяческое поощрение инновационной активности персонала организации [2 – 6].

Согласно стратегическим направлениям развития РФ, экономический рост должен быть достигнут за счет инноваций и научных знаний. С этой точки зрения проблема повышения инновационной активности организаций выглядит достаточно актуальной. Для теоретического осмысления данной проблемы необходимы мероприятия по оценке инновационной активности персонала организации. Под инновационной активностью при этом понимается готовность к внедрению инноваций и своевременность их принятия. В качестве примера на рис. 3 приводятся направления для оценки инновационной активности персонала используемые в методике, применяемой на одном из предприятий.

Данная методика позволяет оценить инновационную активность персонала организации. Используя полученные данные, можно разработать оптимальную стратегию управления инновационным процессом, что приведет к повышению инновационной восприимчивости каждого сотрудника, а также к повышению эффективности и конкурентоспособности организации в целом.

Таким образом, успешно функционирующая система менеджмента качества создает благоприятные условия к развитию инновационной деятельности машиностроительных предприятий.



Рис. 3. Направления оценки инновационной активности персонала

Список литературы

1. Инновационный менеджмент: Учеб. пособие / Под ред. В.А. Аньшина, А.А. Дагаева. – М.: Дело, 2003. – 528 с.
2. Ларичева Е. А. Управление персоналом на инновационном предприятии в машиностроении // Менеджмент в России и за рубежом. – 2005. – № 3. – С. 102-111.
3. Баранчев В. П. Маркетинг инноваций. – М.: Благовест-В, 2007.
4. Товстых Л. Е. Новая инновационная сфера в экономике третьего тысячелетия и новые задачи // Инновации. – 2003. – № 6.
5. Пищин О. Н. Методика оценки инновационной активности предприятий сотовой подвижной радиосвязи // Вестник Астраханского гос. тех. ун-та. – 2009. – № 2. – С. 127-133.

6. Дупленко Н. Г. Комплексное развитие малых производственных предприятий в инновационной сфере региона // Актуальные проблемы научных исследований партнерских университетов в сфере экономики. – Калининград: РГУ им. И. Канта, 2010. – С. 123-132.

Innovative activity of machine-building enterprise within quality management system

D.B. Shatko, D. I. Shatko

In article some aspects of innovative activity of machine-building enterprises from the point of view of influence of quality management system on it are considered. The questions of innovative activity of the personnel of the organization are raised.

Key words: Innovation, competitiveness, innovative activity, innovative susceptibility, innovative potential, quality management system, the analysis from the management, improvement.

УДК 338.45

УПРАВЛЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫМИ ПРОЦЕССАМИ В МАШИНОСТРОЕНИИ: МЕХАНИЗМ И ПРИНЦИПЫ

*В.С. ГОЛОВ, студент
(НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Н.Новгород)*

Описывается современное состояние машиностроительной отрасли, доказывается важность управления инновационными процессами на машиностроительных предприятиях, рассматривается система управления и основные требования к ней. Определено место механизма управления в системе, выявлены его ключевые элементы. Описаны принципы управления инновационными процессами.

Ключевые слова: механизм управления, принципы управления, машиностроительные предприятия, инновационные процессы.

Машиностроение является одной из важнейших отраслей экономики и ее главным системообразующим элементом. От уровня развития машиностроительного комплекса зависят производственный потенциал государства, его обороноспособность, а также функционирование промышленности в целом. Именно машиностроение составляет основу деятельности для множества других отраслей, т.к. снабжает их машинами и оборудованием, и, соответственно, во многом определяет уровень развития этих отраслей. В структуре обрабатывающей промышленности в РФ машиностроение занимает значительную долю – порядка 20 % [2]. Важность машиностроительной отрасли сложно переоценить, однако в настоящий момент отечественное машиностроение не способно вступать в конкуренцию на международном рынке. Технологическая отсталость, низкие наукоемкость и производительность труда, высокий уровень износа основных средств – всё это за последние несколько десятилетий стало неотъемлемыми чертами машиностроительного комплекса.

Причинами такого положения дел изначально являются неверные ориентиры при проведении рыночных реформ в 90-е гг., а также несовершенство существующих методов регулирования в области машиностроения. Для выхода из этого состояния система управления инновационными процессами должна быть модернизирована, разработан комплекс управленческих решений, которые позволят повысить конкурентоспособность отрасли. Инновационная деятельность и конкурентоспособность являются по сути неразрывными понятиями. Такие страны как США, Германия и Япония

заняли лидирующее положение в мировом машиностроении именно благодаря применению инновационных подходов [1].

Машиностроение (как и любой другой сектор экономики) является сложной системой и состоит двух основных элементов – управляющего (субъект управления) и управляемого (объект управления). Между ними существуют различные связи: прямые и обратные, главные и второстепенные, непосредственные и опосредованные. Именно посредством этих связей и осуществляется запуск механизма управления, представляющего собой набор средств и методов воздействия на управляемый объект с целью его активизации, «движения» в нужном направлении. Эффективность системы управления определяется степенью ее надежности, качеством принимаемых решений и затратами времени на их принятие, расходами на ее функционирование [2]. Кроме того, система должна быть гибкой и способной адаптироваться к постоянно меняющимся внутренним и внешним условиям, полностью использовать инновационный потенциал предприятия, а также быть способной интегрироваться в более крупную систему управления всей экономикой в целом.

Механизм управления инновационными процессами представляет собой систему взаимосвязанных, активно взаимодействующих друг с другом элементов, благодаря которым обеспечивается непрерывное и эффективное развитие инновационного потенциала предприятия. Характерными особенностями механизма управления являются его динамичность, постоянное изменение и совершенствование – это является необходимым в рыночных условиях. К основным элементам механизма управления относятся:

- сформулированные цели управления;
- количественный аналог целей – критерии эффективности инноваций;
- организационные структуры, необходимые для построения системы управления;
- методы и способы воздействия на объект управления;
- ресурсы управления, использование которых обеспечивает достижение целей.

Существование механизма возможно только в случае, если есть цели, для реализации которых создается этот механизм. Для эффективного функционирования механизма управления инновационными процессами необходимо наличие соответствующих организационных и экономических условий. Исходя из опыта развитых стран, можно утверждать, что государство играет ключевую роль в решении проблем, возникающих в ходе инновационных преобразований [3]. Государство должно осуществлять решение

социально-экономических проблем, создавать и развивать правовую базу, способствовать развитию фундаментальной науки.

В управлении инновационными процессами применяются как общие принципы управления, так и специфические, связанные с особенностями инновационной деятельности. Таким образом, можно выделить следующие принципы:

1. Принцип гибкости. Связан с циклическим характером научно-технического прогресса, сложной предсказуемостью результатов исследований, меняющимися условиями внешней и внутренней среды.

2. Принцип комплексности. Требуется технического, экономического и организационного единства на всех стадиях инновационного процесса.

3. Принцип научности. Основой инновационного развития должны быть новейшие научные теоретические и практические разработки.

4. Принцип конкурентоспособности. Одной из основных целей является повышение уровня конкурентоспособности предприятий.

5. Принцип управления инновационным потенциалом. Управление должно быть ориентировано на полное использование инновационного потенциала предприятия, который в результате должен только увеличиваться.

Система управления инновационными процессами на машиностроительных предприятиях является совокупностью объектов и субъектов управления, механизма управления, целей, задач и функций управления. Все эти элементы неразрывно связаны друг с другом, и для достижения результата нужно комплексно подходить к разработке системы управления, учитывая все существующие связи и руководствуясь принципами управления. Результатом в данном случае является повышение конкурентоспособности предприятий и отрасли в целом, развитие инновационного потенциала, увеличение объемов производства и рост продаж инновационной продукции.

Список литературы

1. Иванченко О.Г., Паклина М.С. Инновационное развитие машиностроения: современные оценки и методы достижения // Власть и управление на востоке России. – 2011. – № 3. – С. 13-21.

2. Лактюшина О.В., Лысенко А.Н. Система управления инновационными процессами в машиностроении // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Экономика. – 2013. – №1. – С. 113-118.

3. Самойлов А.В. Механизм управления инновационной деятельностью // Вопросы экономики и права. – 2012. – № 3. – С. 177-181.

Control of innovative processes in machine building: mechanism and principles

V.S. Golov

The modern state of the machine building industry is described and the importance of control of innovative processes of machine building enterprises is substantiated. The control system and the basic requirements to it is considered. The location of the control mechanism in the system and key elements of this mechanism are identified. The principles of control of innovative processes are described.

Key words: control mechanism, control principles, machine-building enterprises, innovative processes.

