

Том 4 № 4 2017

ISSN 2313-1020

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

**МАТЕРИАЛЫ ЧЕТВЕРТОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

г. Новосибирск, 29 марта 2017 г.

ACTUAL PROBLEMS IN MACHINE BUILDING

SCIENTIFIC, TECHNICAL AND INDUSTRIAL ARTICLES

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

Novosibirsk, 29 March 2017

НОВОСИБИРСК



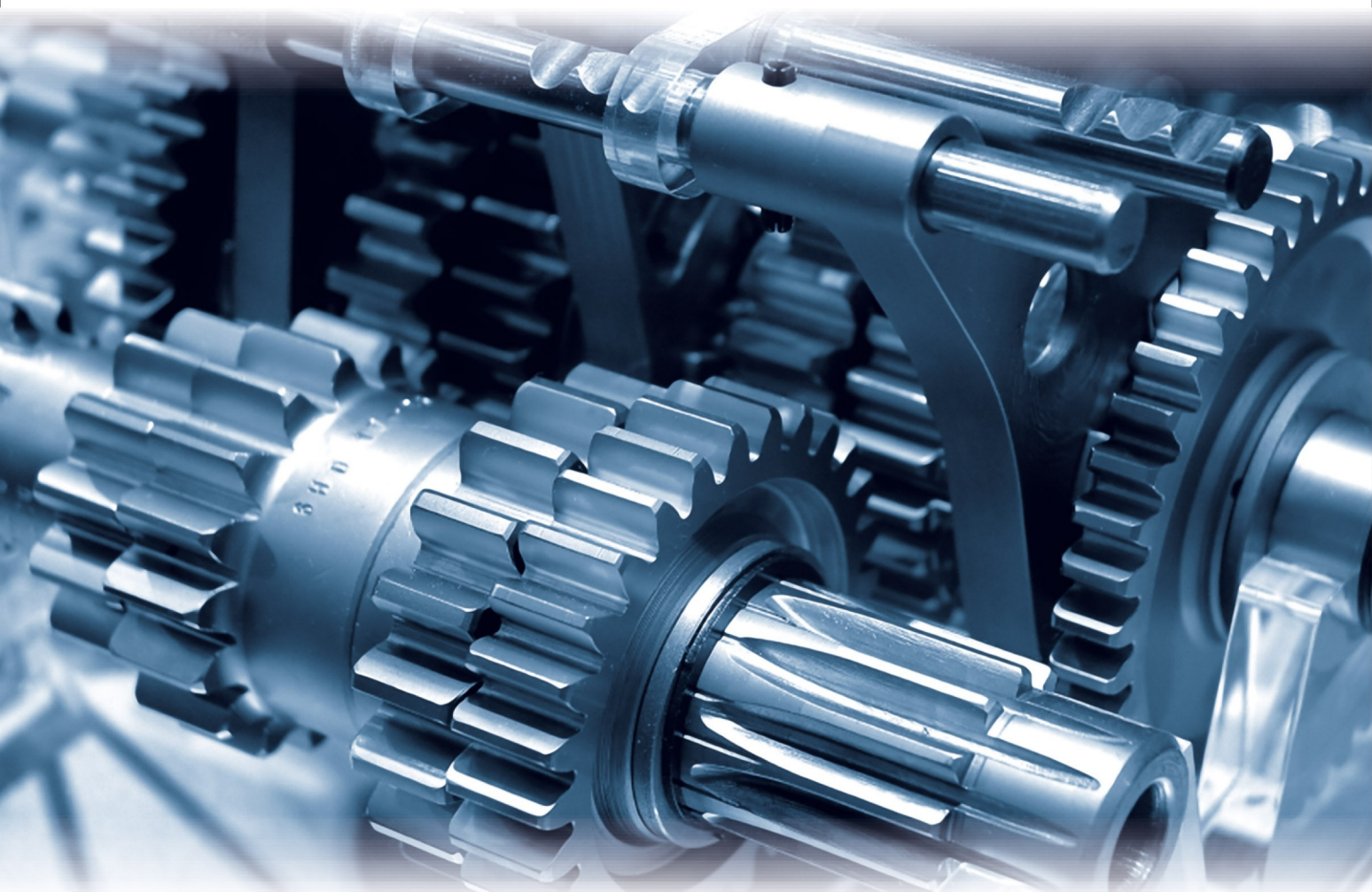


Выставка оборудования
для металлообработки
и сварки

28–31 марта 2017

Место проведения: МВК «Новосибирск Экспоцентр»

Получите электронный билет
mashex-siberia.ru



Организатор
ITE Сибирь

Россия, Новосибирск
ул. Станционная, 104

Тел.: (383) 363-00-36
www.ite-siberia.ru

Генеральный
информационный партнер

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ ЖУРНАЛ
**СТАНОЧНЫЙ
ПАРК**

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ

ISSN 2313-1020

Том 4 №4 2017 г. НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Председатель совета

Батаев Анатолий Андреевич - доктор технических наук, профессор, почётный работник высшего профессионального образования, ректор НГТУ, г. Новосибирск (Российская Федерация)

Члены совета

Федеративная Республика Бразилия: **Альберто Морейра Хорхе**, профессор, доктор технических наук, Федеральный университет, г. Сан Карлос

Федеративная Республика Германия: **Монико Грайф**, профессор, доктор технических наук, Высшая школа Рейн-Майн, Университет прикладных наук, г. Рюссельсхайм, **Томас Хассел**, доктор технических наук, Ганноверский университет Вильгельма Лейбница, г. Гарбсен, **Флориан Нюрнбергер**, доктор технических наук, Ганноверский университет Вильгельма Лейбница, г. Гарбсен

Республика Беларусь: **Пантелеенко Ф.И.**, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент НАН Беларуси, Заслуженный деятель науки Республики Беларусь, Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Украина: **Ковалевский С.В.**, доктор технических наук, профессор, Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск

Российская Федерация: **Анисименко Г.Е.**, директор производственно-технической фирмы «Сигма-инструмент», г. Новосибирск, **Атапин В.Г.**, доктор техн. наук, профессор, НГТУ, г. Новосибирск, **Балков В.П.**, зам. ген.директора АО «ВНИИинструмент», канд. техн. наук, г. Москва, **Батаев В.А.**, доктор техн. наук, профессор, НГТУ, г. Новосибирск, **Буров В.Г.**, доктор техн. наук, профессор, НГТУ, г. Новосибирск, **Герасенко А.Н.**, директор ООО НПКФ «Машсервисприбор», г. Новосибирск, **Иванцовский В.В.**, доктор техн. наук, доцент, НГТУ, г. Новосибирск, **Кирсанов С.В.**, доктор техн. наук, профессор, ТПУ, г. Томск, **Коротков А.Н.**, доктор техн. наук, профессор, академик РАЕ, КузГТУ, г. Кемерово, **Кудряшов Е.А.**, доктор техн. наук, профессор, Засл. деятель науки РФ, ЮЗГУ, г. Курск, **Макаров А.В.**, доктор техн. наук, с.н.с., ИФМ УрО РАН, г. Екатеринбург, **Овчаренко А.Г.**, доктор техн. наук, профессор, БТИ АлтГТУ, г. Бийск, **Рахимянов Х.М.**, доктор техн. наук, профессор, НГТУ, г. Новосибирск, **Сараев Ю.Н.**, доктор техн. наук, профессор, ИФПМ СО РАН, г. Томск, г. Барнаул, **Янюшкин А.С.**, доктор техн. наук, профессор, БрГУ, г. Братск

УЧРЕДИТЕЛЬ ЖУРНАЛА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет»

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Скиба Вадим Юрьевич - доцент, канд. техн. наук

ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Лобанов Дмитрий Владимирович - профессор, доктор техн. наук

Мартынова Татьяна Геннадьевна - доцент, канд. техн. наук

Плотникова Наталья Владимировна - доцент, канд. техн. наук

Перепечатка материалов из журнала «Актуальные проблемы в машиностроении» возможна при обязательном письменном согласовании с редакцией журнала; ссылка на журнал при перепечатке обязательна.

За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель.

ИЗДАЕТСЯ С 2014 г.

Периодичность – 1 Том в год

ИЗДАТЕЛЬ ЖУРНАЛА

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»

Журнал зарегистрирован 31.10.2016 г. Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-67566.

Журнал зарегистрирован в научной электронной библиотеке eLIBRARY.RU.

Адрес редакции:

630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет (НГТУ), корп. 5, к. 137ВЦ, Скиба В.Ю. Тел. (383) 346-17-79

Сайт журнала:

<http://journals.nstu.ru/machine-building>
E-mail: machine-building@mail.ru

ACTUAL PROBLEMS IN MACHINE BUILDING

ISSN 2313-1020

Volume 4 Number 4 2017 SCIENTIFIC, TECHNICAL AND INDUSTRIAL JOURNAL

EDITORIAL BOARD

EDITOR-IN-CHIEF:

Vadim Y. Skeeba, Ph.D. (Engineering), Associate Professor,
Department of Industrial Machinery Design, Novosibirsk State
Novosibirsk State Technical University, *Novosibirsk*, Russian Federation

DEPUTIES EDITOR-IN-CHIEF:

Dmitry V. Lobanov, D.Sc. (Engineering), Professor,
Department of Machine-building technology,
Bratsk State University, *Bratsk*, Russian Federation

Tatyana G. Martynova, Ph.D. (Engineering), Associate Professor,
Department of Industrial Machinery Design, Novosibirsk State
Novosibirsk State Technical University, *Novosibirsk*, Russian Federation

Natalia V. Plotnikova, Ph.D. (Engineering), Associate Professor,
Department of Material Science in Mechanical Engineering,
Novosibirsk State Technical University, *Novosibirsk*, Russian Federation

EDITORIAL COUNCIL

CHAIRMAN:

Anatoliy A. Bataev, D.Sc. (Engineering), Professor,
Rector, Novosibirsk State Technical University, *Novosibirsk*, Russian Federation

MEMBERS:

The Federative Republic of Brazil:

Alberto Moreira Jorge Junior, Dr.-Ing., Full Professor, Federal University of Sao Carlos, *Sao Carlos*

The Federal Republic of Germany:

Moniko Greif, Dr.-Ing., Professor, Hochschule RheinMain University of Applied Sciences, *Russelsheim*

Florian Nurnberger, Dr.-Ing., Chief Engineer and Head of the Department "Technology of Materials",
Leibniz Universitat Hannover, *Garbsen*

Thomas Hassel, Dr.-Ing., Head of Underwater Technology Center Hanover, Leibniz Universitat Hannover, *Garbsen*

The Republic of Belarus:

Fyodor I. Panteleenko, D.Sc. (Engineering), Professor, First Vice-Rector,
Corresponding Member of National Academy of Sciences of Belarus, Belarusian National Technical University, *Minsk*

The Ukraine:

Sergiy V. Kovalevskyy, D.Sc. (Engineering), Professor, Donbass State Engineering Academy, *Kramatorsk*

The Russian Federation:

Gennadiy E. Anisimenko, Director, Scientific and Production company «Sigma-instrument», *Novosibirsk*;

Vladimir G. Atapin, D.Sc. (Engineering), Professor, Novosibirsk State Technical University, *Novosibirsk*;

Victor P. Balkov, Deputy general director, Research and Development Tooling Institute «VNIINSTRUMENT», *Moscow*;

Vladimir A. Bataev, D.Sc. (Engineering), Professor, Novosibirsk State Technical University, *Novosibirsk*;

Vladimir G. Burov, D.Sc. (Engineering), Professor, Novosibirsk State Technical University, *Novosibirsk*;

Aleksandr N. Gerasenko, Director, Scientific and Production company «Mashservispribor», *Novosibirsk*;

Vladimir V. Ivancivsky, D.Sc. (Engineering), Associate Professor, Novosibirsk State Technical University, *Novosibirsk*;

Sergey V. Kirsanov, D.Sc. (Engineering), Professor, National Research Tomsk Polytechnic University, *Tomsk*;

Aleksandr N. Korotkov, D.Sc. (Engineering), Professor, Kuzbass State Technical University, *Kemerovo*;

Evgeniy A. Kudryashov, D.Sc. (Engineering), Professor, Southwest State University, *Kursk*;

Aleksey V. Makarov, D.Sc. (Engineering), Senior Researcher, M.N. Miheev Institute of Metal Physics,
Russian Academy of Sciences (Ural Branch), *Yekaterinburg*;

Aleksandr G. Ovcharenko, D.Sc. (Engineering), Professor, Biysk Technological Institute, *Biysk*;

Kharis M. Rakhimyanov, D.Sc. (Engineering), Professor, Novosibirsk State Technical University, *Novosibirsk*;

Yuriy N. Saraev, D.Sc. (Engineering), Professor, Institute of Strength Physics and Materials Science,
Russian Academy of Sciences (Siberian Branch), *Tomsk*;

Alexander S. Yanyushkin, D.Sc. (Engineering), Professor, Bratsk State University, *Bratsk*

The magazine is issued since 2014

Publication frequency - 1 volume a year

Data on the magazine are published in eLIBRARY.RU

Edition address: Novosibirsk State Technical University, Prospekt K. Marksa, 20,
Novosibirsk, 630073, Russian Federation

Tel.: (383) 346-17-79

<http://journals.nstu.ru/machine-building>; E-mail: machine-building@mail.ru

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ

ЧЕТВЕРТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

г. Новосибирск, 29 марта 2017 г.

ОРГАНИЗАТОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

- Новосибирский государственный технический университет, научно-технический и производственный журнал «Обработка металлов (технология · оборудование · инструменты)», г. Новосибирск, Россия
- Выставочная компания «ГТЕ Сибирь», г. Новосибирск, Россия

СООРГАНИЗАТОРЫ

- Высшая школа Рейн-Майн, Университет прикладных наук, г. Рюссельсхайм, Федеративная Республика Германия;
- Ганноверский университет Вильгельма Лейбница, г. Гарбсен, Федеративная Республика Германия;
- Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск, Украина;
- Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь;
- ОАО НПТ и ЭИ «Оргстанкинпром», г. Новосибирск, Россия;
- ООО НПКФ «Машсервисприбор», г. Новосибирск, Россия;
- Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, Россия;
- Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия;
- Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул, Россия;
- Бийский технологический институт АлтГТУ им. И.И. Ползунова, г. Бийск, Россия;
- Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск, Россия;
- Томский политехнический университет, г. Томск, Россия;
- Братский государственный университет, г. Братск, Россия

ПОЧЕТНЫЙ КОМИТЕТ

Члены комитета: *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.*, профессор, д.т.н., ДГМА (г.Краматорск), *Пантелеенко Ф.И.*, профессор, д.т.н., член-корреспондент НАН Беларуси, БНТУ (г. Минск), *Афанасьев В.К.*, академик РАЕН, профессор, д.т.н., зав. каф. СибГИУ (г. Новокузнецк), *Буров В.Г.*, профессор, д.т.н., НГТУ (г. Новосибирск), *Вандакуров А.Н.*, ген. директор АО "Новосибирский механический завод "Искра", (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), *Марков А.М.*, профессор, д.т.н., зав. каф. АлтГТУ (г.Барнаул), *Овчаренко А.Г.*, профессор, д.т.н., зав.каф. БТИ АлтГТУ (г. Бийск), *Рассохин В.А.*, ген. директор АО "Швабе - Оборона и Защита", *Рахмянов Х.М.*, профессор, д.т.н., зав. каф. НГТУ (г. Новосибирск), *Сараев Ю.Н.*, д.т.н, профессор, ИФПМ СО РАН, г. Томск, *Ситников А.А.*, д.т.н., профессор, АлтГТУ (г.Барнаул), *Стецовский А.С.*, директор подразделения ООО «АйТиИ Экспо» (г. Новосибирск), *Янюшкин А.С.*, профессор, д.т.н., член- корреспондент САН ВШ, академик МАН ВШ, зав. каф. БГУ (г. Братск).

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

- *Батаев А.А.*, главный редактор научно-технического и производственного журнала «Обработка металлов», профессор, д.т.н., ректор НГТУ, (г. Новосибирск), **председатель;**
- *Коротков А.Н.*, академик РАЕ, профессор, д.т.н., КузГТУ (г. Кемерово), **сопредседатель.**
- *Атапин В.Г.*, зам. главного редактора журнала «Обработка металлов», профессор, д.т.н., НГТУ (г.Новосибирск), **сопредседатель;**

Члены программного комитета: *Иванцовский В.В.*, , профессор, д.т.н., НГТУ (г. Новосибирск), *Ленивцева О.Г.*, к.т.н., (г.Новосибирск), *Лобанов Д.В.*, д.т.н., профессор, БГУ (г. Братск), *Трегубчик П.В.*, гл. технолог ОАО «Новосибирский стрелочный завод», (г. Новосибирск), *Янюльский В.В.*, к.т.н., доцент, декан МТФ НГТУ (г.Новосибирск).

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

- *Скиба В.Ю.*, зам. главного редактора журнала «Обработка металлов», доцент, к.т.н., НГТУ (г. Новосибирск);
- *Волкова М.В.*, Руководитель дирекции отраслевых выставок ООО «АйТиИ Экспо» (г. Новосибирск).

ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦИИ

- Инновационные технологии в машиностроении;
- Технологическое оборудование, оснастка и инструменты;
- Материаловедение в машиностроении;
- Экономика и организация инновационных процессов в машиностроении.

ACTUAL PROBLEMS IN MACHINE BUILDING

Proceedings of the Fourth International Scientific and Practical Conference Novosibirsk, 29 March 2017

CONFERENCE ORGANIZERS

- Novosibirsk State Technical University, Scientific, Technical and Industrial Journal "Obrabotka Metallov", Novosibirsk, Russian Federation
- Exhibition company "ITE Siberia", Novosibirsk, Russian Federation

CO-ORGANIZERS

- Hochschule RheinMain University of Applied Sciences, Rüsselsheim, Germany;
- Leibniz Universität Hannover, Garbsen, Germany;
- Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine;
- Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus;
- JSC Novosibirsk Technological, Designing and Experimental Institute "Orgstankinprom", Novosibirsk, Russian Federation;
- LLC Research-and-production and commercial company "Mashservispribor", Novosibirsk, Russian Federation;
- Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev, Kemerovo, Russian Federation;
- Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russian Federation;
- I.I. Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russian Federation;
- Biysk Technological Institute, Branch of Polzunov Altai State Technical University, Biysk, Russian Federation;
- Institute of Strength Physics and Materials Science of the Siberian Branch of the RAS, Tomsk, Russian Federation;
- National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation;
- Bratsk State University, Bratsk, Russian Federation.

HONORARY COMMITTEE

COMMITTEE MEMBERS: *Monico Greif*, Professor, DSc, High School of the Rhine-Main, University of Applied Sciences (Rüsselsheim, Germany), *Thomas Hassell*, Professor, DSc, Wilhelm Leibniz University of Hannover (Garbsen, Germany), *Florian Nürnberger*, Professor, DSc, Hanover Wilhelm Leibniz University (Garbsen, Germany), *Kovalevsky S.V.*, Professor, DSc, DSEA (Kramatorsk, Ukraine), *Panteleenko F.I.*, Professor, DSc, member of the National Academy of Sciences of Belarus, Belarusian National Technical University (Minsk, Belarus), *Afanasyev V.K.*, Academy of Natural Sciences, Professor, DSc, SibSIU (Novokuznetsk, Russia), *Burov V.G.*, Professor, DSc., NSTU (Novosibirsk, Russia), *Gerasenko A.N.*, Director of the LLC Research-and-production and commercial company "Mashservispribor" (Novosibirsk, Russia), *Guriev A.M.*, Professor, DSc, AltSTU (Barnaul, Russia), *Kirsanov S.V.*, Professor, DSc, TPU (Tomsk, Russia), *Markov A.M.*, Professor, DSc, Vice Rector of AltSTU (Barnaul, Russia), *Ovcharenko A.G.*, Professor, DSc, Head of Department in BTI AltSTU (Biysk, Russia), *Rassohin V.A.*, General director of the JSC "Shvabe - defense and protection", *Rakhimyanov Kh.M.*, Professor, DSc., Head of Department in NSTU (Novosibirsk, Russia), *Saraev Yu.N.*, Professor, DSc., ISPMS SB RAS (Tomsk, Russia), *Sitnikov A.A.*, Professor, DSc, AltSTU (Barnaul, Russia), *Stetsovsky A.S.*, Exhibition Director, «ITE Siberia» (Novosibirsk, Russia), *Yanyushkin A.S.*, Professor, DSc, Corresponding Member SAN VSH, Academician IHEAS, Head of Department in BSU (Bratsk, Russia).

PROGRAMME COMMITTEE

- *Bataev A.A.*, editor in chief of Scientific, Technical and Industrial Journal "Obrabotka Metallov", Professor, D.Sc. (Engineering), Rector of Novosibirsk State Technical University (Novosibirsk, Russia), Chairman;
- *Korotkov A.N.*, Academician of RAE, Professor, D.Sc. (Engineering), KuzSTU (Kemerovo, Russia), co-chair;
- *Atapin V.G.*, Deputy Chief Editor of "Obrabotka Metallov", Professor, D.Sc. (Engineering), NSTU (Novosibirsk, Russia), co-chair.

COMMITTEE MEMBERS: *Ivancivsky V.V.*, D.Sc. (Engineering), Associate Professor, NSTU (Novosibirsk, Russia), *Lenivtseva O.G.*, Ph.D. (Engineering), Associate Professor, NSTU (Novosibirsk, Russia), *Lobanov D.V.*, D.Sc. (Engineering), Associate Professor, BSU (Bratsk, Russia), *Tregubchak P.V.*, Manufacturing manager, JSC "Novosibirsk Switch Plant" (Novosibirsk, Russia), *Yanpolskiy V.V.*, Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Dean, Faculty of Mechanical Engineering and Technologies, NSTU (Novosibirsk, Russia).

ORGANIZING COMMITTEE

- *Skeeba V.Yu.*, Deputy Chief Editor of "Obrabotka Metallov", Ph.D. (Engineering), Associate Professor, NSTU (Novosibirsk, Russia);
- *Volkova M.V.*, Head of Directorate Industry Exhibitions, «ITE Siberia» (Novosibirsk, Russia).

SUBJECT OF THE CONFERENCE

- Innovative Technologies in Mechanical Engineering;
- Technological Equipment, Machining Attachments and Instruments;
- Materials Science in Machine Building;
- Economics and Organization of the Business Innovative Processes in Engineering.

СОДЕРЖАНИЕ

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Константинов В.М., Дашкевич В.Г., Ковальчук А.В. Влияние борирования на размерную точность и хрупкость поверхности прецизионных деталей из нетеплостойких инструментальных сталей	9
Фирсов А.М., Овчаренко А.Г. Совершенствование технологической подготовки механической обработки с использованием метода «отказов»	16
Янпольский В.В., Кадырбаев Р.М., Хасанов Д.В., Андреев А.Н. Особенности электрохимического растворения износостойкого покрытия на основе порошкового материала марки ПГ-СР-4	22
Самуль А.Г., Гилета В.П. Ультразвуковая обработка материалов низкой твердости	27
Гербер Д.А., Гилета В.П. Влияние эпиламирующих покрытий на коррозионную стойкость поверхности стальных деталей	32
Буканова И.С., Ильиных Г.Г., Ятло И.И. Прочность соединений с натягом при упруго-пластическом состоянии сопрягаемых деталей	38
Марков А.М., Черданцев П.О., Гайст С.В., Черданцев А.О., Лапенков Е.Ю., Потапов И.С. Исследование силы резания при высокоскоростном фрезеровании композиционных материалов	45
Полиновский Л.А. Способ обработки сквозных отверстий	52

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ОСНАСТКА И ИНСТРУМЕНТЫ

Марков А.М., Габец А.В., Иванов А.В., Габец Д.А. Оценка работы фрикционного узла поглощающего аппарата	57
Ванин В.А., Колодин А.Н., Григорян В.С. Синтез и оптимизация структуры формообразующих цепей резьбообрабатывающих станков на основе шагового гидропривода	63
Коротков А.Н., Короткова Л.П., Видин Д.В., Лацинина С.В. Решение проблемы импортозамещения на примере насоса высокого давления фирмы KRACHT, используемого на угольных предприятиях	68
Токарев А.О., Мироненко И.Г., Федотова Е.С. Причина и профилактика отказов сварных баллеров винто-рулевых колонок	74
Ванин В.А., Родина А.А., Дежа А.А. Построение и оптимизация формообразующих цепей на основе гидравлических связей в станках со сложными движениями формообразования	84
Марков А.М., Леонов С.Л., Черданцев П.О., Черданцев А.О., Гайст С.В., Лапенков Е.Ю. Особенности обработки сигналов, получаемых от пьезоэлектрических датчиков динамометра для измерения сил резания	89

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Глушечков В.А., Черников Д.Г., Тиабашвили А.Т. Способ динамических испытаний листовых материалов с использованием магнитно-импульсного нагружения	94
Габец Д.А., Марков А.М., Габец А.В. Исследование влияния химического состава и структуры на механические свойства чугуна ЧМН-35М	100
Константинов В.М., Булойчик И.А. Влияние термодиффузионного цинкования на прочностные свойства термически обработанных стальных изделий	107
Бардин А.И., Лосинская А.А. Механические свойства материалов, полученных наплавкой углеродного волокна на сталь электронным лучом в воздушной атмосфере	113
Фомина Д.Е., Аликина М.С., Хайбулин Е.В. Структура и прочность соединений на основе титана и никелевого сплава, сваренных взрывом через промежуточные слои	118
Аликина М.С., Фомина Д.Е., Бубликова Х.М., Поздняков С.В. Получение многослойных композиций Nb-интерметаллид-Al с применением метода сварки взрывом	123
Чертовских Е.О., Габец А.В., Габец Д.А., Марков А.М., Околович Г.А. Оптимизация режимов термообработки крупногабаритных деталей	128
Рекомендации по написанию научной статьи	134
Подготовка аннотации	136
Правила для авторов	138

CONTENTS

Innovative Technologies in Mechanical Engineering

Konstantinov V.M., Dashkevich V.G., Kovalchuk A.V. Influence of boriding on dimensional accuracy and fragility of surface precision parts made of cold work tool steels	9
Firsov A.M., Ovcharenko A.G. Perfecting of technological preparation of mechanical treatment using the method of "Failures mode"	16
Yanpolskiy V.V., Kadyrbaev R.M., Khasanov D.V., Andreev A.N. Features of electrochemical dissolution of the wear-resistant coating based on powder material PG-SR-4	22
Samul A.G., Gileta V.P. Ultrasonic processing of materials of low hardness	27
Gerber D.A., Gileta V.P. Effect of epilame coatings to corrosion resistance of steel parts	32
Bukanova I.S., Il'inykh G.G., Yatlo I.I. Strength of connections when a tightness when the elastic-plastic state of mating parts	38
Markov A.M., Cherdantsev P.O., Gayst S.V., Cherdantsev A.O., Lapenkov E.Y., Potapov I.S. Investigation of the cutting force during high-speed milling of composite materials	45
Polinovskij L.A. Method of processing through-holes	52

Technological Equipment, Machining Attachments and Instruments

Markov A.M., Gabets A.V., Ivanov A.V., Gabets D.A. Draft gear's friction unit evaluation	57
Vanin V.A., Kolodin A.N., Grigoryan V.S. Synthesis and structure optimization formative chains groove processing machines based on hydraulic steps	63
Korotkov A.N., Korotkova L.P., Vidin D.V., Laschinina S.V. Solving the problem of import substitution in the example of the company Kracht high pressure pump used in coal mines	68
Tokarev A.O., Mironenko I.G., Fedotova E.S. The reason and prevention of bounce spindles welded screw-steering columns	74
Vanin V.A., Rodina A.A., Dezha A.A. Construction and optimization of forming circuits on the basis of hydraulic connections on machines with complex movements shaping	84
Markov A.M., Leonov S.L., Cherdancev P.O., Cherdancev A.O., Gayst S.V., Lapenkov E.Y. The features of a processing of signals received from piezoelectric sensors of a dynamometer for measuring cutting forces	89

Materials Science in Machine Building

Glushchenkov V.A., Chernikov D.G., Tiabashvili A.T. Method of dynamic test of sheet materials with pulse magnetic loading	94
Gabets D.A., Markov A.M., Gabets A.V. Investigation of chemical composition and material structure influence on mechanical properties of special cast iron	100
Konstantinov V.M., Buloichyk I.A. Influence of thermo diffusion pack cementation on mechanical properties of heat-treated steel articles	107
Bardin A.I., Losinskaya A.A. Mechanical properties of the materials obtained by cladding of carbon fiber on steel using electron beam in the air atmosphere	113
Fomina D.E., Alikina M.S., Haybulin E.V. Structure and strength of titanium and nickel alloy joints explosively welded through interlayers	118
Alikina M.S., Fomina D.E., Bublikova H.M., Pozdnyakov S.V. Fabrication of Nb-intermetallic compound-Al multilayered compositions by explosive welding technology	123
Chertovskih E.O., Gabets A.V., Gabets D.A., Markov A.M., Okolovich G.A. Large parts heat treatment schedule improvement	128
Guidelines for Writing a Scientific Paper	134
Abstract requirements	136
Rules for authors	138

УДК 621.785.5

**ВЛИЯНИЕ БОРИРОВАНИЯ НА РАЗМЕРНУЮ ТОЧНОСТЬ И ХРУПКОСТЬ
ПОВЕРХНОСТИ ПРЕЦИЗИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ НЕТЕПЛОСТОЙКИХ
ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ***В.М. КОНСТАНТИНОВ, доктор техн. наук, профессор**В.Г. ДАШКЕВИЧ, канд. техн. наук, доцент**А.В. КОВАЛЬЧУК, аспирант**(БНТУ, г. Минск, Беларусь)***Константинов В.М.** – 220013, г. Минск, пр. Независимости, 65,

Белорусский национальный технический университет,

e-mail: v_m_konst@mail.ru

Проведена оценка фактора хрупкости двухфазных боридных слоев полученных на сталях У8А и 9ХС в зависимости от температуры насыщения и времени выдержки. Получены уравнения регрессии, которые позволили определить наиболее эффективные режимы процесса борирования и обеспечить показатель напряжения скола на межфазной границе FeV/Fe₂V на уровне 120...140 МПа. Уточнены данные об изменении геометрических характеристик поверхности изделий в результате борирования в порошковой среде. Построены номограммы для определения прироста линейных размеров деталей из инструментальных нетеплостойких сталей марок У8А и 9ХС от времени выдержки при борировании в диапазоне температур 930...950 °С. Для исследуемых параметров борирования величина прироста линейных размеров составила: для стали У8А – 14...25 % от толщины боридного слоя на сторону, для стали 9ХС – 10...21 %.

Ключевые слова: химико-термическая обработка, борирование, диффузионный слой, хрупкость, прецизионные детали, размерная точность.

Введение

Известно, что бориды FeV и Fe₂V, получаемые в результате борирования стали, отличаются высокой хрупкостью [1 - 5], их деформация разрушения является ничтожно малой [6, 7]. В то же время авторский опыт применения борирования для упрочнения стальных деталей различных узлов трения показал, что боридные слои на стали могут проявлять стойкость к небольшим циклическим нагрузкам. Неоднозначная оценка эффективности боридных слоев в условиях циклических нагрузок может быть обусловлена различиями в методиках исследований, а также высокой чувствительностью боридных слоев к температурно-временным параметрам обработки и составу насыщающей среды [4, 8-10].

При высоких контактных нагрузках двухфазные боридные слои могут выкрашиваться из-за невозможности пластически деформироваться. Образующиеся в результате возникающих напряжений трещины могут приводить к выкрашиванию фрагментов поверхности, которые приводят к повышенному абразивному износу последней. Меньшую хрупкость показывают однофазные боридные слои, обладающие большим запасом пластичности. Однако в условиях трения с удельными нагрузками, не превышающими 200...250 МПа, которые обеспечивают сохранение нормального характера изнашивания, двухфазные боридные слои являются более стойкими, чем однофазные [11, 12]. Наряду с

этим существует предельная толщина боридного слоя для каждой марки стали, до которой хрупкость проявляется в меньшей степени и слой имеет прочную связь с основой [1, 4, 13].

Исследование хрупкости диффузионных боридных слоев является сложной задачей, так как для ее оценки пока нет единых, общепризнанных методов, позволяющих получать абсолютные значения показателей хрупкости боридных слоев на разных сталях. Это связано с изменением хрупкости боридных слоев в широком диапазоне в зависимости от толщины слоя, его морфологии и соотношения фаз, условиями насыщения, состава стали и другим [2, 8]. Поэтому задачи определения хрупкости боридных слоев традиционно решаются в каждом конкретном случае с получением сравнительных результатов

В случае борирования, как правило, преследуется цель получения покрытия без припуска на окончательную механическую обработку, поскольку механическая обработка (шлифование) таких покрытий затруднительна, по причине высокой твердости и вероятности скалывания борированного слоя на краях деталей [2, 4, 14]. Поэтому актуальным является определение величины прироста геометрических размеров деталей из конкретных сталей для корректировки конструкторской документации, чтобы фактический размер детали с покрытием соответствовал номинальному значению, указанному на чертеже.

Материалы и методики

Наиболее показательной характеристикой хрупкости борированных слоев следует считать минимальное напряжение, приводящее к появлению трещин или скола на различном расстоянии от поверхности образца. Поэтому хрупкость борированного слоя оценивалась по методике [15]. Согласно этой методике хрупкость оценивается по напряжению скола σ (МПа) слоя, которое в совокупности учитывает фазовый состав и морфологию слоя, микротвердость и модули упругости фаз, напряженное состояние слоя и запас пластичности. Оценка хрупкости проводилась при нагрузке 1,0 Н, которая способна образовать трещину на межфазной границе для всех образцов, что предварительно установлено опытным путем.

Процесс борирования проводился при температурах от 850 до 950 °С в течение 1...4 ч с предварительной изотермической выдержкой при 750 °С, 1 ч. Насыщение проводилось в контейнерах, герметизируемых плавким затвором. Для проведения процесса использовали шахтную электрическую печь с селитовыми нагревателями. Контроль температуры осуществляли при помощи потенциометра КСП-3П, градуировка ХА. Для проведения процесса диффузионного борирования использовали порошковую среду с высокой насыщающей способностью «besto-bor» [16].

Оценка влияния борирования на изменение размеров проводилась на образцах размером 10×10×20 мм. Оценка изменения размеров проводилась с использованием микрометра МК-25. В частности измерялась поверхность стальных образцов с номинальным размером 10-0,12 мм (12 квалитет).

Результаты и обсуждение

По полученным эмпирическим данным рассчитаны уравнения множественной регрессии зависимости хрупкости компактных двухфазных боридных слоев на сталях У8А (уравнение 1) и 9ХС (уравнение 2) от температуры насыщения и времени выдержки при борировании в порошковой среде, что позволяет определить параметры проведения процесса борирования, обеспечивающие получение наименее хрупких боридных слоев по показателю напряжения скола на межфазной границе FeB/Fe₂B:

$$Y = 886.7 - 0.95 \cdot X_1 - 47.1 \cdot X_2 + 1.63 \cdot X_3 \quad (1)$$

$$Y = 404.8 - 0.36 \cdot X_1 - 20.3 \cdot X_2 + 0.53 \cdot X_3 \quad (2)$$

где Y – напряжение скола на границе FeV/Fe₂V, МПа; X_1 – температура насыщения, °С; X_2 – время выдержки, ч; X_3 – толщина боридного слоя, мкм.

Построены трехмерные графики, отражающие зависимости толщины боридного слоя и напряжения скола на межфазной границе от режимов борирования для сталей У8А 9ХС (рисунок 1) и позволяющие определить оптимальные диапазоны параметров проведения процесса борирования, обеспечивающие получение наименее хрупких боридных слоев по показателю напряжения скола на межфазной границе FeV/Fe₂V для сталей У8А и 9ХС.

Установлено, что наименее хрупкими на стали У8А являются боридные слои, полученные в результате насыщения при 920...950 °С, 1...1,5 ч с предварительной изотермической выдержкой 750 °С, 1 ч.

Для стали 9ХС наименее хрупкими оказываются слои, получаемые при 930...950 °С, 0,8...1,3 ч и 900 °С, 2...2,5 ч с предварительной изотермической выдержкой 750 °С, 1 ч.

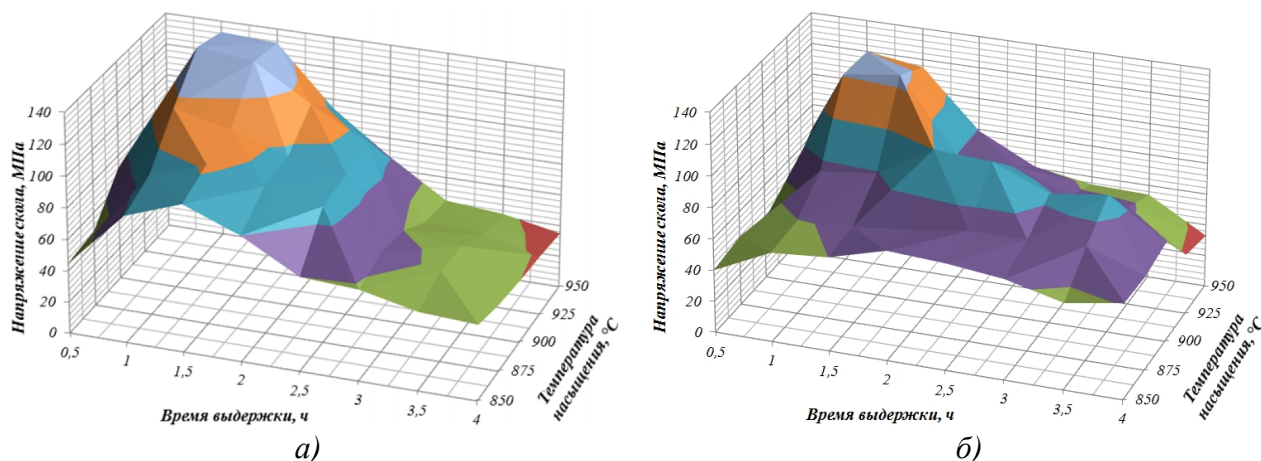


Рис. 1. Зависимости напряжения скола на межфазной границе от режимов борирования для сталей У8А (а) 9ХС (б)

Из полученных уравнений множественной регрессии и построенных зависимостей можно сделать вывод, что снижение температуры насыщения или повышение времени выдержки относительно выделенного оптимума для сталей У8А и 9ХС сопровождается повышением их хрупкости – снижается величина предельной нагрузки, приводящей к появлению трещин на межфазной границе.

В результате диффузионного борирования стальные детали претерпевают значительный прирост в размерах. По разным данным прирост может составлять от 8 до 55 % [17-20] и зависит от состава стали и условий насыщения. Чтобы оценить, является ли прирост размеров образцов из сталей У8А и 9ХС для выбранных режимов упрочнения зависящим от толщины боридного слоя, проведен корреляционный анализ и получены уравнения парной регрессии зависимости прироста размеров образцов от толщины боридного слоя для стали У8А (уравнение 3) и стали 9ХС (уравнение 4).

$$Y = -47.85 + 0.54 \cdot X \quad (3)$$

$$Y = -27.95 + 0.38 \cdot X \quad (4)$$

где Y – величина прироста линейного размера на сторону образца, мм;
 X – толщина боридного слоя, мкм.

С использованием полученных уравнений регрессии 3 и 4 зависимости прироста размеров от толщины боридного слоя, а также рассчитанных построены номограммы для определения прироста размеров деталей из сталей У8А и 9ХС от времени выдержки при борировании в порошковой среде «besto-bog» в интервале температур 930...950 °С (рисунок 2).

В соответствии с построенными номограммами прирост размеров образцов сталей У8А и 9ХС, борированных при 930 °С, 1,2 ч с предварительной изотермической выдержкой 750 °С, 1 ч, составил 21...22 и 17...18 мкм на сторону, что совпадает с реально измеренным приростом.