УДК 621.7:658.51

ЭКОНОМИЧЕСКИ ОБОСНОВАННЫЙ СРОК ЭКСПЛУАТАЦИИ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

*Р.Х. ГУБАЙДУЛИНА, канд. техн. наук, доцент
(ЮТИ ТПУ, г. Юрга)*

Губайдулина Р.Х. – 652050, г. Юрга, Кемеровской обл., ул. Ленинградская, 26
Юргинский технологический институт (филиал)
Национального исследовательского Томского политехнического университета
e-mail: victory_28@mail.ru

Приведен анализ основных этапов жизненного цикла изделий машиностроения. Поставлены три задачи оптимизации для проектирования, изготовления и эксплуатации машины. Предложена методика оптимизации этапа эксплуатации.

Ключевые слова: Жизненный цикл изделий, экономически обоснованный срок службы изделий, эксплуатация, себестоимость.

Переход российской экономики на инновационный путь поставил многих исследователей перед проблемой выбора наиболее эффективной модели инновационного развития. В [1] разработана модель экономически эффективной оценки срока службы изделия на примере машиностроительной отрасли

В последние годы появился такой комплексный показатель времени функционирования машины, как «жизненный цикл изделия» (ЖЦИ), под которым понимается полный период его существования, включающий этапы проектирования, производства, эксплуатации и утилизации.

В концепции ЖЦИ полагается, что изделие вначале возникает у проектировщика в виде общей идеи конструкции, которая в последствии воплощается в комплект необходимой конструкторской документации. В процессе конструирования решается первая задача оптимального проектирования со своими критериями и целями оптимизации, в основу которой должны быть положены требования, как производства, так и эксплуатации изделия.

На следующем этапе ЖЦИ осуществляется стадия производства машины с определенной серийностью выпуска. При этом встает вторая задача оптимизации, которая, как правило, направлена на всемерное снижение издержек производства, а также на своевременный переход к выпуску принципиально нового изделия.

После реализации изделия на рынке наступает этап его эксплуатации у потребителя, интересы которого требуют рассмотрения третьей задачи оптимизации, а именно – минимизации эксплуатационных расходов и

установления оптимального срока эксплуатации, по завершению которого изделие подлежит замене на новое и происходит его утилизация.

Поставленные выше три задачи оптимизации ЖЦИ тесно взаимосвязаны между собой и неравнозначны. В большинстве случаев товарно-рыночных взаимодействий между производителем изделия и его потребителем существует так называемый «диктат потребителя», когда последний определяет целесообразность приобретения того или иного изделия, исходя из понимания своих потребностей и финансовых возможностей. Однако возможен и «диктат производителя», особенно в монопольной экономике, если у потребителя отсутствует выбор при покупке изделия. Так как в крупных экономиках мира существует антимонопольное законодательство, то этот вариант встречается сравнительно редко и не характерен для развитых товарно-денежных отношений. Следовательно, третья задача оптимизации (оптимизация периода эксплуатации) является главной и определяющей в создании оптимальной экономики производства изделий, а две первые – носят подчиненный характер.

Потребитель на стадии эксплуатации изделия с одной стороны получает полезный эффект от его использования, а с другой стороны – несет эксплуатационные затраты, которые делятся на первоначальные и текущие [2]. К первоначальным затратам потребителя относятся стоимость изделия (его цена) и издержки, необходимые на монтаж и запуск изделия в эксплуатацию. Они играют ту же роль, что и капитальные вложения на стадии производства. Текущие издержки эксплуатации зависят от назначения и конструкции изделия и могут включать затраты на электроэнергию, топливо, техническое обслуживание, запасные части и т.п. Их назначение аналогично себестоимости в производственном процессе. Таким образом, для определения затрат на эксплуатацию изделия можно применить общеизвестную формулу годовых приведенных затрат [2]:

$$Z = C + E \cdot K, \text{ руб/год}, \quad (1)$$

где C – себестоимость эксплуатации изделия, руб/год;

K – первоначальные капитальные вложения на приобретение изделия, руб.;

E – так называемый нормативный коэффициент окупаемости капитальных вложений.

Сделаем два замечания по поводу формулы (1). Во-первых, в экономических расчетах, не предполагающих проведение оптимизации выражения (1), под величиной E понимается доля первоначальных капитальных вложений, приходящаяся на определенный период эксплуатации изделия, как правило, на календарный год. В соответствии с этим коэффициент E имеет размерность $1/\text{год}$, то есть он обратно пропорционален времени эксплуатации.

Во-вторых, в настоящее время существует широкая номенклатура изделий машиностроения, которая постоянно развивается и совершенствуется. Оставляя в стороне конструктивные особенности и различия в технических характеристиках, отметим большую разницу в сроках их эксплуатации и в уровнях финансовых средств, затрачиваемых на их приобретение и текущее использование. Для рассмотрения наиболее общего случая примем в дальнейшем, что срок эксплуатации изделия измеряется в условных единицах времени (*у.е.в.*), а денежные расходы – в условных единицах стоимости (*у.е.с.*).

Если срок эксплуатации изделия заранее неизвестен, формулу (1) можно записать в виде

$$Z = C + \frac{K}{\tau + 1}, \quad \frac{\text{у.е.с.}}{\text{у.е.в.}}, \quad (2)$$

где через τ обозначен текущий срок эксплуатации в *у.е.в.* В знаменатель второго слагаемого уравнения (2) добавлена единица для того, чтобы в начальный момент времени ($\tau = 0$) приведенные затраты на эксплуатацию равнялись цене приобретаемого изделия.

В выражении (2) величина C , представляющая собой удельную себестоимость эксплуатации изделия, приходящуюся на условную единицу времени эксплуатации, в общем случае будет зависеть от τ . Постоянной во времени она будет лишь в том нереальном случае, когда изделие по мере эксплуатации остается с неизменными исходными характеристиками (вечное изделие). В первом приближении примем, что удельная себестоимость эксплуатации изделия прямо пропорциональна времени эксплуатации, т. е.

$$C = C_{\Pi} \cdot \tau, \quad \text{у.е.с./у.е.в.}, \quad (3)$$

где через C_{Π} обозначен коэффициент пропорциональности, имеющий размерность у.е.с./у.е.в.^2 .

После постановки зависимости (3) формула (2) примет вид

$$Z = C_{\Pi} \cdot \tau + \frac{K}{\tau + 1}. \quad (4)$$

Следует отметить, что по сравнению с (1) выражение (4) определяет не абсолютные (годовые), а относительные (текущие) приведенные затраты на эксплуатацию изделия машиностроения. На рисунке приведены расчеты зависимости (4) для различных значений K при постоянной величине $C_{\Pi} = 200 \text{ у.е.с./у.е.в.}^2$.

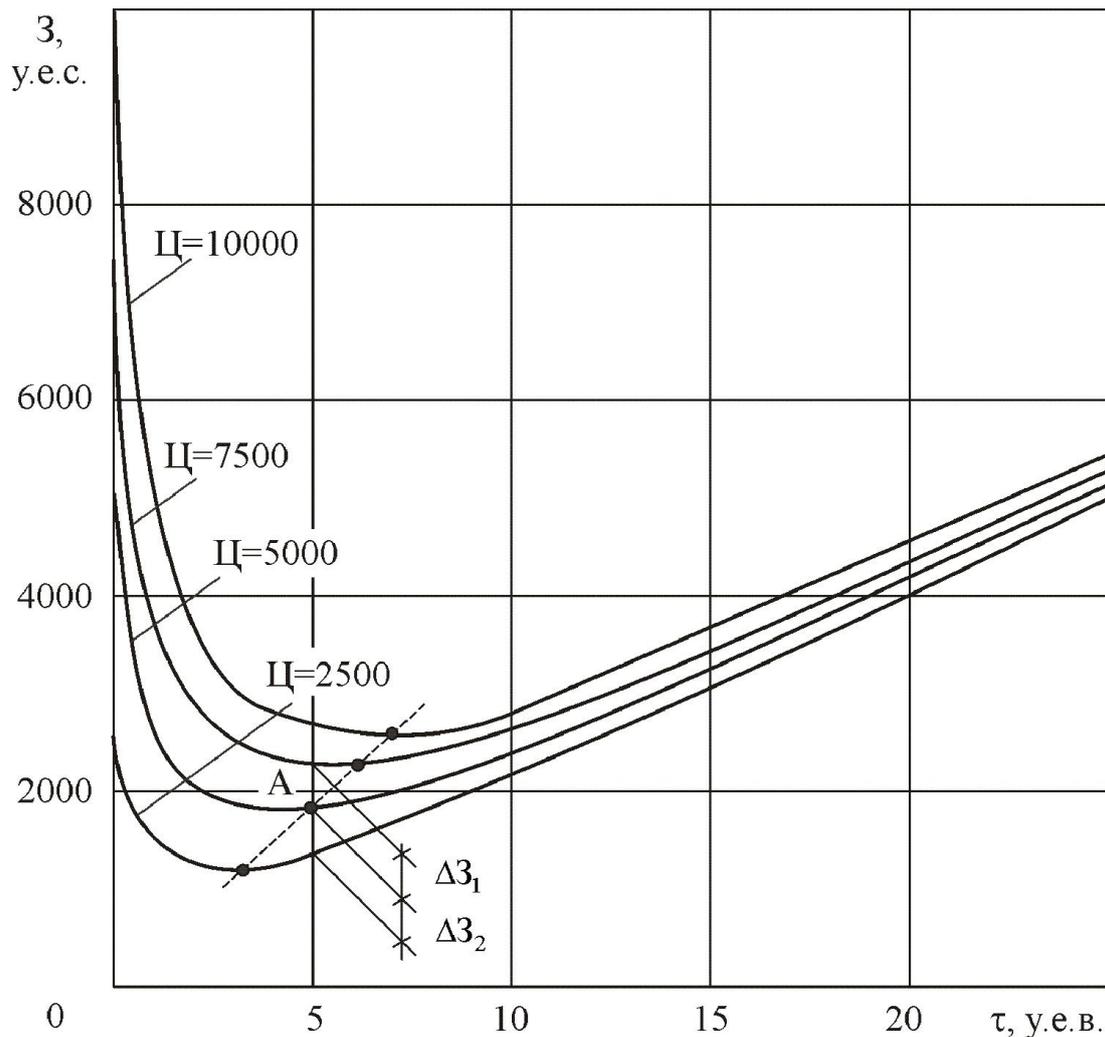


Рис. Зависимости текущих приведенных затрат на эксплуатацию изделия при различных ценах его реализации

Как видно из рисунка, все кривые имеют глобальный минимум удельных приведенных затрат потребителя при определенном сроке эксплуатации изделия. Обозначим величину этого срока службы через T_3 и назовём её «экономически обоснованным сроком службы» (ЭОСС) [3], под которым будем понимать такой период времени эксплуатации изделия, по истечению которого удельные приведенные затраты потребителя достигают своего минимального значения. Дальнейшая эксплуатация изделия становится не рентабельным и оно подлежит замене, как правило, на более совершенное.

Значение T_3 можно получить из выражения (4), взяв от него производную по времени τ и приравняв ее к нулю:

$$T_3 = \sqrt{\frac{K}{C_{II}}}, \text{ y.e.v.} \quad (5)$$

При этом величина минимальных удельных приведенных затрат на эксплуатацию изделия равна

$$Z_{\min} = C_{II} \cdot T_{\text{Э}} + \frac{K}{T_{\text{Э}} + 1}, \frac{\text{y.e.c.}}{\text{y.e.v.}} \quad (6)$$

Таким образом, только точное соответствие между плановыми и фактическими удельными текущими затратами на эксплуатацию изделия приводит к балансу экономических интересов как производителя так и потребителя и дает приемлемый (оптимальный) результат для обоих.

Вывод: для минимизации издержек потребителя изделие конкретной конструкции и качества должно эксплуатироваться в течение экономически обоснованного срока его службы, значение которого обусловлено величинами первоначальных затрат на приобретение и текущих затрат на эксплуатацию данного изделия.

Список литературы

1. Петрушин С.И., Губайдулина Р.Х. Организация жизненного цикла изделий машиностроения.– Томск: Изд-во ТПУ, 2012.– 200с.
2. Расчеты экономической эффективности новой техники: Справочник./ Под ред. К.М. Великанова. – Л.:Машиностроение, 1990. – 448с.
3. Петрушин С.И. Экономически обоснованный срок службы режущих инструментов. //Вестник машиностроения. – 2007.– №4. – С.40 – 46.

Economically feasible operating life of engineering products

R.H. Gubaidulina

The paper provides analysis of the main phases of the operating life of engineering products. Three optimization tasks for designing, production and operation of the machine are set. A new optimization method for an operation phase is suggested.

Key words: Lifecycle, economically feasible operating life, operation, production cost.

УДК 658.5.011:519.171:005.8

**МЕТОДИКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СИНТЕЗА ИННОВАЦИОННЫХ
УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА
ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

*С.В. ЛУКИНА, доктор техн.наук, профессор
В.М. МАКАРОВ, доктор техн.наук, профессор,
М.В. КРУТЯКОВА, канд. техн. наук, доцент,
(МГМУ «МАМИ» Университет машиностроения, г. Москва)*

Лукина С.В. – 127055, г. Москва, ул.Большая Семеновская, 38
Московский государственный машиностроительный университет МАМИ» (Университет
машиностроения),
e-mail: Lukina_SV@mail.ru

В статье рассматривается методика автоматизированного синтеза инновационных управленческих решений на проектном этапе подготовки производства с использованием линейных математических моделей. Разработанные аналитические модели наглядны, универсальны и могут быть автоматизированы с использованием инструментальных средств персональных компьютеров.

Ключевые слова: методика автоматизированного синтеза, инновационное управленческое решение, линейная математическая модель.

Конечным результатом инновационной деятельности предприятия является достижение сформированных в стратегии развития инновационных целей путем качественной организации инновационных процессов. Центральной задачей при этом является процедура синтеза вариантов решения проблемы с последующей оценкой альтернатив по выбранным критериям. Под инновационным решением в рамках данного исследования была принята совокупность способов решения проблем организации и управления предприятием, способствующая повышению эффективности его функционирования, на основе выбора определенной системы действий относительно разработки, создания и освоения нововведений в различных областях деятельности предприятия.

В работе задача синтеза и выбора инновационных решений была решена с использованием теории графов и методов математического программирования, позволяющих сформировать и оценить множество допустимых альтернатив совокупностью математических оптимизационных моделей, разработанных на основе синтеза и анализа сетевых граф-моделей.

Разработанная граф-модель синтеза инновационных решений определена множеством слоев, характеризующих элементы инновационного решения, и глубиной каждого слоя, определяющей совокупность способов решения выделенной проблемы (рис.1). Слой 1 определяет сферу инновационного решения: v_{11} - технологическая инновация, v_{12} - продуктовая, v_{13} - организационно-управленческая, v_{14}, \dots, v_{1n} - другая. Слой 2 определяет гипотезу инновационного решения: «технологического толчка» (вершина v_{21}); «давления рыночного спроса» (вершина v_{22}); некоторые неопределенные источники, например, внутрифирменные (вершина v_{23}) или другие [1].

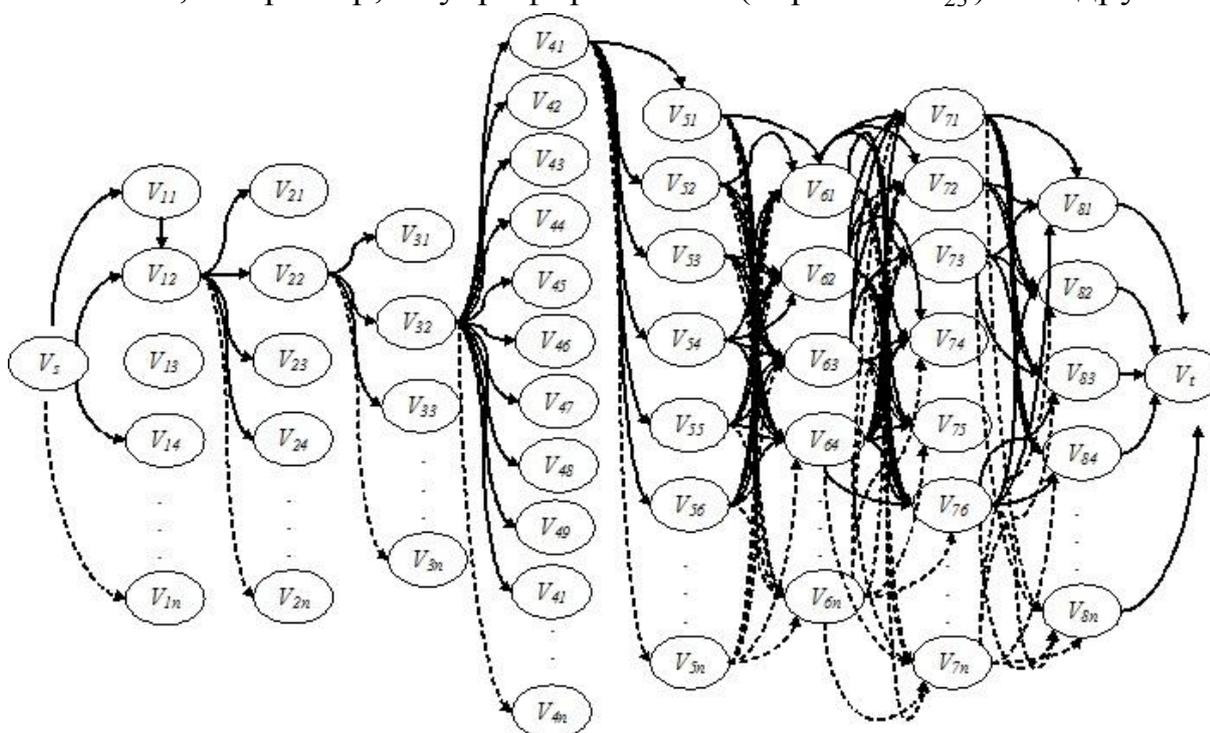


Рис. 1. Граф-модель синтеза множества инновационных альтернатив

Слой 3 определяет источник инновационной идеи: собственные разработки предприятия (вершина v_{31}), разработки стратегических партнеров (вершина v_{32}), покупка инновационной идеи (лицензий, патентов) (вершина v_{33}) и другие. Слой 4 определяет схему финансирования инновационного решения: бюджетные ассигнования (вершина v_{41}), средства специальных внебюджетных фондов финансирования (вершина v_{42}), собственные средства предприятий (вершина v_{43}), другие (вершины v_{44}, \dots, v_{4n}).