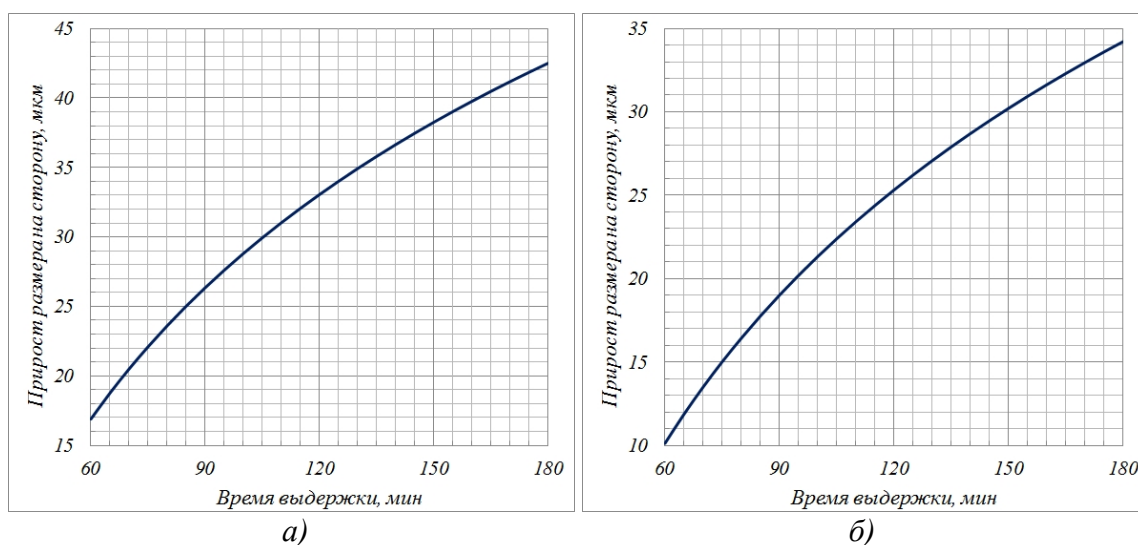


Рис. 2. Номограммы для определения прироста размеров деталей от времени выдержки при борировании в среде «besto-bog» при 930...950 °С для стали У8А (а) и 9ХС (б)

Установлено, что прирост линейных размеров для образцов из стали У8А при указанных параметрах проведения борирования составляет 14...25 % от толщины боридного слоя на сторону, для стали 9ХС – 10...21 %. Величина прироста хорошо согласуется с литературными данными о борировании углеродистых и низколегированных конструкционных и инструментальных сталей, где отмечается рост слоя наружу на 8...55 % от толщины боридного слоя [2, 13, 19].

В отличие от результатов работ [20-23], где установлено уменьшение доли боридного слоя, растущего наружу и уменьшение приращения размеров образцов доэвтектоидной стали с повышением времени выдержки, полученные результаты свидетельствуют об увеличении приращения размеров образцов сталей У8А и 9ХС и доли слоя, растущего наружу. Это может быть связано с большей дисперсностью компонент используемой насыщающей смеси, а также с большим содержанием углерода в сталях У8А и 9ХС, что затрудняет диффузию железа и бора и предполагает более длительное перераспределение углерода и повышенную его концентрацию в переходной зоне [24, 25].

Заключение

Получены новые уравнения регрессии зависимости хрупкости компактных двухфазных боридных слоев на сталях У8А и 9ХС от температуры насыщения и времени выдержки при борировании в порошковой среде, что позволило определить параметры проведения процесса борирования, обеспечивающие получение наименее хрупких (более работоспособных) боридных слоев по показателю напряжения скола на межфазной границе FeB/Fe₂B на уровне 120...140 МПа.

Уточнены данные об изменении геометрических характеристик поверхности сталей У8А и 9ХС в результате борирования в порошковой среде и построены новые номограммы для определения прироста линейных размеров деталей из указанных сталей от времени выдержки при борировании в диапазоне температур 930...950 °С. Установлено, что при толщине боридных слоев 100...160 мкм и относительном объемном количестве фазы FeB 50±5 % прирост линейных размеров образцов составляет 14...25 % и 10...21 % соответственно для сталей У8А и 9ХС от общей толщины боридного слоя.

Список литературы

1. *Mittemeijer E.J., Somers M.A.J.* Thermochemical surface engineering of steels: improving materials performance. – 2nd ed. – Oxford: Elsevier, 2014. – 816 p.
2. Восстановление деталей машин: справочник / Ф.И. Пантелеенко, В.П. Лялякин, В.П. Иванов, В.М. Константинов; под ред. В.П. Иванова. – М.: Машиностроение, 2013. – 672 с.
3. *Budinski K.G.* Friction, wear, and erosion atlas. – Boca Raton: CRC Press, 2013. – 309 p.
4. *Крукович М.Г., Прусаков Б.А., Сизов И.Г.* Пластичность борированных слоев. – М.: Физматлит, 2010. – 384 с.
5. *Hausner H.H.* Coatings of high-temperature materials. – New York: Springer Science & Business Media, 2013. – 296 p.
6. *Shadrichev E.V., Ivanov A.E.* Relative wear-resistance of single-phase and two-phase boride layers // *Metal Science and Heat Treatment*. – 1984. – Vol. 26, N 3. – P. 235–239.
7. *Matijevic B.* Evaluation of boride layer growth on carbon steel surfaces // *Metal Science and Heat Treatment*. – 2014. – Vol. 56, N 5–6. – P. 269–273.
8. Boron and refractory borides / eds. V.I. Matkovich. – New York: Springer Science & Business Media, 2012. – 656 p.
9. *Gunes I., Kayali Y., Ulu S.* Investigation of surface properties and wear resistance of borided steels with different B₄C mixtures // *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*, 2012. – Vol. 19. – P. 397–402.
10. Особенности формирования боридных покрытий из композиционных металлотермических порошковых сред / Н.А. Галынская, Н.Г. Кухарева, В.С. Нисс, С.Н. Петрович // *Вестник БНТУ*. – 2011. – № 4. – С. 15–20.
11. Low-temperature boriding of high-carbon steel / X. Hea, X. Huaping, M.F. Ozaydina, K. Balzuweitb, H. Lianga // *Surface and Coatings Technology*. – 2015. – Vol. 263. – P. 21–26.
12. Mechanical behavior of borides formed on borided cold work tool steel / S. Sen, I. Özbek, U. Sen, C. Bindal // *Surface and Coatings Technology*. – 2001. – Vol. 135, N 2–3. – P. 173–177.
13. *Крукович М.Г.* Разработка теоретических и прикладных аспектов управления структурой и свойствами борированных слоев и их использование при производстве транспортной техники: дис. ... д-ра техн. наук: 05.16.01. – М., 1995. – 416 с.

14. *Konstantinov V.M., Dashkevich V.G., Kovalchuk A.V.* Surface engineering of slider valves of fluid power motors made of tool steels by using boriding saturation mixture // *Agricultural Engineering*. – 2015. – Vol. 47. – P. 1–6.

15. *Григорьев П.К., Катханов Б.Б.* Методика определения хрупкости борированного слоя // *Повышение надежности и долговечности деталей машин*. – Ростов н/Д., 1972. – Вып. 16. – С. 97–98.

16. BESTO: Белорусские среды для термодиффузионной обработки [Электронный ресурс]. – URL: <http://besto.by/vidy-obrabotok/borirovanie> (дата обращения: 02.03.2017).

17. *Дукаревич И.С., Можаров М.В., Шигаев А.В.* Перераспределение элементов в борированном слое // *МиТОМ*. – 1973. – № 2. – С. 64–66.

18. *Пугачева Н.Б., Быкова Т.М., Трушина Е.Б.* Влияние состава стали-основы на структуру и свойства диффузионных боридных покрытий // *Упрочняющие технологии и покрытия*. – 2013. – № 4. – С. 3–7.

19. Восстановление размеров деталей машин и инструмента способом диффузионного борирования / В.И. Голубев, В.П. Сытов, В.А. Рогов, Е.Н. Александров // *Химико-термическая обработка металлов и сплавов: сборник докладов III Всесоюзной научной конференции, Минск, 30 мая – 1 июня 1977 г.* / Л.С. Ляхович (гл. ред.). – Минск, 1977. – С. 226–227.

20. *Karpenko G.V., Aladjem A.* Influence of diffusion coatings on the strength of steel. – 2nd ed. – Aedermannsdorf: Freund Publ. House, 1979. – 199 p.

21. *Şahin S.* Effects of boronizing process on the surface roughness and dimensions of AISI 1020, AISI 1040 and AISI 2714 // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2009. – Vol. 209, N 4. – P. 1736–1741.

22. *Куркина Л.А., Хараев Ю.П.* Влияние температуры диффузионного насыщения на изменение размеров образцов из стали 45 при борировании // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. – 2014. – Т. 11, № 2. – С. 201–205.

23. Влияние борирования на изменение размера образцов из штамповой стали / Л.А. Куркина, Ю.П. Хараев, А.Д. Грешилов, Н.И. Федотов, В.А. Бутуханов // *Проблемы механики современных машин: материалы 5 международной конференции / ВСГУТУ*. – Улан-Удэ, 2012. – Т. 3. – С. 164–167.

24. *Gunes I.* Tribological behavior and characterization of borided cold-work tool steel // *Materials and Technology*. – 2014. – Vol. 48, N 5. – P. 765–769.

25. *Erdogan M., Gunes I.* Corrosion behavior and microstructure of borided tool steel // *Revista Materia*. – 2015. – Vol. 20, N 2. – P. 523–529.

INFLUENCE OF BORIDING ON DIMENSIONAL ACCURACY AND FRAGILITY OF SURFACE PRECISION PARTS MADE OF COLD WORK TOOL STEELS

Konstantinov V.M., D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: v_m_konst@mail.ru
Dashkevich V.G., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: vladimir_dvl@tut.by
Kovalchuk A.V., Post-graduate Student, e-mail: a-v-kov@yandex.com

Belorussian National Technical University, ave. Nezavisimosty, 65, Minsk, 220013, the Republic of Belarus

Abstract

The estimation of factor of the fragility of the two-phase boride layers obtained on steels «У8А» and «9ХС», depending on the saturation temperature and exposure time. The regression equations that allowed to define more efficient modes boriding process and provide a measure of phase boundary at the interface FeB / Fe₂B at 120 ... 140 MPa. Refined data on changes in the geometric characteristics of the surface of the product resulting in a powder boriding environment. Constructed a nomogram for determining the gain of the linear dimensions of parts of cold work tool steels «У8А» and «9ХС» the holding time at boriding in the temperature range 930 ... 950 ° C. To study the value of growth options boriding linear dimensions were as follows: steel «У8А» – 14 ... 25% of the thickness of the boride layer on the side, for steel «9ХС» – 10 ... 21%.

Keywords

thermochemical treatment, boriding, diffusion layer, fragility, precision details, dimensional accuracy

УДК 621.9(045)

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ
МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА «ОТКАЗОВ»**

*А.М. ФИРСОВ, канд. техн. наук, доцент
А.Г. ОВЧАРЕНКО, доктор техн. наук, профессор
(БТИ АлтГТУ, г. Бийск)*

Фирсов А.М. – 659305, г. Бийск, ул. Трофимова, 27,
Бийский технологический институт (филиал) АлтГТУ им. И.И. Ползунова,
e-mail: firsov.am@yandex.ru

Несмотря на ряд преимуществ групповой обработки в условиях многономенклатурного производства она не находит широкого применения в современном машиностроительном производстве. Это связано не только со сложностью объединения деталей в группы, но и отсутствием совершенной методики прогнозирования потенциальных отказов при обработке заготовок с разной конструктивной формой. В статье предлагается методика проектирования группового технологического процесса с использованием метода, основанного на анализе видов и последствий отказов процесса, который позволяет: выявить потенциальные отказы; определить основные причины их появления и возможные последствия; выработать действия по устранению этих причин или предотвратить возможные последствия.

Ключевые слова: технологическая подготовка, групповая обработка, прогнозирование отказов, методика проектирования, устранение отказов.

Введение

Современное машиностроительное производство характеризуется единичным и серийным типом, где изготавливается более 80% машиностроительной продукции. В этих условиях целесообразно применять групповые технологические процессы (ГТП), которые позволяют снижать себестоимость до 30%, трудоемкость до 40% и сокращать производственный цикл [1-5]. Эффективность ГТП во многом определяется количеством деталей объединенных в группу, поэтому в группу необходимо объединять детали с разной геометрической формой, однако при этом возникают сложности проектирования технологического процесса (ТП), поэтому групповая обработка не находит широкого применения при изготовлении деталей с разными конструктивными признаками, как, например, корпусные детали.

Объединение корпусных деталей в группы возможно по конструктивным и технологическим признакам базовых отверстий, которые выполняют в корпусных деталях функции опорных или направляющих поверхностей, имеют повышенные технические требования по точности размеров, отклонениям формы, шероховатости поверхности, износостойкости и др. Трудоемкость их обработки может составлять более 60% от общей трудоемкости. Однако отличительные конструктивные признаки корпусных деталей, объединенных в группу по технологическим признакам базового отверстия, не всегда позволяют применять технологические решения для обработки базовых отверстий всех деталей, объединенных в группу. Это связано с тем, что имеются конструктивные или другие признаки, которые не учтены в нормативно-технической документации (НТД). Поэтому принятые типовые технологические решения не обеспечивают требуемые выходные параметры групповой технологической операции при изготовлении всех деталей группы.

При обработке некоторых деталей группы возникают отказы, например, в виде невыполнения требований по качеству обрабатываемой поверхности [6-9]. Устранение отказов методом пробных ходов и промеров во время отладки и выполнения ТП значительно повышают трудоемкость.

Следовательно, необходимо прогнозировать появление потенциально возможных отказов на стадии проектирования ТП для всех деталей, объединенных в группу, и принимать меры по их предотвращению. Однако в настоящее время отсутствуют методики проектирования ГТП, позволяющие выявить и предотвратить отказы на стадии технологической подготовки [10]. Поэтому создание методики, позволяющей выявить потенциально возможные отказы и предотвратить их появление на стадии проектирования ГТП, обеспечивая требуемые выходные параметры ТП, является важной научно-технической задачей для современного многономенклатурного производства.

Теория

Для прогнозирования выходных параметров ТП, а также их отклонений от требуемой величины (отказов), могут быть использованы аналитические (расчетные), статистические и экспертные методы оценки. Однако в условиях многономенклатурного производства при проектировании групповой обработки применение этих методов не всегда представляется возможным, так как в группу для повышения эффективности ГТП могут быть объединены разные по конструкции детали. Поэтому расчетный метод может быть трудоемким и не всегда будет адекватным для всех конструкций деталей, часто результаты статистических исследований отсутствуют, а экспертная оценка, как правило, позволяет провести только качественную оценку выходных параметров.

Одним из перспективных и эффективных инструментов прогнозирования отказов является метод, основанный на анализе видов и последствий отказов процесса (PFMEA - Potential failure mode and effects analysis in manufacturing and assembly process). Этот метод можно отнести к комбинированным методам оценки, который предполагает применение элементов всех методов и поэтому позволяет: выявить потенциальные отказы, которые могут возникнуть при выполнении процесса; определить основные причины их появления и возможные последствия; выработать действия по устранению этих причин или предотвращению возможных последствий [11-13].

Результаты

Алгоритм применения метода PFMEA при проектировании ГТП представлен в виде схемы и включает в себя ряд этапов (рис.1).

На первом этапе анализируются исходные данные для проектирования: чертежи деталей с техническими требованиями (ТТ) по точности размеров, отклонениям формы поверхности, шероховатости и др.; программное задание и сроки выполнения задания, определяющие производительность; коммерческое предложение по финансированию договора на изготовление партии изделий, определяющее технологическую себестоимость. После проведения анализа исходных данных и принятия решения о заключении договора на изготовление деталей производится группирование деталей, которое может выполняться по разным признакам. При объединении в группу разных по конструкции деталей необходимо выявить близкие по геометрической форме поверхности и создать комплексную поверхность, объединяющую все конструктивные признаки поверхностей деталей, объединяемых в группу.

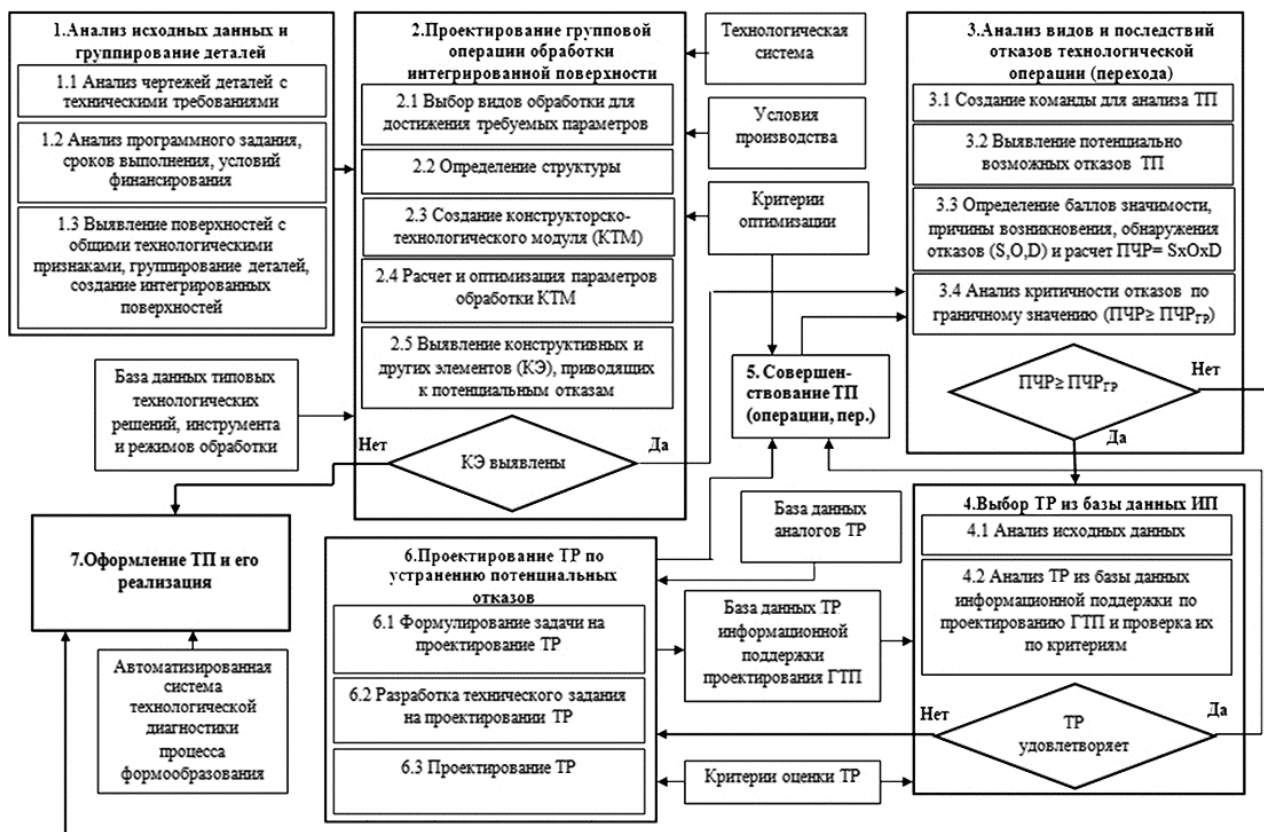


Рис. 1. Алгоритм проектирования групповой технологической операции с применением методов «Анализ видов и последствий отказов» и поискового проектирования

На втором этапе проектируется групповая операция и разрабатывается план переходов при обработке конкретной детали (поверхности) из номенклатуры деталей группы. Если в группу объединяются разные по конструкции детали, то групповая операция разрабатывается для комплексных поверхностей, для которых определяется последовательность технологических действий, необходимых для обеспечения заданных технологических требований. Таким образом, создается конструкторско-технологический модуль (КТМ), состоящий из комплексной поверхности и технологических действий для группы деталей. План переходов обработки детали (поверхности), инструмент и режимы обработки выбираются из базы данных известных типовых решений для условий, которые регламентируются НТД.

На третьем этапе необходимо провести анализ воздействия отличительных признаков на ход выполнения технологического процесса (операции), так как в группу объединены детали с неучтенными НТД конструктивными признаками. Этот этап проектирования выполняется согласно требованиям метода PFMEA и включает в себя ряд последовательных действий. Создается группа экспертов из разных специалистов, которые выявляют потенциально возможные отказы технологического процесса (операции, перехода) и анализируют их последствия. Для каждого последствия определяются баллы значимости «S» по 10 бальной шкале (чем значимей последствие, тем выше балл). Для каждого отказа определяются причины, для каждой причины устанавливается балл возникновения «O» по 10 бальной шкале (чем чаще причина приводит к отказу, тем выше балл). Для каждого отказа определяется балл обнаружения отказа в процессе изготовления «D», который также оценивается по 10 бальной шкале (чем сложнее обнаружить отказ, тем выше балл). После оценки значимости, возникновения и обнаружения отказов для каждого отказа рассчитывается приоритетное число риска $ПЧР = S * O * D$ (каждое ПЧР может иметь значения

от 1 до 1000, критическая граница $ПЧР_{ГР}$ рекомендована в пределах от 100 до 125). Проводится анализ каждого отказа по ПЧР. Если $ПЧР < ПЧР_{ГР}$, то отказы считаются не значимыми, проектирование операции на этом заканчивается и выполняется оформление групповой технологической операции. Если $ПЧР \geq ПЧР_{ГР}$, то отказы считаются значимыми и для них следует разрабатывать технологические решения (ТР), которые позволят предотвратить появление отказов или уменьшить их влияние до допустимых значений.

Четвертый этап включает поиск наличия подобных ТР в базе данных информационной поддержки (ИП) проектирования групповых технологических процессов (операций) при разработке нового ТР. В этой базе имеются сведения о конструктивных элементах (КЭ) деталей, которые могут быть причиной возникновения отказов, виды отказов и ТР, которые предотвращают появление отказа полностью или уменьшают его действие до допустимых требований. Эта информационная поддержка формируется из данных, полученных при проектировании ТП обработки деталей со схожими конструктивными признаками. Если существует подобное ТР, необходимо провести оценку такого ТР по критериям функциональности, технологичности, экономичности и безопасности. Если существующее в базе данных ТР удовлетворяет предъявленным требованиям, то оно применяется для проектирования технологического процесса (операции) и позволяет перейти к пятому этапу (совершенствованию ТП). Если ТР не удовлетворяет предъявленным требованиям, то рекомендуется перейти к шестому этапу для проектирования нового ТР. Также проектирование нового ТР производится, если в базе данных ИП отсутствуют подобные ТР, позволяющее устранить параметрический отказ.

При проектировании нового ТР следует сформулировать задачи и разработать техническое задание на проектирование. Техническое задание на проектирование технологического решения представляет собой количественное описание функций объекта проектирования и перечень технических требований или условий, которым должно удовлетворять ТР. На основании технического задания производится проектирование нового ТР, при этом используются методы поискового проектирования, например, «мозгового штурма», «эвристических приемов», «морфологического анализа и синтеза» и др.[14,15]. Созданное ТР оценивается при помощи заданных критериев. В случае удовлетворения ТР предъявленным требованиям, оно применяется в проектируемом ТП (операции) и заносится в базу данных ИП для дальнейшего применения. Затем переходят к этапу четыре по совершенствованию ТП и определяется ПЧР для принятых технологических решений. В случае обеспечения требуемых выходных параметров, ТП принимается к реализации, в противном случае цикл повторяется до тех пор, пока не будет выполнено условие $ПЧР < ПЧР_{ГР}$. Заключительный седьмой этап включает оформление и реализация ТП.

Выводы

Проведен анализ этапов технологической подготовки группового технологического процесса для корпусных деталей, при этом установлено, что существующие методики проектирования не учитывают факторы, приводящие к появлению недопустимых отклонений выходных параметров технологического процесса.

Для проектирования групповых технологических операций предложен алгоритм проектирования, включающий применение метода PFMEA и метода поискового проектирования, что позволяет на этапе проектирования выявить потенциальные отказы, разработать мероприятия, позволяющие предотвратить появление отказов и обеспечить требуемые выходные параметры при реализации группового технологического процесса.

Предложенная методология может быть использована на стадии технологической подготовки производства для групповых технологических процессов, что позволит значительно снизить себестоимость, трудоемкость и сократить производственный цикл.

Список литературы

1. *Митрофанов С.П.* Научная организация машиностроительных производств. – Л.: Машиностроение, 1976. – 710 с.
2. *Митрофанов С.П.* Групповая технология машиностроительного производства. В 2 т. Т. 1. Организация группового производства. – Л.: Машиностроение, 1983. – 407 с.
3. *Соколовский А.П.* Курс технологии машиностроения. В 2 ч. Ч. 1. Общие вопросы технологии механической обработки. – М.; Л.: Машгиз, 1947. – 435 с.
4. *Базров Б.М.* Модульная технология в машиностроении. – М.: Машиностроение, 2001. – 368 с.
5. *Базров Б.М.* Типовая технология в современных условиях // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2014. – № 4. – С. 44–46.
6. *Фирсов А.М., Вдовин А.В., Тимахович И.В.* Проектирование технологического процесса обработки резанием на основе учета отказов технологической системы // Механика XXI века. – 2013. – № 12. – С. 155–159.
7. *Татаркин Е.Ю., Фирсов А.М., Калистру В.А.* Обеспечение точности базовых отверстий корпусных деталей при групповой обработке путем прогнозирования параметрических отказов // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2015. – № 5. – С. 15–29.
8. *Фирсов А.М., Татаркин Е.Ю., Калистру В.А.* Проектирование технологических процессов с использованием фонда эвристических приемов // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2016. – № 3. – С. 106–111.
9. Method of refusals for technological preparation of group processing of basic holes / E.Y. Tatarkin, A.M. Firsov, A.G. Ovcharenko, V.F. Kalistry // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 126 (1). – P. 012008.
10. Р 50-54-93–88. Рекомендации. Классификация, разработка и применение технологических процессов. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 15 с.
11. ГОСТ 27.202–83. Надежность в технике. Технологические системы. Методы оценки точности по параметрам качества изготавливаемой продукции. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 50 с.
12. ГОСТ 27.310–95. Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения. – М.: Изд-во стандартов, 1996. – 20 с.
13. ГОСТ Р 51814.2–2001. Системы качества в автомобилестроении. Метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 19 с.
14. «Семь инструментов качества» в японской экономике / сост. Э.К. Николаева. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 88 с.
15. *Половинкин А.И.* Основы инженерного творчества. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с.

**PERFECTING OF TECHNOLOGICAL PREPARATION OF MECHANICAL
TREATMENT USING THE METHOD OF "FAILURES MODE"**

Firsov A.M., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: firsov.am@yandex.ru

Ovcharenko A.G., D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: mrsi@bti.secna.ru

Biysk Technological Institute, Branch of Polzunov Altai State Technical University,
27 Trafimova st., Biysk, Altai region, 659305, Russian Federation

Abstract

The advantages of group processing under diversified production not find wide application in modern engineering production. It is due to the complexity of combining parts in the group and the lack of advanced methods to predict possible failures during the machining of work pieces with different geometrical form. The paper proposes a design method of group technological process with use of methods of analysis of the types and consequences of failure. It will allow you to identify potential failure of technological processes, to identify the main causes and possible consequences, to develop actions to remove these causes or prevent the possible consequences.

Keywords

technological preparation, group processing, failure prediction, design technique, failure warning

УДК 621.9.06:518.4

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО РАСТВОРЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОГО ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ПОРОШКОВОГО МАТЕРИАЛА МАРКИ ПГ-СР-4

*В.В. ЯНПОЛЬСКИЙ, канд. техн. наук, доцент
Р.М. КАДЫРБАЕВ, аспирант
Д.В. ХАСАНОВ, магистрант
А.Н. АНДРЕЕВ, магистрант
(НГТУ, г. Новосибирск)*

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

Рассматриваются особенности процесса электрохимического растворения покрытия в водных растворах нейтральных солей NaNO_3 , Na_2SO_4 и NaCl . Приведены результаты поляризационных исследований электрохимического растворения в потенциодинамическом режиме. Установлено, что электрохимическое растворение покрытия ПГ-СР-4 в водных растворах NaNO_3 и Na_2SO_4 10% концентрации происходит в активном состоянии во всем исследуемом диапазоне потенциалов. При растворении покрытия в водном растворе NaCl 10% концентрации наблюдаются участки активного растворения ($\varphi = 0..4$ В) и пассивного ($\varphi = 4..8$ В). В области потенциалов $\varphi = 4..8$ В торможение процесса растворения, связано с образованием окисной пленки на поверхности анода.

Ключевые слова: покрытие ПГ-СР-4, электроалмазное шлифование, пассивация анода, электрохимическое растворение

Введение

Развитие современной техники предъявляет все более жесткие требования к материалам, а повышение износостойкости деталей является актуальной задачей для многих отраслей промышленности. Наиболее перспективным вариантом решения этой задачи является нанесение на детали, подверженные интенсивному износу при высоких температурах (более 500°C), износостойких композиционных покрытий [1].

В настоящее время, существует множество методов нанесения износостойких покрытий, среди которых наиболее эффективным является вакуумная электронно-лучевая наплавка. Данный метод нанесения покрытия позволяет достигать высокие показатели износостойкости и твердости.[2].

Стоит отметить, что формирование качества поверхности осуществляется как на этапах нанесения покрытия, так и на этапах последующей механической обработки [3]. Технология нанесения покрытия электронно-лучевой наплавкой не вызывает трудностей, однако выбор метода последующей механической обработки определяет качество поверхности, достигаемые точностные параметры, а соответственно, и работоспособность детали. Существующие технологии обработки высокопрочных материалов не всегда приводят к достижению требуемого качества. Так, применение абразивного шлифования снижает эксплуатационные характеристики изделия, ввиду перегрева поверхности покрытия. Связано это с тем, что твердость покрытия сопоставима с твердостью абразивного инструмента [4, 5, 6]. Вследствие этого происходит снижение качества покрытия, а следовательно, и работоспособности детали.

Одним из возможных методов обработки высокопрочных материалов является электроалмазное шлифование, которое хорошо зарекомендовало себя при обработке твердых сплавов, быстрорежущих сталей и износостойких покрытий, благодаря совмещению процессов электрохимического растворения обрабатываемого материала с процессами механического резания [7, 8, 9]. Качество и производительность во многом зависит от особенностей электрохимического растворения обрабатываемого материала в выбранных составах электролитов [10, 11]. Поэтому для эффективного применения процесса электроалмазного шлифования при шлифовании износостойких покрытий необходимо определить особенности электрохимического растворения материала покрытия в различных составах электролитов.

Методика экспериментального исследования

В качестве материала для нанесения покрытия был выбран порошок ПГ-СР-4. Согласно ГОСТ 21448-75 покрытия из порошкового материала марки ПГ-СР-4 обладают твердостью не менее 56,9 HRC, что соответствует требованиям, предъявляемым к деталям, подвергающимся интенсивному изнашиванию при температурах до 500 °С и воздействию агрессивных сред. Химический состав порошкового материала ПГ-СР-4: углерод (С) – 0,75%; железо (Fe) – 3,7%; бор (В) – 3,1%; никель (Ni) – является основой; хром (Cr) – 28,5%; вольфрам (W) – 4,4%; кремний (Si) – 1,0% [12].

Нанесение покрытия марки ПГ-СР-4 осуществлялось методом электронно-лучевой наплавки в вакууме.

Особенности электрохимического растворения определялись на основе изучения поляризационных характеристик, устанавливающих зависимость i от φ .

Для проведения поляризационных исследований образцы заливались в оправки эпоксидным клеем ЭДП-8 ГОСТ 10587-84, так чтобы растворялся только торец образца, площадью поперечного сечения 2 мм². В качестве вспомогательного электрода использовался медный электрод, электрод сравнения – платиновый электрод. На рисунке 3 представлена схема установки для проведения поляризационных исследований. Зазор Δ между исследуемым образцом и электродом сравнения устанавливался при помощи щупа ГОСТ 882-75 и составлял 0,5 мм.

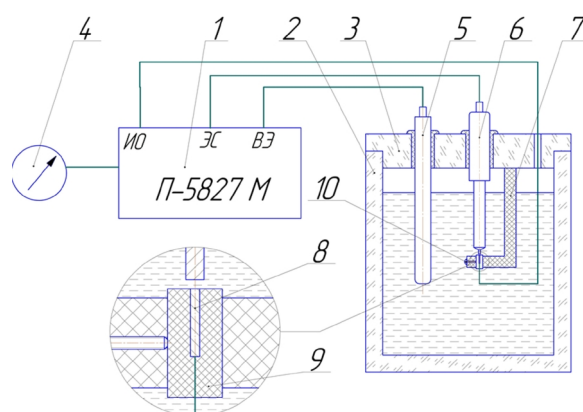


Рис. 1. Схема установки для проведения поляризационных исследований: 1 – потенциостат П5827М; 2 – емкость для электролита; 3 – крышка; 4 – микроамперметр; 4 – крышка; 5 – вспомогательный электрод; 6 – электрод сравнения; 7 – кронштейн; 8 – исследуемый образец (рабочий электрод); 8 – кронштейн; 9 – оправка; 10 – крепежный винт.

Известно, что анионный и катионный состав электролита, оказывает существенное влияние на процесс электрохимического растворения материала [13]. Наиболее

распространенные электролиты для электроалмазного шлифования – растворы нейтральных солей. В связи с этим для проведения исследований были выбраны следующие растворы нейтральных солей: NaNO_3 , Na_2SO_4 и NaCl 10% концентрации.

Результаты и обсуждения

Результаты проведенных экспериментальных исследований электрохимического растворения покрытия ПГ-СР-4 в водных растворах NaNO_3 , Na_2SO_4 , NaCl 10% концентрации представлены на рисунках 2,3 и 4 соответственно.

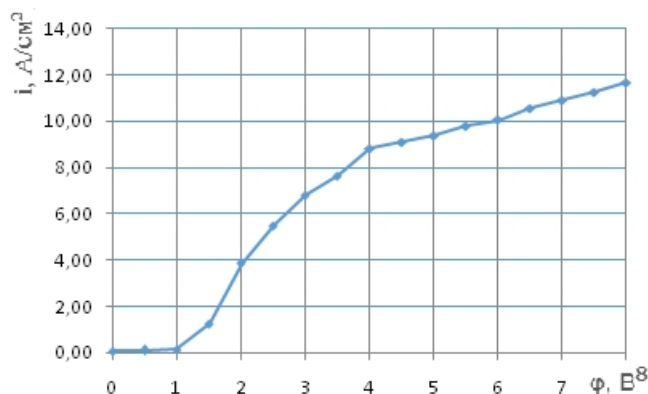


Рис. 2. Поляризационные характеристики анодного растворения покрытия из порошкового материала марки ПГ-СР-4 в водном растворе 10% NaNO_3

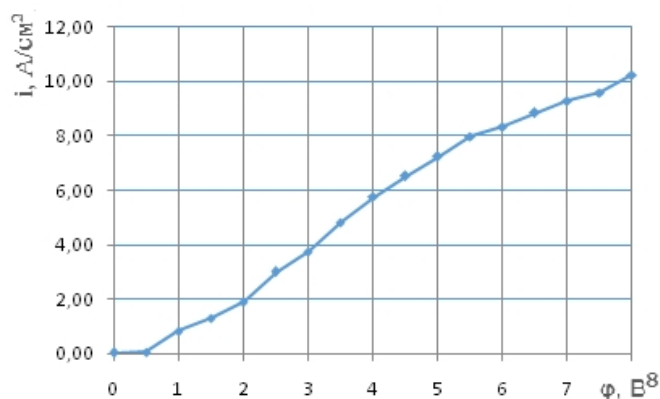


Рис. 3. Поляризационные характеристики анодного растворения покрытия из порошкового материала марки ПГ-СР-4 в водном растворе 10% Na_2SO_4

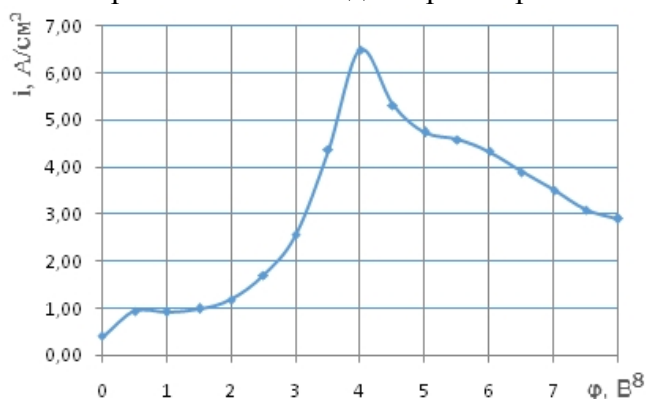


Рис. 4. Поляризационные характеристики анодного растворения покрытия из порошкового материала марки ПГ-СР-4 в водном растворе 10% NaCl

Из рисунка 2 и 3 видно, что в нитратном и сульфатном электролитах происходит активное растворение покрытия, во всем исследуемом диапазоне потенциалов. Вероятно, что активный процесс растворения происходит за счет анионов NO_3^- и SO_4^{2-} , которые вытесняют кислород, препятствуя образованию на поверхности металла окисной пленки [14].

В хлоридном растворе 10% концентрации (рисунок 4) наблюдается нестабильный процесс растворения. В диапазоне потенциалов $\varphi = 0 \dots 4$ В происходит активное растворение покрытия далее, при значении потенциалов $\varphi = 4 \dots 8$ В наблюдается резкое торможение процесса растворения. Вероятно, торможение процесса обусловлено образованием на поверхности исследуемого материала окисной пленки, в работах [15, 16] установлено, что окисные пленки имеют значительное сопротивление, а их образование приводит к пассивации металлов.

Выводы

На основе проведенных исследований, установлено, что растворение покрытия из порошкового материала ПГ-СР-4 в электролите NaCl сопровождается пассивацией при значениях потенциалов $\varphi = 4 \dots 8$ В. Вероятно, что пассивации подвергаются легирующие компоненты, входящие в состав ПГ-СР4.

В водных растворах NaNO_3 и Na_2SO_4 10% концентрации наблюдается активное растворение покрытия во всем исследуемом диапазоне потенциалов.

Список литературы

1. Материаловедение: учебник для вузов / Б.Н. Арзамасов и др.; общ. ред. Б.Н. Арзамасов, Г.Г. Мухин. – 6-е изд., стер. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 646 с.
2. *Gnyusov S.F., Durakov V.G., Ignatov A.A.* Electron beam in technology surfacing of the powder rapid steel // Proceedings – International Symposium on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum, ISDEIV 2012. – Tomsk, 2012. – P. 561–563.
3. *Рахимьянов Х.М., Моисеенко А.Н., Янпольский В.В.* Электроалмазная обработка напыленных износостойких покрытий // Инженерия поверхностного слоя деталей машин: сборник трудов Международной научно-практической конференции, Кемерово, 9–11 декабря 2009 г. – Кемерово, 2009. – С. 365–369.
4. *Янюшкин А.С., Шоркин В.С.* Контактные процессы при электроалмазном шлифовании. – М.: Машиностроение-1, 2004. – С. 217–229.
5. Electrochemical characteristics of mechanically treated metallic surfaces / J. Brezinová, A. Guzanová, D. Draganovská, J. Koncz // International Conference on Surface Engineering and Materials in Mechanical Engineering, High Tatras, Slovakia, 23–24 October 2014. – Pfaffikon: Trans Tech Publ., 2015. – P. 145–148.
6. *Brumleve W.* Feasibility study for an Electrochemical grinding (ECG) machine for large diameter workpieces. – Ft. Belvoir: Defense Technical Information Center, 1975. – 61 p.
7. *Kozak J., Skrabalak G.* Analysis of abrasive electrochemical grinding process (AECG) // Proceedings of the World Congress on Engineering, WCE 2014, London, United Kingdom, 2–4 July 2014. – London, 2014. – Vol. 2. – P. 1147–1152.
8. Электрохимическое растворение покрытий из порошковых материалов / Х.М. Рахимьянов, Б.А. Красильников, В.В. Янпольский, М.И. Никитенко, А.Н. Моисеенко // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2011. – № 2. – С. 7–8.

9. Рахимьянов Х.М., Красильников Б.А., Янпольский В.В. Повышение производительности процесса электроалмазного шлифования быстрорежущих сталей // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2006. – № 4. – С. 3–5.
10. El-Hofy H. Fundamentals of machining processes: conventional and nonconventional processes. – 2nd ed. – Boca Raton: CRC Press, 2013. – 562 p.
11. Bralla J. Handbook of manufacturing processes. – New York: Industrial Press, 2007. – 804 p.
12. ГОСТ 21448–75. Порошки из сплавов для наплавки. Технические условия. – Москва: Изд-во стандартов, 1993. – 14 с.
13. Мороз И.И. Электрохимическая размерная обработка металлов. – М.: Машиностроение, 2009. – 279 с.
14. Щербак М.В. Основы теории и практики электрохимической обработки металлов и сплавов. – М.: Машиностроение, 1981. – 263 с.
15. McGeough J.A. Principles of electrochemical machining. – London: Chapman and Hall, 1974. – 255 p.
16. Рахимьянов Х.М., Василевская С.И. Технологические возможности электрохимической обработки отверстий неподвижным катодом-инструментом // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2016. – № 2 (71). – С. 12–20.