Слой 5 описывает материально-техническую базу предприятия: использование имеющихся средств производства в текущем состоянии (вершина v_{51}), модернизацию имеющихся средств производства и их

использование (вершина v_{52}), покупку необходимого оборудования (вершина v_{53}) и другие. Слой 6 описывает кадровую политику предприятия: привлечение сотрудников предприятия с текущим уровнем профессионализма и подготовки (вершина v_{61}), привлечение сотрудников с предварительной организацией их дополнительного обучения (вершина v_{62}), проведение найма персонала (вершина v_{63}) и другие.

Слой 7 описывает выбранную стратегию ценообразования, которая отразится в типе договора с покупателем продукции: договор с паушальной ценой (вершина v_{71}), договор с возмещением затрат (вершина v_{72}) и другие. Слой 8 определяет стратегию выхода предприятия на рынок: «оборонительная война» (вершина v_{81}), «наступательная война» (вершина v_{82}) и другие [1].

Множество возможных вариантов инновационных решений представлено системой обходных путей графа. Для математического описания граф-модели сетевой структуры разработана линейная математическая модель с булевыми переменными вида:

$$\begin{cases} F(V) \rightarrow \min(\max) \\ \sum_{j=1}^n v_{sj} - \sum_{i=1}^n v_{is} = 1, \quad \sum_{j=1}^n v_{tj} - \sum_{i=1}^n v_{it} = -1; \\ \sum_{j=1}^n v_{ij} - \sum_{i=1}^n v_{ij} = 0, (\forall i \in \{1,2,\dots,n\}, i \neq s, i \neq t); \\ v_{ij} \in \{0,1\}, (\forall i, j \in \{1,2,\dots,n\}) \end{cases} \quad (1)$$

Здесь $F(V)$ - целевая функция выбора варианта инновационного решения.

Выбор эффективного инновационного решения следует осуществлять на основе анализа совокупности производственных и финансовых показателей [2,3]. В группе производственных показателей следует определять объем товарного производства продукции ОП в натуральном выражении, являющийся функцией количества имеющегося в распоряжении оборудования N , технически обоснованной нормы производительности оборудования, выраженной в конечном продукте H и коэффициента загрузки оборудования K_{30} :

$$ОП = f(N, H, K_{30}) \rightarrow \max \quad (2)$$

Критерий максимально допустимого объема производимой продукции может быть охарактеризован системой:

$$\{N \rightarrow \max, H \rightarrow \max, K_{30} \rightarrow \max \quad (3)$$

У действующих предприятий, максимизация объема производимой продукции может определяться производительностью оборудования и коэффициентом загрузки оборудования:

$$\{N \rightarrow \max, K_{30} \rightarrow \max \quad (4)$$

Величина получаемой чистой продукции, включая амортизацию ЧП(А):

$$\text{ЧП(А)} = \text{ТП} - \text{М} \rightarrow \max \quad (5)$$

где ТП- объем производимой за счет применения продукции в стоимостном выражении в расчете на год, руб.; М- материальные затраты на производство продукции в расчете на год, руб.

Максимум объема производимой продукции в стоимостном выражении определяется максимальным объемом производимой продукции в натуральном выражении ОП и максимальной отпускной ценой единицы продукции Ц. Условием будет являться ограничение отпускной цены изделия величиной максимальной цены C_m , при которой рынок согласится принять изделие в требуемом для предприятия объеме:

$$C \leq [C_m] \quad (6)$$

Критерий, определяющий величину экономии за счет снижения себестоимости продукции, определяется как:

$$\text{Э}_c = \frac{\text{ТП}}{\text{ТП}_0} \cdot C_{н0} - C_{н1} = C_{нр0} - C_{н1} \rightarrow \max \quad (7)$$

где ТП_0 - годовой объем производимой продукции в базовом варианте в стоимостном выражении, руб.; $C_{н1}, C_{н0}$ - себестоимость продукции, созданной соответственно с применением нововведения и при базовом варианте производства, в расчете на год, руб.; $C_{нр0}$ - нормативная себестоимость продукции, рассчитанная на объем производства с применением нововведения по нормам, установленным до его внедрения, руб.

В группе критериев, характеризующих финансовые результаты инновационного решения, следует определять величину чистого дохода, получаемого предприятием:

$$D_{ч} = (D - H_{л} - \Pi_{к}) \rightarrow \max \quad (8)$$

где D - доход, получаемый за счет реализации инновационного решения; $H_{л}$ - общая сумма налогов, уплаченных в бюджет и во внебюджетные фонды в части, относящейся к реализации инновационного решения; $\Pi_{к}$ - общая величина сумм, оплачиваемых по кредитным обязательствам [1].

Критерии, характеризующие оптимальное решение по величине прибыли до налогообложения (ЕВІТ), и чистой прибыли, получаемой за счет реализации инновационного решения, могут быть рассчитаны следующим образом:

$$\Pi = \Pi - C_{нл} \rightarrow \max, \Pi_{ч} = \Pi - H_{л} - \Pi_{к} \rightarrow \max \quad (9)$$

Критерии, характеризующие оптимальное решение с точки зрения рентабельности продукции по доходу $R_{д}$, операционной прибыли Π и чистой прибыли $\Pi_{ч}$ могут быть записаны как:

$$R_{д} = D / РП \rightarrow \max, R_{\Pi} = \Pi / РП \rightarrow \max, R_{\Pi_{ч}} = \Pi_{ч} / РП \rightarrow \max, \quad (10)$$

где $РП$ - объем продаж продукции, произведенной при реализации инновационного решения.

Оценка инновационного решения по инвестиционной составляющей позволит оценить перспективность будущих вложений в его реализацию. Критерий, характеризующий инновационное решение с позиции приносимой им величины чистого дисконтированного денежного потока от операционной деятельности ЧДП_o в определенном периоде, может быть рассчитан следующим образом:

$$\text{ЧДП}_o = \frac{\text{ПОД} - \text{ОДС}}{(1 + r)} \rightarrow \max, \quad (11)$$

где ПОД , ОДС - приток отток и денежных средств за счет операционной деятельности, соответственно; r - ставка дисконтирования.

Критерий, характеризующий величину получаемой за счет реализации инновационного решения величины чистого дисконтированного денежного потока от операционной деятельности ЧДП_o с учетом величины первоначальных затрат $KЗ$, может быть сформулирован как:

$$\text{ЧДД}_o = \left[\sum_{i=1}^n \frac{\text{ЧДП}_{oi}}{(1 + r)^i} - KЗ \right] \rightarrow \max \quad (12)$$

Критерий, характеризующий величину индекса рентабельности инвестиций, может быть записан как:

$$ИР = \left[\sum_{i=1}^n \frac{ЧДП_{oi}}{(1+r)^i} \right] : [КЗ] \rightarrow \max \quad (13)$$

Критерий, определяющий оптимальное решение по величине внутренней нормы рентабельности, записывается как:

$$\sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_o}{(1+ВНД_в)^n} - \sum_{t=1}^n \frac{КЗ_i}{(1+ВНД_в)^n} = 0 \quad (14)$$

Оптимальным будет являться решение с минимальной внутренней нормой доходности:

$$ВНД \rightarrow \min \quad (15)$$

Критерий, характеризующий период окупаемости инвестиций, может быть записан как:

$$T_n = \frac{КЗ}{\sum_{i=1}^n ДП_{oi} / T} \rightarrow \min \quad (16)$$

где T - период реализации решения.

При отборе инновационных решений учет фактора риска необходим для отсеивания решений, сопряженных с его недопустимым уровнем. Количественное описание уровня риска, соответствующего данной альтернативе, предполагает рассмотрение генерируемого ею денежного потока в виде случайной величины. Мерой риска будет являться вероятность P того, что реальный денежный поток будет меньше ожидаемого на некую величину $\delta > 0$:

$$P\{ДП < (\mu - \delta)\} \rightarrow \min \quad (17)$$

где μ - математическое ожидание денежного потока $ДП$.

При наличии одного критерия предпочтения, задача выбора оптимального инновационного решения сводится к поиску минимального или максимального пути в графе, соответствующему минимальному или максимальному значению целевой функции (2)-(17).

При необходимости учета множества критериев предпочтения выбор оптимального решения сводится к расчету аддитивной или мультипликативной свертки частных критериев:

$$\Phi_{ад} = \sum_{i=1}^h \Phi(V)_i k_i, \Phi_M = \prod_{i=1}^h \Phi(V)_i \quad (18)$$

где k_i - коэффициент значимости i -го критерия предпочтения; h - общее число критериев [3].

Разработанная методика автоматизирована с использованием электронных таблиц Microsoft Excel. Выбор Microsoft Excel в качестве инструмента обоснован наличием встроенных функций и алгоритмов поиска решения, высокой доступностью и наглядностью приложения; этот пакет устанавливается на компьютер пользователя сразу после установки операционной системы от Microsoft.

Численные эксперименты с использованием разработанных моделей позволили произвести синтез и выбор оптимальных вариантов инновационных решений по заданной системе критериев предпочтения на предприятиях транспортного и энергетического машиностроения.

Список литературы

1. Основы инновационного менеджмента. Теория и практика: Учебник/ под ред. А.К. Казанцева, Л.Э. Минделли. 2-е изд. перераб. и доп. – М.: ЗАО «Издательство «Экономика», 2004. – 518 с.

2. Лукина С.В., Крутякова М.В., Соловьева М.В., Гирко В.В. Методика сравнительной оценки стоимости и качества инновационных решений на проектных этапах жизненного цикла высокотехнологичных изделий машиностроения и производств //Известия МГТУ «МАМИ».-2012, №2 (14), т. 2, с.118-124.

3. Лукина С.В., Крутякова М.В., Соловьева М.В. Обеспечение конкурентоспособности металлорежущего оборудования путем управления его качеством и себестоимостью на этапах НИОКР (на примере токарных станков)- М: МГТУ «МАМИ», 2011, 108 с.

Methodology for automated synthesis of innovative managerial solutions for manufacturing high-tech machine building details

S.V. Lukina, V.M. Makarov, M.V. Krutjakova

Methodology for automated synthesis of innovative managerial solutions at the project stage of pre-production by means of linear mathematical models. The developed analytical models are versatile and can be automated by using tools of personal computers.

Key words : methodology for automated synthesis, innovative management solution, the linear mathematical model

УДК 330.101.541

КРИТЕРИЙ ВЫБОРА СТАНОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ РЕМОНТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

*Л.А. ПОЛИНОВСКИЙ, к.т.н., доцент
(СГУПС, г. Новосибирск)*

*Л.Г. ПОЛИНОВСКАЯ, доцент
(НГПУ, г. Новосибирск)*

Полиновский Л.А. – 630049, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191,
Сибирский государственный университет путей сообщения,
e-mail: press@stu.ru

В настоящее время переоснащение многих ремонтных предприятий новым, более совершенным оборудованием весьма актуально. Для успешного решения этой задачи необходима разработка критериев для обоснованного выбора того или иного типа оборудования и условий, при которых замена старого оборудования является целесообразной. В настоящей работе предложен критерий выбора специального станочного оборудования с использованием безразмерных технологических коэффициентов. С помощью этого критерия определены условия, при которых целесообразен выбор того или иного типа станков для обточки колесных пар без выкатки.

Ключевые слова: выбор оборудования, критерий выбора, технологические коэффициенты.

Рассмотрим методику выбора металлорежущего оборудования для локомотивного депо и, в частности, специального станка для обточки локомотивных колесных пар. Обточка производится после для удаления поверхностных дефектов и восстановления профиля рабочей поверхности бандажа колесной пары. Во многих депо Сибирского региона каждая колесная пара электровозов перетачивается 2-3 раза в год. Обрабатываемый профиль содержит фаску, две конусные поверхности и криволинейную поверхность гребня (реборды). Сложная конфигурация гребня значительно усложняет процесс восстановления. Обработка производится без выкатки (без демонтажа колесной пары). После 8-15 обточек бандаж колеса становится слишком тонким и подлежит замене.

В настоящее время на этой операции используются как колесотокарные, так и колесофрезерные станки [1]. Рассмотрим последовательность выбора типа колесотокарного станка из групп станков, получивших преимущественное распространение. Станки первого типа с ручной подгонкой профиля по шаблону. Обработка на таких станках марки А41 малопроизводительна, требует высокой квалификации оператора и не обеспечивает требуемой точности. К станкам второго типа относятся копируемые станки с механической или гидроконтролируемой системой. К этой группе относятся, в частности,

станки Рязанского станкостроительного завода, например станок РТ 90801. Станки третьего типа, которые выпускает ряд зарубежных фирм, – это современные станки числовым программным управлением. Каждый тип станков имеет свои преимущества и недостатки и выбор станка того или иного типа во многом зависит от программы (количества колесных пар, которые подлежат переточке), культуры производства, условий работы оборудования. Низкий уровень загрузки и сложившиеся производственные отношения не стимулируют применения высокоточного и производительного оборудования, повышения культуры производства и создания комфортных условий труда. Однако, опыт развития металлообрабатывающего производства, доказывает необходимость применения более совершенных методов обработки. Актуальной является задача разработки критериев для обоснованного выбора того или иного типа оборудования и условий, при которых замена старого оборудования является целесообразной. При экономическом обосновании необходимости таких перемен следует учитывать динамику изменения стоимости рабочей силы, а так же объем затрат на частую смену бандажей. Частая смена бандажей вызвана большим припуском на обработку ввиду отсутствия надежного базирования колесной пары и ручной подгонкой профиля при применении станков первого типа. Неточность и низкая чистота обработки приводит к значительным динамическим нагрузкам и ускоренному износу контактных поверхностей колесной пары.

Рассмотрим последовательность разработки комплексного безразмерного критерия выбора оборудования и технологии обработки локомотивных колесных пар без выкатки. На первом этапе выбираются группы станков, которые используются или могут использоваться на данной операции. Затем в каждой группе выбираем типовых представителей. В первой группе это станок типа А41. Наиболее простой, малопроизводительный и дешевый станок, который, однако, до сих пор находит широкое распространение,

Для экономически обоснованного выбора металлорежущего оборудования предлагается использовать метод сравнительных коэффициентов. Этот метод заключается в сравнительной стоимостной оценке. Для расчета комплексного критерия определяются относительные стоимостные оценки с использованием технологических коэффициентов [1]. Относительные стоимостные показатели и технологические коэффициенты обладают относительной стабильностью и отражают уровень развития технологии в настоящий период.

Рассмотрим методику расчета комплексного показателя, который позволит сделать рациональный выбор металлорежущего оборудования

Структура комплексного критерия, который используется для выбора оборудования, соответствует выражению для расчета прибыли за определенный период времени, например, за год:

$$P = (p - c_V) k_3 q - (c_F + S / T)$$

здесь p – стоимость операции репрофилирования наружной поверхности бандажей колесной пары; c_V – переменные затраты; c_F – постоянные затраты; q – производительность оборудования; k_3 – коэффициент загрузки; S – начальные затраты на приобретение и монтаж оборудования; T – расчетный срок технологического использования без капитального ремонта

При расчете учитывалась средняя стоимость обточки одной колесной пары нормативные затраты времени, коэффициент загрузки оборудования, переменные и постоянные расходы, Относительная стоимость станков перечисленных ранее групп, составила 1: 6: 33, а их производительность соотносится как 1:2:4.

Стоимость и производительность наиболее простых и дешевых станков, относящихся к первой группе, принимаем за 1. Относительные значения постоянных и переменных затрат соответствует структуре затрат ремонтного производства:

$$p=1; c_V=0,4; q=1; c_F=0,5; S=1$$

Стоимость и производительность станков остальных групп выражаем в относительных величинах.

Критерий P для базового оборудования при его полной загрузке:

$$P_0 = (1 - 0,4) \cdot k_3 - (0,5 + 1 / T)$$

При расчетном сроке технологического использования без капитального ремонта $T=10$ годам и $k_3=1$ критерий $P_0=0$.