FEATURES OF ELECTROCHEMICAL DISSOLUTION OF THE WEAR-RESISTANT COATING BASED ON POWDER MATERIAL PG-SR-4

Yanpolskiy V.V., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: yanpolskiyv@mail.ru
Kadyrbaev R.M., Ph.D. student, e-mail: be.true@mail.ru
Khasanov D.V., Master's Degree student, e-mail: 555ta101@mail.ru
Andreev A.N., Master's Degree student, e-mail: andreev.nstu@yandex.ru

Novosibirsk State Technical University, 20 Prospect K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation

Abstract

In this study we review features of the coating's electrochemical dissolution process in aqueous solution of the neutral salts NaNO₃, Na₂SO₄, NaCl. There are results of the polarization study of the electrochemical dissolution in the potentiodynamic mode. It is established electrochemical dissolution of the PG-SR-4 coating in the 10 % NaNO₃ and Na₂SO₄ aqueous solutions is active in the investigated range of voltage potentials. We observe that there are sites of the active ($\varphi = 0...4$ V) and passive ($\varphi = 4...8$ V) dissolution in the 10 % NaCl aqueous solution. In the range of $\varphi = 4...8$ V it is deceleration of the dissolution process because of the oxide film formation on the surface.

Keywords

coating PG-SR-4, electrochemical grinding, anode passivation, electrochemical dissolution

УДК 621.9.048.6

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ НИЗКОЙ ТВЕРДОСТИ

*А.Г. САМУЛЬ, магистрант
В.П. ГИЛЕТА, канд. техн. наук, доцент
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Самуль А.Г. – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: artem-samul@mail.ru

В данной работе представлены результаты обработки образцов из стали 45 (НВ 170) в сыром состоянии при наложении на деформатор ультразвуковой частоты по нормали и по касательной. Исследования показали, что обработка по нормальной схеме не позволяет получать высокого качества поверхностного слоя при обработке металлов и сплавов низкой твердости. Использование схемы с вводом ультразвуковых по касательной исключает интенсивное течение материала в зоне контактного взаимодействия и обеспечивает существенное снижение шероховатости поверхности, а также исключает существенное развитие пластической деформации, приводящей к образованию волн текучести. Параметры технологического воздействия при данной схеме позволяют управлять качеством поверхностного слоя, как по геометрическим, так и по физико-механическим характеристикам.

Ключевые слова: поверхностно-пластическое деформирование, ультразвуковая обработка, шероховатость поверхности, схемы ввода колебаний

Введение

Существенное влияние на эксплуатационные свойства деталей в условиях контактного, коррозионного и усталостного воздействий оказывает микрогеометрия поверхности, её физико-механическое состояние. В настоящее время существует большой набор методов, которые позволяют изменять микрогеометрию поверхностного слоя. В настоящее время для окончательного формирования геометрического и физико-механического состояния поверхностного слоя широко применяются методы поверхностно-пластической деформации (ППД). Одним из данных методов является ультразвуковая упрочняюще-чистовая обработка [1-5]. Ультразвуковая обработка (УЗО) обладает более широким набором технологических параметров, по сравнению с другими методами ППД, что обуславливает многократное воздействие деформатора на единицу обрабатываемой поверхности, и позволяет формировать как специфическую микрогеометрию поверхности, так и её физико-механическое состояние. В настоящее время УЗО широко применяется для обработки металлов и сплавов повышенной и высокой твердости [6-12].

Целью работы является нахождение рациональной схемы обработки материалов низкой твердости с использованием ультразвуковых колебаний обеспечивающей существенное снижение шероховатости поверхности и повышения механических свойств.

Материалы, оборудование и методы исследования

В настоящее время возможно использование различных технологических схем УЗО, отличающихся направлением колебаний деформатора к обрабатываемой поверхности.

Наиболее широко применяемая технологическая схема УЗО с деформирующим элементом, совершающим механические колебания ультразвуковой частоты, направленные по нормали к обрабатываемой поверхности (рис. 1). Другой разновидностью технологической схемы УЗО является схема представленная на рисунке 2, где колебания направлены по касательной к поверхности.

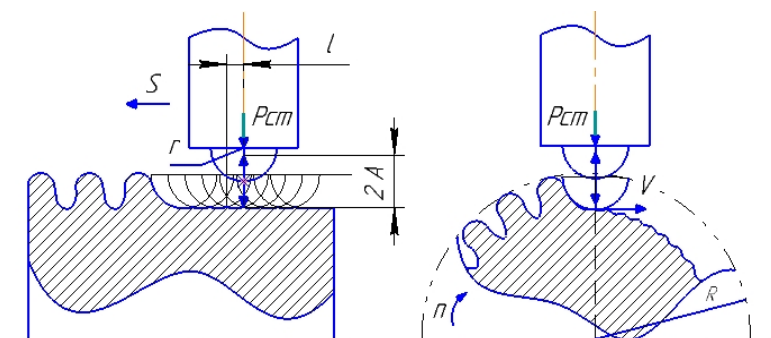


Рис. 1. Обработка по нормали

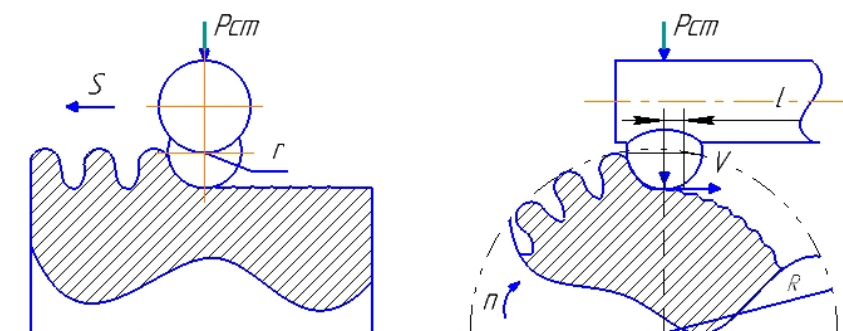


Рис. 2. Обработка по касательной

На сегодняшний день самой распространенной схемой ультразвуковой обработки является схема с направлением деформирующего элемента по нормали. Исследования проводились на образцах из стали 45 с НВ 170, диаметром 40 мм., изготовленных по заводской технологии. Образцы окончательно шлифовались до R_a 0,7 мкм. Упрочнение производилось на станке 16К20 с использованием генераторов УЗГ2-4 и УЗГ3-4 и магнестрикционных преобразователей с частотой 18-44 кГц. В качестве индентора использовались алмазные выглаживатели из синтетических алмазов типа АСПК с радиусом 4 мм. Режимы обработки варьировались: $V = 12 \dots 196$ м/мин, $P_{ct} = 20 \dots 100$ Н, $2A = 12 \dots 40$ мкм. Шероховатость поверхности измерялась на профилографе-профилометре модели 252, а ее морфология оптическим методом.

Результаты и обсуждения

Исследования обработки показали, что обработка образцов по нормальной схеме в выбранном диапазоне параметров, с целью получения низкой, стабильной микрогеометрии поверхности затруднительна, так как воздействие деформирующего элемента вызывает интенсивную пластическую деформацию в поверхностном слое, приводящую к образованию ярко выраженного рельефа. Фотографии поверхности после УЗО указаны на рисунке 4, режимы обработки в таблице ($f = 44$ кГц, $S = 0,084$ мм/об, $r = 4$ мм, $2A \approx 12$ мкм).

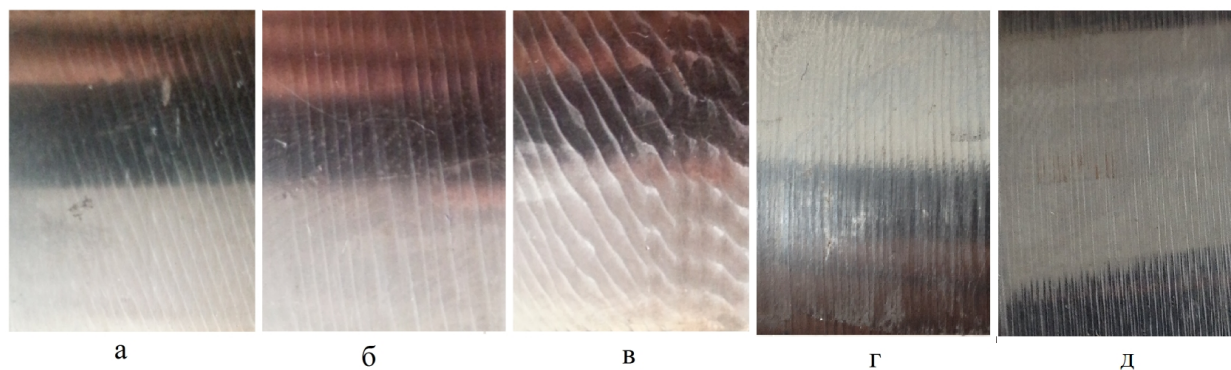


Рис. 4. Рельеф поверхности при различных параметрах обработки

Таблица

	Образец а	Образец б	Образец в	Образец г	Образец д
V , м/мин	12	36	12	36	200
$P_{ст}$, кгс	6	6	10	10	10

Из рисунков видно, что при увеличении нагрузки увеличивается интенсивность течения материала и образования поверхностных волн. Увеличение скорости обработки при неизменной нагрузке приводит к снижению течения материала в направлении подачи, что несколько снижает высоту волн на поверхности образцов.

Как показали исследования обработка образцов с введением колебаний по касательной к поверхности исключает возникновение интенсивного течения материала образцов и позволяет получить стабильное качество поверхности (рис. 5).



Рис. 5. Рельеф поверхности при обработке по тангенциальной схеме

Существенное повышение интенсивности течения наблюдается при применении большой статической нагрузки $P_{ст} > 140$ Н (рис. 6).



Рис. 6. Рельеф поверхности при применении $P_{ст} = 140$ Н

Выводы

Обработка по тангенциальной схеме материалов с низкой твёрдостью позволяет формировать стабильное качество поверхностного слоя по микрометрическим и физико-механическим показателям.

Наибольшее влияние на изменение микрометрического и физико-механического состояния поверхностного слоя оказывают влияние статическая нагрузка, амплитуда колебаний и скорость обработки.

Список литературы

1. *Лецинский В.М., Рябичева Л.А.* Механические свойства деформированной инструментальной стали // Вестник машиностроения. – 1993. – № 3. – С. 18–23.
2. Применение ультразвука при обработке и сборке / М.Ф. Володин, В.В. Калашников, М.С. Нерубай, Б.Л. Штриков. – М.: Машиностроение, 2002. – 264 с. – (Библиотека технолога).
3. *Боровин Ю.М.* Повышение геометрических и физико-механических характеристик поверхностного слоя при финишной ультразвуковой обработке: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01. – М., 2005. – 288 с.
4. Физические основы, технологические процессы и оборудование ультразвуковой обработки материалов / Б.М. Бржозовский, Н.В. Бекренев, О.В. Захаров, Д.В. Трофимов. – Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2006. – 195 с.
5. *Киселев Е.С.* Интенсификация процессов механической обработки использованием энергии ультразвукового поля. – Ульяновск: УлГТУ, 2003. – 144 с.
6. *Смирнов В.С.* Теория обработки металлов давлением. – М.: Металлургия, 1973. – 496 с.
7. Образование регулярного микрорельефа способом вибронакатывания на станках с ЧПУ / А.Э. Алиев, В.В. Арфенов, Ю.Е. Петренко, В.Н. Таламанов // Станки и инструмент. – 1987. – № 4. – С. 34–38.
8. *Осипенкова Г.А., Пегашкин В.Ф.* Отделочно-упрочняющая обработка с применением ультразвуковых крутильных колебаний. – 2-е изд., перераб. и доп. – Нижний Тагил: НТИ (филиал) УрФУ, 2015. – 179 с.
9. *Кумабе Д.* Вибрационное резание / пер. с яп. С.Л. Масленникова; под. ред. И.И. Портнова, В.В. Белова. – М.: Машиностроение, 1985. – 424 с.
10. *Гилета В.П., Безнедельный А.И., Асанов В.Б.* Бесцентровая упрочняюще-чистовая обработка ультразвуковым инструментом // Системы. Методы. Технологии. – 2015. – № 4 (28). – С. 49–54.
11. *Гилета В.П., Асанов В.Б., Безнедельный А.И.* Повышение стойкости вытяжных пуансонов // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2007. – № 4 (47). – С. 11–12.
12. *Муханов И.И.* Импульсная упрочняюще-чистовая обработка деталей машин ультразвуковым инструментом. – М.: Машиностроение, 1978.

ULTRASONIC PROCESSING OF MATERIALS OF LOW HARDNESS

Samul A.G., Master's Degree Student, e-mail: artem-samul@mail.ru

Gileta V.P., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: gileta.viktor@yandex.ru

Novosibirsk State Technical University, 20 Prospect K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation

Abstract

This paper presents the results of sample processing of steel 45 (HB 170) in the green state when applied to the warp of ultrasonic frequency for normal and tangential. Studies have shown that under normal processing scheme does not allow to obtain high quality of the surface layer in the processing of metals and alloys, low hardness. Use of the scheme with the introduction of ultrasonic tangentially excludes intensive flow of material in the contact zone of interaction and provides a significant reduction in the surface roughness, and also eliminates significant development of plastic deformation, which leads to the formation of flow waves. Parameters of technological impact at this circuit can control the quality of the surface layer, both geometric and physical-mechanical characteristics.

Keywords

surface-plastic deformation, ultrasonic treatment, the surface roughness, the input circuit oscillations

УДК 620.197.2:620.193.23

**ВЛИЯНИЕ ЭПИЛАМИРУЮЩИХ ПОКРЫТИЙ НА КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ
ПОВЕРХНОСТИ СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ**

*Д.А. ГЕРБЕР, магистрант
В.П. ГИЛЕТА, канд. техн. наук, доцент
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Гербер Д.А. – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: amid-ger@yandex.ru

В данной работе исследованы защитные свойства эпиламирующих покрытий от процесса коррозии. Испытания проводились лабораторным методом и носили ускоренный характер, имитирующий процесс атмосферной коррозии. Образцы цилиндрической формы, изготовленные из стали 45 (НВ 170), обрабатывались эпиламирующим покрытием. В качестве влажной среды использовался 3% раствор NaCl. Выдержка образцов в установке осуществлялась в течение 30 часов, при температуре 24°C и относительной влажности $65 \pm 5\%$. В результате исследований установлено, что эпиламирующие пленки обладают защитными свойствами и обеспечивают двухкратное повышение коррозионной стойкости после 30 часов испытаний.

Ключевые слова: эпилам, эпиламирующие покрытия, коррозия, коррозионная устойчивость, окисление

Введение

С развитием техники, условия эксплуатации металлических деталей усложняются и качеству поверхностей предъявляются всё новые требования.

Проблема антикоррозионной защиты на является актуальной во всем мире. Результаты процесса коррозии наносят существенный ущерб эксплуатационно-технической надежности и долговечности изделий, и борьба с коррозией требует существенных экономических затрат.

На сегодняшний день используются следующие методы защиты металлов от коррозии: повышение химического сопротивления материалов, изоляция поверхности металла от агрессивной среды, понижение агрессивности производственной среды и методы электрохимической защиты. В качестве изолятов поверхности металла применяются металлические, неорганические и органические покрытия [1].

Большинство работ по изучению свойств и оценки эффективности применения эпиламов направлено на изучение антифрикционных свойств. Вопрос, обладают ли эпиламы антикоррозионными свойствами, остается открытым.

Эпиламирующие покрытия модифицируют обрабатываемую поверхность и применяются для улучшения антифрикционных, антиадгезионных и защитных свойств. Так как толщина защитного слоя составляет примерно 35-85 Å (10-8 см), то геометрические размеры обрабатываемой детали остаются практически неизменными [5].

Таким образом, целью данной работы является изучение влияния эпиламирующих покрытий на коррозионную стойкость поверхностей стальных деталей.

Теория

Причина возникновения коррозии заключается в термодинамической неустойчивости металлов и в процессе, протекающем на границе раздела металл-газ или металл-жидкость. Реальная скорость коррозии определяется многими факторами: состоянием поверхности металла, особенностями его структуры, температурой, составом и скоростью движения коррозионной среды, механическими напряжениями.

Большинство металлов окисляется кислородом воздуха с образованием поверхностных оксидных пленок. Однако в силу незначительной толщины этих пленок не обеспечивается надежная защита от коррозии. Возможно создание на поверхности металла искусственной пленки в результате химической обработки [2-3].

В качестве наносимого защитного покрытия в данной работе было предложено использовать эпиламирующий состав 6 СФК – 182 – 05.

Защитное действие эпиламирующего покрытия может быть обусловлено сплошностью нанесенного слоя и хорошей адгезии эпилама с обрабатываемой поверхностью, в результате чего обеспечивается механическая изоляция поверхности металла от внешней среды.

Основным структурным элементом всех эпиламирующих композиций являются фторсодержащие поверхностно-активные вещества (фтор-ПАВ), которые представляют собой фторполимеры, не имеющие аналогов в природе и синтезируемые искусственным путём.

Механизм действия эпиламирующего состава заключается в формировании тонкого слоя перпендикулярно ориентированных к обрабатываемой поверхности молекул фтор-ПАВ за счет хемосорбционных сил. В результате на рабочей поверхности молекулы образуют структуры Ленгмюра в виде нормально направленных спиралей. Именно спирали Ленгмюра позволяют удерживать смазочные среды на поверхности детали, тем самым предотвращая эффект сухого трения.

Наносить данные покрытия можно различными способами: распылением в камерах, окунанием, нанесение кистями или тампоном, и т.д. [4 - 8].

Методы коррозионных исследований и испытаний подразделяются на: лабораторные, полевые и натурные. Лабораторный метод заключается в создании искусственных условий протекания коррозии и является ускоренным.

Для оценки последствий действия коррозии используются прямые показатели коррозии: доля поверхности, занятая продуктами коррозии; количество коррозионных язв или точек на единице поверхности; время до появления первого очага коррозии; убыль или увеличение массы, отнесенные к единице поверхности [1 - 3].

Методика экспериментального исследования

В качестве материала исследования была выбрана конструкционная сталь 45 (НВ 170). Образцы цилиндрической формы перед испытаниями шлифовались до Ra 0,8 мкм.

На образцы наносилось однослойное покрытие по следующей технологии:

1) очистка образцов в моющей среде со следующими компонентами: тринатрийфосфат – 150 г, каустическая сода – 15 г, дистиллированная вода – 1 л, в течение 10-15 минут;

2) промывка образцов в дистиллированной воде, в течение 10-15 минут;

3) обезжиривание в спирте;

4) окунание в эпиламирующий состав (6 СФК – 182 – 05) на 8-10 минут;

5) сушка на воздухе;

6) выдержка при температуре 120 °С в течении 1,5 часов в сушильном шкафу [4].

Испытания на коррозионную стойкость исходных образцов и образцов, подвергнутых эпиламированию, осуществлялись в атмосферных условиях после их окунания и выдерживания в течении 2 минут в 3% растворе NaCl в дистиллированной воде. Скорость протекания коррозии железа под тонкой пленкой влаги больше, чем при полном погружении в раствор электролита. Раствор с 3% содержанием NaCl позволяет обеспечить наивысшую скорость коррозии [1].

Испытание образцов происходило при температуре образцов и окружающей среды 24°C и относительной влажности $65 \pm 5\%$. Выдержка образцов проводилась в установке, представленной на рис.1.

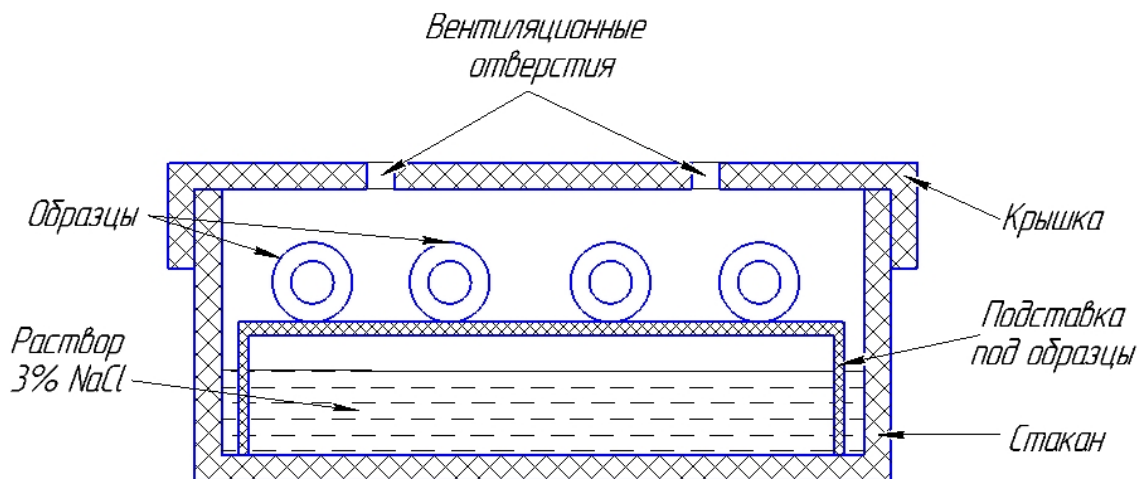


Рис. 1. Схема установки для испытаний

Оценку коррозионной стойкости осуществляли по времени образования первых очагов коррозии и по площади поверхности, занятой продуктами коррозии после фиксированных времен испытаний.

Площадь поверхности, занятой продуктами коррозии, оценивалась с помощью метода случайных секущих линий (рис. 2) [9-10]:

$$\sum S_{\alpha} = 2 \frac{z}{L}, \text{ мм}^2,$$

где L - суммарная длина секущих прямых; z - число полученных на длине L отрезков, возникающих в результате пересечения секущих с поверхностями, подверженных коррозии.

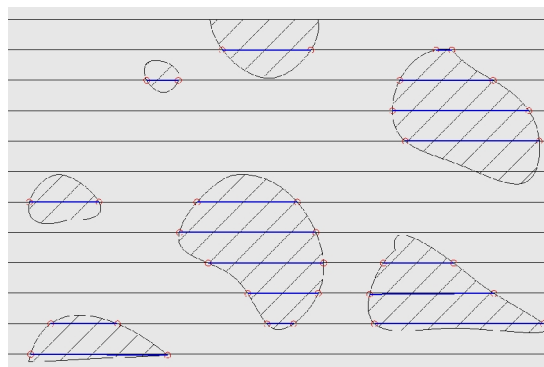


Рис. 2. Схема определения суммарной поверхности коррозии методом случайных секущих в комбинации с линейным методом.

Результаты и их обсуждение

В процессе работы на начальном этапе осуществлялся непрерывный контроль состояния поверхности образцов, который позволил определить начало образования следов коррозии. После образования очагов коррозии дальнейшая фиксация состояния поверхности осуществлялась периодически, с интервалом 3 часа (рис. 3).



Рис. 3. Состояние поверхности образцов *а* и *б* после 30 часов испытаний:
а - эпиламированный; *б* - неэпиламированный.

Время появления очагов коррозии для эпиламированных и неэпиламированных существенно различается (таблица).

Таблица

Время до появления первого очага коррозии	
Состояние поверхности образца	Время, ч
Неэпиламированная	0,14
Эпиламированная	0,87

Площадь поверхности образцов, занимаемая продуктами коррозии оценивалась с помощью метода случайных секущих в комбинации с линейным методом. Её изменение от времени испытания представлено на рис. 4. Как видно из рисунка, коррозионная стойкость эпиламированных образцов существенно отличается от неэпиломированных. Повышение интенсивности процесса коррозии у эпиламированных образцов связано с разрушением защитного покрытия. У неэпиламированных образцов после 15 часов испытаний наблюдается покрытие продуктами коррозии большей части поверхности образцов. При этом площадь коррозии у эпиламированного образца не превышала 15% от общей площади.

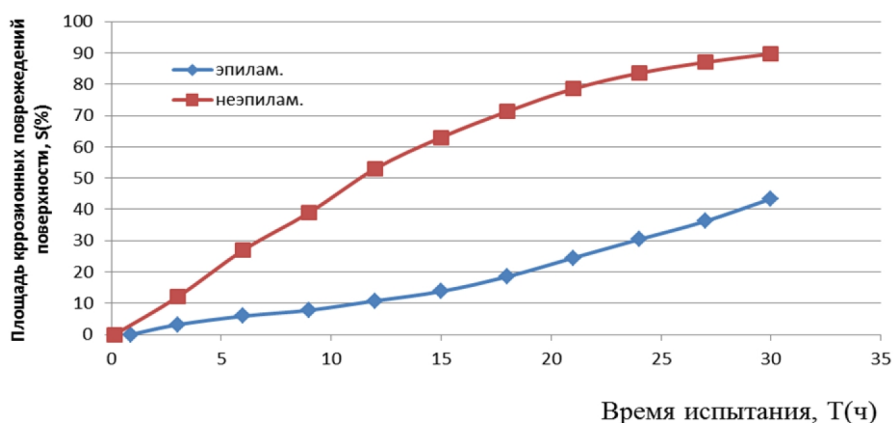


Рис. 4. Зависимость площади коррозионных повреждений образцов от времени испытаний

Выводы

1. Эпиламирующие покрытия повышают коррозионную стойкость поверхности образцов из стали 45.
2. Установлено, что при испытаниях во влажной среде 3% раствора NaCl время до появления первых очагов коррозии у эпиламированных образцов в 6,2 раза выше, чем у неэпиламированных.
3. После 30 часов испытаний у эпиламированных образцов площадь поверхности, занятая продуктами коррозии, в два раза меньше, чем у неэпиламированных.

Список литературы

1. Шлугер М.А., Ажогин Ф.Ф., Ефимов Е.А. Коррозия и защита металлов : учебное пособие для металлургических специальностей вузов. – М.: Металлургия, 1981. – 216 с.
2. Антикоррозионная защита металлов / Н.Л. Федосова, В.Е. Румянцева, К.Е. Румянцева, А.В. Балмасов, М.Д. Чекунова. – Иваново: Иванов. гос. архитектур.-строит. ун-т, 2009. – 187 с.
3. Коррозия и защита металлов: справочное пособие / А.П. Авдеенко, А.Е. Поляков, А.Л. Юсина, С.А. Гончарова. – Краматорск: ДГМА, 2004. – 112 с.
4. Самуль А.Г., Гербер Д.А. Применение эпиламирования для деталей транспортного машиностроения // Сборник трудов II всероссийской молодежной научно-практической школы «Упрочняющие технологии и функциональные покрытия в машиностроении». – Кемерово, 2016. – С. 38–42.
5. Вохидов А., Добровольский Л. Эпиламирование: эффективный метод создания нанополюк // Наноиндустрия. – 2012. – № 4. – С. 32–35.
6. Исследование эффективности применения фторсодержащих покрытий в подвижных и неподвижных соединениях агрегатов пневмогидравлических систем / Л.В. Дербенёв, Т.В. Рассолов, А.В. Волгин, Е.В. Изволенский, Ю.В. Юрченко, Р.А. Челышев, С.М. Гайдар // Труды XXXIII Академических чтений по космонавтике «Актуальные проблемы российской космонавтики», 26–30 января 2009 г. – М., 2009. – С. 280–281.
7. Харченко М.И., Шубин А.В. Повышение ресурса пар трения эпиламированием // Научные труды ВИМ. – М., 2001. – Т. 134, ч. 2.
8. Howarter J.A., Youngblood J.P. Fluorinated surfactants as stimuli-responsive polymers and brushes // Polymer Preprints. – 2005. – Vol. 46, N 2.
9. Салтыков С.А. Стереометрическая металлография (стереология металлических материалов): учебное пособие. – М.: Металлургия, 1976. – 270 с.
10. Saltykov S.A. Stereometrische metallographie. – Leipzig: VEB, 1974. – 397 p.

EFFECT OF EPILAME COATINGS TO CORROSION RESISTANCE OF STEEL PARTS

Gerber D.A., Master's Degree student, e-mail: amid-ger@yandex.ru

Gileta V.P., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: gileta.viktor@yandex.ru

Novosibirsk State Technical University, 20 Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation

Abstract

In this paper were investigated the protective properties epilame coatings against corrosion process. The tests were conducted laboratory method, imitating the process of atmospheric corrosion. Samples were made of steel 45 (HB 170) and had cylindrical shape and then were treated epilame coating. 3% solution of NaCl used by way of moist environment. The samples were kept in the installation for 30 hours at a temperature of 24 °C and a relative humidity of $65 \pm 5\%$. As a result, researches show that the epilame films have protective properties and provide a two-fold increase in the corrosion resistance after 30 hours of testing.

Keywords

epilame, epilame coatings, corrosion resistance, oxidation steel

УДК 621.753.2

ПРОЧНОСТЬ СОЕДИНЕНИЙ С НАТЯГОМ ПРИ УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ СОПРЯГАЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ

И.С. БУКАНОВА, канд. техн. наук, доцент

Г.Г. ИЛЬИНЫХ, студент

И.И. ЯТЛО, канд. техн. наук, доцент

(АлтГТУ им. Ползунова, г. Барнаул)

Буканова И.С. – 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
e-mail: irbis68@mail.ru

Предлагаются теоретические зависимости для расчёта гарантированных натягов прессовых соединений при упруго-пластическом состоянии сопрягаемых деталей. Теоретические зависимости получены на основе рассмотрения трёхосного напряжённого состояния за пределами упругости при степенной аппроксимации кривых упрочнения материалов элементов соединения.

Ключевые слова: соединения с натягом, минимальный натяг, упруго-пластическое состояние, несжимаемость, удельное давление

Введение

Соединения с натягом относятся к распространённым типам гладких цилиндрических соединений (рис.1). Это объясняется простой технологией их изготовления и сборки и надёжными эксплуатационными характеристиками при правильном выборе определяющих параметров.

Одним из определяющих параметров является минимальный натяг, допускаемый в соединении и рассчитываемый из условия обеспечения прочности. Минимальный натяг в соединении должен обеспечивать появление в зоне контакта удельного давления, удовлетворяющего одному из следующих равенств (в зависимости от характера эксплуатационных нагрузок)

$$P = \frac{P_{ос}}{\pi D l f}, \quad P = \frac{2M_{кр}}{\pi D^2 l f} \quad (1)$$

где $P_{ос}$, $M_{кр}$ – эксплуатационное осевое усилие, эксплуатационный крутящий момент; f, D, l – коэффициент трения, диаметр и длина соединения.

Связь между величиной натяга и удельным контактным давлением, как правило, представляется зависимостью Ламе-Гадолина, справедливой для упругого деформированного состояния сопрягаемых деталей.

В настоящее время существует тенденция к использованию полной несущей способности

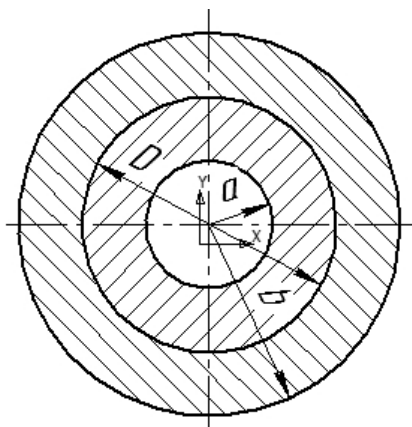


Рис. 1. Схема соединения

соединений с натягом, исчерываемой при пластически деформированном состоянии деталей.

В ГОСТ 25347-2013 поля допусков U, X, Y, Z в системе отверстия и аналогичные поля допусков в системе вала, предназначенные для образования посадок с натягом, как правило, вызывают упруго-пластическое состояние сопрягаемых деталей. Указанные обстоятельства обуславливают необходимость разработки рекомендаций по расчету натягов в соединениях, деформированных упруго-пластически.

Условия появления пластических деформаций в соединениях с натягом

Рассмотрим цилиндр, нагруженный внутренним и внешним давлением (рис. 2). Пластическое состояние цилиндра наступает, если выполняется неравенство

$$\sigma_i \geq \sigma_T \tag{2}$$

где σ_i – интенсивность напряжений; σ_T – предел текучести материала цилиндра.

Пользуясь критерием Треска-Сен-Венана равенство (2) можно переписать в виде

$$\sigma_t - \sigma_r \geq \sigma_T \tag{3}$$

где σ_t и σ_r – соответственно окружное и радиальное напряжения в цилиндре.

Так как точка перехода материала цилиндра в пластическое состояние соответствует границе между упругой и пластической зонами, то для выражения σ_t и σ_r можно воспользоваться

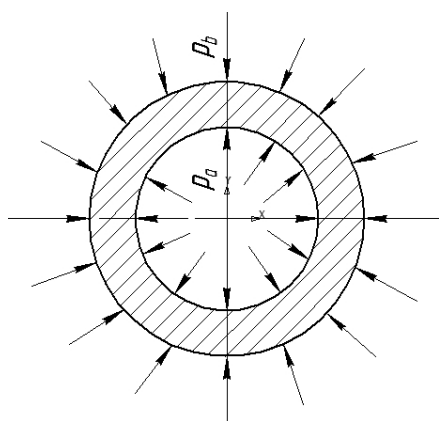


Рис. 2. Схема нагружения цилиндра

законами теории упругости, в соответствии с которыми [1]

$$\frac{2a^2b^2}{r^2} \cdot \frac{P_a - P_b}{b^2 - a^2} \geq \sigma_T, \tag{4}$$

где r – текущий радиус.

Из неравенства (4) следует, что пластические деформации возникают в охватываемой детали соединения, если давление на поверхности контакта, определяемое из равенств (1), удовлетворяет неравенству

$$P \geq \frac{2\sigma_{T,b} \left(\frac{D^2}{4} - a^2 \right)}{D^2} \tag{5}$$

Во втулке (охватывающей детали соединения) пластические деформации возникают при

$$P \geq 0,5\sigma_{T,a} \left(1 - \frac{D^2}{4b^2} \right) \tag{6}$$

где $\sigma_{T,a}$ и $\sigma_{T,b}$ – пределы текучести материалов втулки и вала.

Из неравенств (5) и (6) имеем, что пластические деформации в первую очередь возникают в материале вала, если выполняется условие

$$\sigma_{T,a} \left(1 - \frac{D^2}{4b^2} \right) > \sigma_{T,b} \left(1 - \frac{4a^2}{D^2} \right) \tag{7}$$

Расчет натягов за пределами упругости

Для определения взаимосвязи между величиной удельного контактного давления, полученной из равенств (1) и величиной натяга, которую необходимо обеспечить в соединении при изготовлении, воспользуемся схемой нагружения цилиндра, изображенной на рис. 2, предполагая, что напряженное состояние его находится за пределами упругости. Будем полагать, что цилиндр нагружен одновременно внутренним давлением p_a и внешним давлением p_b . Под действием нагружения каждая точка цилиндра получит определенное перемещение. При этом будут справедливы равенства [1]

$$\varepsilon_r = \frac{du}{dr}; \varepsilon_t = \frac{u}{r} \quad (8)$$

где ε_r и ε_t – соответственно радиальная и окружная деформация цилиндра; u – перемещение в этой же точке.

Для простоты теоретических выкладок можно предположить $\varepsilon_z = 0$. При этом погрешность расчетов по окончательным формулам вследствие незначительности осевой деформаций по сравнению с радиальной и окружной деформациями не будет превышать (15...19)%.

Пользуясь условием несжимаемости материала, можно записать

$$\varepsilon_0 = \varepsilon_r + \varepsilon_t + \varepsilon_z = 0 \quad (9)$$

где ε_0 – объемная относительная деформация.

Учитывая равенства (8) и (9) получаем

$$\frac{du}{dr} + \frac{u}{r} = 0 \quad (10)$$

Решая данное уравнение, имеем

$$u = \frac{c_1}{r} \quad (11)$$

где c_1 – некоторая постоянная.

Подставляя значение перемещения из (11) в (8), получаем

$$\varepsilon_t = -\varepsilon_r = \frac{c_1}{r^2} \quad (12)$$

Дифференциальное уравнение равновесия элемента цилиндра можно записать в виде [2]

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\sigma_r - \sigma_k}{r} = 0 \quad (13)$$

Для приведения этого уравнения к более удобному виду воспользуемся зависимостью компонентов напряжений от компонентов деформаций для случая

$$\sigma_z - \sigma_0 = \frac{2\sigma_i}{3\varepsilon_i} (\varepsilon_z - \varepsilon_0) \quad (14)$$

где σ_z – осевое напряжение; σ_i , ε_i – соответственно интенсивности напряжений и деформаций.

Если учесть равенства (9) и (14), получим

$$\sigma_z = \sigma_0 \quad (15)$$

Известно, что

$$\sigma_0 = \frac{\sigma_r + \sigma_t + \sigma_z}{3} \quad (16)$$

Из равенств (15) и (16) следует

$$\sigma_z = \sigma_0 = \frac{\sigma_t + \sigma_r}{2} \quad (17)$$

Воспользуемся выражением для интенсивности напряжений, согласно которому

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_r - \sigma_t)^2 + (\sigma_t - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_r)^2} \quad (18)$$

Подставляя в равенство (18) зависимость для σ_z из уравнения (17) получаем

$$\sigma_i = \frac{\sqrt{3}}{2} (\sigma_t - \sigma_r) \quad (19)$$

Дифференциальное уравнение равновесия (13) с учетом уравнения (19) переписется в виде

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} = \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{\sigma_i}{r} \quad (20)$$

Диаграмму растяжения материала (при отсутствии площадки текучести) можно аппроксимировать выражением вида [3]

$$\sigma_i = A \varepsilon_i^m \quad (21)$$

где A и m – коэффициенты, зависящие от физико-механических свойств материала, которое значительно искажает экспериментально полученную диаграмму растяжения только при малых деформациях и с удовлетворительной точностью для практических расчетов может быть использовано при больших величинах интенсивностей деформаций, характерных для рассматриваемого случая.

Решая совместно уравнения (20) и (21), получим

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} = \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{A \varepsilon_i^m}{r} \quad (22)$$

Воспользуемся выражением для интенсивности деформаций, которое имеет вид

$$\varepsilon_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_r - \varepsilon_t)^2 + (\varepsilon_t - \varepsilon_z)^2 + (\varepsilon_z - \varepsilon_r)^2} \quad (23)$$

Подставив значения для ε_t и ε_r из равенства (12) в равенство (23) и имея в виду, что $\varepsilon_z = 0$, получим

$$\varepsilon_i = \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{c_1}{r^2} \quad (24)$$

Заменим значение ε_i в уравнении (22) эквивалентным ему значением в соответствии с равенством (24). Будем иметь

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} = \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{A}{r} \left(\frac{2}{\sqrt{3}} \frac{c_1}{r^2} \right)^m \quad (25)$$

В результате интегрирования уравнения (25) устанавливаем

$$\sigma_r = -\frac{A}{m\sqrt{3}} \left(\frac{2}{\sqrt{3}} \frac{c_1}{r^2} \right)^m + C_2 \quad (26)$$

Из соотношений (17), (19), (21), (24) и (26) устанавливаем

$$\sigma_t = \frac{A}{\sqrt{3}} \left(\frac{2}{\sqrt{3}} \frac{c_1}{r^2} \right)^m \left(2 - \frac{1}{m} \right) + C_2 \quad (27)$$

$$\sigma_z = -\frac{2}{\sqrt{3}} A \left(\frac{2}{\sqrt{3}} \frac{c_1}{r^2} \right)^m \quad (28)$$

Постоянные C_1 и C_2 определим из следующих граничных условий: для охватывающей детали соединения (втулки) при $r = \frac{D}{2}$, $\sigma_r = -p$; при $r = b$, $\sigma_r = 0$ имеем

$$C_1^a = \frac{\sqrt{3}}{2} m_a \sqrt{\frac{P m_a \sqrt{3}}{A_a \left[\left(\frac{2}{\sqrt{3}} \right)^{2m_a} - \left(\frac{1}{b} \right)^{2m_a} \right]}} \quad (29)$$

$$c_2^a = \frac{P}{b^{2m_a} \left[\left(\frac{2}{D} \right)^{2m_a} - \left(\frac{1}{b} \right)^{2m_a} \right]} \quad (30)$$

для охватываемой детали соединения (вала) при $r = \frac{D}{2}$, $\sigma_r = -p$; при $r = a$, $\sigma_r = 0$ и имеем:

$$c_1^b = \frac{\sqrt{3} m_b}{2} \sqrt{\frac{P m_b \sqrt{3}}{A_b \left[\left(\frac{1}{a} \right)^{2m_b} - \left(\frac{2}{D} \right)^{2m_b} \right]}} \quad (31)$$

$$c_2^b = \frac{P}{a^{2m_b} \left[\left(\frac{2}{D} \right)^{2m_b} - \left(\frac{1}{a} \right)^{2m_b} \right]} \quad (32)$$

где A_a , m_a и A_b , m_b – постоянные, характеризующие материалы соответственно втулки и вала.