Критерий P_i для альтернативного i – ого варианта определяется с использованием технологических коэффициентов:

$$P_i = (k_P p_0 - k_V c_V) k_3 q(S_i) - (k_F c_F + S_i / T) \quad (1)$$

где k_P , k_V , k_F – коэффициенты увеличения стоимости обработки, переменных и постоянных затрат (индекс i в правой части уравнения опущен).

Относительное увеличение стоимости обработки по мере повышения ее качества: за счет оптимизации припуска, снижения искажений профиля и повышение чистоты обработки позволяет уменьшить припуск на обработку и увеличить пробег локомотива до смены бандажа. Это приводит к уменьшению

затрат, связанных с износом бандажей колесной пары сумма затрат. Для базового варианта: сумма затрат:

$$C_0 = (p_0 + C_0 / N_0) / Q_0 \quad (2)$$

Для альтернативных вариантов:

$$C_i = (p_i + C_0 / N_i) / Q_i \quad (3)$$

здесь p_0, p_i – затраты на обточку; C_0 – стоимость смены бандажа; N_0, N_i – число переточек до смены бандажа; Q_0, Q_i – пробег локомотива между переточками.

Затраты на смену бандажа в n раз больше затрат на обточку.

$$C_0 = n p_0$$

Затраты на обточку со стороны заказчика (эксплуатационного подразделения) не изменятся при $C_i = C_0$.

Тогда согласно (2), (3) коэффициент увеличения стоимости обработки:

$$k_P = p_i / p_0 = (1 + n / N_0) Q_i / Q_0 - n / N_i$$

Производственная функция (зависимость производительности от капитальных затрат) может быть представлена в виде степенной функции:

$$q = a_P S_0^\alpha \quad (4)$$

С учетом данных об относительной стоимости и производительности станков $a_P = 1, \alpha = 0,38$.

Переменные и постоянные затраты можно разделить на две части: на долю затрат, независимую от вида оборудования (k_{V0}, k_{F0}) и долю $((1 - k_{V0}), (1 - k_{F0}))$, которая зависит от вида оборудования. Для приближенного расчета можно использовать степенную аппроксимацию вида (4):

$$k_V = k_{V0} + (1 - k_{V0}) S_0^\alpha$$
$$k_F = k_{F0} + (1 - k_{F0}) S_0^\alpha$$

Тогда комплексные критерии для станков первой и второй альтернативной группы станочного оборудования:

$$P_1 = (1,3 - 0,6) \cdot 2 k_{31} - (0,75 + 6/T_1)$$
$$P_2 = (1,43 - 0,75) \cdot 4 k_{32} - (1,25 + 33/T_2)$$

Условием выбора того или иного вида станочного оборудования является максимальное значение комплексного критерия P .

При полной загрузке станков (при $k_z = 1$) замена станков типа А41 на колесо-токарные станки, оснащенные системой базирования колесной пары и копировальным устройством, целесообразно при расчетном сроке технологического применения не менее 10 -12-ти лет.

Применение высокопроизводительных станков современного типа с числовым программным управлением можно рекомендовать к применению в расчете на продолжительный период эксплуатации (в течение 24 и более лет) при полной загрузке. Для полной загрузки высокопроизводительного оборудования необходимо планировать повышение специализации ремонтных предприятий.

Таким образом, предложенный критерий выбора специального станочного оборудования с использованием безразмерных технологических коэффициентов, обладающих относительной стабильностью, позволяет обоснованного подойти к выбору оборудования и организации производственного процесса в целом, определить условия, при которых целесообразна замена оборудования и реорганизация производственного процесса.

Список литературы

1. Полиновский Л.А. Оптимизационное моделирование при проектировании, изготовлении, эксплуатации и ремонте изделий. Новосибирск: Из-во СГУПС, 2009.-246 с.

Selection criteria of equipment for repair enterprise

L.A. Polinovsky, L.G. Polinovskaya

Currently, the choice of modern equipment for repair shops is very important. The successful solution of this problem requires the development of criteria for informed choice type of equipment and the conditions under which the replacement of old equipment is appropriate. In this paper, we propose a criterion for the selection of special equipment, using the technological dimensionless coefficients. This criterion defines the conditions under which it is advisable to choose a particular type of machine tools for repair wheelsets.

Keywords: equipment selection, selection criteria, and technological factors .

УДК 621.9

**ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ
РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ ФРЕЗЕРНОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ОБРАБОТКИ
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*А.С. ЯНЮШКИН, доктор техн. наук, профессор
Д.А. РЫЧКОВ, канд. техн. наук
Д.В. ЛОБАНОВ, канд. техн. наук, доцент*

Янюшкин А.С. – 665709, г. Братск, ул. Макаренко, 40,
Братский государственный университет,
e-mail: yanyushkin@brstu.ru

Представлены исследования качественных параметров затачивания фрезерного инструмента для обработки композиционных материалов со специфической геометрией режущей кромки. Одним из прогрессивных способов затачивания является комбинированный метод электроалмазного шлифования, однако для него нет однозначных данных по режимам обработки режущих инструментов, оснащенных высокопрочными инструментальными материалами и имеющих малый угол заострения режущей кромки. Установлено, что на качество заточенных поверхностей оказывают влияние электрические параметры затачивания, а наилучшее качество получено при комбинированном электроалмазном шлифовании с одновременной правкой круга и травлением детали. По результатам исследований получены математические зависимости шероховатости поверхности твердых сплавов от плотности тока правки круга и плотности тока травления детали и разработаны рекомендации по затачиванию фрезерного инструмента для обработки композиционных материалов.

Ключевые слова: композиционные материалы, затачивание, качество поверхности, режущий инструмент

Композиционные материалы находят все более широкое применение в различных отраслях промышленности. Они отличаются высокой прочностью и стойкостью к агрессивным средам наряду с низкой массой, что позволяет использовать их при изготовлении деталей машиностроения, авиастроения, электрооборудования, нефтехимической промышленности и т.п. Однако номенклатура изделий из композитов ограничена главным образом из-за сложностей, возникающих при механической обработке таких материалов, которые сводятся к наличию у них слоистой структуры, высокой твердости наполнителя и его абразивного воздействия на инструмент, а также низкой теплопроводности. Это предполагает обработку композиционных материалов острозаточенным инструментом с использованием высокопрочных инструментальных материалов. Рекомендуемые геометрические параметры режущего инструмента для обработки композитов варьируются в следующих пределах: передний угол: $\gamma = 20 \dots 30^\circ$, задний угол $\alpha = 10 \dots 15^\circ$, угол заострения $\beta = 50 \dots 60^\circ$ [1, 2]. Формирование режущей кромки с такими параметрами у

высокопрочных инструментальных материалов, например, твердых сплавов традиционными методами затачивания вызывает определенные трудности, поскольку они не обеспечивают необходимое качество лезвия.

Одной из прогрессивных технологий затачивания твердосплавного инструмента является электроалмазное шлифование с одновременной правкой круга и травлением обрабатываемой детали. Это позволяет снизить силовое воздействие на обрабатываемую поверхность в процессе резания, поддерживать режущую способность шлифовального круга и обеспечивает высокую производительность затачивания. На сегодняшний день авторами [3–5] даны рекомендации по обработке твердых сплавов, однако нет однозначных данных по затачиванию твердосплавного режущего инструмента для обработки композиционных материалов со специфической геометрией режущей кромки.

В связи с этим целью данного исследования является определение рациональных характеристик электроалмазного затачивания режущего инструмента, оснащенного твердыми сплавами, позволяющих получить гарантированное качество лезвия.

Таким образом, в задачи исследования входит определение зависимости шероховатости заточенной поверхности твердых сплавов от режимов обработки и установление наличия дефектов в зависимости от применяемого метода шлифования.

Исследование параметров качества проводилось на примере затачивания сборного фрезерного инструмента для обработки композиционных материалов, у которого геометрия режущей части имеет следующие характеристики: передний угол: $\gamma = 25^\circ$, задний угол $\alpha = 12^\circ$, угол заострения $\beta = 53^\circ$. Для этого фреза устанавливалась в специальное приспособление и подключалась к схеме обработки как показано на рис. 1, а. Правка алмазного круга осуществлялась электрохимически с помощью устройства [6], позволяющего позиционировать правящий инструмент на заданное расстояние от поверхности с возможностью подачи электролита в зону правки (рис. 1, б). Сборная конструкция фрезерного инструмента дает возможность менять режущие элементы и варьировать марку применяемого инструментального материала, что позволило провести исследования для нескольких марок твердых сплавов: ТН-20, ВК15, ВК8 и ВК3М.

За исследуемый параметр качества детали принята шероховатость поверхности R_a , у которого определялась зависимость от электрических режимов комбинированной электроалмазной обработки: $i_{пр}$, $i_{тр}$. Варьирование этих параметров осуществлялось в следующих пределах: $i_{пр} = 0 \dots 0,06 \text{ А/см}^2$; $i_{тр} = 0 \dots 4 \text{ А/см}^2$. Механические режимы резания устанавливались в соответствии с рекомендуемыми значениями исходя из обеспечения производительности и качества обработки [7]: $S_{пр} = 1,5 \text{ м/мин}$; $S_{поп} = 0,02 \text{ мм/дв.ход}$; $V = 19,6 \text{ м/с}$.

Контроль шероховатости обработанной поверхности контролировался с помощью профилографа-профилометра «Абрис ПМ-7», а образование дефектов

на поверхности твердых сплавов и режущей кромке – с помощью растрового электронного микроскопа *Philips SEM 515*.

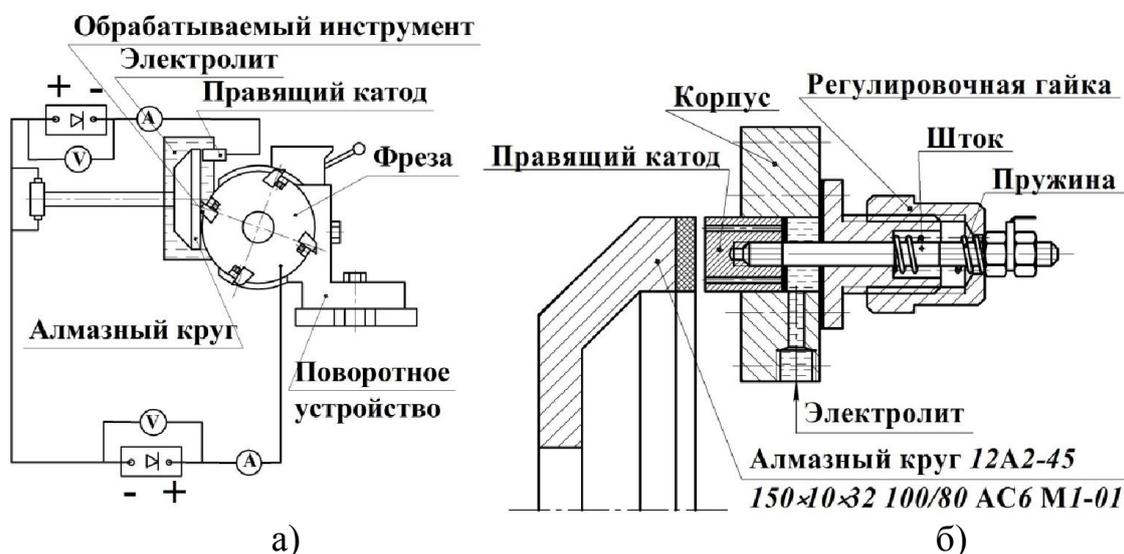


Рис. 1. Схема затачивания фрезерного инструмента по технологии комбинированного электроалмазного шлифования (а) и устройство для осуществления электрохимической правки алмазного круга (б)

По результатам лабораторных исследований, с применением методов статистической обработки данных получены математические модели шероховатости R_a от плотности тока правки и плотности тока травления при затачивании твердых сплавов:

$$\text{Для ТН20: } R_a = 0,22 + 0,47 \cdot i_{\text{пр}} + 0,01 \cdot i_{\text{тр}} + 0,27 \cdot i_{\text{пр}} \cdot i_{\text{тр}}, \text{ мкм.}$$

$$\text{Для ВК15: } R_a = 0,55 + 2,48 \cdot i_{\text{пр}} - 0,06 \cdot i_{\text{тр}} - 0,69 \cdot i_{\text{пр}} \cdot i_{\text{тр}}, \text{ мкм.}$$

$$\text{Для ВК8: } R_a = 0,39 + 1,73 \cdot i_{\text{пр}} - 0,05 \cdot i_{\text{тр}} - 0,18 \cdot i_{\text{пр}} \cdot i_{\text{тр}}, \text{ мкм.}$$

$$\text{Для ВК3М: } R_a = 0,16 - 12,08 \cdot i_{\text{пр}} - 0,19 \cdot i_{\text{тр}} - 1,06 \cdot i_{\text{пр}} \cdot i_{\text{тр}}, \text{ мкм.}$$

Рассмотрев частные случаи, когда один из переменных факторов является постоянным, получены графики зависимости шероховатости заточенной поверхности (рис. 2) от плотности тока правки и плотности тока травления.

Шероховатость обработанной поверхности в большей степени зависит от плотности тока травления детали, поскольку электрохимическое разупрочнение поверхности способствует сглаживанию микронеровностей. В этом случае наименьшая шероховатость наблюдается при комбинированном методе электроалмазного шлифования с одновременным разупрочнением поверхности обрабатываемой заготовки и правкой алмазного круга.

Оптические исследования были направлены на изучение изменения качества режущей кромки при затачивании различными методами алмазного

шлифования. Далее представлены результаты исследования затачивания твердосплавных пластин на примере сплава ВК3М, для остальных марок твердых сплавов получены аналогичные результаты.

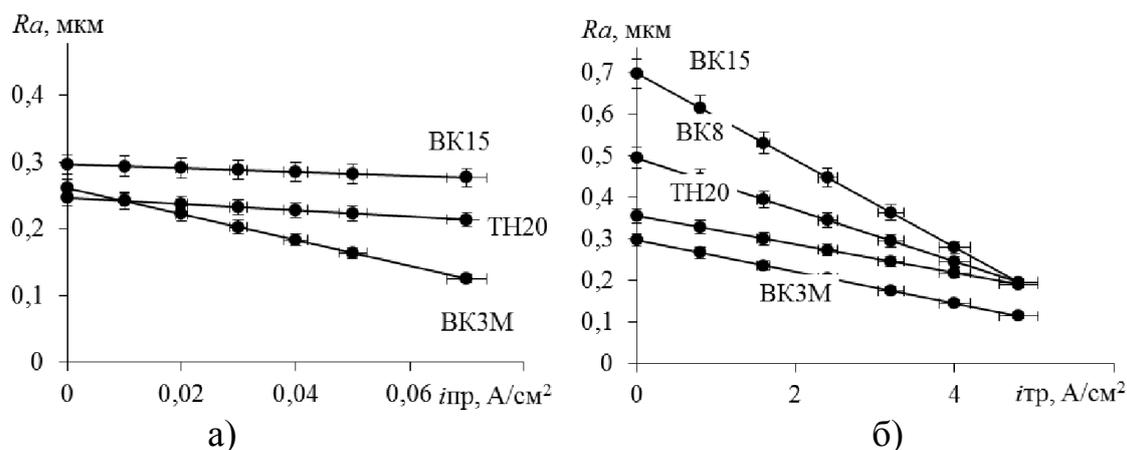


Рис. 2. Зависимость шероховатости обработанной поверхности от:
а) плотности тока правки при $i_{tr} = 4 A/cm^2$;
б) плотности тока травления при $i_{tr} = 0,06 A/cm^2$.

На рис. 3 представлены фотографии с растрового электронного микроскопа режущей кромки твердосплавных пластин марки ВК3М, заточенных различными методами: без электрохимии, комбинированным, с правкой круга и с травлением детали.

После затачивания твердых сплавов без электрохимии наблюдается более высокая склонность к образованию дефектов, чем при обработке другими методами, а величина сколов на режущей кромке составляет порядка 30...85 мкм. Растровая микроскопия при этом показывает наличие следов трения рабочей поверхности алмазного круга о поверхность детали, о чем свидетельствует полное или частичное сглаживание неровностей на обработанной поверхности.

Затачивание с электрохимическим травлением детали показывает более удовлетворительный результат, величина сколов на режущей кромке имеет меньшие значения, на поверхности отчетливее видна структура материала, вследствие его растворения под действием электрохимии, однако проявление электроэрозионных процессов, происходящих в результате контакта детали с засаленным слоем алмазного круга, приводит к образованию кратеров в местах локализации электрической энергии.

После затачивания твердых сплавов с непрерывной электрохимической правкой круга прослеживается воздействие абразивных частиц алмазного круга на обработанной поверхности, что свидетельствует о высокой степени режущей способности круга, однако на режущей кромке, являющейся концентратором внутренних напряжений, присутствуют следы адгезионного износа в виде вырванных с поверхности детали частиц обрабатываемого материала.

Наилучшие результаты показывают образцы твердосплавных пластин, заточенных комбинированным методом электроалмазного шлифования. Величина сколов варьируется в пределах 5...10 мкм, на режущей кромке нет следов адгезионного износа, обработанная поверхность имеет равномерную структуру со слабым проявлением эрозионных процессов. В этом случае растровая микроскопия показывает, что поверхность образца ВК3М растравлена хуже, чем у других материалов, что может быть следствием более низкой электрической проводимости данного сплава.