Предложенные формулы определения постоянных интегрирования c_1 и c_2 целесообразно использовать при условии, когда пластические деформации распространяются на всю толщину сопрягаемых деталей. В случае нераспространения пластических деформаций на всю толщину стенок деталей, приведенные выше формулы (29), (30), (31) и (32) дают значительную погрешность. Для уточнения расчета постоянные c_1 и c_2 целесообразно определить из условия непрерывности напряжений σ_r на границе упругих и пластических зон. Вследствие этого для нахождения границ упругих и пластических зон необходимо найти радиус пластических деформаций (r_T). Исходя из условия равенства $\sigma_i = \sigma_T$ подставляя в выражение (21) выражение (24), получим

$$\sigma_i = A \left(\frac{2}{\sqrt{3}} \frac{c_1}{r^2} \right)^m \quad (33)$$

Следовательно,

$$\sigma_T = A \left(\frac{2}{\sqrt{3}} \frac{c_1}{r_T^2} \right)^m \quad (34)$$

откуда

$$r_T = \sqrt[2m]{\frac{A \left(\frac{2}{\sqrt{3}} c_1 \right)^m}{\sigma_T}} \quad (35)$$

Постоянные c_1^a , c_2^a , c_1^b , c_2^b определяются из следующих граничных условий: для втулки при $r = \frac{D}{2}$, $\sigma_r = -p$; при $r = r_T$, $\sigma_{r,пл} = \sigma_{r,уп}$ (равенство радиальных напряжений на границе пластических и упругих зон).

Заемствуя выражение для σ_r в упругой области из [4], получим для данных граничных условий следующую систему уравнений для определения постоянных

$$\begin{cases} \frac{\frac{PD^2}{4} \left(1 - \frac{b^2}{r_T^2} \right) + \frac{\sigma_T}{m\sqrt{3}} - c_2 = 0 \\ P - \frac{A}{m\sqrt{3}} \left(\frac{2}{\sqrt{3}} \frac{c_1}{r_T^2} \right)^m + c_2 = 0 \end{cases} \quad (36)$$

Аналогично для вала

$$\begin{cases} \frac{PD^2}{D^2 - a^2} \left(1 + \frac{a^2}{r_t^2}\right) + \frac{\sigma_T}{m\sqrt{3}} - c_2 = 0 \\ P - \frac{A}{m\sqrt{3}} \left(\frac{2c_1}{\sqrt{3}r^2}\right)^m + c_2 = 0 \end{cases} \quad (37)$$

Определив значения постоянных, легко выявить взаимосвязь между натягом в соединении и давлением в зоне контакта. Для этого достаточно воспользоваться равенствами (8) и (12), из которых следует

$$N_a = \frac{2c_1^a}{D}; N_b = \frac{2c_1^b}{D} \quad (38)$$

Если принять перемещения точек, лежащих на поверхности втулки, положительными, то можно записать

$$N_a - N_b = \frac{N}{2} \quad (39)$$

С учетом выражений (38) к (39)

$$N = \frac{4}{D} (c_1^a - c_1^b) \quad (40)$$

Таким образом, для расчета гарантированного натяга в соединении, при упруго-пластическом характере деформирования сопрягаемых деталей, необходимо вначале рассчитать удельное давление из равенства (1), затем определять постоянные $c_1^a, c_2^a, c_1^b, c_2^b$, подставив которые в выражение (40), можно вычислить величину минимального натяга.

Постоянные материала A и m , входящие в формулы, можно определить через характеристики стандартных испытаний на разрыв. При этом

$$m = \ln(1 + \delta_y);$$

$$A = \sigma_b (1 + \delta_y) m^{-m}$$

где δ_y – относительное удлинение образцов при разрыве; σ_b – предел прочности при разрыве.

Графическая зависимость между величиной P и N_{min} в соединении для упруго-пластического состояния сопрягаемых деталей показана на рис. 3.

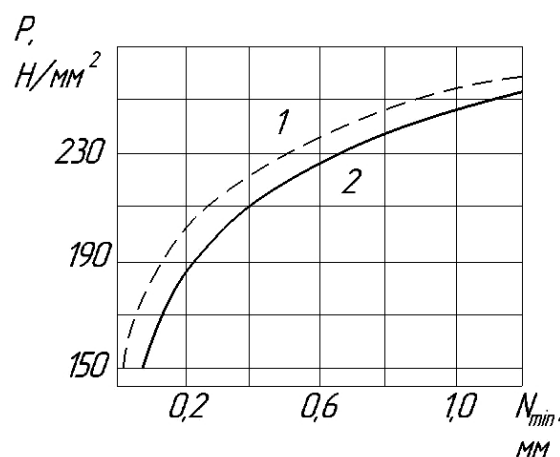


Рис. 3. Зависимость величины контактного давления (p) от минимального натяга (N_{min}) в соединении при различных сочетаниях материалов: 1 - сталь 45 (втулка-вал); 2 - сталь 45 - бронза Бр. АЖ 9-4 (втулка-вал). $D = 30$ мм; $a = 7,5$ мм; $b = 22,5$ мм.

Список литературы

1. Горшков А.Г., Трошин В.Н., Шалашилин В.И. Сопротивление материалов: учебное пособие. – 2-е изд., испр. – М.: Физматлит, 2005. – 544 с. – ISBN 5-9221-0181-1.
2. Митенков Ф.М., Волков И.А., Игумнов Л.А. Прикладная теория пластичности: монография. – М.: Физматлит, 2015. – 284 с.
3. Смирнов-Аляев Г.А. Сопротивление материалов пластическому деформированию: монография. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, 1978. – 368 с.
4. Расчеты на прочность в машиностроении. Т. 2. Некоторые задачи прикладной теории упругости. Расчеты за пределами упругости. Расчеты на ползучесть / С.Д. Пономарев, В.Л. Бидерман, К.К. Лихарев, В.М. Макушин, Н.Н. Малинин, В.И. Феодосьев. – М.: Машгиз, 1958. – 974 с.

STRENGTH OF CONNECTIONS WHEN A TIGHTNESS WHEN THE ELASTIC-PLASTIC STATE OF MATING PARTS

Bukanova I.S., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: ir-bis68@mail.ru

П'inykh G.G., Student, e-mail: rt79olthes@gmail.com

Yatlo I.I., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: iij-alt@mail.ru

I.I. Polzunov Altai State Technical University, 46 Lenina avenue, Barnaul, Altai region, 656038, Russian Federation

Abstract

Proposed theoretical curves to calculate the guaranteed tightness press connection with the elastic-plastic state of mating parts. Theoretical curves were obtained based on the consideration of three axle stress state outside of elasticity in the power approximation curves hardening materials Connection elements

Keywords

compound with interference, minimum interference, elastic-plastic state, incompressibility, unit pressure

УДК 621.9.06:678.5

**ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ
ФРЕЗЕРОВАНИИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*А.М. МАРКОВ, доктор техн. наук, профессор
П.О. ЧЕРДАНЦЕВ, канд. техн. наук, доцент
С.В. ГАЙСТ, аспирант
А.О. ЧЕРДАНЦЕВ, аспирант
Е.Ю. ЛАПЕНКОВ, магистрант
И.С. ПОТАПОВ, студент
(АлтГТУ им. И.И. Ползунова, г. Барнаул)*

Лапенков Е.Ю. – 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
e-mail: ewgenii018@mail.ru

Одной из проблем, сдерживающих применение высокоскоростной обработки композиционных материалов в производстве, является отсутствие нормативной базы для проектирования технологических операций. Описанная в данной работе методика исследования силы резания при высокоскоростном фрезеровании композиционных материалов в зависимости от режимов резания и состояния режущего инструмента позволяет выявить закономерности процесса резания и провести его оптимизацию. Проводится описание экспериментальной установки, в составе которой используется многокомпонентный динамометр оригинальной конструкции. В качестве измерительных элементов динамометра применены пьезоэлектрические датчики, позволяющие фиксировать переменную составляющую силы резания. На основе полнофакторного эксперимента получены математические выражения для расчета выходных параметров операции высокоскоростного фрезерования. Зависимости могут найти применение для расчета режимов фрезерования деталей из стеклопластика косослойной продольно-поперечной намотки.

Ключевые слова: стеклопластики, высокоскоростное фрезерование, сила резания, динамометр, пьезоэлектрический датчик, режимы резания, факторный эксперимент

Введение

В настоящее время в механической обработке находит все более широкое применение высокоскоростная обработка, существенно повышающая производительность и обеспечивающая высокое качество изготовления деталей [1, 2]. Высокоскоростная обработка обладает рядом особенностей, таких как снижение сил резания в определенном диапазоне скоростей и иное, по сравнению с традиционным резанием, распределение тепла в зоне обработки. Данные факторы дают возможность применять ее для обработки закаленных сталей и труднообрабатываемых материалов [3 - 6].

При этом имеющиеся в литературе нормативные данные для выбора конструктивно-геометрических параметров инструмента и назначения режимов высокоскоростного фрезерования [2, 3, 5, 6] практически неприменимы для композиционных полимерных материалов. В первую очередь это связано с тем, что физико-механические свойства композиционных материалов существенно отличаются от свойств обычных конструкционных материалов. Композиционные материалы имеют значительно более низкую теплопроводность, при обработке оказывают абразивное воздействие на режущее

лезвие, не допускают высоких температур, приводящих к их деструкции и разрушению [7]. Свойства композиционных материалов в поперечном и продольном направлении могут значительно отличаться и т.д. [8, 9]. Отсутствие научно-обоснованных моделей, адекватно описывающих динамику формирования выходных показателей высокоскоростного фрезерования композитных материалов, не позволяет формализовать процесс проектирования технологических операций, приводит к увеличению трудоемкости технологической подготовки производства [10 - 12], что в конечном счете сдерживает внедрение высокоскоростной обработки. В связи с этим исследования, направленные на установление зависимости силы резания от режимных параметров высокоскоростного фрезерования и оценку ее влияния на параметры качества изделий из композиционных материалов, являются актуальными.

Методика экспериментальных исследований

С целью исследования зависимости силы резания от режимных параметров (скорости резания V , подачи S , глубины резания t) процесса механической обработки композиционных материалов была разработана методика проведения эксперимента [13, 14].

Эксперимент был реализован согласно предложенной матрице планирования, входные параметры которой представлены в таблице 1. Контролируемым параметром являлась сила резания, измерения которой производились в двух интервалах скоростей: обычном и высокоскоростном резании.

Таблица 1

Пределы изменения входных параметров			
	V , м/мин	S , м/зуб	t , мм
max	628,0	0,1	1,0
min	126	0,02	0,5

Эксперимент проводился на вертикальном сверлильно-фрезерно-расточном станке ГФ2171, оснащенный системой ЧПУ FMS-3200. Общий вид экспериментальной установки представлен на рисунке 1.

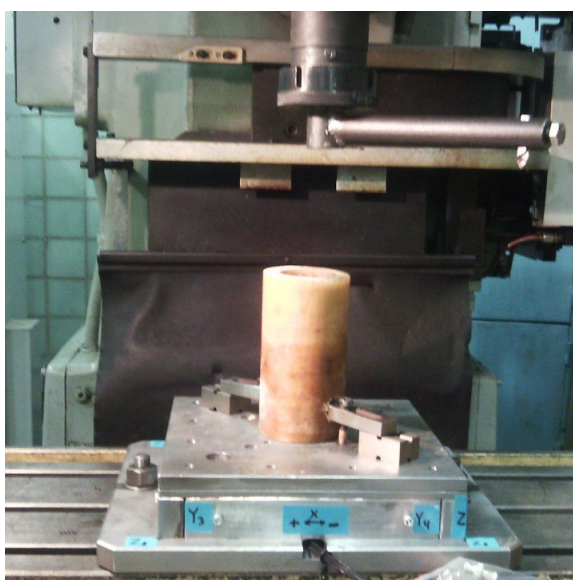


Рис. 1. Экспериментальная установка

Моделирование процесса высокоскоростного фрезерования (скорость резания равная 628 м/мин) осуществлялось за счет использования однозубой фрезы диаметром 400 мм (рисунок 2). В качестве режущего элемента использован расточной державочный резец по ГОСТ 9795-84, с материалом режущей части из твердого сплава ВКЗМ.

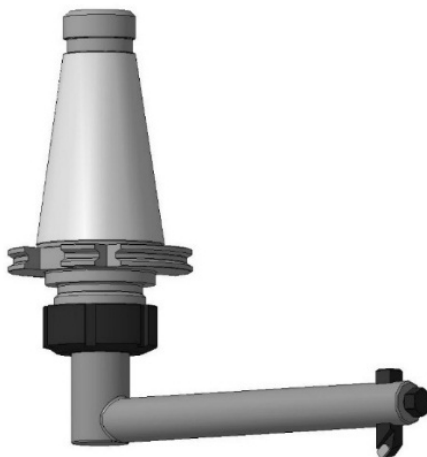


Рис. 2. Режущий инструмент

В качестве экспериментальных образцов использовались заготовки из композиционного материала стеклопластик косослойной продольно-поперечной намотки, имеющего следующие физико-механические свойства:

- предел прочности в тангенциальном направлении 460 МПа;
- предел прочности в осевом направлении 880 МПа;
- модуль упругости при растяжении 263 МПа;
- плотность $1,97 \times 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$.

Измерение силы резания осуществлялось с помощью оригинального многокомпонентного динамометра (положительное решение о выдаче патента на полезную модель по заявке № 2016145705/28(073437 от 22.11.2016)). Динамометр устанавливается на столе фрезерного станка. Общий вид динамометра представлен на рисунке 3.

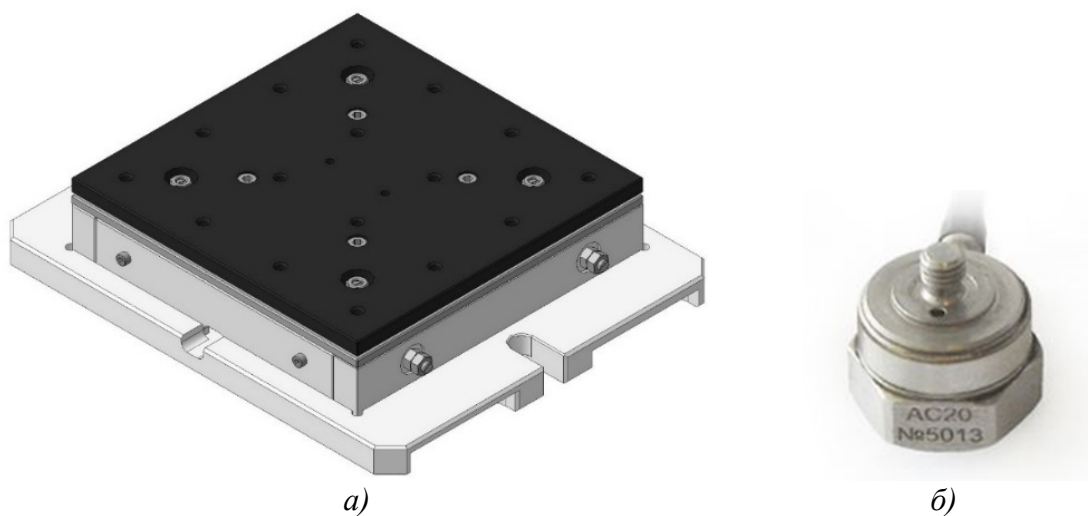


Рис. 3. Многокомпонентный динамометр:
а) – общий вид; б) – датчик силы

Динамометр (рисунок 3а) представляет собой коробчатую конструкцию, в стенки которой установлены восемь пьезоэлектрических датчиков модели AC20 ZETLAB (рисунок 3б), измеряющих переменную составляющую силы. Технические характеристики датчиков приведены в таблице 2.

Таблица 2

Технические характеристики датчиков

Характеристика	Значение
Относительная поперечная чувствительность, %	<5
Деформационная чувствительность, Н·м/мкм	<0,05
Измеряемый диапазон силы, Н	-1000 ... +5000
Электрическая ёмкость, пФ	20 ... 35
Резонансная частота, кГц	>20

Воздействие силы, возникающей при резании, на датчики осуществляется через нагрузочную плиту, на которой закреплена заготовка. Сигналы от каждого датчика преобразуются усилителем напряжения модели AC100 ZETLAB и подаются на аналогово-цифровой преобразователь, затем на персональный компьютер. Обработка сигнала осуществляется с помощью специального программного обеспечения.

На рисунке 4 в качестве примера показан получаемый с динамометра сигнал.

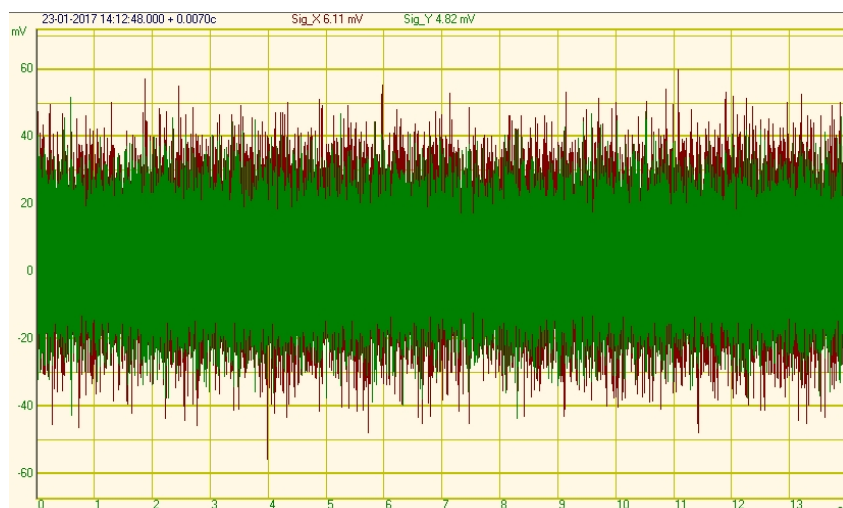


Рис. 4. Пример полученных измерений

Результаты и обсуждения

Полученные в ходе экспериментов данные представлены в виде графиков изменения силы резания от режимных параметров (рисунки 5, 6). На рисунке 5 показано изменение силы резания от подачи при фиксированных значениях глубины резания $t=0,5$ мм, и скоростях резания $V=628$ м/мин и $V=126$ м/мин. На втором графике (рисунок 6) приведена зависимость силы резания от скорости резания при фиксированных значениях глубины резания $t=0,5$ мм и подачи $S=0,02$ мм/зуб и $S=0,1$ мм/зуб.

После обработки экспериментальных данных в соответствии с матрицей планирования была получена математическая зависимость силы резания от режимов фрезерования:

$$P = 72,1 \cdot V^{0,64} \cdot S^{0,54} \cdot t^{0,67}, \quad (1)$$

где V – скорость резания, м/мин; S – подача на зуб, мм; t – глубина резания, мм.

Эксперименты подтвердили ранее известные данные о том, что характер изменения силы резания зависит от режимов резания [15, 16]. Однако эффект резкого снижения силы резания при увеличении скорости резания не наблюдается (Соломоновы кривые) в рассматриваемом диапазоне скоростей не выявлены. Это говорит о необходимости продолжения исследований и накопления информации, необходимой для формирования баз данных и автоматизации проектирования операций высокоскоростного фрезерования композиционных материалов [17].

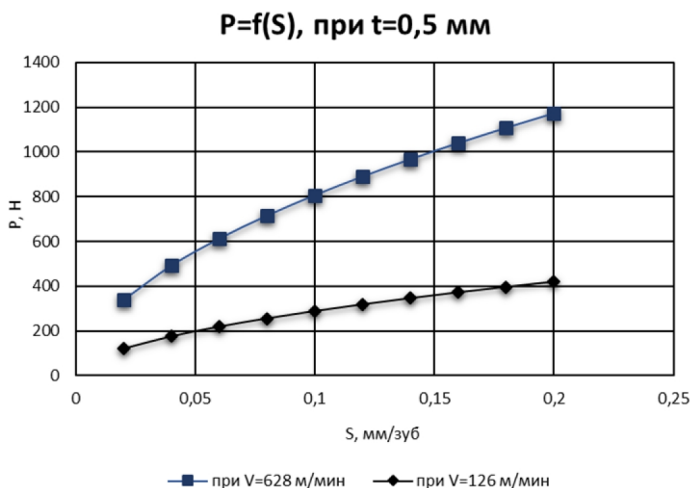


Рис. 5. Зависимость изменения силы резания от подачи

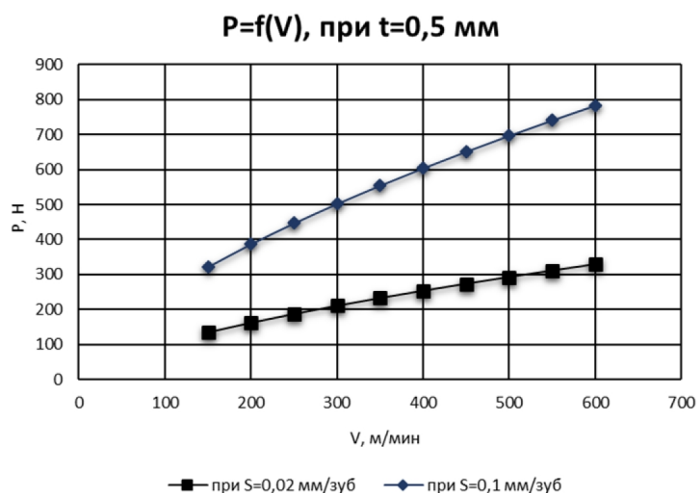


Рис. 6. Зависимость изменения силы резания от скорости резания

Выводы

1. Описанная экспериментальная установка, в состав которой входит многокомпонентный динамометр, оригинальной конструкции (положительное решение о выдаче патента на полезную модель по заявке № 2016145705/28(073437 от 22.11.2016)) позволяет исследовать динамику процесса высокоскоростного фрезерования.

2. Полученная экспериментальным путем математическая зависимость силы резания от режимов фрезерования композиционного материала может быть использована для расчета основных выходных параметров процесса высокоскоростной обработки: погрешность обработки, температура в зоне резания, износ инструмента. Данная зависимость может найти

применение в системах автоматизированного проектирования операций механической обработки.

3. Процесс высокоскоростного фрезерования композиционных материалов требует дальнейшего изучения с целью получения данных, необходимых для разработки нормативов режимов резания.

Список литературы

1. Туромиша В.И. Скоростное силовое фрезерование // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В: Промышленность. Прикладные науки. – 2012. – № 3. – С. 56–64.

2. Tool path planning and machining deformation compensation in high-speed milling for difficult-to-machine material thin-walled parts with curved surface / Y.-Y. Gao, J.-W. Ma, Z.-Y. Jia, F.-J. Wang, L.-K. Si, D.-N. Song // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2016. – Vol. 84, N 9–12. – P. 1757–1767.

3. Thomas M., Jackson M., Turner S. Microstructural damage during high-speed milling of titanium alloys // Scripta Materialia. – 2010. – Vol. 62, N 5. – P. 250–253.

4. Расщупкин А.В., Макашин Д.С., Лангеман С.В. Уменьшение сил резания при высокоскоростной обработке титановых сплавов // Наука и образование в жизни современного общества: сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции: в 12 ч. – Тамбов, 2012. – Ч. 8. – С. 125–128.

5. Experimental study on the chip morphology in high speed milling Ti-6Al-4V alloy / L. Liu, W. Wu, X. Zhu, M. Lü // Jixie Gongcheng Xuebao. – 2015. – Vol. 51, N 3. – P. 196–205.

6. Wang Y.J., Zhou M., Zhang Y.J. Study on choice of reference planes for 3d machined surface roughness of SICP/AL composites during high speed milling process // Advanced Materials Research. – 2011. – Vol. 150–151. – P. 129–132.

7. Исследование температуры при фрезеровании стеклопластика / С.В. Гайст, А.М. Марков, П.О. Черданцев, С.А. Катаева, Е.Ю. Лапенков // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2016. – № 3. – С. 123–128.

8. Андреев М.В., Шитюк А.А. Особенности высокоскоростной обработки полимерных композиционных материалов // Ползуновский альманах. – 2016. – № 4. – С. 89–93.

9. Макаров В.Ф., Мешикас А.Е., Ширинкин В.В. Исследование процессов механической обработки деталей авиационно-космической техники из новых композиционных материалов // Новые материалы и технологии в машиностроении. – 2015. – № 22. – С. 14–22.

10. Маркова М.И. Автоматизация технологической подготовки производства // Инновации в машиностроении – основа технического развития России. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ им. И.И. Ползунова, 2014. – С. 268–272.

11. Янюшкин А.С., Рычков Д.А., Лобанов Д.В. Экономическая эффективность обработки резанием полимерных композиционных материалов // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2015. – № 4 (48). – С. 172.

12. Маркова М.И., Дронова О.Б. Прогнозирование трудоемкости изготовления продукции машиностроения // Ползуновский альманах. – 2016. – № 4. – С. 127–130.

13. Экспериментальное исследование процесса формирования показателей качества при фрезеровании стеклопластика / С.В. Гайст, С.А. Катаева, А.М. Марков, П.О. Черданцев, Е.Ю. Лапенков // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2016. – № 3 (51). – С. 129–136.

14. Экспериментальные исследования фрезерования композиционных материалов / А.М. Марков, П.О. Черданцев, С.В. Гайст, С.А. Катаева // Инновации в машиностроении (ИнМаш-2015): VII Международная научно-практическая конференция: сборник трудов /

Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева и др.; под ред. В.Ю. Блюменштейна. – Кемерово, 2015. – С. 99–104.

15. *Шашок А.В., Кутышкин А.В.* Теоретическая оценка сил резания при высокоскоростной механической обработке конструкционных сталей // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2014. – № 1. – С. 19–22.

16. *Хаймович А.И., Кузнецов А.В.* Аналитическое моделирование силового режима высокоскоростного фрезерования материала с вязкопластическим упрочнением // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. – 2012. – № 5-2 (36). – С. 167–172.

17. *Сидоренко С.А., Лобанов Д.В., Рычков Д.А.* Программный продукт для создания базы данных композиционных материалов // Технологии и материалы. – 2015. – № 4. – С. 36–41.

INVESTIGATION OF THE CUTTING FORCE DURING HIGH-SPEED MILLING OF COMPOSITE MATERIALS

Markov A.M., D. Sc. (Engineering), Professor, e-mail: andmarkov@inbox.ru

Cherdantsev P.O., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: p004092@yandex.ru

Gayst S.V., Ph.D. student, e-mail: sergei_gaist@mail.ru

Cherdantsev A.O., Ph.D. student, e-mail: djon018@mail.r

Lapenkov E.Y., Master's Degree student, e-mail: ewgenii018@mail.ru

Potapov I.S., Student, e-mail: vanya_potapov@mail.ru

I.I. Polzunov Altai State Technical University, 46 Lenin Prospekt, Barnaul, Altai region, 656038, Russian Federation

Abstract

The main problem of implementation of high-speed milling of composite materials is the absence of a regulatory framework for computer-aided design operations. The article presents a method of measuring cutting forces during high speed milling of composite materials. The cutting force depends on the cutting conditions and the cutting tool condition. In the experimental setup used a multi-component dynamometer with an original design. As the measuring elements applied to the piezoelectric sensors. The piezoelectric sensors measure the variable component of the cutting force. There is the mathematical formula for calculating the cutting forces of high-speed milling. The results can be used for computer-aided design operations high-speed milling of fiberglass parts.

Keywords

fiberglass, high speed milling, cutting force, dynamometer, piezoelectric sensor, the cutting conditions, a factorial experiment

УДК 621.78

СПОСОБ ОБРАБОТКИ СКВОЗНЫХ ОТВЕРСТИЙ*Л.А. ПОЛИНОВСКИЙ, канд. техн. наук, доцент
(СГУПС, г. Новосибирск)*

Полиновский Л.А. - 630049, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191,
Сибирский государственный университет путей сообщения,
e-mail: lapolinovsk@mail.ru

Предложен способ обработки сквозных отверстий в металлоконструкциях и комбинированный инструмент для его реализации. Способ включает фрикционный нагрев контактного слоя металла до высокопластифицированного состояния и его выдавливания в центральную полость инструмента и последующего удаления нагретого металла режущими пластинами. Инструмент для реализации способа содержит головную часть, выполненную в виде втулки из термостойкого материала, и головную и хвостовую части, причем головная часть выполнена в виде сверла, а хвостовую, которая выполнена в виде зенкера и снабжена режущими пластинами. Расстояние между торцом головной части и режущими пластинами комбинированного инструмента может регулироваться для того чтобы температура резания была оптимальной для данного материала. Предложенный способ обработки позволяет повысить производительность и снизить затраты на инструмент при образовании сквозных отверстий в металлоконструкциях.

Ключевые слова: фрикционный нагрев, оптимальная температура резания, комбинированный инструмент.

Введение

Основными способами обработки отверстий в металлоконструкциях являются сверление, зенкерование, развертывание. Пробивка отверстий применима только при сравнительно тонкой толщине детали. Особую сложность и значительные затраты представляет обработка отверстий в деталях из высокопрочных и закаленных сталей [1 - 7].

Нагрев металла позволяет повысить его пластичность, уменьшить сопротивление пластическому деформированию при пробивке отверстий [8]. Поверхностный нагрев используют и при обработке металлов резанием [9, 10, 11, 12]. Нагрев обрабатываемой поверхности обычно осуществляют с помощью плазмотрона или газовой горелки.

Снижение усилия резания при «горячей» обработке металла заготовок позволяет снизить силы резания, производить обработку при высоких скоростях с увеличенными в 2-3 раза по сравнению с резанием без подогрева припусками; производительность при этом возрастает в несколько раз.

Резание с нагревом до температур разупрочнения в снимаемом слое не изменяет структуру металла и не влияет на прочностные свойства детали. Резание с нагревом сопровождается снижением усилия резания, что благотворно сказывается на точности обрабатываемых поверхностей и снижении параметров шероховатости.

Предварительный нагрев при применении известных способов [11, 12] эффективен только при обработке поверхностей (например, точении или фрезеровании) и неприменим при обработке отверстий. Альтернативой известным способам обработки в ряде случаев может быть способ обработки сквозных отверстий с использованием локального нагрева за счет трения между торцом вращающегося инструмента и поверхностью детали [13, 14, 15].

Описание способа обработки

Инструмент при фрикционной прошивке выполнен в виде втулки и при его контакте с поверхностью детали металл в зоне контакта нагревается до высокопластифицированного состояния и выдавливается в центральную полость инструмента.

После образования отверстия за счет обратного выдавливания поверхностный слой образованного отверстия, нагретый за счет трения, удаляют резанием с помощью режущих пластин, причем расстояние от зоны фрикционного нагрева до зоны резания выдерживают таким образом, чтобы температура в этой зоне соответствовала оптимальной температуре резания.

Предлагаемый способ обработки с использованием локального нагрева трением [13] включает три фазы: 1) быстрый локальный нагрев трением зоны обработки; 2) прошивка отверстия методом обратного выдавливания; 3) обработка резанием нагретого металла для обеспечения требуемой точности и удаления металла зоны термического влияния.

Для реализации способа обработки с локальным фрикционным нагревом предложен комбинированный инструмент

Известны комбинированные инструменты для обработки отверстий [16], содержащие головную и хвостовую части, причем головная часть выполнена в виде сверла, а хвостовая — в виде зенкера и снабжена режущими пластинами. Недостатками известного инструмента являются: низкая стойкость и производительность при обработке деталей из высокопрочных сталей [17].

В отличие от известного инструмента головная часть 1 (рис. 1) комбинированного инструмента для реализации способа обработки с локальным фрикционным нагревом выполнена в виде втулки из термостойкого материала, а хвостовая — в виде зенкера 2, режущие твердосплавные пластины которого выполнены из твердого сплава и содержат входную фаску 3 и калибрующую часть 4. Хвостовик инструмента 5 крепится в шпинделе станка. Расстояние между торцом втулки 1 и режущими пластинами может регулироваться с помощью втулок 6.

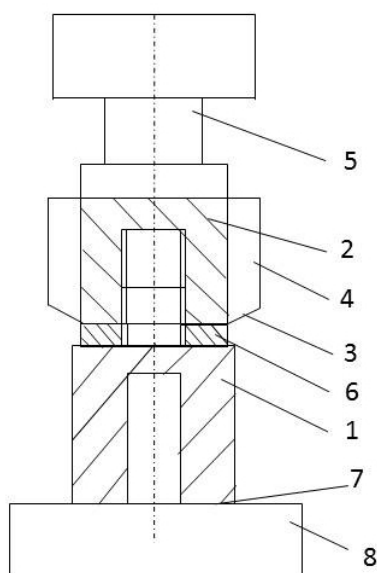


Рис. 1. Комбинированный инструмент для реализации способа обработки

Последовательность обработки заключается в следующем: втулка из термостойкого материала, например, из твердого сплава или керамики (рис. 1) приводится во вращение с достаточно большой угловой скоростью (максимальная линейная скорость должна быть не

менее 120-150 м/мин). Затем торец втулки 7 прижимается к поверхности детали 8 с осевым усилием, обеспечивающим эффективный нагрев, (величина минимального удельного давления зависит от коэффициента трения между торцом инструмента и деталью, а также их термическими характеристиками). Параметры режима обработки должны обеспечивать быстрый (в течение 6-12 с.) локальный нагрев детали в зоне контакта с инструментом до температуры размягчения. При этой температуре (для стали это 900 -1100° С) пластичность металла резко возрастает, а сопротивление пластическому деформированию падает. Нагрев сопровождается вдавливанием инструмента в заготовку и вытеснением металла на периферию и в центральное отверстие. На периферию металла вытесняется незначительный объем металла только в начальный период вдавливания инструмента. При этом образуется заусенец высотой 1,5-2,5 мм. В дальнейшем нагретый металл выдавливается только в центральное отверстие инструмента и осуществляется обратное выдавливание.

После внедрения инструмента на заданную глубину, которая определяется расстоянием между торцом втулки 1 и режущими пластинами зенкера 2, начинается процесс резания нагретого металла. Это расстояние определяется расчетным или опытным путем таким образом, чтобы температура в зоне резания была оптимальной. Оптимальная температура резания выбирается таким образом, чтобы прочностные характеристики обрабатываемого металла существенно снизились, а режущий инструмент сохранял высокую стойкость [16, 17]. Диапазон оптимальных температур при обработке стали это 550 - 600° С [16].

Режимы операции

Мощность трения, которая затрачивается на нагрев:

$$q = 2 \pi \omega \int p f r^2 dr$$

где ω – угловая скорость; p – удельное давление; f – коэффициент трения; r – радиус инструмента, который изменяется от внутреннего R_B радиуса до наружного R_H .

Если считать, что удельное давление и коэффициент трения постоянны по всей плоскости контакта:

$$q = 2 \pi \omega p f (R_H^3 - R_B^3)$$

Теплота, затрачиваемая на нагрев металла, приближенно можно оценить, используя соотношение [18]:

$$Q = c \gamma \Delta T b (R_H^2 + 0.5 R_{Hx} + 0.25x^2) \quad (1)$$

где c – теплоемкость; γ – плотность материала детали; ΔT – средняя температура нагрева; ширина кольца нагретого металла $x = 4 \sqrt{a t}$ (a коэффициент теплопроводности; b – толщина зоны нагрева; t – время нагрева).

Соотношение (1) можно использовать для оценки требуемой мощности станка: при низкой интенсивности нагрева увеличивается продолжительность нагрева, а вследствие теплопроводности растет объем нагреваемого металла, что препятствует реализации способа образования отверстия. Низкая эффективность нагрева может быть связана не только недостаточными значениями угловой скорости и удельного давления, но и низким значением коэффициента трения, что имело место, в частности, при использовании инструмента из нитридной керамики. Данный способ неприменим и для отверстий малого диаметра (меньше 15 – 17 мм), так как и в этом случае, мощность сил трения оказывается недостаточной для эффективного разогрева рабочей зоны.

Опытным путем при образовании отверстия диаметром 20 мм в заготовке из стали 45 установлено, что для обеспечения эффективного локального нагрева минимальное число оборотов должно составлять 2000 - 2200 об/мин (линейная скорость по наружному диаметру инструмента 126 -140 м/мин), удельное давление на начальном этапе при предварительном нагреве составило 22 - 27 МПа. О зонах нагрева можно судить по цветам побежалости. При

прошивке заготовки толщиной 15 мм отверстия диаметром 20 мм диаметр зоны нагрева до 220 °С с обеих сторон заготовки составил 40 - 44 мм.

Зону термического влияния для сырой углеродистой стали можно разделить на три участка: белого слоя небольшой толщины (толщиной 0,01- 0,02 мм), зоны перекристаллизации толщиной 0,06 - 0,1 мм, зоны с равноосной измельченной структурой шириной 2 - 3 мм. Сырая углеродистая сталь в этой зоне оказывается упрочненной (твердость по Викерсу увеличивается в 1,3 - 1,5 раза). Чистота поверхности отверстия после прошивки без зенковки довольно высокая, выше чем после сверления ($Ra = 2,5 - 1,25$). Для оценки влияния зоны термического влияния проводились сравнительные испытания плоских образцов, в которых одно из отверстий было просверлено, а второе выполнено методом фрикционной прошивки. В отверстия вставлялись пальцы из высокопрочной стали и, через вилки, прикладывалась растягивающая нагрузка. Разрушение во всех случаях происходило в зоне просверленного отверстия. В дополнение к этим испытаниям из зоны отверстий вырезались образцы с концентратором для испытаний на ударную вязкость. Результаты испытаний показали, что ударная вязкость металла в зоне отверстий, полученных методом фрикционной прошивки в 1,5 – 2 раза ниже, чем для основного металла. В связи с этим во многих случаях, особенно при работе металлоконструкции при динамических и ударных нагрузках удалять металл после прошивки, например, с помощью комбинированного инструмента (см. рис. 1). Припуск на зенкерование 2 – 2,5 мм. Так как обработка в диапазоне оптимальных температур, она может производиться при высоких скоростях резания и число оборотов при зенкеровании можно оставить тем же, что и при нагреве.

Выводы

Предлагаемый способ обработки позволит производить качественную обработку отверстий при низких затратах на инструмент.

Список литературы

1. Режимы резания труднообрабатываемых материалов / Я.Л. Гуревич и др. – М.: Машиностроение, 1976. – 176 с.
2. *Varatharajulu M., Loganathan C., Baskar N.* Influence of cutting parameters on burr height and burr and burr thickness in drilling of Duplex 2205 using Solid Carbide // *International Journal of ChemTech Research.* – 2015. – N 8 (2). – P. 768–777.
3. *Shunmugesh K., Panneerselvam K., Jospaul T.* A nova based optimization of machining parameters in drilling of Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) composites // *International Journal of Emerging Engineering Research and Technology.* – 2014. – Vol. 2, iss. 3. – P. 53–60.
4. *Gaitonde V.N., Karnik S.R.* Selection of optimal process parameters for minimizing burr size in drilling using Taguchi's quality loss function approach // *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering.* – 2012. – Vol. 34, N 3. – P. 238–245.
5. *Bădan I., Oancea Gh., Vasiloni M.* Mathematical model for drilling cutting forces of 40CrMnMoS8-6 steel // *Bulletin of the Transilvania University of Braşov.* – 2012. – Vol. 5 (54), N 1. – P. 31–38.
6. *Kilikickap E.* Determination of optimum parameters on delamination in drilling of GFRP composites by Toguchi method // *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences.* – 2010. – Vol. 17. – P. 265–274.

7. *Shunmugesh K., Panneerselvam K., Jospaul T.* Optimising drilling parameters of GFRP by using grey relational analysis // International Journal of Research in Engineering and Technology. – 2014. – Vol. 3. – P. 302–305.
8. А. с. 1810180. Устройство для пробивки отверстий в рельсах / Л.А. Полиновский. – Оpubл. 23.04.1993, Бюл. № 11. – 3 с.
9. *Макаров А.Д.* Износ и стойкость режущих инструментов. – М.: Машиностроение, 1966. – С. 40–50.
10. А. с. 770661. Способ определения оптимальной скорости резания / А.Д. Макаров, А.М. Акбердин, Г.А. Шаров. – Оpubл. 15.10.1980, Бюл. № 38. – 3 с.
11. Патент 2188747 Российская Федерация. Способ механической обработки конструкционных сталей / В.М. Сорокин, В.И. Котельников. – Оpubл. 10.09.02, Бюл. № 25. – 3 с.
12. Прогрессивные методы обработки резанием. – Л.: Машиностроение, 1981. – 611 с.
13. Патент 2524469 Российская Федерация. Способ обработки отверстий в металлоконструкциях / Л.А. Полиновский. – Оpubл. 27.07.2014, Бюл. № 21. – 4 с.
14. *Полиновский Л.А.* Исследование процесса образования отверстий в металлоконструкциях с фрикционным нагревом // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1991. – № 6. – С. 130–133.
15. *Полиновский Л.А., Векшенков В.А.* Точечная сварка трением тонколистовых материалов // Автоматическая сварка. – 1985. – № 9. – С. 71–73.
16. Патент 2423207 Российская Федерация. Комбинированный инструмент для обработки отверстий / К.Э. Гукасян. – Оpubл. 10.07.2011, Бюл. № 11. – 4 с.
17. Общемашиностроительные нормативы режимов резания. В 2 т. Т. 1: справочник / А.Д. Локтев, И.Ф. Гущин, В.А. Батуев и др. – М.: Машиностроение, 1991. – 640 с.
18. Обработка металлов резанием с плазменным нагревом / А.Н. Резников, М.А. Шатерин, В.С. Кунин, Л.А. Резников; под общ. ред. А.Н. Резникова. – М.: Машиностроение, 1986. – 232 с.

METHOD OF PROCESSING THROUGH-HOLES

Polinovskij L. A., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: lapolinovsk@mail.ru

Siberian Transport University, 191 Dusi Kovalchuk st., Novosibirsk, 630049, Russian Federation

Abstract

A method of processing through holes in metalwork and a combined tool for its implementation was proposed. The method includes frictional heating of the metal contact layer up to highly plasticized condition and its further extrusion into the central cavity of the tool and with the subsequent removal of the heated metal by the cutting blades. A tool for implementing the method contains the head carried out in the shape of a bushing, made of heat-resistant material, as well as the head and the tail pieces, where the head part is made in the form of the drill, and the tail part is made in the form of the core drill with the cutting blades. The distance between the face of the head part and the cutting blades of the combined tool can be adjusted to an optimal cutting temperature for the material. The proposed way of processing improves the performance and reduces the cost of the tool for making holes in metalwork.

Keywords

frictional heating, optimal cutting temperature, combined tool

УДК 629.4

ОЦЕНКА РАБОТЫ ФРИКЦИОННОГО УЗЛА ПОГЛОЩАЮЩЕГО АППАРАТА

А. М. МАРКОВ¹, доктор техн. наук, профессор
А.В. ГАБЕЦ², канд. техн. наук, директор по развитию
А.В. ИВАНОВ¹, аспирант
Д.А. ГАБЕЦ¹, аспирант
(¹АлтГТУ, г. Барнаул,
²ООО «АСЛЗ», г. Барнаул)

Иванов А. В. - 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова
e-mail: d.lenya.ne@yandex.ru

Сокращение межремонтного пробега железнодорожных вагонов, вследствие относительно невысокой эксплуатационной способности отдельных узлов, приводит к материальным затратам, связанным с простоем и ремонтом. К одним из таких узлов относится поглощающий аппарат, в состав которого входит особо нагруженный фрикционный узел. Обеспечение заявленных эксплуатационных характеристик аппарата на протяжении всего срока службы является важнейшей задачей, которая обеспечивает правильную работу автосцепного устройства вагона. Однако, вследствие конструктивных особенностей и эксплуатационных условий, происходит перераспределение силовых нагрузок по узлам аппарата. Это проявляется в снижении энергоемкости и преждевременном выходе из строя поглощающих аппаратов. Исходя из этого, актуальным является проведение послеексплуатационных исследований и внесение конструктивных изменений, как в отдельные узлы, так и в аппарат в целом. В ходе работ были определены основные причины снижения эксплуатационных характеристик аппарата и причины его выхода из строя. Также даны рекомендации по улучшению конструкции, обеспечивающие перераспределение нагрузок на узлы аппарата и повышение его надежности.

Ключевые слова: поглощающий аппарат, фрикционный узел, металлокерамика, железнодорожный вагон, демпфирование, трение, износ, контактные нагрузки

Введение

Поглощающий аппарат ПМКП-110 класса Т1 – высокоэффективный амортизатор удара, предназначенный для защиты грузовых вагонов широкого назначения от продольных нагрузок (рис. 1).

Аппарат разработан на базе серийно выпускаемого поглощающего аппарата ПМК-110 К-30, в котором вместо пружинного комплекта используется подпорно - возвратное устройство, представляющее собой комплект полимерных упругих блоков.

Аппарат работает следующим образом. При маневровых соударениях вагонов и в процессе движения поезда воздействие через упорную плиту приводит к перемещению конуса нажимного 5 и клиньев 4 внутрь аппарата, сжимая через опорную пластину 6 комплект упругих элементов 7 и 8. При этом клинья 4 прижимаются к пластинам неподвижным 2 и перемещаются по ним со значительным трением. После хода, равного 20

мм, под воздействием упорной плиты перемещаются пластины подвижные 3, преодолевая силы трения на поверхностях контакта с пластинами неподвижными 2 и корпусом 1.

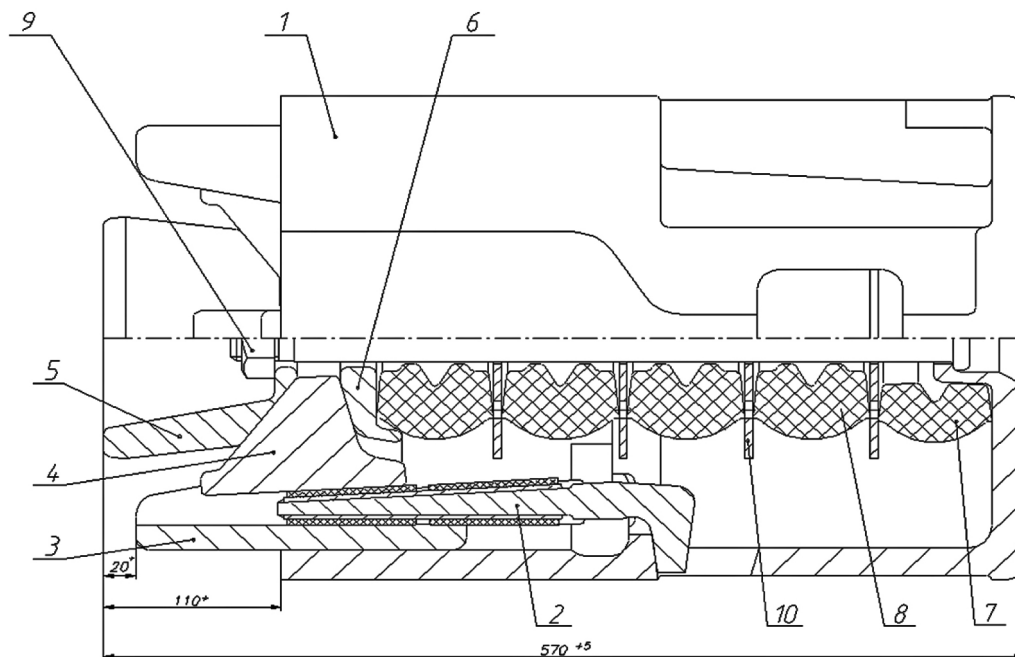


Рис. 1. Поглощающий аппарат ПМКП-110 класса Т1:

1-корпус, 2-пластина неподвижная, 3-пластина подвижная, 4-клин, 5-конус нажимной, 6-пластина опорная, 7, 8-полимерные элементы, 9-болт стяжной с гайкой, 10-пластина

Трение приводит к выделению тепла и поглощению энергии удара. Наличие металло-керамических пластин в зоне контакта снижает износ трущихся поверхностей и обеспечивает высокую энергоемкость и стабильность работы аппарата [1, 2].

Таким образом, узел трения должен воспринимать большую часть вводимой энергии. Однако, вследствие конструктивных особенностей и эксплуатационных условий [3], происходит перераспределение силовых нагрузок. Это проявляется в снижении поглощающей способности и преждевременном выходе из строя поглощающих аппаратов.

Исходя из этого, необходимо проведение послеексплуатационных исследований и внесение конструктивных изменений, как в отдельные узлы, так и в аппарат в целом.

Методика экспериментального исследования

Так как узел трения является главным рабочим органом, то для повышения эффективности работы поглощающего аппарата, основное внимание необходимо уделить именно ему.

В качестве исследуемых образцов для оценки работы фрикционного узла, была произведена выборка из трех поглощающих аппаратов серии ПМКП, используемых на железнодорожном транспорте и прошедших нормативный срок эксплуатации до межкапитального ремонта. Снижение номинальной энергоемкости в данных аппаратах составило более 30%, что является критерием выхода из строя [4].

Общее количество исследованных пар трения составило шесть штук. После проведения внешнего осмотра фрикционного узла, можно выделить следующие основные моменты, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1

Послеэксплуатационные исследования фрикционного узла

<p><i>Рис. 2.</i> Износ брикетов</p>		
<p><i>Рис. 3.</i> Пятно контакта брикетов, контактирующих с клином</p>		
<p><i>Рис. 4.</i> Разрушение края брикета</p>		
<p><i>Рис. 5.</i> Контакт клина с пластиной</p>		
<p><i>Рис. 6.</i> Поверхность подвижной пластины и клина нажимного</p>		

Для измерения количественного износа фрикционного брикета, было произведено измерения его остаточной высоты по схеме, приведенной на рис. 7. Данные измерений представлены в таблице 2.

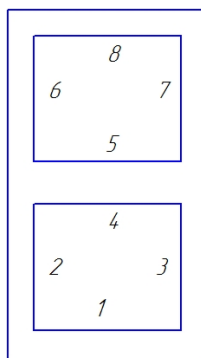


Рис. 7. Схема точек замеров остаточной высоты брикета

Таблица 2

Измерения остаточной высоты композиционного металлокерамического брикета, где Л – левая сторона, П – правая сторона, В - внутренняя часть пластины, контактирующая с клином; Н - наружная часть, контактирующая с подвижной пластиной

№ точки	ЛВ, мм	Изн, %	ЛН, мм	Изн, %	ПВ, мм	Изн, %	ПН, мм	Изн %
Поглощающий аппарат №1								
1	1,9	55	2,2	48	1	76	2,5	40
2	1,1	74	3,5	17	2,3	45	2,5	40
3	2,5	40	2,9	31	2,4	43	3	29
4	3,7	12	4	5	3,8	10	4,2	0
Ср. изн.		45		25		43		27
5	3,8	10	4	5	3,8	10	3,9	7
6	3,6	14	3,8	10	4,2	0	3,9	7
7	3,6	14	3,7	12	3,5	17	4	5
8	3,6	14	4,1	2	4,2	0	4,2	0
Ср. изн.		13		7		7		5
Общ.изн		29		16		25		16
Поглощающий аппарат №2								
1	0,4	90	2,1	50	1,5	64	1,5	64
2	1,9	55	4	5	2,6	38	3,3	21
3	1,9	55	2,5	40	2,6	38	2,1	50
4	3,3	21	4	5	3,8	10	3,9	7
Ср. изн.		55		25		38		36
5	3,2	24	3,8	10	3,8	10	3,8	10
6	3,2	24	3,7	12	4,2	0	3,8	10
7	3,2	24	3,9	7	4,2	0	3,6	14
8	3,2	24	4	5	4,2	0	3,9	7
Ср. изн.		24		8		2		10
Общ.изн		40		16,5		20		23
Поглощающий аппарат №3								
1	1	76	2,2	48	1,2	71	2,5	40
2	1,5	64	3,1	26	1,6	62	2,6	38
3	1,7	60	3,2	24	1,5	64	2,7	36
4	3,5	17	3,6	14	3,6	14	3,5	17
Ср. изн.		54		28		53		33
5	3,5	17	3,6	14	3,6	14	3,5	17
6	3,6	14	3,7	12	3,7	12	3,9	7
7	3,6	14	3,8	10	3,8	10	3,9	7
8	3,7	12	3,9	7	4	5	4,2	0
Ср. изн.		14		11		10		8
Общ.изн		34		19,5		31,5		20,5

Результаты и обсуждения

В ходе проведения работ был выявлен основной износ первого брикета, второй практически не изношен (рис. 2). Это объясняется тем, что основная работа поглощающего аппарата происходит во время движения состава, при котором не происходит максимальная нагрузка и как следствие ход аппарата минимальный.

Пятно контакта второго брикета не сформировано, контакт с контртелом происходит локально и не по всей поверхности (рис. 3). Процесс приработки поглощающего аппарата длится в течение 1-1,5 лет, при этом основная приработка происходит на первом брикете, тем самым создавая неравномерную силовую характеристику при повышенных нагрузках.

Край второго металлокерамического брикета по поверхности контакта с клином разрушен (рис. 4). Вследствие конструктивных особенностей максимальная нагрузка на металлокерамический брикет воздействует в конце пластины. Данное разрушение наблюдается уже при стендовых испытаниях и является допустимым.

После износа первого брикета происходит контакт между клином и пластиной (рис. 5), что приводит к некорректной работе фрикционного узла и снижению энергоемкости поглощающего аппарата.

Поверхность клина и внутренняя поверхность подвижной пластины имеют гладкий зеркальный вид без налипания частиц металла. Данные поверхности практически не имеют износа (рис. 6).

Общий анализ измерений остаточной высоты металлокерамического брикета показывает, что основной износ происходит на первой пластине в точках 1, 2, и 3. При этом внутренние пластины, входящие в непосредственный контакт с нажимным клином, изношены на 60% больше, в отличие от внешних пластин (рис. 8), контакт которых происходит с подвижной пластиной.



Рис. 8. Наружная часть фрикционной пластины, контактирующей с подвижной пластиной

Выводы

Исходя из вышперечисленных наблюдений, можно сделать следующие выводы:

Произошло снижение энергоемкости превышающей нормативный показатель, при этом измерения остаточной высоты металлокерамического брикета показывают, что средний износ фрикционной пластины не превышает 30%. Это свидетельствует о чрезмерной износостойкости фрикционного материала при относительно низкой поглощающей способности.

Износ первого брикета и выход его из рабочего цикла увеличивает нагрузку на подпорно - возвратный механизм. При этом слабый износ второго брикета связан не только с величиной воспринимаемых нагрузок, но и с тем, что в конце хода жесткость подпорно - возвратного механизма является максимальной. Таким образом, большая часть работы по поглощению энергии осуществляется не фрикционным узлом, а подпорно - возвратным механизмом.

Исходя из вышесказанного, можно говорить о несовершенстве конструкции и распределении нагрузок. Большая часть энергии поглощается за счет внутреннего трения подпорно - возвратного механизма, не позволяя полностью реализоваться паре трения. Фрикционный

узел в данной модификации поглощающего аппарата является недогруженным, поэтому необходимо изменение конструкции аппарата, путем обеспечения более высокого удельного давления в паре трения. Это достигается за счет увеличения управляющих углов клиновой системы.

Список литературы

1. *Никольский Л.Н.* Фрикционные амортизаторы удара. – М.: Машиностроение, 1964.
2. *Беляев В.И., Ступин Д.А.* Сцепные и автосцепные устройства железнодорожного подвижного состава. – М.: Трансинфо, 2012. – 415 с.
3. Основные направления повышения износостойкости ответственных деталей железнодорожных составов / А.М. Марков, А.В. Габец, Д.А. Габец, А.В. Иванов // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2016. – № 3. – С. 457–460.
4. ОСТ 32.175–2001. Аппараты поглощающие автосцепного устройства грузовых вагонов и локомотивов. Общие технические требования / МПС России. – Введ. 2001–07–16. – М., 2001. – 11 с.

DRAFT GEAR'S FRICTION UNIT EVALUATION

Markov A. M.¹, D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: andmarkov@inbox.ru

Gabets A.V.², Ph.D. (Engineering), Development director, e-mail: gabets22@gmail.com

Ivanov A.V.¹, Post-graduate student, e-mail: d.lenya.ne@yandex.ru

Gabets D.A.¹, Post-graduate student, e-mail: gabets22@mail.ru

¹ I.I. Polzunov Altai State Technical University, 46 Lenina avenue, Barnaul, Altai region, 656038, Russian Federation

² Altai steel-casting factory, 116/52 Kalinina avenue, Barnaul, Altai region, 656037, Russian Federation

Abstract

Draft gear is the main device which ensures the operation of railway carriage. Reliable performance of the draft gear determines the amount of carriage mileage between overhauls. A friction unit is part of the draft gear. A friction unit is subjected to high loads during operation. Principal loads are blows and large friction forces. Considerable loads result in loss of work and damage to draft gear. Breakdowns result in downtime of carriages and additional costs.

Thus improving the reliability of the draft gear's friction unit is crucial for the effective work of railway transport.

The article investigated the main causes of breakdowns draft gear. Researched the wear of the friction unit's cermet plates. There are photos of the cermet plates of different degrees of wear: new, partly worn out, fully depreciated. Measured values of wear. Analysis of the design of the draft gear revealed that the design isn't perfect and can be improved. Recommendations to redistribute load between the parts of the draft gear. This will increase the reliability of the railway carriage.

Keywords

draft gear, friction unit, cermet, carriage, damping, friction, wear, contact loads

УДК 621.913.816: 621.888-52-82

**СИНТЕЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ ФОРМООБРАЗУЮЩИХ ЦЕПЕЙ
РЕЗЬБООБРАБАТЫВАЮЩИХ СТАНКОВ НА ОСНОВЕ ШАГОВОГО
ГИДРОПРИВОДА**

*В.А. ВАНИН, доктор техн. наук, профессор
А.Н. КОЛОДИН, ст. преподаватель
В.С. ГРИГОРЯН, студент
(ТГТУ, г. Тамбов)*

Ванин В.А. – 392000, г. Тамбов, ул. Советская, 106,
Тамбовский государственный технический университет
e-mail: dekorkan@yandex.ru

В данной статье рассматривается возможность применения гидравлических связей с гидравлическими шаговыми двигателями в приводах исполнительных органов станков с целью оптимизации структуры формообразующих цепей резьбообрабатывающих станков на основе шагового гидропривода.

В отличие от гидравлических цепей механические кинематические цепи имеют существенные недостатки: значительную протяженность, малую и непостоянную жесткость, что приводит к снижению точности.

Ключевые слова: внутренние связи, гидравлические связи, гидравлический шаговый привод, гидравлический шаговый двигатель, генератор гидравлических импульсов, формообразующие связи.

Введение

Для получения в станке определенного исполнительного движения необходимо создать кинематическую связь между его исполнительными звеньями – заготовкой и инструментом, а также кинематическую связь этих звеньев с источником движения, которая в большинстве случаев осуществляется с помощью механических звеньев как в цепях привода, так и во внутренних цепях станков, индивидуальных для каждого вида станка.

Резьбы и червяки можно обрабатывать как многопрофильным фасонным инструментом - гребенчатой фрезой или широким кругом, ширина которых несколько больше длины нарезаемой резьбы, так и однопрофильным, фасонным инструментом - дисковой модульной фрезой или шлифовальным кругом. В обоих случаях в станках для обработки резьб и червяков необходимо создавать движение скорости резания, движение подачи по винтовой линии и движение врезания на глубину резания.

Для создания в станке определенного исполнительного использования движения необходима кинематическая связь между исполнительными звеньями станка и кинематическая связь этих звеньев с источников движения [1]. Кинематическую связь через механические звенья используют как в цепях привода, так и во внутренних цепях.

Особенности механических внутренних (формообразующих) цепей металлорежущих станков

Кинематические цепи с механическими звеньями обладают тем достоинством, что дают возможность получать весьма точное передаточное отношение входных звеньев и не

требуют дополнительных перенастроек в процессе работы. Внутренние цепи с механическими звеньями при большой протяженности становятся громоздкими и поэтому не всегда обеспечивают необходимую кинематическую точность работы цепи. Работая в тяжелых динамических условиях и передавая конечным звеньям цепи большие усилия, элементы, из которых состоит цепь, быстро изнашиваются, и первоначальная точность станка теряются.

Кроме того, механические кинематические цепи имеют сравнительно малую жесткость, и что более существенно - жесткость таких цепей непостоянна, так как она определяется в основном жесткостью стыков кинематических пар, которые в процессе движения постоянно имеются и, кроме того, точность изготовления ограничена разными пределами.

На кинематическую точность цепи, составленной из механических звеньев, влияют геометрическая неточность элементов цепи и их взаимного расположения, обусловленная погрешностями обработки и сборки, а так же температурные деформации и крутильная жесткость, которая определяется взаимным углом поворота концов конечных звеньев кинематических цепей в зависимости от приложенного крутящего момента. Особенно большое значение крутильная жесткость приобретает в винторезных цепях, цепях деления и обката при значительной их протяженности, так как цепи становятся громоздкими. Кроме того, повышенное трение изнашивание также приводят к постоянному снижению точности кинематических цепей.

Для решения данной технологической задачи используется модульный принцип построения техники, предполагающий разделение станка на конструктивно независимые модули (в отличие от деления на отдельные узлы), на основе которых идет его компоновка. При этом различные по возможностям и характеристикам внутренние кинематические цепи станков разных типов собираются их унифицированных функционально и конструктивно завершенных модулей (блоков) с использованием ограниченного числа узлов и деталей индивидуального проектирования и изготовления.

Упрощается конструирование кинематики станка, уменьшается разнообразие конструкций модулей, улучшаются условия совместимости, в том числе функциональной, энергетической, эксплуатационной конструкции станка свойство обратимости, которое позволяет многократно применять его элементы в различных комбинациях и сочетаниях в новых компоновках при смене или частичном изменении изготавливаемых изделий.

Характеристика гидравлических связей на основе шагового гидропривода для построения внутренних (формообразующих) цепей станков

Одним из возможных средств сокращения протяженности кинематических цепей, составленных из механических звеньев, и, как следствие, снижение металлоемкости станка является применение дискретного гидравлического привода с шаговыми гидравлическими двигателями, который составляет новый класс объемных гидроприводов, функциональные свойства которых состоят в том, что они способны устойчиво обрабатывать релейные и импульсные управляющие сигналы с высокой точностью при практически любой встречающейся нагрузке [2-3].

Главной особенностью данного класса дискретных гидроприводов является то, что в качестве силового органа в них используется специальный шаговый гидродвигатель (ГШД), выходное звено которого обрабатывает дискретные управляющие сигналы с высокой точностью и большим усилением по мощности.

Работа ГШД зависит от числа и последовательности управляющих импульсов, распределение которых по силовым рабочим камерам шагового гидродвигателя осуществляется с помощью различного вида коммутирующих устройств, причем каждому управляющему импульсу соответствует определенный фиксированный угол поворота входного звена ГШД.

Скорость вращения и суммарный угол поворота входного вала пропорционально соответственно частоте и количеству поданных управляющих импульсов. При использовании шагового гидропривода во внутренних цепях металлорежущих станков передаточное отношение между исполнительными органами гидравлической связи зависит от соотношения частот управляющих импульсов, формируемых коммутирующим устройством и подаваемых к исполнительным шаговым двигателями, приводящим в движение заготовку и инструмент.

Используя свойство частотного регулирования скорости исполнительных органов гидравлического шагового привода, представляется возможным гидравлические связи раздельным управлением гидравлических шагов двигателей применить в кинематических цепях металлообрабатывающих станков, осуществляющих формообразующие движения с требуемой точностью.

К основным особенностям кинематической связей металлорежущих станков на основе гидравлического шагового привода можно отнести следующие.

1. Автономность кинематических связей между конечными элементами цепей - инструментов и заготовкой - и осуществление функциональной связи угловой или линейных перемещений по этому цепям через различного рода коммутирующие устройства.

2. Удаление из кинематических цепей зубчатых передач за исключением конечных делительных звеньев - червячные и винтовые передачи, что ведет к резкому сокращению протяженности кинематических цепей, составленных из механических звеньев.

3. Использование гидравлического шагового привода во внутренних цепях станков базируется на унификации функциональных узлов типовой схемы, которые с помощью трубного монтажа собираются в систему привода различного функционального назначения.

Особенно перспективно применение устройств типа «гидравлический вал» в металлообрабатывающих станках, имеющих сложные, разветвленные многозвенные механические переналаживаемые цепи значительной протяженности, где необходимо обеспечить жесткую связь для создания взаимосвязанных формообразующих движений заготовки и инструмента, а также в крупных станках и особо точных станках, где наличие тяжело нагруженных длинных силовых кинематических цепей, подверженных механическим и температурным деформациям и износу, требует применения громоздких, имеющих низкий к.п.д. механических устройств [4, 5]. Поэтому необходимо заменить силовые кинематические цепи короткими цепями управления, оставляя короткие силовые кинематические цепи для непосредственного привода исполнительных механизмов станка - заготовки и инструмента. К таким исполнительным кинематическим цепям относятся линии ходовых винтов, цепи деления, цепи обката, цепи круговых подач резьбообрабатывающих станков с различными схемами формообразования.

Модульное построение внутренних цепей металлорежущих станков на основе гидравлических связей с исполнительными силовыми шагами гидродвигателями значительно расширяет область применения шагового гидропривода, особенно при сложном пространственном расположении рабочих органов станка, большом числе промежуточных подвижных элементов и значительном расстоянии между подвижными рабочими органами, когда механические кинематические связи становятся громоздкими и сложными, что приводит к усложнению конструкции станка и снижению точности функционально связанных перемещений. Наиболее наглядно это проявляется в зуборезных станках, резьбообрабатывающих станках, станках для обработки сложнопрофильных изделий.

На рис. 1. приведена структурная схема токарно-затыловочного станка с гидравлическими формообразующими связями для затылования фрез [6 - 9].

Гидравлическая цепь затылования (деления) включает в себя инструмент 8, заготовку 7, которая совершает вращательное движение от электродвигателя Д через звено настройки i_v .

Движение затылования (деления), связывающее между собой вращение заготовки и возвратно-поступательное движение верхней каретки 9 суппорта 10, осуществляется от шагового гидродвигателя 2, кинематически связанного с кулачком затылования 3 и управляемого генератором гидравлических импульсов 4, золотниковая втулка с расчетным числом рабочих щелей, определяющим передаточное отношение цепи, получает вращение от зубчатого колеса 6, закрепленного на шпинделе заготовки.

Рабочая жидкость к генератору гидравлических импульсов подводится от насосной установки 1 по трубопроводу 5.

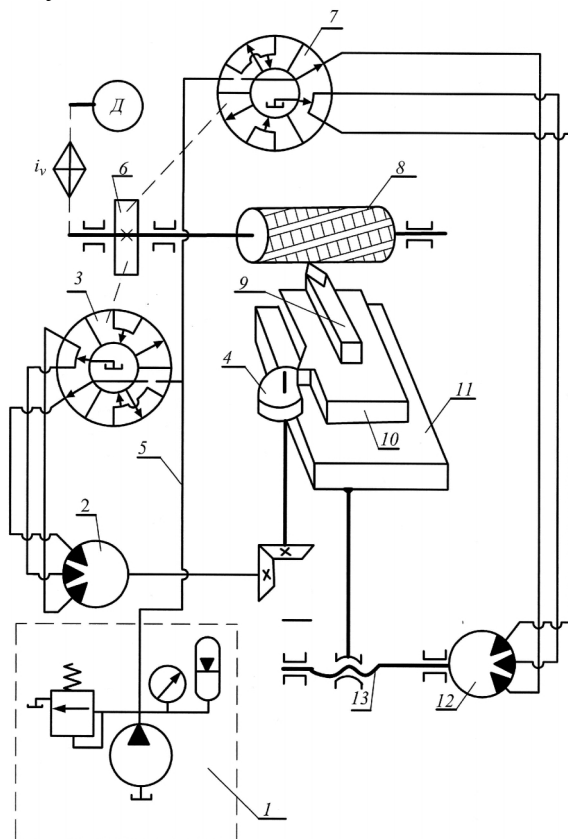


Рис. 1. Структурная схема токарно-затыловочного станка с гидравлическими формообразующими связями для затылования фрез

Список литературы

1. Ванин В.А., Колодин А.Н. Кинематическая структура металлорежущих станков со сложными движениями формообразования с внутренними гидравлическими связями // Технология машиностроения. – 2015. – № 5 (155). – С. 18–26.
2. Ванин В.А., Колодин А.Н. Станки с гидравлическими внутренними (формообразующими) связями на основе шагового гидропривода для обработки винтовых поверхностей // Справочник. Инженерный журнал с приложениями. – 2012. – № 7 (184). – С. 30–35.
3. Ванин В.А., Колодин А.Н., Родина А.А. Кинематическая структура металлорежущих станков с гидравлическими формообразующими связями // СТИН. – 2014. – № 5. – С. 2–8.
4. Ванин В.А., Колодин А.Н. Построение кинематической структуры металлорежущих станков с применением шагового гидропривода в формообразующих цепях // Справочник. Инженерный журнал с приложениями. – 2016. – № 6 (231). – С. 26–34.

5. Колодин А.Н., Ванин В.А., Родина А.А. Затыловочные станки с гидравлическими формообразующими связями: монография. – Deutschland: LAP Lambert Academic Publ., 2015. – 169 с.

6. Vanin V.A., Kolodin A.N., Rodina A.A. Kinematic structure of metal-cutting machines with hydraulic couplings // Russian Engineering Research. – 2015. – Vol. 34 (12). – P. 763–768.

7. Vanin V.A., Kolodin A.N. Modular design based on hydraulic step drives for internal kinematic chains in metal-cutting machines // Russian Engineering Research. – 2011. – Vol. 31 (1). – P. 56–58.

8. Vanin V.A., Kolodin A.N. Kinematic structure of gear-cutting machine tools based on a hydraulic step drive for the production of noncircular gears // Russian Engineering Research. – 2009. – Vol. 29 (3). – P. 291–297.

9. Vanin V.A., Kolodin A.N. Application of hydraulic step drives in metal-cutting machine tools // Russian Engineering Research. – 2010. – Vol. 30 (5). – P. 446–450.

SYNTHESIS AND STRUCTURE OPTIMIZATION FORMATIVE CHAINS GROOVE PROCESSING MACHINES BASED ON HYDRAULIC STEPS

Vanin V.A., D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: vanin51141@yandex.ru

Kolodin A.N., Senior Lecturer, e-mail: dekorkan@yandex.ru

Grigoryan V.S., Student, e-mail: vlad_grigoryan96@mail.ru

Tambov State Technical University, 116 Sovetskaya str., Tambov, 392000, Russian Federation

Abstract

This article discusses the possibility of using hydraulic links with hydraulic drives stepper motors in the executive bodies of machines in order to optimize the structure of forming chains groove processing machines based on hydraulic drive stepper.

Unlike hydraulic circuits mechanical kinematic chains have significant disadvantages: considerable length, low stiffness and unstable, leading to reduced accuracy.

Keywords

The internal hookup, hydraulic hookup, stepping hydraulic drive, hydraulic stepping engine, hydraulic pulse generator, forms-formative connection

УДК 620.111.1:658.5: 669.2

**РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ
НА ПРИМЕРЕ НАСОСА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ФИРМЫ KRACHT,
ИСПОЛЬЗУЕМОГО НА УГОЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

*А.Н. КОРОТКОВ, доктор техн. наук, профессор
Л.П. КОРОТКОВА, канд. техн. наук, доцент
Д.В. ВИДИН, старший преподаватель
С.В. ЛАЩИНИНА, старший преподаватель
(КузГТУ, г. Кемерово)*

Коротков А.Н. – 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28,
Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева,
e-mail: korotkov.a.n@mail.ru

Существует проблема восстановления и замены изношенных деталей импортных узлов и агрегатов, которые по отдельным деталям, как правило, не поставляются, а заменяются только блоками. Для решения проблемы проанализирована технология изготовления основных деталей шестеренчатого насоса с целью возможного их восстановления или производства. С этой целью идентифицированы материалы, из которых изготовлены ведущий вал и шестерня, торцевые уплотнительные пластины, втулки. Установлен вид упрочняющей обработки деталей; разработаны рекомендации по изготовлению ремонтных комплектов для шестеренчатых насосов высокого давления. Такой подход позволяет значительно снизить затраты на выполнение ремонтных работ и техническое обслуживание шестеренчатых насосов и, тем самым, реализует понятие импортозамещения.

Ключевые слова: насосы высокого давления, ремонт и восстановление деталей насосов, вал-шестерня, втулка, торцевая уплотнительная прокладка, импортозамещение, макроструктура, микроструктура.

Введение

В последнее время актуализировалась проблема использования импортных узлов и агрегатов, их замена и ремонтпригодность. Основная причина этой проблемы заключается в том, что большинство иностранных производителей предлагают полную замену узлов и агрегатов, в которых дефектными являются всего одна – две детали. То есть, они не предоставляют ремонтных комплектов для замены отдельных деталей в узлах и агрегатах. В связи с тем, что на многих предприятиях используется импортное оборудование, не имеющее российских аналогов, то эта проблема перерастает в сферу значительного повышения финансовых расходов на его эксплуатацию.

На фирме ООО «Гидравлические системы» (ген. директор Алтухов С.В.), обслуживающей угольные предприятия Кузбасса, возникла подобная ситуация с шестеренчатыми насосами высокого давления, производимыми фирмой Kracht. В этих насосах, применяемых для перекачки агрессивных сред, интенсивно изнашиваются такие детали, как: торцевые уплотнительные прокладки, втулки подшипника скольжения и валы шестерен. В результате на складе фирмы скапливается большое количество дефектных насосов. Замена их целиком требует больших финансовых вложений. Поэтому кафедре «Металлорежущие станки и ин-

струменты» КузГТУ было предложено разработать комплекс мер по импортозамещению изнашиваемых деталей.

Методика исследований

В ходе исследований осуществлялся контроль качества ведущего вала и шестерни, торцевых уплотнительных пластин и вкладыша подшипника скольжения шестеренчатого насоса. Используемая методика базировалась на действующих государственных стандартах (см. далее в разделе «Результаты исследований и обсуждение») и включает в себя следующие основные этапы:

- визуальный осмотр без или с применением увеличительных приборов;
- измерение линейных размеров и конфигурации спецпрофилей;
- анализ химического состава, проводимый с целью установления качественного и количественного содержания химических элементов в металлопродукции методом оптического эмиссионного анализа;
- определение механических свойств, путем измерения твердости рабочих поверхностей испытываемых материалов по методу Роквелла (по шкалам В и С, ГОСТ 9013);
- анализ макро- и микроструктуры, путем контроля макроструктуры на темплетях с помощью визуального осмотра и сравнения ее с эталонами шкал по ГОСТ 10243. Контроль микроструктуры сталей является важной составной частью аттестации качества. Перечень контролируемых параметров и допустимые их значения регламентируются в технических условиях стандартов на стали (ГОСТ 5639, ГОСТ 1763, ГОСТ 1778, ГОСТ 8233, ГОСТ 5640).

Выбор контролируемых параметров определяется стандартом на исследуемую марку материала [1].

Результаты исследований и обсуждение

Шестеренчатые насосы, благодаря относительно простой конструкции и высокой надежности в работе, широко распространены в гидроприводах различных машин, а также часто применяются при перекачке агрессивных жидких сред. На угольных предприятиях насосы находят применение для перекачки жидкого стекла, полиуретанов, смесей соляной и серной кислот, а также фенолов под давлением 70 – 90 атм. (см. рис. 1).

Изучение вала-шестерни

Металлографические исследования этой детали позволили установить, что ведущий вал (рис. 1) и шестерня изготовлены из различных материалов. Причем, шестерня запрессована на вал в натяг. Вал изготовлен из низкоуглеродистой стали марки 20MnCr5 (по DIN 1.7147) [2], содержащей в среднем 0,178 % углерода. Сталь легирована марганцем 1,058 %, хромом 0,940 %, и относится к классу высококачественных (фосфора менее 0,0010 % и серы менее 0,011 %). Отечественным аналогом этой стали может служить сталь марки 18ХГ (по ГОСТ 4543) [3, 4].

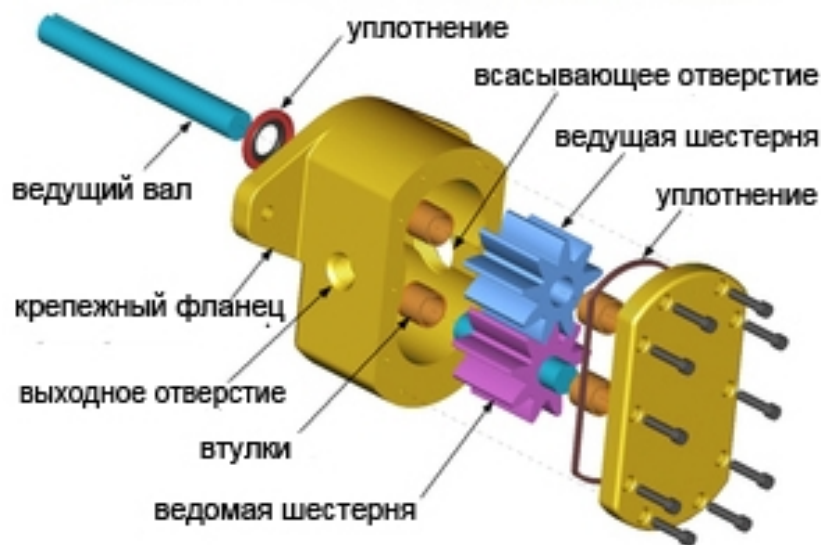


Рис. 1. Конструкция насоса модели KP 1/.F.LB/00 2KL2/306 фирмы Kracht

Термическая обработка вала обеспечивает твердость 57 – 59 HRC. Микроструктура в рабочей части вала по всему сечению состоит из низкоуглеродистого мартенсита. В посадочной части вала структура неоднородна: сердцевина вала состоит из феррит – перлитной нормализованной структуры с твердостью 190 HB, а в зоне контакта с шестерней твердость достигает 51 – 53 HRC, что соответствует мартенситной структуре. Переходная область повышенной твердости до 42 – 53 HRC составляет не более 0,5 мм.

Шестерня изготовлена из высокоуглеродистой стали марки 100Cr6 (по DIN 1.3505) [2], аналогом которой могут служить российские стали марок типа X (ГОСТ 5950) и ШХ15 (ГОСТ 801) [3, 4, 5]. Шестерня термически обработана на максимальную твердость 60 – 64 HRC, а ее микроструктура состоит из мартенсита и включений вторичных карбидов. Карбиды распределены равномерно и имеют мелкодисперсное строение с размером 1 – 2 мкм [6, 7]. Шестерня изготовлена методом порошковой металлургии и по контуру на ее поверхности накатан слой из ферритной мелкозернистой стали. Толщина этого поверхностного слоя составляет 0,08 мм – 0,10 мм [8].

Анализ микроструктуры материалов вала-шестерни позволяет сделать заключение о особенностях технологии их изготовления. В частности, шестерня запрессовывается на вал, а затем рабочая часть вала подвергается закалке и низкому отпуску, предположительно, с нагревом ТВЧ [9, 10, 11].

Шестерня, судя по изменению микроструктуры вала в области посадки, также подвергается термической обработки после запрессовки. Термическая обработка шестерни состоит в закалке и последующем низком отпуске с нагревом ТВЧ. Накатка тонкого слоя низкоуглеродистой ферритной стали по периметру шестерни является заключительной операцией изготовления вала-шестерни. [12]

Изучение торцевых уплотнительных прокладок

Анализировались две прокладки – малая и большая. Они изготовлены из безуглеродистой ферритной стали и на их поверхность нанесен слой порошка из оловянистой бронзы, с использованием технологии порошковой металлургии. Порошок на уплотнительные прокладки нанесен методом напыления, что видно под лупой Бринеля при изучении его отдельных частиц при увеличении $\times 25$. Анализ химического состава напыленного слоя показывает, что близкими по химическому составу этого слоя являются бронзы. Для большой прокладки – это бронза марки GCuPb10Sn, для малой прокладки – бронза GCuPb22Sn (по DIN 1716).

Аналогом этих бронз могут служить отечественные оловянные бронзы марок БрО8С12 (для большой прокладки) и БрО5С25 (для малой прокладки) по ГОСТ 613-79 [3].

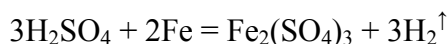
Изучение втулки подшипника скольжения*

Втулка (рис. 1) изготавливается предположительно из композиционного полимерного материала. Ее изучение включало визуальный осмотр, оценку поведения в пламени горелки, химическую стойкость в кислой среде, определение плотности материала, наличие у нее магнитных свойств.

Визуальный осмотр втулки показывает, что изделие имеет металлический блеск, без следов механической обработки. Поверхность втулки имеет рельеф, характерный для полимерных изделий, получаемых методом литья под давлением.

При помещении втулки в пламя горелки наблюдается отсутствие процесса горения, как в пламени горелки, так и после вынесения из него. Изменение цвета втулки в пламени также не наблюдается. Отмечается быстрый прогрев всей втулки по объёму. Нагретая втулка не имеет никаких запахов, что указывает на отсутствие полимерного материала в изделии.

При помещении втулки в концентрированную серную кислоту отмечается бурная реакция с выделением газообразных продуктов, что соответствует реакции взаимодействия железа с кислотами и образованием, в данном случае, сернистого железа:



Цвет образующейся жидкости – жёлтый, что также соответствует цвету продуктов реакции взаимодействия железа с кислотой.

Определение плотности материала втулки методом гидростатического взвешивания в дистиллированной воде при комнатной температуре показало, что плотность составляет $7,7274 \text{ г/см}^3$, что соответствует плотности стали без примеси полимерных материалов, плотность которых не превышает 2 г/см^3 .