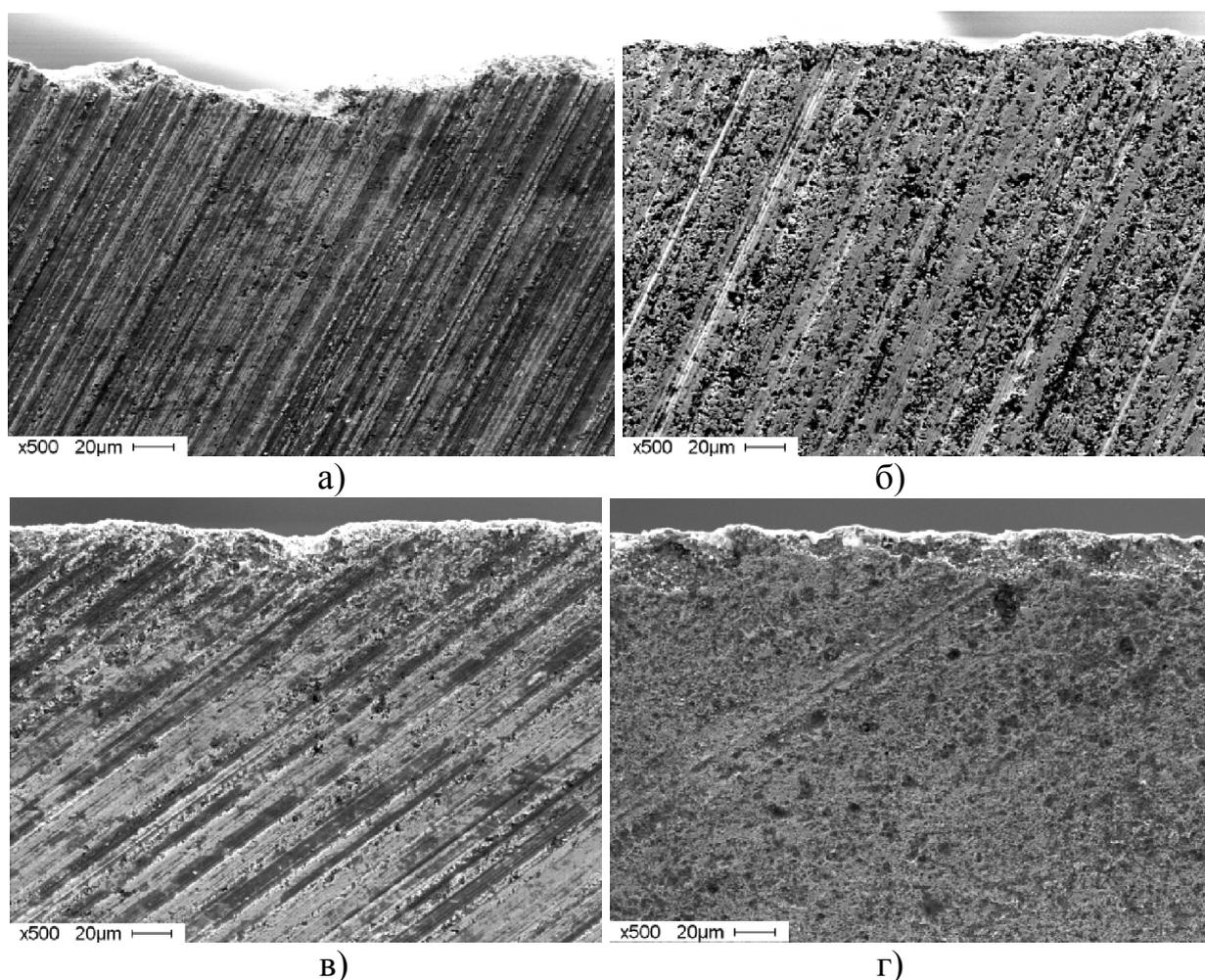


Рис. 3. Поверхность твердого сплава ВК3М, заточенная:
а) без электрохимии; б) комбинированным методом;
в) с правкой круга; г) с травлением детали

Таким образом, можно сделать следующие выводы и рекомендации:

1. Предложенная технология комбинированного электроалмазного затачивания режущих инструментов, оснащенных твердыми сплавами, позволяет добиться высокого качества обработанной поверхности с шероховатостью $R_a = 0,1 \dots 0,2$ мкм и образованием сколов величиной не более 10 мкм.

2. Получены математические модели шероховатости R_a обработанных поверхностей твердых сплавов в зависимости от режимов затачивания: плотности тока правки $i_{пр}$ и плотности тока травления $i_{тр}$.

3. Разработаны рекомендации по затачиванию режущего инструмента, оснащенного вставками из твердых сплавов для обработки композиционных материалов. При комбинированном методе затачивания рекомендуется устанавливать следующие режимы обработки: $i_{тр} = 3,5 \dots 4,0 \text{ А/см}^2$, $i_{пр} = 0,05 \dots 0,06 \text{ А/см}^2$, $S_{пр} = 1,5 \dots 2,0 \text{ м/мин}$, $S_{поп} = 0,02 \dots 0,04 \text{ мм/дв.ход}$, $V = 19 \dots 20 \text{ м/с}$.

Список литературы

1. Рычков, Д.А. Совершенствование технологии формообразования высокопрочных стекловолоконистых композиционных материалов на полимерной основе / Д.А. Рычков, А.С. Янюшкин, Д.В. Лобанов, В.В. Базаркина // Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты – 2012. - № 3. – С. 150-153.

2. Янюшкин, А.С. Особенности фрезерования полимерных композиционных материалов / А.С. Янюшкин, Д.А. Рычков, Д.В. Лобанов, Е.В. Ткаченко, Н.А. Ткаченко // Системы. Методы. Технологии. – 2013. - № 2. – С. 88 – 90.

3. Попов В.Ю. Повышение качества изделий из инструментальных сталей при электроалмазном шлифовании: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Братск, 2002. – 16 с.

4. Архипов П.В. Повышение режущих свойств алмазных кругов на металлической связке путем устранения их засаливания: Автореф. дис. канд. техн. наук – Томск, 2010. – 20 с.

5. Сурьев А.А. Повышение качества поверхностного слоя деталей за счет совершенствования процесса комбинированного электроалмазного шлифования: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Братск, 2005. – 20 с.

6. Янюшкин А.С., Лобанов Д.В., Рычков Д.А., Попов В.Ю., Сурьев А.А., Архипов П.В., Лосев Е.Д., Яковец А.В., Черемных А.С. Конструкция катода для правки круга при комбинированной электроалмазной обработке // Патент России № 2446039. 2010. Бюл. № 21.

7. Янюшкин А.С. Технология электроалмазного затачивания режущих инструментов и методы ее реализации: монография. Старый Оскол: Изд-во ТНТ, 2013. 336 с.

Investigation of surface quality in the formation of cutting edge milling tools for composite materials processing

A.S. Yanyushkin, D.A. Rychkov, D.V. Lobanov

Investigations of sharpening quality parameters of milling tool for composite material processing with a specific geometry of the cutting edge. Found that the quality of sharpened surfaces influence the electrical parameters of sharpening, and the best quality is obtained when combined with simultaneous electro diamond grinding wheel dressing and etched details. According to the research obtained mathematical models of the surface roughness of hard alloys on the current density range of changes and current density etching details and recommendations on sharpening cutting tools for composite materials processing.

Key words: composite materials, sharpening, surface quality, cutting tool.

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ

**Материалы
первой международной научно-практической конференции**

г. Новосибирск, 26 марта 2014 г.

В авторской редакции

Подписано в печать 11.03.2014. Формат 70 x 100 1/16.

Гарнитура Таймс. Бумага офсетная.

Тираж 100 экз. Уч.-изд. л. 47,40. Печ. л. 36,75.

Изд. № 38. Заказ № 379

Издательство Новосибирского государственного технического университета

630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20.

Тел.: (383)–346–31–87.

Отпечатано в типографии

Новосибирского государственного технического университета

630073, г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20

ISSN 1994-6309

ОБРАБОТКА ОМ МЕТАЛЛОВ

ТЕХНОЛОГИЯ • ОБОРУДОВАНИЕ • ИНСТРУМЕНТЫ

научно-технический и производственный журнал

http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov
metal_working@mail.ru

Организатор международных
выставок и конференций



ITE Сибирь
В составе группы компаний ITE

<http://www.ite-siberia.ru/>

welcome@sibfair.ru

mash
SIBERIA



Международная выставка машиностроения
и металлообработки

25-28 марта 2014 года

Россия, Новосибирск

www.mashex-siberia.ru