Втулка обладает магнитными свойствами.

На основании проведённых исследований можно сделать заключение, что втулка изготовлена по РИМ-технологии (Powder injection molding). Такая технология, чаще всего реализуемая, как литьё под давлением, применяется для массового производства сложных и точных изделий из металлических, керамических или интерметаллидных порошков микронных, субмикронных и наноразмеров. Она объединяет традиционное литьё под давлением пластмасс и технологию спекания порошков [13, 14], позволяя получать детали сложной геометрической формы в многоазовой металлической оснастке и снизить или совсем устранить необходимость дальнейшей механической обработки. При массовом или серийном производстве мелких изделий сложной геометрической формы это дает возможность получать дешёвые детали с высокими механическими характеристиками. Детали, произведенные по РИМ-технологии, конкурируют на рынке с изделиями, изготовленными с помощью литья по выплавляемым моделям, шликерного формования, механической обработки, порошковой металлургии [15].

Изучение механизма износа

Основными изнашиваемыми деталями в конструкции насоса являются втулка подшипника скольжения (рис. 1), ведущий вал, находящийся в контакте с ней, а также уплотнительные прокладки. В перечисленных деталях происходит износ преимущественно абразивного характера. Уплотнительные пластины из композитных материалов также подвергаются интенсивному износу. Втулка оказывает определяющее влияние на износ вала, который под-

* Проводилось при участии проф. Теряевой Т.Н.

вергается активному износу после выхода из строя втулки. На валу-шестерне следов значительного износа не обнаружено.

Выводы

1. Прокладки, являющиеся интенсивно изнашиваемыми деталями, должны подвергаться предупредительному ремонту для предотвращения наступления стадии их катастрофического износа. Для ремонта могут быть использованы металлополимерные материалы, а также пластины из литейной бронзы.

2. Область износа ведущего вала со втулкой может быть восстановлена методом плазменного напыления с последующим шлифованием. Аналогами отечественных материалов для вала может быть сталь марки 18ХГТ или хромоникелевые стали типа 20ХНЗФА.

3. Изготовление вала-шестерни из отечественных материалов может состоять из следующих технологических операций:

- изготовление шестерни из сталей ШХ15, X, ХВГ, ХВСГ (термическое состояние – отожженная структура зернистого перлита с включениями карбидов);
- изготовление вала из сталей 18ХГТ, 20ХНЗФА и т.д. (термическое состояние – улучшение со структурой сорбит). Упрочнение рабочих поверхностей за счет азотирования;
- сборка (в натяг) и приработка вала-шестерни в рабочей паре;
- сквозная закалка шестерни с нагревом ТВЧ с последующим низким отпускком.

Можно накатать на шестерню слой ферритной стали толщиной до 0,1 мм и, в этом случае, операция приработки не нужна.

4. Замена торцевых прокладок может быть организована путем использования низкоуглеродистой стали с поверхностным напылением порошками из оловянистых бронз отечественных марок БрО8С12 (для большой прокладки) и БрО5С25 (для малой прокладки). Гранулометрический состав порошка для напыления 50-70 мкм, толщина напыления порядка 0,15 – 0,2 мм.

Список литературы

1. Гольдштейн М.И., Грачев С.В., Векслер Ю.Г. Специальные стали: учеб. для вузов. – М.: Металлургия, 1985. – 408 с.
2. Wegst C., Wegst V. Stahlschlüssel. – Marbach: Verlag Stahlschlüssel Wegst, 2004. – ISBN 3-922599-20-6.
3. Металлы и сплавы: справочник / под ред. Ю.П. Солнцева. – СПб.: Профессионал: Мир и Семья, 2003. – 1066 с.
4. Марочник сталей и сплавов / под ред. А.С. Зубченко. – М.: Машиностроение, 2001. – 1066 с.
5. Handbook of steels. –Sweden: Sendvikens Trykeri AB, 2013.
6. Bramfitt B., Benscoter A.O. Metallographer's guide: practices and procedures for irons and steels. – Materials Park, OH: ASM International, 2002.
7. Berghof-Hasselbacher E. Atlas of microstructures. – Frankfurt am Main, 2013.
8. Hiorns H. Metallography – an introduction to the study of the structure of metals, chiefly by the aid of the microscope. – [S. l.: s. n.], 2009.
9. Zlateva G., Martinova Z. Microstructure of metals and alloys: an atlas of transmission electron microscopy images. – Boca Raton, FL: T Taylor&Francis Group, 2008.

10. *Shtremel' M.A.* Problems of the metallurgical quality of steel (nonmetallic inclusions) // *Metal Science and Heat Treatment*. – 1980. – Vol. 22, iss. 8. – P. 539–544. – doi: 10.1007/BF00694711.
11. Controlling the microstructure of magnesium alloy sheet during rolling / S.-J. Kim, C.D. Yim, Y.-S. Lee, J.-H. Yoon, J.H. Lee // *Materials Science and Engineering A: Structural materials: properties, microstructure and processing*. – 2014. – Vol. 596. – P. 216–221.
12. *Tuttle M.* Structural analysis of polymeric composite materials. – New York: Marcel Dekker, 2007.
13. *Семенов Б.И., Рапохина С.С., Седых А.М.* Новые точки роста в традиционных технологиях заготовительного производства // *Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана*. – 2011. – № 13.
14. *Ye H., Liu X.Y., Hong H.* Fabrication of metal matrix composites by metal injection molding – a review // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2008. – Vol. 200 (1). – P. 12–24.
15. *Mathew B.A., Mastromatteo R.* Metal injection molding for automotive applications // *Metal Powder Report*. – 2002. – Vol. 57, iss. 3. – P. 20–23.

SOLVING THE PROBLEM OF IMPORT SUBSTITUTION IN THE EXAMPLE OF THE COMPANY KRACHT HIGH PRESSURE PUMP USED IN COAL MINES

Korotkov A.N., D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: korotkov.a.n@mail.ru

Korotkova L.P., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: techmet@list.ru

Vidin D.V., Senior Lecturer, e-mail: dionis.vidin@gmail.com

Laschinina S.V., Senior Lecturer, e-mail: atevs73@mail.ru

Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev, 28 Vesennaya st., Kemerovo, 650000, Russian Federation

Abstract

There is a problem of restoration and replacement of worn parts imported components and assemblies, which are separate parts, as a rule, do not come, and only blocks replaced. To solve the problem analyzed technology for manufacturing key components gear pump for possible recovery or production. For this purpose, identified materials making up the drive shaft and the gear, the end seal plates, bushings. Established kind of hardening of details; recommendations on the production of repair kits to high-pressure gear pump. This approach can significantly reduce the costs of repair work and maintenance of gear pumps and thereby implements the concept of import substitution.

Keywords

High-pressure pumps, repair and restoration of details of pumps, gear shaft, sleeve, end seal, import substitution, macrostructure, microstructure

УДК 620.192.4

**ПРИЧИНА И ПРОФИЛАКТИКА ОТКАЗОВ СВАРНЫХ БАЛЛЕРОВ
ВИНТО-РУЛЕВЫХ КОЛОНОК**

*А.О. ТОКАРЕВ, доктор техн. наук, профессор
И.Г. МИРОНЕНКО, доктор техн. наук, профессор
Е.С. ФЕДОТОВА, аспирант
(СГУВТ, г. Новосибирск)*

Токарев А.О. - 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33,
Сибирский государственный университет водного транспорта,
e-mail: aot51@ngs.ru

Проведён анализ причин частых поломок полых, собранных сваркой валов – баллеров, служащих для поворота винторулевой насадки судна типа «Балт Флот».

Баллер состоит из средней части, изготовленной из бесшовной трубы, прокатанной из стали 35 (0,32 – 0,39% углерода). По концам полого вала располагаются износостойкие шлицевые втулки, приваренные стыковыми швами. Материал втулок – легированная сталь 42 Cr Mo (С - 0,38 – 0,45%; Si - 0,17 – 0,37%; Mn - 0,50 – 0,80%; Cr - 0,90 – 1,20%; Mo - 0,15 – 0,25%).

Установлено, что поломки произошли вследствие несплавления сварного шва с основным металлом. Фактором, способствующим распространению трещин, которые вызвали непровары, явилось наличие закалочных структур в зоне термического влияния сварного шва. Трещины возникшие на поверхностях разделки сварного шва распространяются в направлении наибольших механических напряжений, двигаясь по границам дендритных зёрен сварного шва. Предложены меры по устранению несплавления, это сварка полого вала в предварительно подогретом состоянии и последующий отжиг.

Ключевые слова : винторулевая колонка, вертикальный вал, авария, микротрещина, сварной шов, микроструктура, зона термического влияния сварки.

Введение

К материалу деталей сложных технических устройств часто предъявляются сложные противоречащие друг другу требования. Например, сочетание высокой конструктивной прочности, надёжности в сложных условиях эксплуатации с высокой износостойкостью поверхности. Такие требования предъявляются к баллеру винторулевой колонки судна. Винторулевой колонкой (ВРК) называют средство управления судном. Винто - рулевая колонка представляет собой навешенный на корму судна движитель. Концепция ВРК обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционным пропульсивным комплексом [1 - 4]. Длина машинного отделения (МО) может быть сокращена на 20÷30%. Это достигается за счёт короткого валопровода, отсутствия дополнительного редуктора (роль редуктора выполняет ВРК), а также вследствие того, что гребные винты могут быть расположены дальше в корме ввиду отсутствия рулей. Укороченное МО позволяет увеличить объём грузовых трюмов. Масса пропульсивного комплекса с использованием ВРК ниже традиционного на 20÷30 %.

Баллер – полый вал, вращающий весь этот пропульсивный комплекс (рисунок таблицы 1), должен обеспечивать надёжность устройства активного управления в сочетании с высокой износостойкостью внутренних шлицевых соединений, передающих крутящий момент на рулевое устройство.

Решением задачи создания баллера с таким комплексом свойств явился приём выполнения его в виде сборочного изделия, собранного сваркой из отдельных деталей, каждая из которых в отдельности обеспечит нужные механические характеристики.

Обследованные валы входили в состав винторулевых колонок, которыми были оснащены суда типа «Балт Флот». Эти суда представляют собой комбинированное судно-площадка/танкер дедвейтом 5 589 тонн. В первую же навигацию сломались четыре баллера, отработав всего несколько месяцев с момента постройки.

Целью данной работы явилось определение причины разрушения баллеров ВРК на теплоходах типа «Балт Флот», определение технического состояния неразрушенных сварных соединений шлицевых втулок вертикальных валов ВРК и выработка технологических рекомендаций по предотвращению подобных поломок.

Материалы и методика экспериментального исследования

Представленное на рисунке в таблице 1 изделие состоит из средней части, изготовленной из бесшовной трубы, прокатанной из качественной углеродистой стали (0,32 – 0,39% углерода по Национальному стандарту КНР GB/T 17395-2008. Dimensions, shapes, masses and tolerances of seamless steel tubes). В средней части к баллеру угловым двусторонним швом с катетами по 5 мм, приварен фланец, изготовленным из такой же стали.

По концам полого вала располагаются шлицевые втулки, которые сопрягаются со средней полый цилиндрической частью буртиками по посадке с гарантированным зазором $\varnothing 170$ H7/g6. Шлицевые втулки приварены к средней части стыковым швом с V-образной разделкой кромок. Скосы разделки по 45°, высота шва – 10 мм. Усиление валика шва снято заподлицо с наружным диаметром вала с помощью ручного шлифовального инструмента.

Материал втулки – легированная хром-молибденовая сталь 42 Cr Mo по Национальному стандарту КНР GB/T 3077-1999 The Technical Conditions of Alloy Structure Steel (C - 0,38 – 0,45 %; Si - 0,17 – 0,37 %; Mn - 0,50 – 0,80 %; Cr - 0,90 – 1,20 %; Mo - 0,15 – 0,25 %).

По свариваемости сталь 35 относится к сталям с ограниченной свариваемостью, сталь 42 Cr Mo – трудносвариваемая сталь.

Твёрдость поверхности фрагментов валов определялась с использованием переносного твердомера МЕТ-УД. Результаты измерений представлены в таблице 1.

Таблица 1

Твёрдость поверхности деталей вертикальных валов ВРК

№№ позиций	1 – втулка шлицевая (обломок)		2 – труба бесшовная		3 – втулка шлицевая		4 -Шов сварной стыковой	
	HRC	HB, МПа	HRC	HB, МПа	HRC	HB, МПа	HRC	HB, МПа
Показатели твёрдости	45-53	4670-4800	–	1590-1780	45-53	4700-4800	10,7-11,0	1790-1900

Поиск зон концентрации напряжений (ЗКН), вызванных искажением кристаллической решётки материала, выполнялся методом магнитной памяти металла[†] (ГОСТ Р ИСО 24497-2-2009). Методика исследований подробно описана в работе [5], физическая сущность метода – в работах [6-8]. В общих чертах, диагностика методом магнитной памяти металла (ММП-контроль) сводится к поиску участков детали, имеющих скачкообразное изменение напряжённости собственного магнитного поля и измерению этого скачка. Для количественной оценки уровня концентрации напряжений на поверхности исследуемой детали используют градиент (интенсивность изменения) напряжённости нормальной составляющей магнитного поля [7]:

$$K_{\text{ин}} = \frac{|\Delta H_p|}{\Delta l} \quad (1)$$

где $K_{\text{ин}}$ – градиент напряжённости собственного магнитного поля рассеяния (СМПП) или коэффициент интенсивности изменения поля H_p , характеризующий изменение намагниченности металла в ЗКН; $|\Delta H_p| = |H_{i+1} - H_i|$ – модуль разности напряжённостей поля H_p между двумя смежными точками контроля; Δl – расстояние между двумя смежными точками контроля (шаг сканирования).

Определение градиента интенсивности напряжений необходимо при выявлении наиболее напряженного участка детали или при сравнении нескольких участков между собой, имеющих ЗКН. Чем выше $K_{\text{ин}}$, тем выше уровень напряжений, тем больше вероятность того, что разрушение детали произойдёт именно в этом месте [8].

Сканирование разрушенных валов выполнялось по траекториям (образующим), проходящим по наружной поверхности вала, в направлении от поверхности излома к противоположному концу вала (рис. 1).

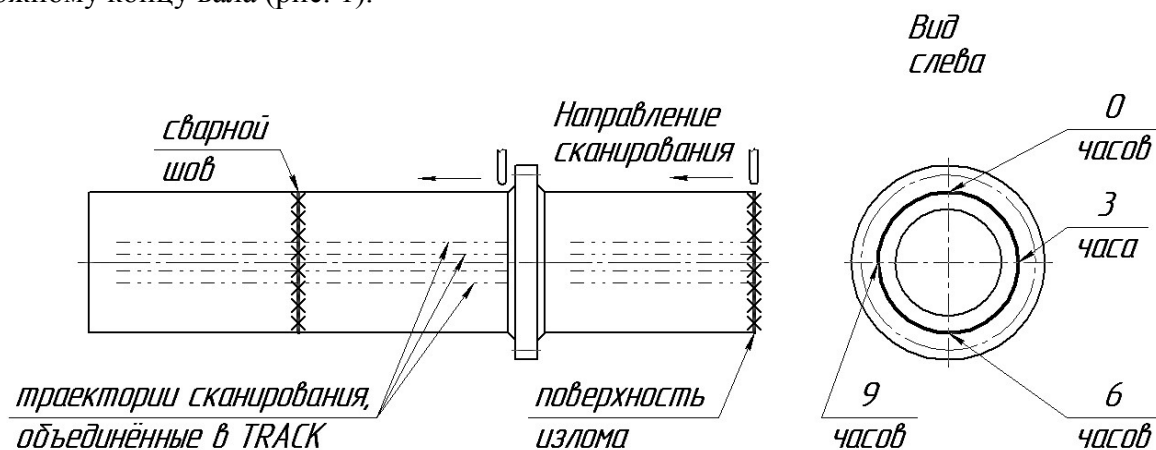


Рис. 1. Схема сканирования верхнего и нижнего участков вала

Анализ результатов сканирования [9] показал, что наибольшая степень искажения кристаллической решётки находится на верхних участках валов и непосредственно прилегает к зоне излома. В нижней части вертикальных валов ВРК также были обнаружены ЗКН, расположенные в околошовной зоне (зоне термического влияния) неразрушенного

[†] Утверждён Распоряжением Правительства Российской Федерации от 29 июня 2011 года № 1100-р в качестве метода исследований, необходимого для применения и исполнения технического регламента о безопасности объектов внутреннего водного транспорта

сварного шва. Также, с помощью ММП-контроля, были обнаружены наиболее напряженные участки валов, имеющие наибольшее значение градиента напряжённости СМНР (Кин). Именно из этих участков валов вырезались образцы для дальнейших микроструктурных исследований.

Образцы (темплеты) для микроструктурных исследований вырезались с использованием угловой шлифовальной машинки абразивными дисками толщиной 1,5 мм с охлаждением зоны резания водой, что исключило разогрев образца. Места вырезки образцов из фрагментов вала показаны на фотографиях – рис. 2.

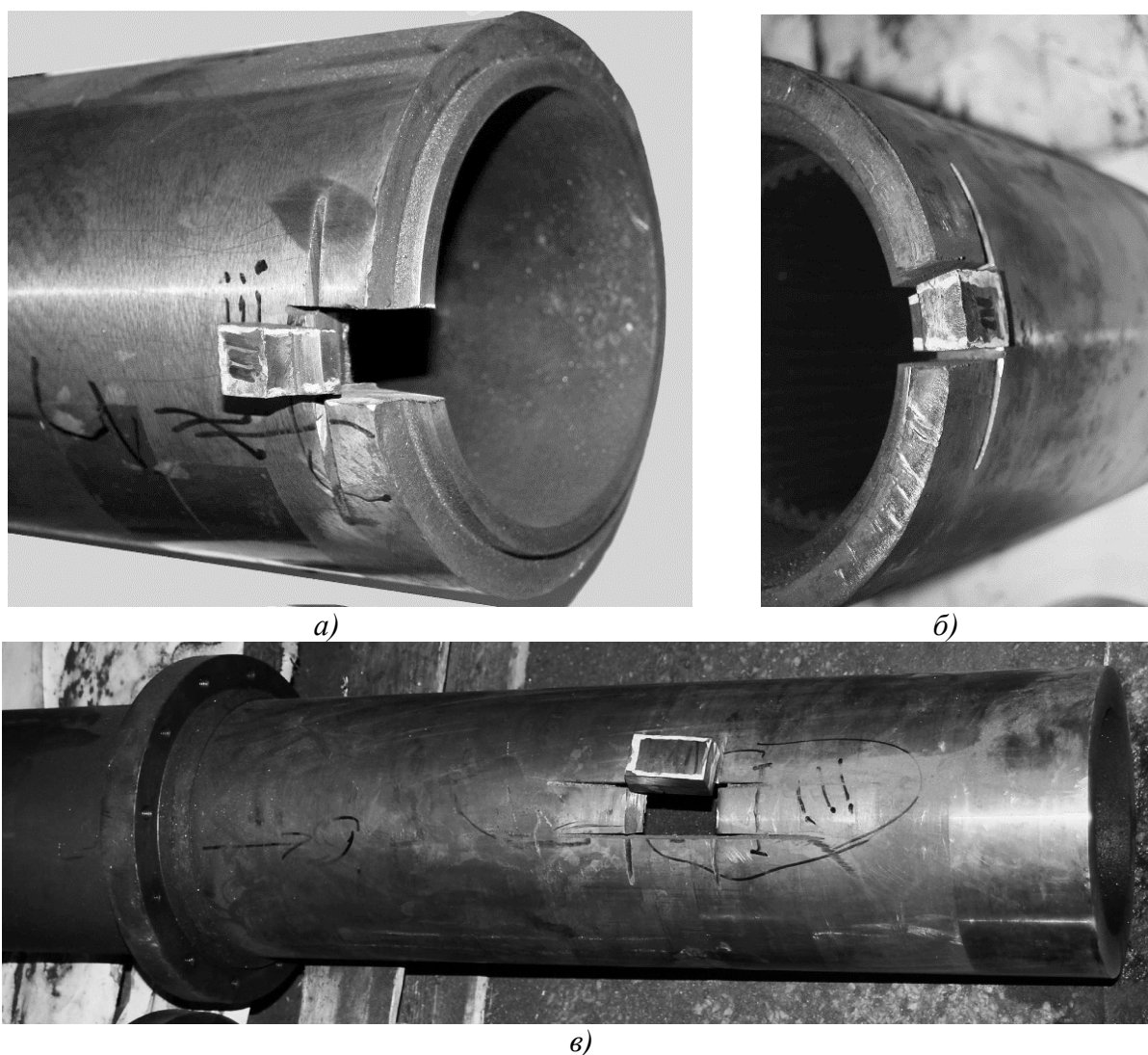


Рис. 2. Фрагменты разрушенного вала III с образцами, вырезанными для микроструктурных исследований: а – образец, вырезанный из фрагмента бесшовной трубы; б – образец, вырезанный из обломка шлицевой втулки; в – образец, вырезанный из сохранившегося стыкового сварного соединения

Результаты и обсуждение

Поверхности разрушения обоих валов не имеют заметных признаков пластической деформации. Следы среза металла – блестящие гладкие поверхности в изломе вала I, – следствие прокручивания обломков вала и шлицевой втулки, имевшие

место после разрушения сварного шва вертикального вала. В корне сварных швов отмечен дефект – непровар (рис. 3). На поверхности непроваренных участков отчетливо заметны риски от режущего инструмента, оставленные при разделке кромок под сварку (отмечены стрелкой).

Рельеф поверхности разрушения – дендритный [10, 11], т.е. трещины распространялись в направлении и по границам дендритов – первичных кристаллов металла сварного шва. В корне сварного шва на значительном его протяжении (более половины общей длины) Имеются крупные шлаковые включения, отдельные капли и натёки металла.

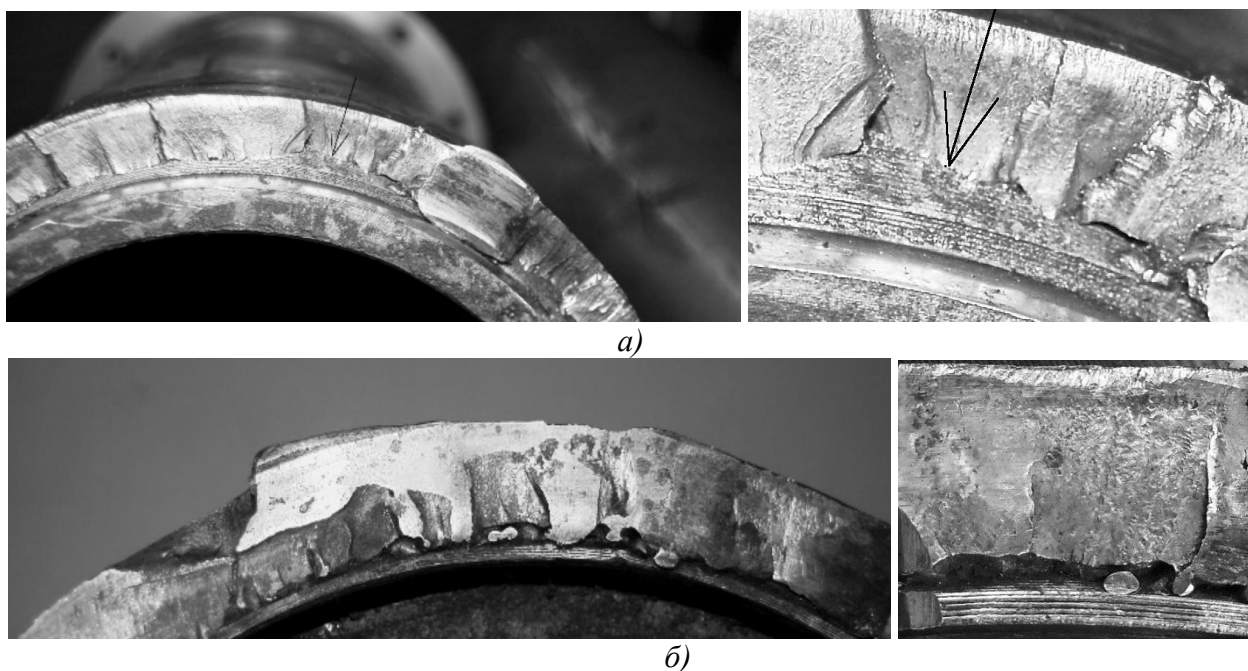


Рис. 3. Наружный вид поверхности разрушения: а – вала, б – шлицевой втулки

Общий вид поверхности образцов после травления и их макроструктура представлены на рис. 4, 5. Микроструктура сварного соединения на рис. 6.

В зоне сплавления бесшовной трубы со сварным швом на верхних участках разделки кромок имеет «темнотравящуюся» промежуточную структуру (рис. 6а).

Такая структура образуются при ускоренном охлаждении стали. Однако, закалочных структур в зоне сплавления и в зоне термического влияния шва не обнаружено. Т.е. при выполнении сварного соединения были выбраны технические условия, ограничивающие тепловое воздействие на основной металл ради предупреждения закалки свариваемых деталей в зоне термического влияния сварного шва. Это подтверждается структурой зоны сплавления в средних и нижних слоях сварного шва, где структура стали 35 – мелкокристаллическая, т.е. температура кромок при сварке ограничивалась температурой фазового перехода (рис. 6б).

В нижних сечениях сварного шва, возле его корня обнаружены непровары (рис. 6в). В соответствии с Правилами Речного Регистра [12], эти дефекты недопустимы при выполнении ответственных сварных соединений, поскольку вследствие малого радиуса являются подобием трещин и могут послужить концентраторами напряжений, инициаторами развития трещин и разрушения шва в процессе эксплуатации. Это обстоятельство вполне согласуется с результатами визуального исследования поверхности разрушения сварного шва (см. рис. 3) и его макроструктурой (см. рис. 4).

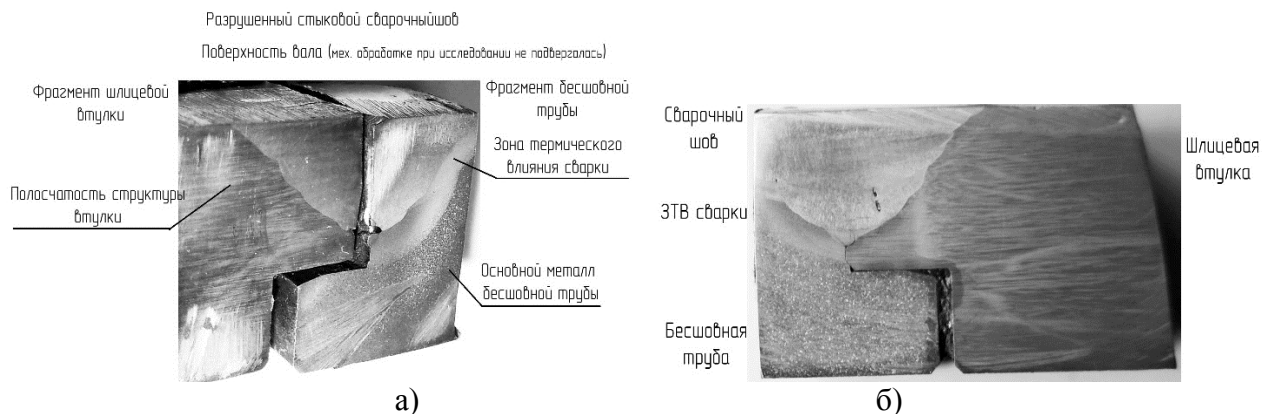


Рис. 4. Макроструктура разрушенного (а) и неразрушенного (б) сварного соединения

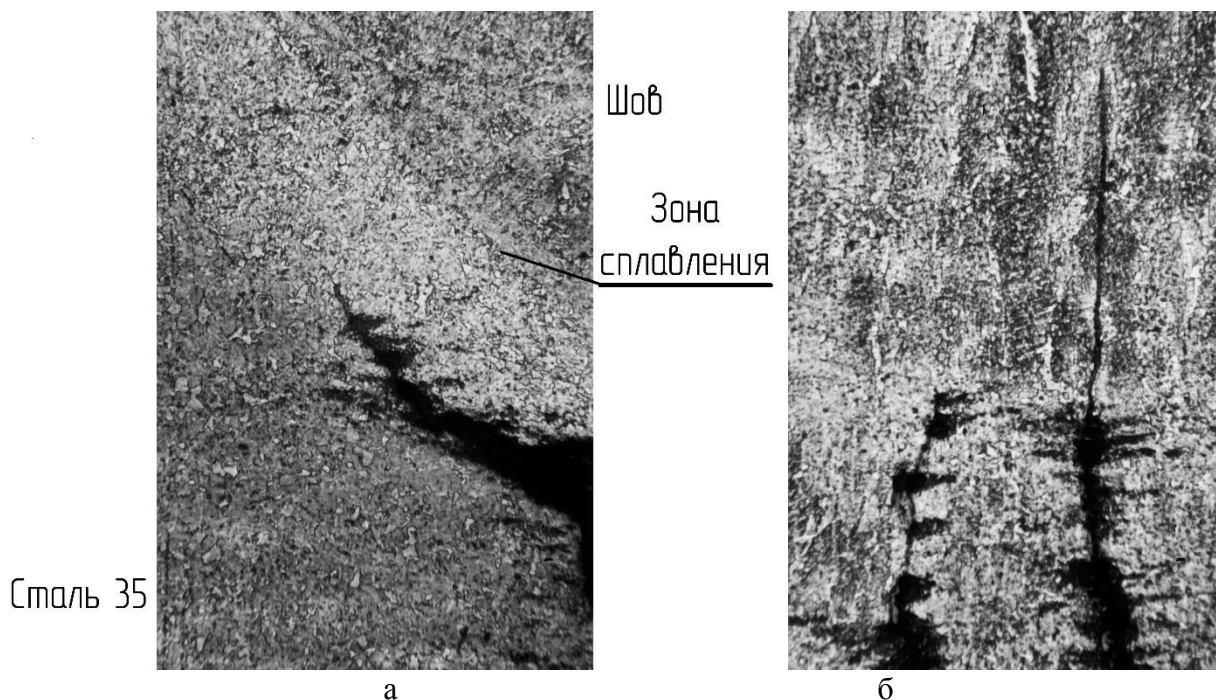


Рис. 5. Микротрещины в сечении неразрушенного сварного соединения вала: а – зона сплавления сталь 35 – шов, б - зона сплавления сталь 42 Cr Mo – шов

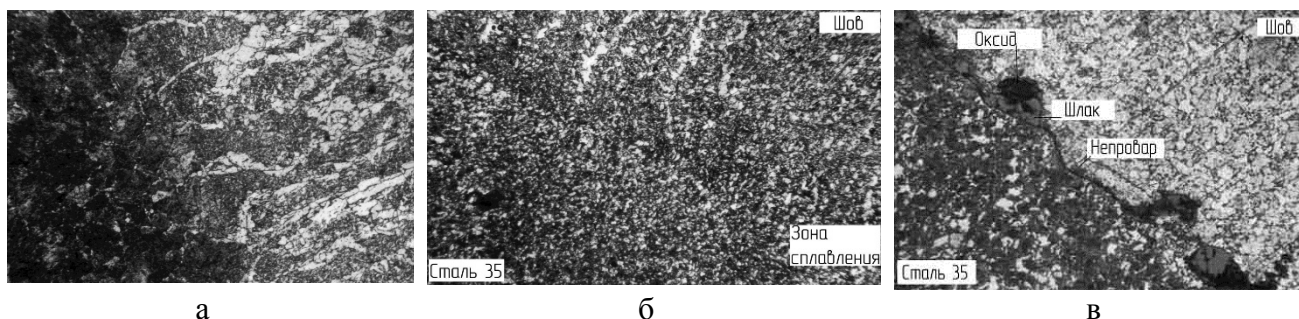


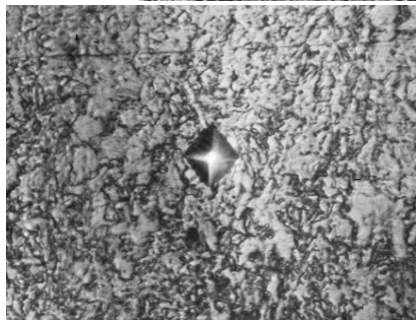
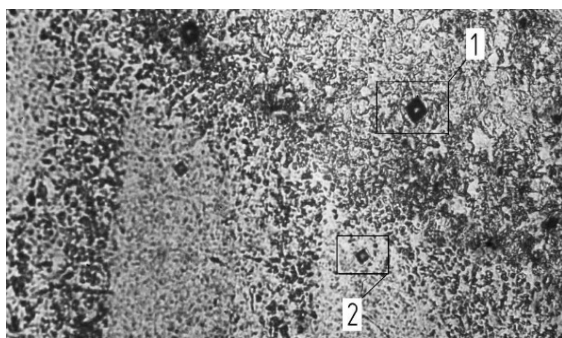
Рис. 6. Структура в зоне сплавления бесшовной трубы со сварным швом: а – в верхнем сечении сварного шва; б – в среднем сечении; в – в корне шва

Вторая деталь стыкового сварного соединения – шлицевая втулка, изготовленная из легированной хроммолибденовой стали 42 CrMo. Эта сталь плохо свариваемая и требует подогрева перед сваркой и последующей термической обработки после сварки. Шлицевые

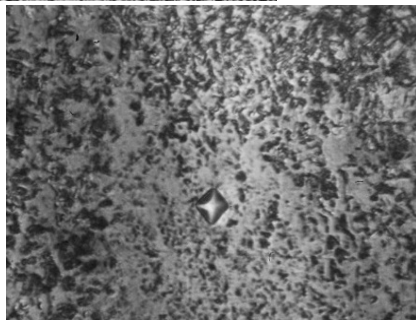
штулки предварительно были закалены до твёрдости 45 – 55 HRC. Микроструктура стали имеет полосчатое строение (рис. 7)

Полосчатость строения связана с карбидной неоднородностью стали и является, по сути, дефектом строения, однако в данном случае доминирующей причиной разрушения сварного соединения она не послужила.

В зоне сплавления металла сварного шва со сталью 42 CrMo, а также в зоне термического влияния сварного шва обнаружены слои с мартенситной закалочной структурой. Микротвёрдость этих участков составляет 754 HV (рис. 7, участок 2).



Участок 1



Участок 2

Рис. 7. Микроструктура и микротвёрдость участков зоны сплавления металла штулки шлицевой (сталь 42 CrMo) и сварного шва с отпечатками микротвердомера:

1 – шов сварочный 244 HV 0,05

2 – штулка шлицевая – сталь 42 CrMo 754 HV 0,05 в зоне термического влияния

Наличие хрупких структурных составляющих в зоне термического влияния сварного шва приводит к развитию в них хрупких трещин, источниками которых, в свою очередь, служат трещиноподобные участки непровара (рис. 8).

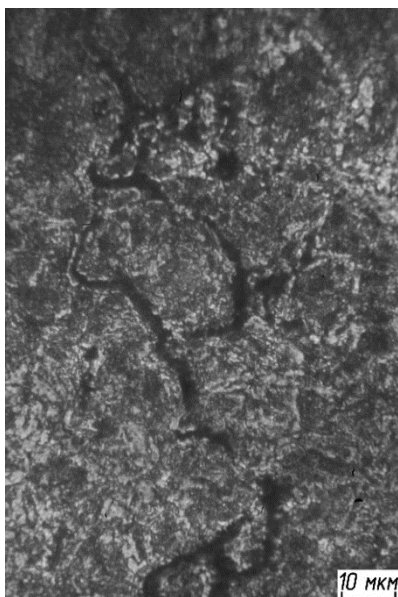
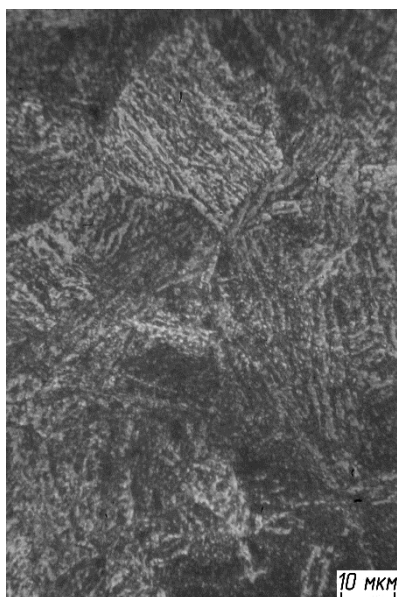


Рис. 8. Структура закалки – мартенсит в зоне термического влияния ЗТВ штулки

Проведённые исследования позволяют представить следующую схему процесса поломки валов (рис. 9). Трещины возникают в местах несплавления материала сварного шва с металлом соединяемых изделий. Непровары, представляющие собой по сути трещиноподобные дефекты, обнаруживаются как по поверхности разделки шва втулки, так и на поверхности трубы. Повышение механических напряжений в металле шва при образовании трещин приводит к изменению направления роста трещин от поверхности непровара (несплавления) в сторону наибольших напряжений. Распространению трещин способствует закалочная структура, полученная в результате сварки без подогрева, металлом втулки и зоной сплавления с ней, а также дендритное строение металла сварного шва.

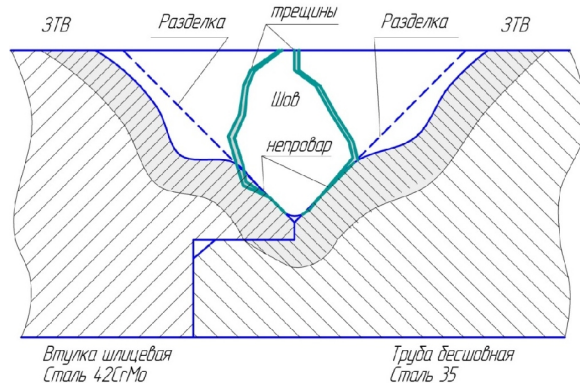


Рис. 9. Схема возникновения и распространения трещин в сварном соединении вала ВРК

Таким образом, на всех исследованных образцах, разрушенного и неразрушенного сварного соединения деталей сборного вала обнаружены особенности строения, негативно влияющие на его прочность: непровары, поры, шлаковые включения. Наиболее опасным из перечисленных дефектов является непровар – дефект подобный трещине. Как следствие влияния этого дефекта строения металла шва, возникают микротрещины.

Причиной возникновения непровара явилось, вероятно, стремление изготовителей составных валов при сварке стали с ограниченной и плохой свариваемостью выполнить шов с минимальным термическим воздействием на металл основы. При этом, теплового воздействия при сварке оказалось недостаточно для полного заполнения сварочным материалом разделки кромок и их проплавления. Одновременно с этим не удалось избежать закалки легированной стали 42CrMo в зоне термического влияния сварного шва. В процессе эксплуатации, от участков непровара сварных швов баллера, в момент действия нагрузок, возникающих при маневрировании судна, начали распространяться макротрещины, разрушившие вал.

В настоящее время в судостроении с целью оптимизации процессов постройки и ремонта судов выполняются исследования для обоснования пересмотра требований Регистра к допустимым нормам дефектов сварных швов стальных корпусов судов. Результаты проведенного исследования, как и ряд других работ [13, 14], говорит о важности анализа существующих требований к размерам, форме и расположению дефектов в сварных соединениях судовых конструкций. При корректировке допускаемых без исправления размеров и формы дефектов сварки такие дефекты, как непровары и наплывы металла следует считать подобными трещинам и признать наличие их недопустимым.

Выводы

В зонах концентрации напряжений, вызванных искажением кристаллической решетки материала, методами разрушающего контроля обнаружены дефекты сварного шва: непровары, поры, шлаковые включения, являющиеся концентраторами напряжений.

Сварной шов, выполненный между материалами, имеющими ограниченную и плохую свариваемость, имеет дефекты, недопустимые в эксплуатации и являющиеся концентратора-

ми напряжений, вызывающими искажение кристаллической решётки материала: непровары, поры, шлаковые включения. Аварийные последствия некачественной сварки подтверждают справедливость Правил Российского Речного Регистра, не допускающих наличие непроваров в сварных швах ответственных соединений.

Обнаруженные дефекты сварного шва, являясь концентраторами напряжений, под действием циклических знакопеременных нагрузок, приводят к искажению кристаллической решётки материала, возникновению разрывов между зёрнами металла, преобразующиеся в дальнейшем в микро- и макротрещины, приводят в конечном итоге к разрушению сварного шва.

Для обеспечения качества сварного соединения необходимо внести изменения в технологический процесс сварки, а именно: выполнять сварку в подогретом состоянии деталей с отжигом соединений после сварки.

Список литературы

1. *Егоров Г.В.* Российское речное судостроение в XXI в. // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2012. – № 2. – С. 109–119.
2. Средства повышения маневренных качеств судов: методическое пособие / Нижегород. гос. техн. ун-т; сост.: В.А. Зуев, Н.В. Калинина. – Н. Новгород: Изд-во НГТУ, 2013. – 60 с.
3. *Клементьев А.Н., Чурин М.Ю.* Обеспечение безопасности плавания современных судов смешанного плавания в стесненных условиях // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – 2015. – № 43. – С. 281–286.
4. *Кеслер А.А.* Конструктивные типы и анализ эффективности движительно-рулевого комплекса грузовых судов смешанного (река-море) плавания // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – 2014. – № 40. – С. 94–102.
5. *Мироненко И.Г., Мироненко А.Г.* Обследование гребных валов методами неразрушающего контроля: методические указания. – Новосибирск: НГАВТ, 2011. – 31 с.
6. *Дубов А.А., Дубов Ал.А., Колокольников С.М.* Метод магнитной памяти металла и приборы контроля: учебное пособие. – 5-е изд. – М.: Спектр, 2012. – 395 с.
7. *Власов В.Т., Дубов А.А.* Физическая теория процесса «деформация-разрушение». Ч. 1. Физические критерии предельных состояний металла. – М.: Тиссо, 2007. – 517 с.
8. *Власов В.Т., Дубов А.А.* Физическая теория процесса «деформация-разрушение». Ч. 2. Термодинамика процесса. – М.: Спектр, 2016. – 228 с.
9. *Мироненко И.Г., Мироненко А.Г., Токарев А.О.* Исследование вертикальных валов винторулевых колонок теплоходов «Балт Флот»: отчет по НИР / Сиб. гос. ун-т водного трансп. – № ГР 115102260036. – Новосибирск, 2016. – 46 с.
10. Атлас дефектов стали: пер. с нем. / под ред. М.Л. Бернштейна. – М.: Металлургия, 1979. – 188 с.
11. РД 50-672–88. Методические указания. Расчеты и испытания на прочность. Классификация видов изломов металлов. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1989. – 21 с.
12. Российский Речной Регистр, Правила. В 5 т. Т. 2. – М., 2015. – 437 с.
13. *Мироненко И.Г., Токарев А.О.* Анализ возможных причин аварийных разрушений двигателей марки TD226B-3CD // Национальные приоритеты России. – 2015. – № 1 (15). – С. 48–53.
14. *Милаев И.А.* Реновация, как процесс технического обновления судов // Вестник АГТУ. Морская техника и технология. – 2007. – № 2 (37). – С. 121–126.

THE REASON AND PREVENTION OF BOUNCE SPINDLES WELDED SCREW-STEERING COLUMNS

Tokarev A.O., D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: aot51@ngs.ru

Mironenko I.G., D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: mig60@ngs.ru

Fedotova E.S., Ph.D. student, e-mail: ekaterina-lin@mail.ru

Siberian State University of Water Transport, 33 Schetinkina st., Novosibirsk, 630099, Russian Federation

Abstract

In this work the analysis of the reasons for frequent breakdowns hollow, assembled by welding shafts – ballers serving to rotate the nozzle propeller - steering ship "Balt Fleet".

The baller consists of a middle part made of seamless pipe, laminated steel 35 (0,32 – 0,39% carbon). At the end of the hollow shaft are wear resistant slot bushings, welded butt joints. The material of bushing – alloy steel 42 Cr Mo (C - 0,38 – 0,45%; Si - 0,17 – 0,37%; Mn - 0,50 – 0,80%; Cr - 0,90 – 1,20%; Mo - 0,15 – 0,25%).

It is established that the damage was due to faulty fusion of the weld with the base metal. A contributing factor to the propagation of cracks that caused the lack of penetration, it was the presence of hardening structures in the heat affected zone of the weld. Cracks occurred on the surfaces of the cutting of the weld extend in the direction of greatest mechanical stress along the boundaries of dendrite grains of the welding. Proposed measures to address faulty fusion, is the welding of the hollow shaft in a pre-heated condition and subsequent annealing.

Keywords

propeller – steering column (PSC), vertical shaft, crash, hairline fracture, weld seam, microstructure, heat-affected zone

УДК 621.992/.993-585.2

**ПОСТРОЕНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ФОРМООБРАЗУЮЩИХ ЦЕПЕЙ НА ОСНОВЕ
ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ В СТАНКАХ СО СЛОЖНЫМИ ДВИЖЕНИЯМИ
ФОРМООБРАЗОВАНИЯ***В.А. ВАНИН, доктор техн. наук, профессор**А.А. РОДИНА, ст. преподаватель**А.А. ДЕЖА, студент**(ТГТУ, г. Тамбов)*

Ванин В.А. – 392000, г. Тамбов, ул. Советская, 106,
Тамбовский государственный технический университет
e-mail: vanin51141@yandex.ru

В данной статье показана возможность применения гидравлических связей на основе шагового гидропривода во внутренних цепях металлорежущих станков вместо механических цепей на основе агрегатно-модульной технологии и ее унифицированных решений, использование которых позволит: создать более рациональную компоновку станка; осуществить унификацию приводов в целом; улучшить технологичность конструкции внутренних цепей и станка в целом; уменьшить металлоемкость станка; уменьшить накопленную погрешность изделия, так как погрешность гидравлической связи не зависит от расстояния между задающим устройством и исполнительным шаговым гидродвигателем, а будет определяться точностью конечных звеньев цепи, точностью ГШД, инструмента и заготовки.

Ключевые слова: металлорежущие станки, гидравлические связи, шаговый привод, формообразующие цепи, агрегатно-модульный принцип.

Введение

При конструировании металлорежущих станков с точными кинематическими связями необходимым условием является обоснованный выбор оптимального варианта кинематической точности цепи по конструкторско-технологическим параметрам на стадии проектирования [1].

Структура кинематических цепей в значительной мере определяет конструктивную сложность станка, методы его настройки, оказывает существенное влияние на жесткость, точность, виброустойчивость станка, т.е. структура кинематических цепей отражается на точности, производительности станка, его металлоемкости [2].

Методика экспериментального исследования

Анализ теоретических и экспериментальных исследований, а также данные производственной эксплуатации станков со сложными кинематическими связями выделяют ряд методов, благодаря которым возможно совершенствование и оптимизация кинематических цепей и кинематических систем станков по критерию кинематической точности.

Повышение точности внутренних кинематических цепей металлорежущих станков и сохранения ее в процессе эксплуатации возможно осуществить за счет сокращения протяженности кинематических цепей, благодаря созданию и применению высокоточных приводов, которые обеспечивают возможность прямого непосредственного соединения двигателя с нагрузкой, исключая при этом коробки скоростей, коробки подач, промежуточные звенья и передачи.

Рациональное построение цепей металлорежущих станков возможно осуществить, используя модульный принцип на основе гидравлических связей в виде дискретного шагового гидропривода с исполнительными силовыми шаговыми гидродвигателями.

Гидравлические связи, построенные на основе гидравлического шагового привода, отличаются следующими особенностями: конструктивной однородностью кинематических связей между исполнительными звеньями – заготовкой и инструментом – для станков различного типа и различного технологического назначения; возможностью реализации модульно-агрегатного принципа построения внутренних кинематических цепей, обеспечивающих при ограниченном комплекте унифицированных блоков (модулей) построение кинематических цепей различного функционального назначения, выполняющих разнообразные технологические и компоновочные требования технических заданий; реализацией модульного принципа построения кинематической структуры станка, которая дает возможность преодолевать конструктивное и размерное многообразие кинематических внутренних цепей, предназначенных для выполнения однотипных задач; реализацией модульного принципа при построении внутренних цепей станков, которая позволяет сократить сроки и трудоемкость проектирования, изготовления станков [1-9].

Результаты

Ниже приведена структурная схема станка внутренние (формообразующие) цепи которого выполнены с использованием гидравлических связей на основе шагового гидравлического привода.

На рис. 1 представлена структурная схема копировально-фрезерного станка с гидравлическими формообразующими связями для обработки деталей со сложными поверхностями типа дисковых кулачков с модифицированной системой управления [7-10].

Станок включает в себя инструмент 11, совершающий вращательное движение от электродвигателя Д через звено настройки i_v , заготовку 12, которая получает вращение от шагового гидродвигателя 9, посредством червячной передачи 13, связанного с круглым столом, на котором установлена заготовка и управляемого генератором гидравлических импульсов 8, золотниковая втулка с рабочими щелями которого получает вращение от гидромотора 7. Сложное формообразующее движение, составленное из элементарных прямолинейных перемещений между продольным перемещением продольного стола 10 и поперечным перемещением верхних салазок 20 с круглым столом, на котором закреплена заготовка 12, осуществляется гидравлическими внутренними (формообразующими) связями, выполненными на основе шагового гидропривода.

Продольное перемещение продольного стола 10 осуществляется от шагового гидродвигателя 4, кинематически связанного с продольным столом 10 посредством ходового винта 19 через суммирующий механизм 25, выполненным в виде дифференциала из конических колес.

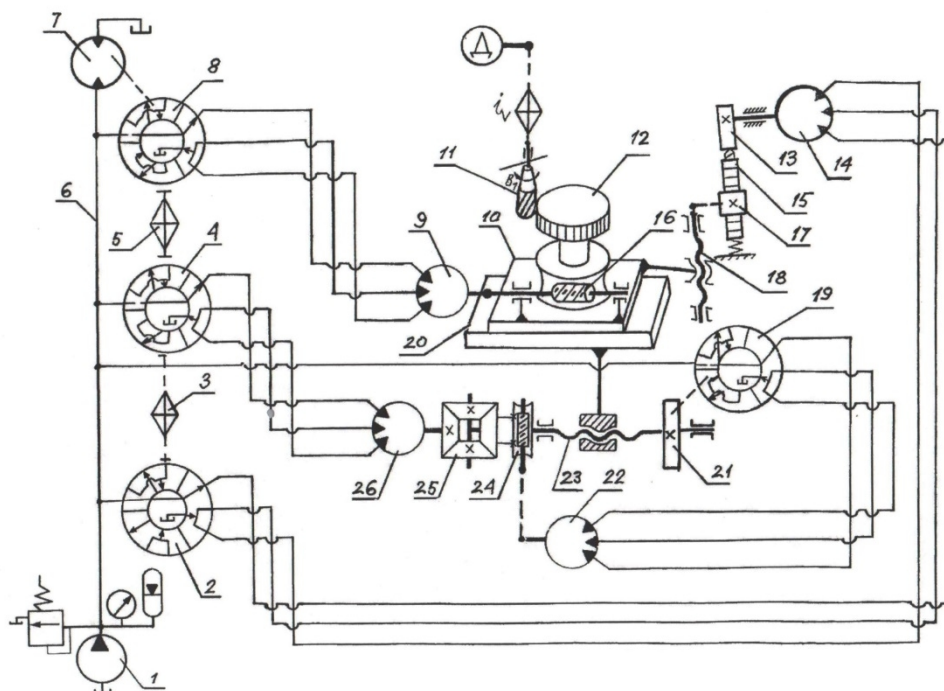


Рис. 1. Структурная схема копировально-фрезерного станка с гидравлическими формообразующими связями для обработки рабочей поверхности дисковых кулачков

Поперечное перемещение верхних салазок 20 с круглым столом, на котором установлена заготовка, необходимо для воспроизведения требуемой фасонной поверхности кулачка, обеспечивается внутренней (формообразующей) связью между продольным суппортом 10 и верхними салазками 20 с круглым столом с закрепленной на нем заготовкой 12 осуществляется от шагового гидродвигателя 15, на выходном валу которого закреплен сменный копир 14, преобразующий равномерное дискретное вращение шагового гидродвигателя 15 в неравномерное перемещение верхних салазок 20 с круглым столом посредством зубчатой рейки 16, зубчатого реечного колеса 17 жестко закрепленного на ходовом винте 18 поперечной подачи верхних салазок 20 с круглым столом, на котором закреплена заготовка 12.

Управление шаговым гидродвигателем привода поперечной подачи верхних салазок 15 осуществляется генератором гидравлических импульсов 2, золотниковая втулка с расчетным числом рабочих щелей которого получает вращение через несилую гитару сменных зубчатых колес 3 от вращающейся золотниковой втулки генератора гидравлических импульсов 4 привода продольного перемещения продольного стола 10.

Для осуществления круглым столом с заготовкой сложного движения формообразования, вызванное тем, что движение обката составлено из разнородных движений – поступательного перемещения прямоугольного стола 10 и вращательного движения круглого стола и учитывая, что стол является общим исполнительным звеном, одновременно входящим в группы деления и обката, соединение групп осуществляется с помощью суммирующего механизма 25, выполненное в виде дифференциала с коническими колесами.

Дополнительное движение сообщается от шагового гидродвигателя 22, кинематически связанного с ходовым винтом 23 продольной подачи прямоугольного стола 10 посредством червячной передачи 24 и управляемого генератором гидравлических импульсов 19, золотниковая втулка с рабочими щелями которого приводится во вращение от привода зубчатого колеса 21, жестко закрепленного на ходовом винте 22 продольного перемещения прямоугольного стола 10. Рабочая жидкость к генераторам гидравлических импульсов подается от насосной установки 1 по трубопроводу 6 [11-15].

Выводы

Применение гидравлических связей на основе шагового гидропривода во внутренних цепях металлорежущих станков вместо механических цепей на основе агрегатно-модульной технологии и ее унифицированных решений позволит:

- сократить протяженность кинематической цепи между согласуемыми органами станка, что позволит создать более рациональную компоновку станка;
- осуществить унификацию не только элементов привода, но и приводов в целом для станков одного назначения по отдельным координатам, а также и для станков различного технологического назначения и разных типоразмеров;
- улучшить технологичность конструкции внутренних цепей и станка в целом, создавая более рациональную компоновку при сложном пространственном расположении исполнительных органов станка – узла заготовки и узла инструмента;
- уменьшить металлоемкость станка и массу станка;
- уменьшить накопленную погрешность изделия, так как погрешность гидравлической связи не зависит от расстояния между задающим устройством и исполнительным шаговым гидродвигателем, а будет определяться точностью конечных звеньев цепи (делительные червячные передачи, ходовые винты), точностью ГШД, инструмента и заготовки.

Список литературы

1. Металлорежущие станки. В 2 т. Т. 2: учебник для вузов / В.В. Бушуев, А.В. Еремин, А.А. Какоило и др. – М.: Машиностроение, 2011. – 584 с.
2. *Остяков Ю.А., Шевченко И.В.* Проектирование деталей и узлов конкурентоспособных машин: учебное пособие. – СПб.: Лань, 2013. – 336 с.
3. Металлорежущие станки: учебник для вузов / В.Д. Ефремов, В.Д. Горохов, А.Г. Схиртладзе; И.А. Коротков; под общ. ред. П.И. Ящерицына. – Старый Оскол: ТНТ, 2013. – 696 с.
4. *Тарасов Г.А.* Проектирование металлорежущих станков: учебное пособие. – М.: МГОУ, 2010. – 546 с.
5. Расчет и проектирование металлорежущих станков: учебное пособие для вузов / А.М. Гаврилин, Ю.П. Мельков, А.В. Катунин, В.И. Сотников, Н.Н. Самойлов, Г.А. Михайлов, А.А. Жирков. – Орел: ОрелГТУ, 2006. – 228 с.
6. *Гуртяков А.М., Мойзес Б.Б.* Металлорежущие станки. Типовые механизмы и системы металлорежущих станков: учебное пособие. – Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 2009. – 112 с.
7. Металлорежущие станки. В 2 т. Т. 1: учебник для вузов / Т.М. Аврамова, В.В. Бушуев, Л.Я. Гилевой и др. – М.: Машиностроение, 2011. – 608 с.
8. *Ванин В.А., Колодин А.Н.* Кинематическая структура металлорежущих станков со сложными движениями формообразования с внутренними гидравлическими связями // Технология машиностроения. – 2015. – № 5 (155). – С. 18–26.
9. *Ванин В.А., Колодин А.Н.* Станки с гидравлическими внутренними (формообразующими) связями на основе шагового гидропривода для обработки винтовых поверхностей // Справочник. Инженерный журнал с приложениями. – 2012. – № 7 (184). – С. 30–35.
10. *Ванин В.А., Колодин А.Н., Родина А.А.* Кинематическая структура металлорежущих станков с гидравлическими формообразующими связями // СТИН. – 2014. – № 5. – С. 2–8.

11. Колодин А.Н., Ванин В.А., Родина А.А. Затыловочные станки с гидравлическими формообразующими связями: монография. – Deutschland: LAP Lambert Academic Publ., 2015. – 169 с.
12. Vanin V.A., Kolodin A.N., Rodina A.A. Kinematic structure of metal-cutting machines with hydraulic couplings // Russian Engineering Research. – 2015. – Vol. 34 (12). – P. 763–768.
13. Vanin V.A., Kolodin A.N. Modular design based on hydraulic step drives for internal kinematic chains in metal-cutting machines // Russian Engineering Research. – 2011. – Vol. 31 (1). – P. 56–58.
14. Vanin V.A., Kolodin A.N. Kinematic structure of gear-cutting machine tools based on a hydraulic step drive for the production of noncircular gears // Russian Engineering Research. – 2009. – Vol. 29(3). – P. 291–297.
15. Vanin V.A., Kolodin A.N. Application of hydraulic step drives in metal-cutting machine tools // Russian Engineering Research. – 2010. – Vol. 30 (5). – P. 446–450.

CONSTRUCTION AND OPTIMIZATION OF FORMING CIRCUITS ON THE BASIS OF HYDRAULIC CONNECTIONS ON MACHINES WITH COMPLEX MOVEMENTS SHAPING

Vanin VA, D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: vanin51141@yandex.ru
Rodina A.A., Senior Lecturer, e-mail: ant.rodina1209@yandex.ru
Dezha A.A. Student, e-mail: dezha.anton@yandex.ru

Tambov State Technical University, 116 Sovetskaya str., Tambov, 392000, Russian Federation

Abstract

This article shows the possibility of using the hydraulic connections on the basis of step hydraulic drive in the internal circuits of gear-cutting machines. The machine tools instead of mechanical chains used aggregate-modular technology. The use of this technology will allow: to create a more rational layout of the machine; to effect the unification of drives as a whole; improve manufacturability design the internal circuits and the machine itself; reduce metal machine; reduce the accumulated error items, as a hydraulic connection error is independent of the distance between the master device and the executive stepper hydraulic motor, and will be determined by the finite accuracy of chain links, precision hydraulic stepper drive tool and workpiece.

Keywords

machine tools, hydraulic connections, stepper drive, shaping circuit, aggregate-modular principle

УДК 681.586.773

**ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ, ПОЛУЧАЕМЫХ
ОТ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ДИНАМОМЕТРА
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СИЛ РЕЗАНИЯ**

*А.М. МАРКОВ, доктор техн. наук, профессор
С.Л. ЛЕОНОВ, доктор техн. наук, профессор
П.О. ЧЕРДАНЦЕВ, канд. техн. наук
А.О. ЧЕРДАНЦЕВ, аспирант
С.В. ГАЙСТ, аспирант
Е.Ю. ЛАПЕНКОВ, магистрант
(АлтГТУ, г. Барнаул)*

Черданцев А.О. – 656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46,
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
e-mail: hypertigr@mail.ru

Обоснован выбор типа датчиков для динамометра, предназначенного для измерения сил резания. Предложена схема расположения датчиков в корпусе динамометра, позволяющая после математической обработки получаемых от датчиков сигналов определить составляющие равнодействующей сил резания, направленные вдоль координатных осей многоцелевого станка с ЧПУ, а также момент сил резания относительно оси вращения инструмента. Рассмотрен выбор принципиальной схемы усилителя заряда, предназначенного для подготовки исходящего от датчика сигнала для его регистрации с помощью анализатора спектра; определены области применения различных схем. Приведены формулы для окончательной обработки полученных с помощью анализатора спектра данных.

Ключевые слова: динамометр, силы резания, момент сил резания, фрезерование, сверление, усилитель заряда, пьезоэлектрический датчик.

Введение

Большинство исследований в области обработки резанием сводятся к изучению динамики этого процесса. Без этого практически невозможно выявить сущность взаимного влияния различных технологических факторов на протекание и результат механической обработки. Проведению исследований препятствует то, что ввиду высокой (до нескольких тысяч Гц) частоты изменений сил резания, для их регистрации требуются специализированные динамометры.

В настоящее время по сути монополистом в этом сегменте рынка является швейцарская компания Kistler Group. Стоимость технических решений, предлагаемых этой компанией для измерения сил резания, начинается от 6 млн. руб., что существенно ограничивает возможность вузов приобретать такое оборудование. Поэтому в настоящее время актуальна проблема поиска альтернативных вариантов [1 - 4]

На кафедре технологии машиностроения АлтГТУ им. И.И. Ползунова было принято решение сконструировать и изготовить динамометр собственными усилиями, используя минимальное количество комплектующих от сторонних производителей, а именно датчики силы для получения первичного сигнала и анализатор спектра для регистрации сигнала и его передачи на ЭВМ для последующей обработки.

Теория

Для измерения сил резания могут применяться как пьезо-, так и тензо- датчики [5]. К преимуществам тензодатчиков можно отнести возможность полноценных статических измерений, стабильность при изменениях температуры и линейность. Для измерения быстроизменяющихся сил рациональнее применять пьезоэлектрические датчики, так как они обладают высокой жесткостью, очень малой деформацией при нагружении, высокой резонансной частотой, широким диапазоном измерений, компактностью, большим количеством циклов нагружения, способностью выдерживать значительные перегрузки, высокой повторяемостью и возможностью измерения малых изменений сил при значительной статической составляющей.

Пьезоэлектрические датчики имеют некоторый дрейф показаний при измерении статических нагрузок. Однако измерения больших по модулю сил на значительных временных промежутках для пьезодатчика не вызывает проблем, так как дрейф составляет незначительную долю от полезного сигнала. В отличие от пьезодатчиков тензодатчики при статических измерениях дрейфа не имеют.

При различных процессах механической обработки возникают переменные силы, различные по характеру изменения. Так, например, при точении силы резания имеют практически установившееся значение с незначительными низкочастотными колебаниями. При фрезеровании имеет место некоторая постоянная составляющая сил резания со значительными изменениями сил резания, причём с высокой циклической частотой, превышающей частоту вращения инструмента в число раз, соответствующее числу его режущих зубьев. При строгании или прерывистом точении силы имеют соответственно прерывистый характер.

Учитывая особенности обоих типов датчиков для использования в динамометре для измерения сил резания, более подходящими являются пьезоэлектрические датчики.

Прямое измерение заряда формирующегося на пьезодатчике затруднительно. Потому в цепи обработки сигнала применяются усилители заряда [6, 7] (рис. 1). Такие усилители преобразуют отрицательный заряд с пьезоэлектрического датчика в положительное напряжение пропорциональное заряду и, соответственно, силе, формирующей этот заряд.

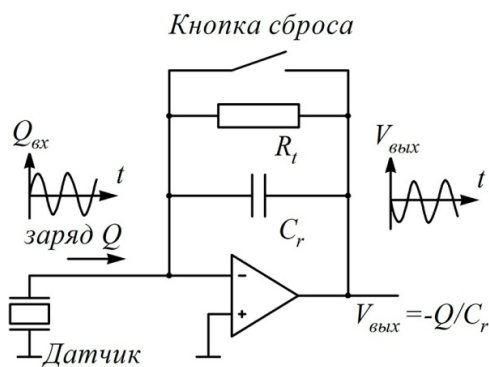


Рис. 1. Принципиальная схема усилителя заряда

необходимо соответствующим образом выбрать значения R_t и C_r . Для прерывистых сигналов, где постоянная составляющая отсутствует, постоянную времени можно уменьшить так, чтобы дрейф сигнала отсутствовал, и усилитель не уходил в насыщение. При измерении сил резания с постоянной составляющей обязательно необходимо увеличивать постоянную времени, повышая значение R_t . Большие значения постоянной времени приводят к дрейфу и насыщению усилителя. Необходимо выбирать R_t таким образом, чтобы обеспечить на всем периоде измерения работу усилителя без насыщения. Для начала измерений и установки ну-

жесткое напряжение пропорциональное заряду и, соответственно, силе, формирующей этот заряд.

Режим работы интегрирующего усилителя определяется задающим чувствительность конденсатором C_r и сопротивлением R_t , задающим постоянную времени. Увеличение значения ёмкости C_r расширяет диапазон измерений, увеличивает постоянную времени и снижает чувствительность. Постоянная времени $\tau = R_t \cdot C_r$ определяет нижнюю частоту среза усилителя.

Для корректной обработки сигнала, получаемого с пьезодатчика,

левой точки необходимо разрядить емкость C_T с помощью кнопки сброса. Имеющийся дрейф компенсируется программно уже на этапе обработки сигнала по данным полученным с референсного измерения без приложения сил.

Результаты и обсуждение

На основании вышеизложенного была принята схема динамометра (рис. 2) с применением преднагружения пьезоэлектрических датчиков изменения силы. Конструкция корпуса динамометра предполагает, что после базирования устройства на столе станка оси датчиков окажутся параллельны координатным осям станка. В схеме используется 8 датчиков: оси двух из них вдоль параллельны оси X станка, оси двух – оси Y, оси оставшихся четырёх – оси Z.

В качестве датчиков изменения силы использованы датчик силы АС20. Осевая чувствительность датчиков варьируется в диапазоне от 1,69...1,98 пКл/Н (в среднем 14,92 пКл/Н), электрическая ёмкость – в диапазоне 30,6...35,6 пФ (в среднем 32,3 пФ).

Диапазон измеряемых усилий датчиков лежит в интервале $-1000...+5000$ Н. Однако силы резания при обработке осевым инструментом могут быть направлены каким угодно образом в зависимости от направления подачи и направления вращения инструмента. Таким образом, необходимо устанавливать датчики на одной оси, зеркально друг другу. Однако это ведёт к увеличению числа датчиков вдвое по сравнению со случаем использования датчиков с симметричным диапазоном измерений. Чтобы сократить количество используемых датчиков, было принято решение преднагрузить каждый из них в осевом направлении усилием 2000 Н. За счёт этого удалось обеспечить симметричный диапазон измерений в интервале $-3000...+3000$ Н. Недостатком данного решения стало сокращение абсолютной величины предельной измеряемой динамометром нагрузки, однако ширина полученного диапазона измерений вполне достаточна для исследовательских задач.

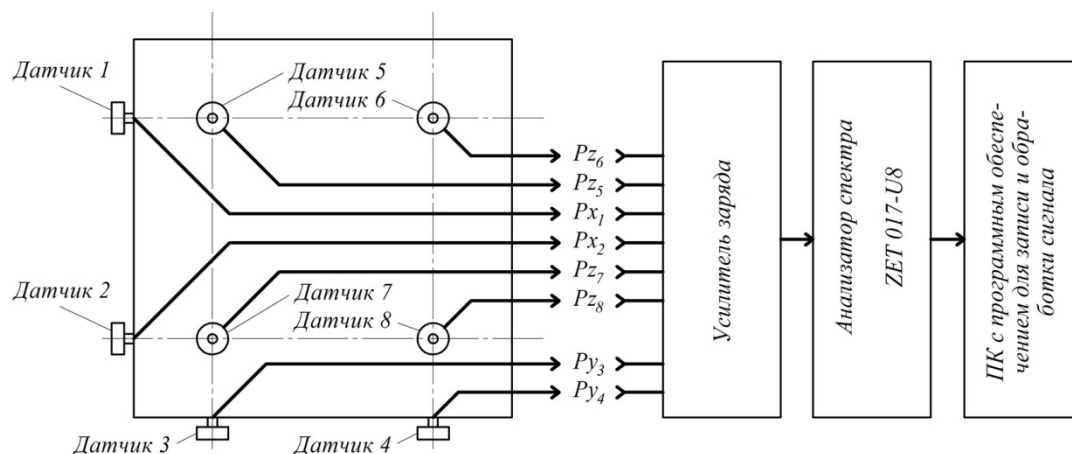


Рис. 2. Схема динамометра для измерения сил резания

Как известно из теоретической механики [8 и многие другие], значение главного вектора от выбора центра приведения C не зависит. Значение же главного момента при изменении положения центра C может в общем случае изменяться вследствие соответствующего изменения значений моментов отдельных сил. Момент сил резания M_z по сути является главным моментом системы сил P_{x1} , P_{x2} , P_{y3} и P_{y4} (рис. 3).

Динамометры производства Kistler позволяют определять момент M_z относительно только центральной точки динамометра. Математическое обеспечение предлагаемого дина-

мометра позволяет за счёт сопоставления с одной стороны зависимости показаний датчиков от времени и с другой стороны положения точки привязки инструмента С.

Таким образом, на основании показаний датчиков динамометра могут быть определены три составляющие равнодействующей сил резания, направленные вдоль координатных осей многоцелевого станка с ЧПУ, а также момент сил резания относительно оси вращения инструмента. Для этого используются следующие выражения:

$$\begin{aligned} P_x &= P_{x1} + P_{x2}; \\ P_y &= P_{y3} + P_{y4}; \\ P_z &= P_{z5} + P_{z6} + P_{z7} + P_{z8}; \\ M_z &= -P_{x1} \cdot (\ell_y - c_y) + P_{x2} \cdot c_y - P_{y3} \cdot c_x + P_{y4} \cdot (\ell_x - c_x). \end{aligned}$$

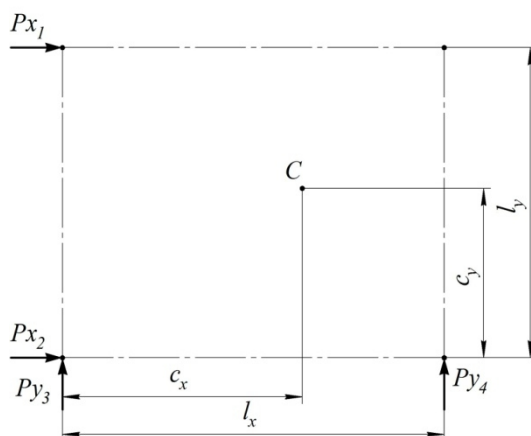


Рис. 3. Схема к определению момента сил резания M_z

Параметры c_x и c_y зависят от установки динамометра на столе станка относительно станочной системы координат.

Выводы

Динамометр рассмотренной конструкции может быть успешно использован для проведения лабораторных занятий, а также научных исследований динамики процессов резания, в том числе и высокоскоростного. Это обеспечивается выбором пьезоэлектрических датчиков силы, позволяющих регистрировать высокочастотный сигнал. В то же время возможность обработки низкочастотного сигнала обеспечивается схемотехническим решением усилителя заряда.

На конструкцию описанного многокомпонентного динамометра получено положительное решение о выдаче патента на полезную модель по заявке № 2016145705/28(073437 от 22.11.2016).

Список литературы

1. Ефимович И.А., Золотухин И.С., Шутько П.А. Динамометр для измерения силы резания // Новые технологии – нефтегазовому региону: материалы Всероссийской с международным участием научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Тюмень, 2015. – С. 117–120.
2. Дюдюкин А.С., Трусов В.Н. Проектирование динамометра для измерения сил резания // Высокие технологии в машиностроении: материалы всероссийской научно-технической интернет-конференции. – Самара, 2014. – С. 116–118.

3. Петрова Л.Н., Смирнов В.А., Федоров В.Б. Методика тарировки многокомпонентного динамометра, выполненного на основе механизма с параллельной кинематикой // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. – № 11-2. – С. 83–84.

4. Коломиец А.Л., Киселев И.А., Гуськов М.А. Идентификация модальных параметров динамометра Kistler 9257B // Вибрационные технологии, мехатроника и управляемые машины: сборник научных статей по материалам XI Международной научно-технической конференции «Вибрация-2014»: в 2 ч. – Курск, 2014. – Ч. 1. – С. 323–329.

5. Force Sensors [Electronic resource]. – URL: <https://www.kistler.com/?type=669&fid=278&model=download> (accessed 13.03.2017).

6. Дюдюкин А.С., Трусов В.Н. Принципиальная схема электронного блока динамометра для измерения силы резания // Высокие технологии в машиностроении: материалы всероссийской научно-технической интернет-конференции. – Самара, 2014. – С. 88–89.

7. Test & Measurement Force and Strain [Electronic resource]. – URL: <https://www.kistler.com/?type=669&fid=361&model=download&callee=frontend> (accessed 13.03.2017).

8. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики. – М.: Высшая школа, [б. г.]. – 430 с.

THE FEATURES OF A PROCESSING OF SIGNALS RECEIVED FROM PIEZOELECTRIC SENSORS OF A DYNAMOMETER FOR MEASURING CUTTING FORCES

Markov A.M., D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: andmarkov@inbox.ru

Leonov S.L., D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: sergey_and_nady@mail.ru

Cherdancev P.O., Ph.D. (Engineering), e-mail: p004092@yandex.ru

Cherdancev A.O., Ph.D. student, e-mail: hypertigr@mail.ru

Gayst S.V., Ph.D. student, e-mail: sergei_gaist@mail.ru

Lapenkov E.Y., Master's Degree student, e-mail: ewgenii018@mail.ru

I.I. Polzunov Altai State Technical University, 46 Lenina avenue, Barnaul, Altai region, 656038, Russian Federation

Abstract

In this article we described how the problem of choosing type of force sensors for dynamometer using for measuring cutting forces can be solved. We have proposed a scheme of location of sensors in a housing of the dynamometer. After mathematical processing of a received sensor signals this scheme allows to determine three components of a resultant cutting forces, which directed along a coordinate axes of a machining center, and a torque of cutting forces around an axis of rotation of a cutting tool. We have considered the question of a choice of a block diagram of a charge amplifier, which is designed to prepare outgoing from the sensor signal to register with a spectrum analyzer. Also in the article, we present a formula for final processing data obtained by using the spectrum analyzer.

Keywords

dynamometer, cutting forces, torque of a cutting forces, milling, drilling, charge amplifier, piezoelectric sensor

УДК 620. 171. 2

**СПОСОБ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОГО НАГРУЖЕНИЯ**

*В.А. ГЛУЩЕНКОВ, канд. техн. наук, доцент
Д.Г. ЧЕРНИКОВ, канд. техн. наук, доцент
А.Т. ТИАБАШВИЛИ, магистрант
(Самарский университет, г. Самара)*

Черников Д.Г. - 443086, г. Самара, Московское шоссе, 34,
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева,
e-mail: 4ernikov82@mail.ru

В статье предложен способ динамического испытания свойств листовых металлов с применением магнитно-импульсного нагружения, приведены соответствующие технологические схемы. Показано оборудование и технологическая оснастка для реализации одной из них. Проведены статические и динамические испытания листовых заготовок, построены соответствующие FLD-диаграммы.

Ключевые слова: диаграмма предельных деформаций (FLD-диаграмма), динамическое нагружение, магнитно-импульсные технологии.

Введение

Одной из важнейших задач при разработке технологического процесса изготовления деталей является прогнозирование дефектов, возникающих при деформировании. Для анализа предельного формоизменения материала при листовой штамповке широко применяются диаграммы предельных деформаций (FLD-диаграммы), которые устанавливают связь между компонентами главных деформаций в момент разрушения [1-3]. В области квазистатического нагружения проведение испытаний для построения FLD-диаграмм регламентируется стандартом [4].

В связи с интенсивным развитием высокоскоростных методов пластического деформирования определенным интересом представляет исследование предельных возможностей металлических заготовок при динамическом нагружении, которые позволят оценить FLD диаграммы.

Анализ существующих способов высокоскоростных испытаний

Известно несколько способов механических испытаний, использующих динамическое нагружение листового материала. Данные способы основаны на преобразовании высокой энергии (взрыва [5,6], электромагнитного поля [7-9], сжатого газа [10-12], гидравлической [13,14]) в работу пластической деформации и характеризуются кратковременностью силового воздействия, высокими скоростями деформирования материала. Подробный анализ представленных способов испытаний отражен в работе [14]. Необходимо отметить, что для всех типов высокоскоростных испытаний характерна сложность, а иногда и невозможность, остановки процесса формообразования в момент начала образования трещины.

Наиболее оптимальным с точки зрения безопасности, управляемости и простоты осуществления является динамический способ испытаний, реализуемый благодаря магнитно-импульсным технологиям. Главными преимуществами магнитно-импульсного нагружения являются точность дозирования энергии, большие давления на заготовку, высокие скорости деформирования а также компактность оборудования по сравнению с существующими установками для высокоскоростных испытаний.

Технологическое оснащение и методика проведения испытаний

Проведение динамических испытаний с использованием магнитно-импульсного нагружения возможно по двум принципиальным схемам – с разгоном пуансона и с разгоном матрицы заготовки и прижима, объединенных в общий блок – «пакет» под действием магнитно-импульсного нагружения (рис. 1).

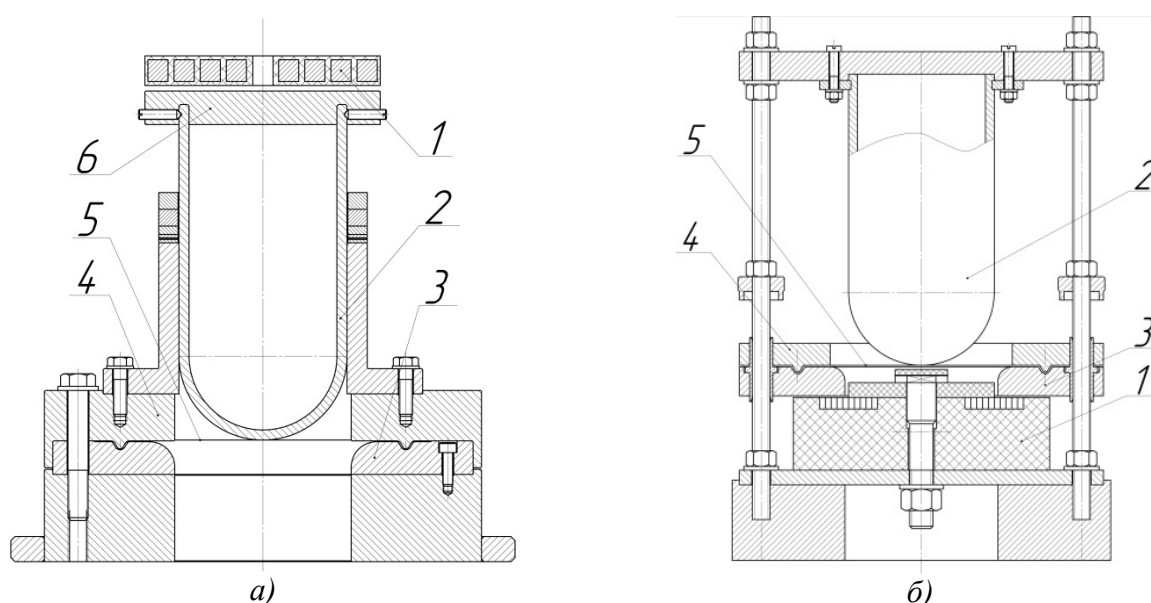


Рис.1. Принципиальные технологические схемы для способа динамических испытаний с использованием магнитно-импульсного нагружения

а) - технологическая схема с разгоном пуансона; б) - технологическая схема с разгоном «пакета»: 1.Индуктор; 2. Пуансон; 3. Матрица; 4. Прижим; 5. Заготовка; 6. Крышка.

Необходимо отметить, что схема с разгоном пуансона осуществима в вертикальном и горизонтальном исполнении. При горизонтальном варианте возможна установка зазора между пуансоном и заготовкой. В соответствии с данной схемой спроектирована и изготовлена технологическая оснастка в вертикальном исполнении (рис. 2,а). Особенностью данной оснастки является то, что для остановки пуансона в момент образования трещины используются специальные проставки, суммарная высота которых подбирается до момента начала образования трещины.

Основные требования к параметрам технологического оснащения, методике испытаний, форме и размерам заготовок выполнены согласно стандарту [4]. Выбран метод испытания по Накадзиме, заключающийся в том, что для обеспечения требуемого формоизменения заготовок используется полусферический пуансон диаметром 100 мм. Заготовка размещается на матрице, имеющей диаметр 105 мм, радиусное скругление 8 мм, и фиксируется прижимом. Особенностью матрицы и прижима является наличие перетяжного ребра, предотвращающего перемещение фланца заготовки в радиальном направлении.

Изменение радиуса R , как видно из рис. 2, б позволяет получить различные соотношения между компонентами главных деформаций в момент трещинообразования. Испытанию подвергались заготовки из сплава АМг6, толщиной 0,5 мм. На поверхность заготовок методом электрохимической маркировки была нанесена сетка в виде окружностей диаметром 2,5 мм.

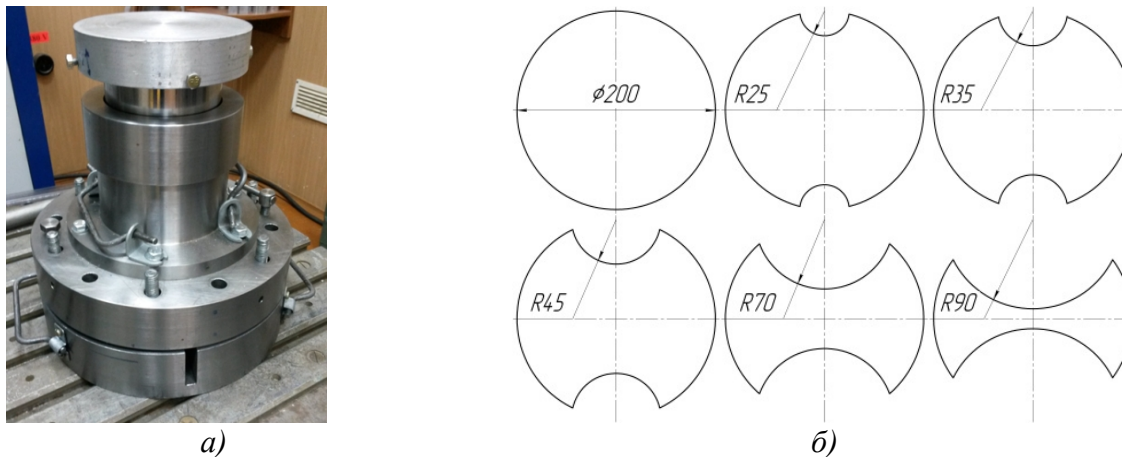


Рис. 2. Технологическая оснастка (а) и геометрия заготовок для проведения динамических испытаний (б)

Для получения контрольных образцов были осуществлены испытания в статической области нагружения на универсальной испытательной машине при скорости деформирования 15 мм/с.

Для проведения динамических испытаний был спроектирован и изготовлен плоский многovitковый индуктор (рис. 3,а). Динамические испытания проводились с использованием магнитно-импульсной установки МИУ-50 (рис. 3,б), с максимальным уровнем запасаемой энергии батареи конденсаторов 50 кДж.



Рис. 3. Оборудование для проведения динамических испытаний
а) – плоский многovitковый индуктор; б) – МИУ-50.

Предварительно, с использованием гидравлического пресса, с помощью прижима и матрицы в заготовке формируется перетяжное ребро. Далее осуществляется магнитно-импульсное нагружение следующим образом. Батарея конденсаторов МИУ-50 заряжается до заданного уровня напряжения, после достижения, которого разряжается на неподвижно закрепленный индуктор. По виткам индуктора протекают импульсные токи, порождая вокруг них импульсное магнитное поле высокой напряженности. При пересечении магнитными полями алюминиевой крышки оснастки (рис.1, а), расположенной в

непосредственной близости от индуктора, в последней наводятся вихревые токи противоположного направления относительно токов индуктора. В результате их взаимодействия возникают объемные электродинамические усилия отталкивания, разгоняющие крышку и жестко связанный с ней пуансон. В результате пуансон деформирует заготовку с высокой скоростью до образования трещины.

Максимальная скорость пуансона составила 15 м/с, измерение которой проводилось с помощью высокоскоростной камеры, «Cordin-505». Необходимо отметить, что существует возможность увеличения скорости перемещения пуансона путем увеличения энергии разряда МИУ-50.

Результаты и обсуждение

Анализ деформированного состояния образцов после испытаний производился системой анализа изображений GOM Argus, процесс работы с которой осуществлялся в следующей последовательности: 1) съемка с различных ракурсов и распознавание координатной сетки (рис.4, а), 2) анализ деформированного состояния и определение главных деформаций в точке разрыва (рис. 4, б).

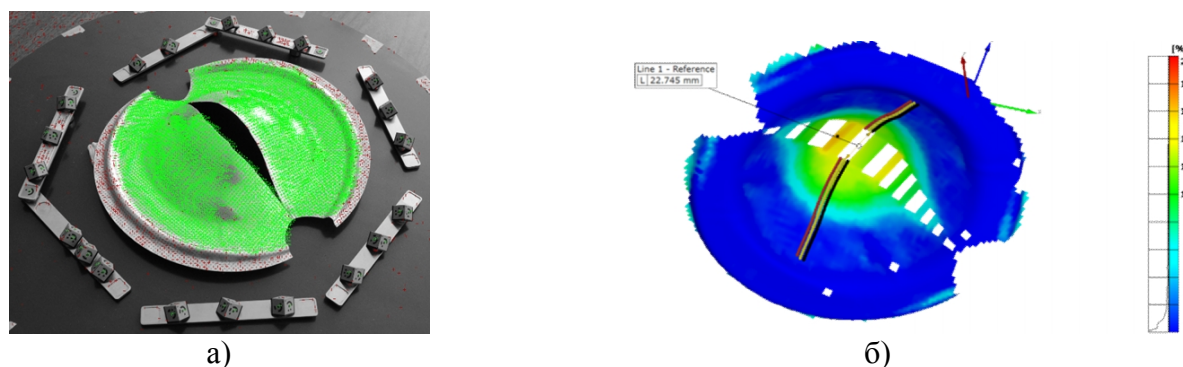


Рис. 4. Обработка полученных образцов с помощью системы анализа изображений

В результате чего были получены FLD-диаграммы для статического (рис. 5, 1) и динамического (рис. 5, 2) испытаний. По оси абсцисс представлены минимальные главные логарифмические деформации, по оси ординат – максимальные главные логарифмические деформации, действующие в плоскости листовой заготовки.

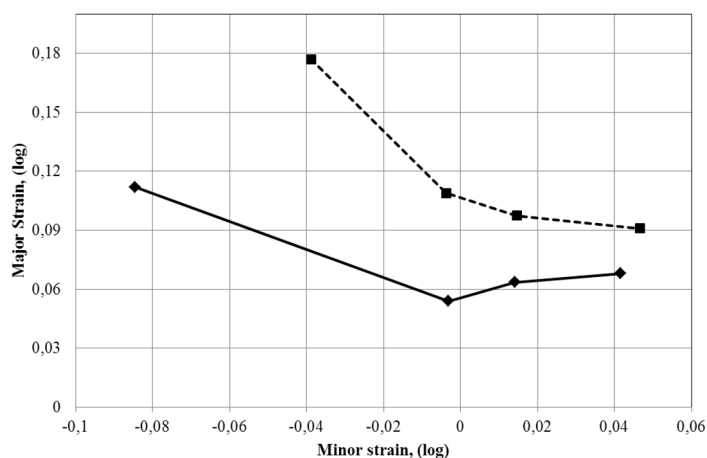


Рис. 5. FLD-диаграммы.
1-статическое испытание, 2-динамическое испытание

Как видно из представленных на рис. 5 данных, с повышением скорости протекания процесса наблюдается увеличение предельных деформационных возможностей материала.

Вывод

Проведенная работа показала возможность осуществления динамических испытаний с использованием магнитно-импульсного нагружения для построения FLD-диаграмм. Анализ диаграмм показал, что с увеличением скорости протекания процесса, возрастают предельные деформационные характеристики листового материала. Дальнейшее развитие исследований в данной области возможно путем апробации второй схемы с метанием «пакета». Необходимо установить зависимость скорости движения деформирующего инструмента от энергии разряда батареи конденсаторов МИУ, для более точного управления процессом деформации.

Список литературы

1. Sklad M.P., Verhaeghe J.D. Forming limit curve based on shear under tension failure criterion // International Deep Drawing Research Group, Graz, Austria, 31 May – 2 June 2010. – Graz, 2010. - P. 54.
2. Surajit K.P. Theoretical analysis of strain- and stress-based forming limit diagrams // The Journal of Strain Analysis for Engineering Design. – 2013. – Vol. 48 (3). – P. 177–188.
3. Keeler S.P., Backhofen W.A. Plastic instability and fracture in sheet stretched over rigid punches // ASM Trans Q. – 1964. – Vol. 56. – P. 25–48.
4. ISO 12004-2:2008. Metallic materials. Sheet and strip. Determination of forming-limit curves. Part 2: Determination of forming-limit curves in the laboratory.
5. Wood W.W. Experimental mechanics at velocity extremes – very high strain rates // Experimental Mechanics. – 1967. – P. 441–446. – doi: 10.1007/BF02326303.
6. El-Magd E., Abouridouane M. Einfluss der umformgeschwindigkeit und temperatur auf das umformvermögen metallischer werkstoffe // Zeitschrift für Metallkunde. – 2003. – Vol. 94. – P. 35–45.
7. Verhalten von aluminiumwerkstoffen bei der elektromagnetischem umformung / Fr.-W. Bach, M. Rodman, A. Rossberg, J. Weber, L. Walden // Colloquium Elektromagnetische Umformung, 28 Mai 2003. – Dortmund, Germany, 2003. – P. 11–19.
8. Formability of Ti–6Al–4V titanium alloy sheet in magnetic pulse bulging / F.-Q. Li et al. // Materials and Design. – 2013. - Vol. 52. – P. 337–344.
9. Seth M., Vohnoutn V.J., Daehn G.S. Formability of steel sheet in high velocity impact // Journal of Materials Processing Technology. – 2005. – Vol. 168. – P. 390–400.
10. Development of a pneumatic high-speed nakajima testing device / M. Engelhardt, H. von Senden genannt Haverkamp, C. Klose, Fr.-W. Bach // 5th International Conference on High Speed Forming, 24-26 April 2012. – Dortmund, Germany, 2012.
11. El-Magd E., Abouridouane M. Characterization, modelling and simulation of deformation and fracture behaviour of the light-weight wrought alloys under high strain rate loading // International Journal of Impact Engineering. – 2006. - Vol. 32 (5). – P. 741–758.
12. Characterisation and Simulation of High-Speed deformation processes / M. Engelhardt, H. von Senden genannt Haverkamp, Y. Kiliclar, M. Schwarze, I. Vladimirov, D. Bormann, F.-W. Bach, S. Reese // 4th International Conference on High Speed Forming, 9–10 March 2010. – Columbus, Ohio, USA, 2010.

13. *Siegert K., Vulkan M.* Superplastische Umformung von Aluminium-Blechen mit nachfolgendem hydromechanischem tiefziehen // Sächsische Fachtagung Umformtechnik. – 2001. – Vol. 8. - P. 251–271.
14. Forming limit diagram of auto-body steel sheets for high-speed sheet metal forming / S.B. Kim, H. Huh, H.H. Bok, M.B. Moon // Journal of Materials Processing Technology. – 2010. – Vol. 211. - P. 851–862.

METHOD OF DYNAMIC TEST OF SHEET MATERIALS WITH PULSE MAGNETIC LOADING

Glushchenkov V.A., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: vgl.@ssau.ru
Chernikov D.G., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: 4ernikov82@mail.ru
Tiabashvili A.T., Master's Degree student, e-mail: tiabashvili94@mail.ru

Samara National Research University named after Academician S.P. Korolev, 34 Moskovskoye Shosse, Samara, 443086, Russian Federation

Abstract

In this article considered the scheme for the method of dynamic test of material properties using pulse-magnetic loading. It shown equipment and tool for the realization one of scheme. Performed of static and dynamic tests of sheet blanks. Forming limit diagram were constructed to evaluate the limit strain rate of the sheet material. As a result of measurement of the maximum velocity of the deforming tool has been defined – 15 m/s. Also it is shown that with increasing strain rate, increases the limit strain characteristics of the sheet material.

Keywords

forming limit diagram (FLD), dynamic loading, pulse-magnetic process

УДК 620.178.1

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И СТРУКТУРЫ
НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЧУГУНА ЧМН-35М**

*Д.А. ГАБЕЦ¹, аспирант
А.М. МАРКОВ¹, доктор техн. наук, профессор
А.В. ГАБЕЦ², канд. техн. наук, директор по развитию
(¹АлтГТУ, г. Барнаул,
²ООО «АСЛЗ», г. Барнаул)*

Габец Д. А. - 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова
e-mail: gabets22@mail.ru

Разработан новый износостойкий чугун ЧМН-35М, для деталей работающих в условиях интенсивных фрикционных нагрузок. Установлены износостойкие свойства материала в парах трения с различными сталями. Представлены исследования влияния никеля и молибдена на структуру и механические свойства чугуна ЧМН-35М.

Ключевые слова: Пары трения, износостойкий чугун, анализ сплавов Fe-C, чугун ЧМН-35М, исследование триботехнических свойств, влияние никеля и молибдена, мартенсит в сером чугуне.

Введение

В настоящее время российской промышленностью для серийного изготовления деталей, работающих в условиях интенсивных фрикционных нагрузок, используется серый чугун марок СЧ10 - СЧ35 (ГОСТ 1412-85). В сравнении со сталями, серый чугун содержит в своем составе свободный графит, который играет роль твердой смазки, что положительно сказывается на увеличении ресурса работы узлов машин, подверженных износу. Однако для обеспечения износостойкости тяжело нагруженных деталей, работающих в условиях ударно-фрикционной эксплуатации, этого не всегда достаточно, что послужило основанием для разработки нового высокопрочного чугуна, обладающего улучшенным комплексом основных физико-механических и служебных свойств (меньшая склонность к разрушению, более высокий уровень сопротивления ударному и длительному циклическому воздействию и т.п.).

Материал и методика исследования

Разработка новой марки чугуна проводилась на базе стандартного серого чугуна СЧ35 (ГОСТ1412-85), в состав которого была введена композиция легирующих и модифицирующих добавок никеля, молибдена, циркония, бария, кальция, алюминия. Вводимые элементы, обладающие высокой термодинамической активностью, при взаимодействии с базовыми компонентами (углерод, кремний, марганец) существенно влияют на процессы структурообразования литого чугуна, а также положительно воздействуют на форму, размер и дисперсность образующихся феррито-перлитных, графитных и других структурных составляющих [1, 2].

После проведения ряда экспериментов по определению соотношения легирующих и модифицирующих элементов был разработан химический состав чугуна, имеющего высокие прочностные и антифрикционные свойства. Полученному чугуну присвоен индекс ЧМН-35М. Его применение в парах трения с различными сталями обеспечивает значительное

снижение износа трущихся поверхностей. Проверка на патентную чистоту позволила заявить чугун в качестве изобретения (патент на изобретение № 2562554) [3].

Анализ полученных результатов

На основе полученных результатов разработаны технические условия на химический состав и механические свойства нового чугуна (ТУ 0812-001-10036140-2014), приведенные в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Химический состав чугуна марки ЧМН-35М

Марка чугуна	Массовая доля элементов, %								
	C	Si	Mn	Mo	Ni	Cr	Cu	P	S
ЧМН-35М	2,5÷2,8	1,3÷1,5	0,7÷1,0	0,6÷0,9	0,5÷0,8	≤0,3	≤0,3	≤0,2	≤0,1

Таблица 2

Механические свойства чугуна марки ЧМН-35М

Марка чугуна	Временное сопротивление при растяжении, МПа, (кгс/мм ²), не менее	Твердость по Бринеллю	
		не менее	не более
ЧМН-35М	350 (35)	250	300

Была установлена нижняя граница твердости рабочих поверхностей отливок - не ниже 250 НВ [4].

Оценка влияния никеля и молибдена на прочность и твердость чугуна ЧМН-35 была проведена в условиях ООО «АСЛЗ» (г. Барнаул). Были изготовлены образцы чугуна ЧМН-35М с различной концентрацией никеля и молибдена.

Согласно техническим условиям на данный материал содержание никеля должно составлять от 0,5 % до 0,8 %. Твердость в данном диапазоне находится в пределах 296-300 НВ (рисунок 1). Содержание никеля ниже предела, заданного по техническим условиям приводит к снижению твердости, легирование выше установленного предела не оказывает существенного влияния на твердость.

Исследования прочности образцов показывают, что временное сопротивление при растяжении образцов с содержанием никеля в пределах от 0,5 % до 0,8 %, составляет 368-380 МПа, что удовлетворяет требованиям технических условия на материал. Содержание никеля менее 0,5% снижет механические свойства чугуна, а увеличение концентрации выше 0,8% не приводит к дальнейшему росту прочности (рисунок 2).

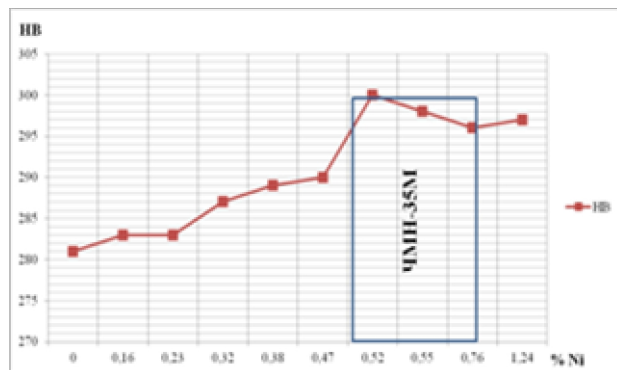


Рис. 1. Влияние никеля на твердость чугуна ЧМН-35М

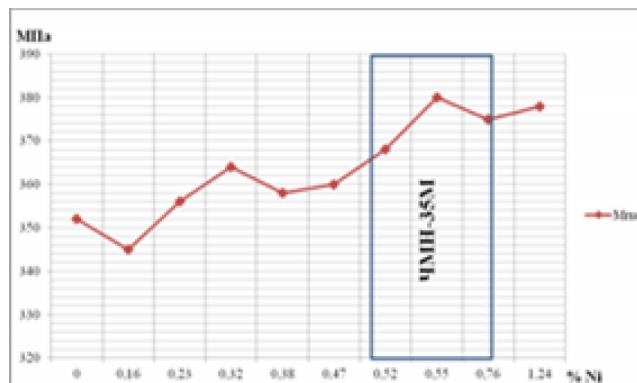


Рис. 2. Влияние никеля на временное сопротивление при разрыве чугуна ЧМН-35М

Концентрация молибдена по техническим условиям на ЧМН-35М должна быть в пределах от 0,6 % до 0,9%, при этой концентрации твердость составляет 298-303 НВ. Уменьшение концентрации приводит к существенному снижению твердости (рисунок 3). Увеличение концентрации молибдена более 0,9% приводит к повышению твердости более 300НВ, что недопустимо по техническим условиям на материал.

Временное сопротивление при растяжении образцов, содержащих молибден в указанных выше пределах, составляет 378-385 МПа, что удовлетворяет требованиям технических условий. При снижении концентрации молибдена наблюдается снижение значений механических свойств (рисунок 3). При увеличении концентрации более 0,9 % временное сопротивление при растяжении сильно уменьшается, это происходит из-за увеличения твердости.

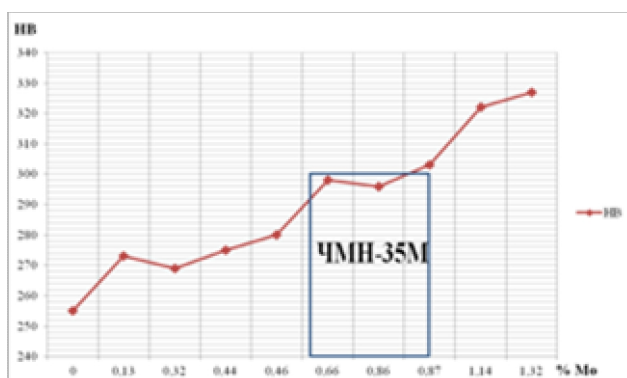


Рис. 3. Влияние молибдена на твердость чугуна ЧМН-35М

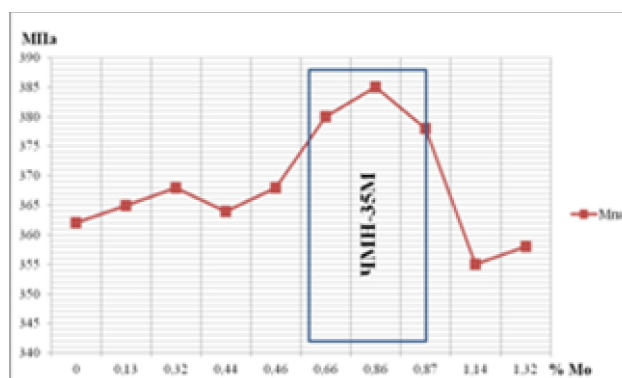


Рис. 4. Влияние молибдена на временное сопротивление при разрыве чугуна ЧМН-35М

Основные отличия структуры полученного чугуна от структуры чугуна СЧ 35 заключаются в характере графитных включений: в чугуне СЧ 35 наблюдается смешанное междендритное пластинчатое и неравномерное распределения графита (рисунок 5а). В чугуне ЧМН-35 распределение графита смешанное: присутствуют участки равномерного и неравномерного распределения графита (рисунок 5б). Микроструктура чугуна марки ЧМН-35М имеет феррито-перлитную металлическую основу с равномерно распределенными включениями пластинчатого, завихренного или гнездообразного графита. Структура чугуна СЧ 35 - перлитная (рисунок 6).

Испытания на ударный изгиб проводились на маятниковом копре МК-30 в соответствии с ГОСТ 9454 - 78 при комнатной температуре на образцах с концентраторами вида U и вида V. Результаты испытаний представлены в таблице 3.

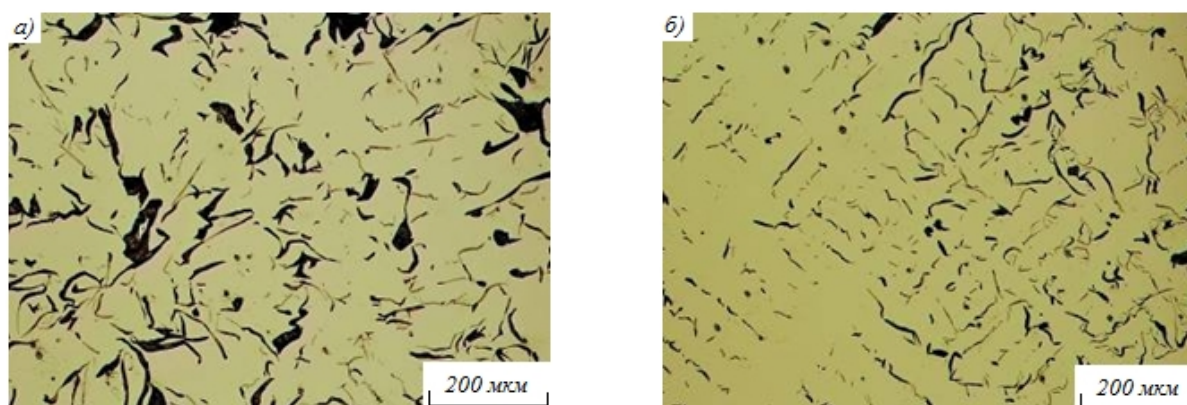


Рис. 5. Распределение графита:
а) смешанное и неравномерное в чугуне СЧ35; б) смешанное в чугуне ЧМН-35М

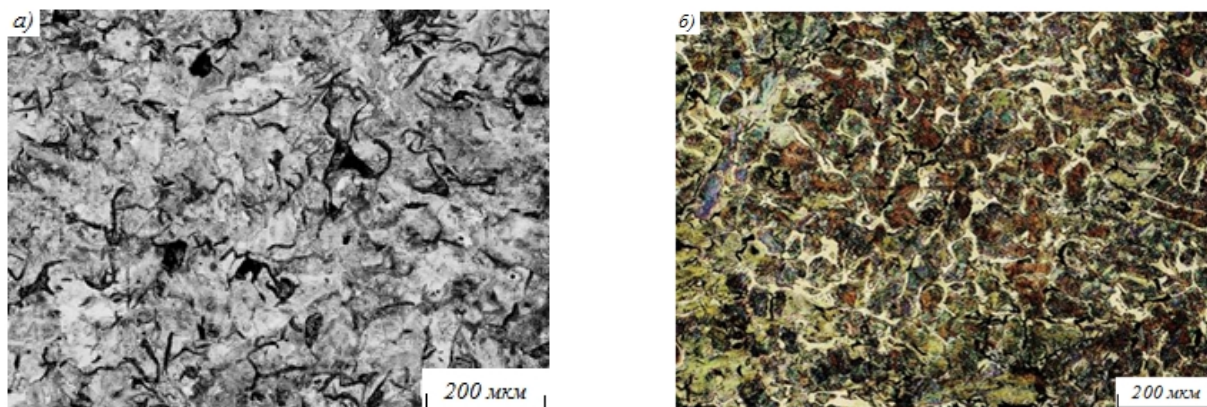


Рис. 6. Основа: а) перлитная основа без участков феррита в чугуна СЧ35; б) перлитно-ферритная основа чугуна ЧМН-35М

Характер разрушения образцов макрохрупкий. Из приведенных данных видно, что чугун ЧМН-35, также как и чугун марки СЧ 35 не чувствительны к концентраторам напряжений. Это обусловлено наличием графитных включений, которые из-за низкой прочности при разрушении могут рассматриваться как микротрещины.

Таблица 3

Результаты испытаний на ударный изгиб

№ п/п	Марка чугуна	Ударная вязкость КСУ, Дж/см ²	Ударная вязкость КСV, Дж/см ²
1	ЧМН-35М	107-112	102-108
2	СЧ35	89-95	95-101

Исследование параметров трещиностойкости проводили на образцах с острым надрезом (ГОСТ 9454-78) при трехточечном изгибе на универсальной испытательной машине «Instron». Скорость нагружения составляла 0,2 см/мин. По результатам испытаний определяли разрушающие напряжения σ_p , напряжения общей текучести $\sigma_{от}$, стрелу пластического прогиба $f_{пл}$, работу разрушения A_p и ее составляющие - работу зарождения A_z и распространения трещины A_p . Результаты испытаний представлены в таблице 4.

При испытании на статический изгиб уровень прочностных свойств чугуна марки ЧМН-35М выше, чем у чугуна марки СЧ35. Так, разрушающее напряжение выше на 23-35%, а предел общей текучести – на 30-33%. Суммарная работа разрушения чугуна ЧМН-35М выше в 1,5 раза. Основной ее рост произошел за счет роста работы распространения трещины, поскольку работа зарождения трещины имеет очень низкие абсолютные значения.

Таблица 4

Результаты испытаний на статический изгиб

№ п/п	Марка чугуна	σ_p	$\sigma_{от}$	$f_{пл}$	A_z	A_p	A_{Σ}
		Н/мм ²					
1	ЧМН-35М	524-559	559-559	0-0,02	0-0,13	2,08-2,29	2,21-2,29
		541,5	559	0,01	0,06	2,18	2,25
2	СЧ35	429-448	415-434	0,03	0,13-0,15	1,40-1,47	1,55-1,60
		439	425		0,14	1,44	1,58

Проведены сравнительные фрактографические исследования разрушения чугунов СЧ35 и ЧМН-35М. Механизм разрушения обоих чугунов одинаковый. Как в области зарождения, так и распространения трещины разрушение проходит по хрупкому механизму с явным преобладанием межзеренного разрушения. Также в изломах присутствуют фасетки

хрупкого скола. Размер фасеток в области зарождения и распространения трещины для конкретной марки чугуна практически одинаковый.

Следует отметить, что в модифицированном чугуне строение поверхности разрушения существенно однороднее и размер фасеток скола примерно в 1,5 раза мельче (рисунок 7).

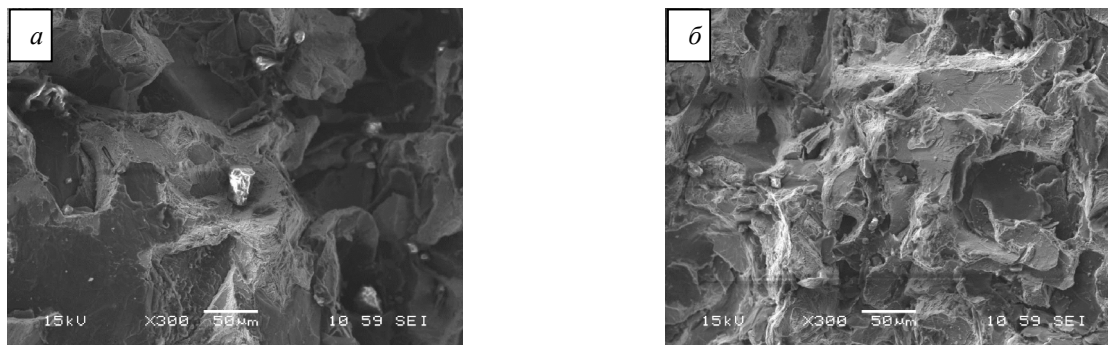


Рис. 7. Излом образцов после испытаний на ударный изгиб (ККУ):
а) чугуна СЧ35 б) чугуна ЧМН-35М

Проведен ряд сравнительных триботехнических исследований для установления зависимости весового износа от длины пути в результате взаимодействия трущихся поверхностей. В качестве испытательного оборудования используется машина трения модели 2168 УМТ.

Исследования проводились с использованием специально изготовленных образцов, представляющих собой пару «вал – колодка» [6]. Образцы в виде вала были изготовлены из серийного серого чугуна марки СЧ35 и чугуна марки ЧМН-35М. В качестве контртела выступают колодки, изготовленные из стали 20ГЛ, 30ХГСА и 09Г2С. Результаты определения износостойкости (потери массы) «вала» и «колодки» представлены в таблице 5.

Анализ величин износа валов и колодок показывает, что износостойкость валов из чугуна марки ЧМН-35М примерно в 1,5 раза выше, чем валов из чугуна СЧ35.

Таблица 5

Масса весового износа

№	Образец	Материал	Коэффициент трения	Масса весового износа, гр.	Суммарный износ пар трения, гр.
Опора кузова вагона - Колпак скользуна					
1	Колодка	30ХГСА	0,11-0,13	0,12	1,13
	Вал	СЧ35		1,01	
2	Колодка	30ХГСА	0,10-0,12	0,05	0,56
	Вал	ЧМН-35М		0,51	
3	Колодка	20ГЛ	0,12-0,13	0,04	1,02
	Вал	СЧ35		0,98	
4	Колодка	20ГЛ	0,11-0,12	0,12	0,78
	Вал	ЧМН-35М		0,66	
5	Колодка	09Г2С	0,13-0,14	0,45	0,80
	Вал	20ГЛ		0,35	
6	Колодка	09Г2С	0,11-0,12	0,13	0,69
	Вал	ЧМН-35М		0,56	

Наличие в химическом составе чугуна ЧМН-35М молибдена (0,6-0,9 %) и никеля (0,5-0,8 %) приводит к стабилизации перлита и обеспечивает получение мартенсита в структуре чугуна (рисунок 8), что положительно влияет на износостойкость, уменьшая износ [7,8].

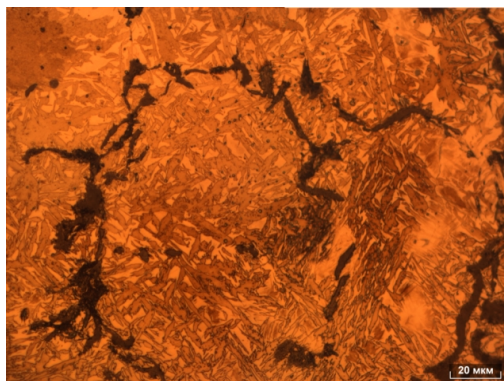


Рис. 8. Мартенсит в структуре чугуна ЧМН-35М

На основании сравнения результатов испытаний можно утверждать, что чугун ЧМН-35М полностью соответствует эксплуатационным требованиям, предъявляемым к деталям, работающим в условиях длительного циклического ударно-фрикционного воздействия.

Выводы

1. Исследование влияния концентрации легирующих элементов в чугуне ЧМН-35М выявило зависимость влияние концентрации никеля и молибдена на твердость и механические свойства разработанного материала. При уменьшении концентрации никеля менее 0,5% снижается твердость и предел прочности, при увеличении концентрации выше 0,8% твердость и предел прочности существенно не изменяются. При уменьшении концентрации молибдена менее 0,6% приводит к существенному понижению твердости и предела прочности, при концентрации более 0,9 твердость повышается, а предел прочности резко уменьшается за счет образования карбидов молибдена.

2. Исследование влияние легирующих элементов ЧМН-35М на структуру материала выявило зависимость концентрации никеля и молибдена на характер микроструктуры разработанного материала. Так ввод никеля от 0,5% до 0,8% и молибдена от 0,6% до 0,9% способствует образованию мартенситной структуры, Появление мартенсита положительно влияет на прочность и износостойкость.

3. При испытании на статический изгиб уровень прочностных свойств у модифицированного чугуна марки ЧМН-35М выше, чем у серийного чугуна марки СЧ35: разрушающее напряжение выше на 23-35%, предел общей текучести – на 30-33%, а суммарная работа разрушения - в 1,5 раза

4. Проведены сравнительные фрактографические исследования разрушения чугунов СЧ35 и ЧМН-35М. Механизм разрушения обоих чугунов одинаковый как в области зарождения, так и в распространении трещины. Разрушение проходит по хрупкому механизму с явным преобладанием межзеренного разрушения. Строение поверхности разрушения в модифицированном чугуне существенно однороднее и размер фасеток скола примерно в 1,5 раза мельче.

Список литературы

1. Габеев А.В., Марков А.М., Габеев Д.А. Исследование свойств и разработка эффективной конструкции опоры кузова вагона: монография. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ им. И.И. Ползунова, 2016. – 83 с.

2. Technological support of critical parts for railway transport working properties / A.V. Gabets, D.A. Gabets, A.M. Markov, M.V. Radchenko, S.L. Leonov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2017. – Vol. 50. – P. 012052.

3. Патент 2562554 Российская Федерация. Чугун / А.В. Габец, Д.А. Габец. – опубл. 12.08.2015.

4. *Габец Д.А., Марков А.М., Габец А.В.* Специальный модифицированный чугун марки ЧМН-35М для тяжело нагруженных деталей тележки грузового вагона // Тяжелое машиностроение. – 2016. – № 1/2. – С. 23–26.

5. Управление износостойкостью ответственных узлов и деталей подвижного состава: монография / А.В. Габец, А.М. Марков, Д.А. Габец, Е.О. Чертовских. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2016. – 213 с.

6. Методика испытания материалов на износостойкость // Инновации в машиностроении - основа технического развития России / А.М. Марков, Д.А. Габец, А.В. Габец, В.Н. Некрасов, В.В. Каргин. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ им. И.И. Ползунова, 2014. – С. 253–258.

7. Исследование микроструктуры диффузионных покрытий на чугуне ЧМН-35М, полученных химико-термической обработкой / С.Г. Иванов, А.М. Гурьев, А.М. Марков, М.А. Гурьев, А.В. Габец, Д.А. Габец // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2016. – Т. 13, № 4. – С. 497–500.

8. *Сухов А.В., Борц Б.В., Габец А.В.* Повышение износостойкости пары трения клин фрикционный – планка фрикционная клинового гасителя колебаний тележки грузового вагона // Вестник ВНИИЖТ. – 2015. – № 5. – С. 25–29.

INVESTIGATION OF CHEMICAL COMPOSITION AND MATERIAL STRUCTURE INFLUENCE ON MECHANICAL PROPERTIES OF SPECIAL CAST IRON

Gabets D.A.¹, Post-graduate student, e-mail: gabets22@mail.ru

Markov A.M.¹, D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: andmarkov@inbox.ru

Gabets A.V.², Ph.D. (Engineering), Development director, e-mail: gabets22@gmail.com

¹ I.I. Polzunov Altai State Technical University, 46 Lenina avenue, Barnaul, Altai region, 656038, Russian Federation

² Altai steel-casting factory, 116/52 Kalinina avenue, Barnaul, Altai region, 656037, Russian Federation

Abstract

New wear-resistant special cast iron CHMN-35M was obtained to be used for parts which are operated under the conditions of intense friction loads. Wear resistant properties of experimental material in friction couples with a different type of steel were investigated. Influence of nickel and molybdenum on structure and mechanical properties of special cast iron CHMN-35M are presented in this article.

Keywords

Friction couple, wear resistant cast iron, Fe-C alloy investigation, special cast iron CHMN-35M, study of tribological properties, influence of nickel and molybdenum, martensite in grey cast iron

УДК 669.58

**ВЛИЯНИЕ ТЕРМОДИФФУЗИОННОГО ЦИНКОВАНИЯ НА ПРОЧНОСТНЫЕ
СВОЙСТВА ТЕРМИЧЕСКИ ОБРАБОТАННЫХ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ***В.М. КОНСТАНТИНОВ, доктор техн. наук, профессор
И.А. БУЛОЙЧИК, научный сотрудник***В.М. Константинов** – 220013, г. Минск, пр. Независимости, 65
Белорусский национальный технический университет
e-mail: v_m_konst@mail.ru

В статье представлены данные о влиянии способа термодиффузионного цинкования в порошковых насыщающих средах на эксплуатационные свойства термически упрочненных стальных изделий. Определены границы температурных интервалов влияния термодиффузионного цинкования на изменение предела прочности при растяжении термообработанных деталей. Показано, что в условиях циклического усталостного нагружения обработка способом термодиффузионного цинкования может приводить к разупрочнению стальных изделий, что связано с формированием высокотвердых интерметаллидных фаз в поверхностной зоне диффузионного слоя.

Ключевые слова: цинкование в порошковых насыщающих смесях, цинковые покрытия, предел прочности, усталость металла

Введение

При использовании способа термодиффузионного цинкования в порошковых насыщающих средах (ТДЦ), принимая во внимание температурный интервал данного процесса, который находится в диапазоне от 300 до 700 °С могут возникнуть проблемы, связанные с потерей изделиями эксплуатационных свойств в связи с разупрочняющим воздействием температур ТДЦ на структуру стали. Согласно данным источника [1], диффузионное цинкование не оказывает влияние на относительное удлинение, а так же пределы прочности и текучести стали.

Так, согласно данным источника [2], где представлены исследования влияния цинкования в расплаве и электролитического цинкования на усталостную прочность сталей после различного типа термической обработки, отмечено снижение прочностных показателей для образцов, оцинкованных в расплаве, что связано с зарождением и распространением усталостных трещин в зоне формирования твердых интерметаллидных фаз диффузионного слоя.

В свою очередь данных о исследовании влияния процессов диффузионного цинкования в порошковых насыщающих средах на изменение прочностных характеристик термически обработанных стальных изделий не достаточно.

Таким образом, существует необходимость в исследовании влияния процессов термодиффузионного цинкования на изменение прочностных свойств стальных изделий подверженных термической обработке, а так же определении допустимых значений класса прочности и условий эксплуатации стальных изделий, целесообразных для цинкования данным способом.

Методика экспериментального исследования

Для проведения экспериментов использовали 2 типа образцов: 1) Крепеж прошедший окончательную термическую обработку, оцинкованный способом ТДЦ, и электролитическим цинкованием, подвергли испытаниям на разрыв согласно ГОСТ 1759.4-87 [3]. В ходе проведения испытаний разрушение всех образцов крепежных элементов происходило по резьбе (рисунок 1).



Рис. 1. Образцы крепежных элементов с диффузионным цинковым слоем после испытания

2) С целью определения влияния формирования цинкового диффузионного слоя на усталостные характеристики стальных изделий, провели сравнительное исследование механических свойств при циклических нагрузках термически обработанных образцов из стали 45 с дополнительной обработкой способом ТДЦ и без антикоррозионной обработки. Режимы термической обработки исследуемых образцов для усталостных испытаний приведены в таблице 1.

Таблица 1

Термическая обработка образцов перед проведением испытаний

Тип образцов	Режимы термической обработки	
	Закалка	Отпуск
Диффузионный слой отсутствует	Нагрев под закалку до 850°C – в защитной атмосфере. Выдержка 30 мин. Охлаждение вертикально – в воду.	Отпуск 450°C , 180 мин (3 часа)
Обработанные способом ТДЦ		ТДЦ в стационарном тигле при 450°C , 120 мин.

Испытания проводили ускоренным методом ступенчатого нагружения согласно СТБ 1233-2000 [4] по схеме, представленной на рисунках 2, 3.

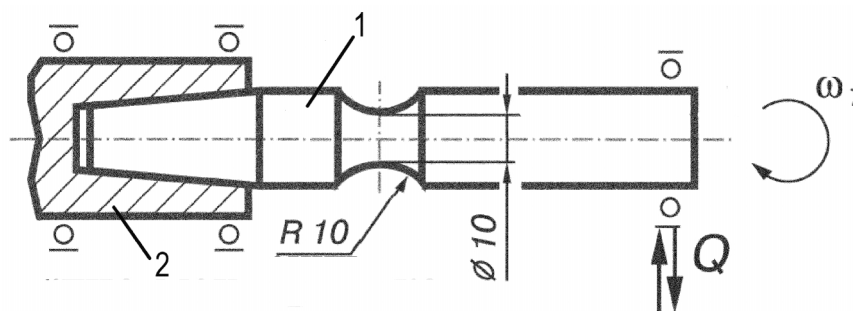


Рис. 2. Общая схема испытаний на консольный изгиб с вращением
1 – образец, 2 – шпиндель испытательной машины
Q – нагрузка на образец; ω – частота вращения образца.

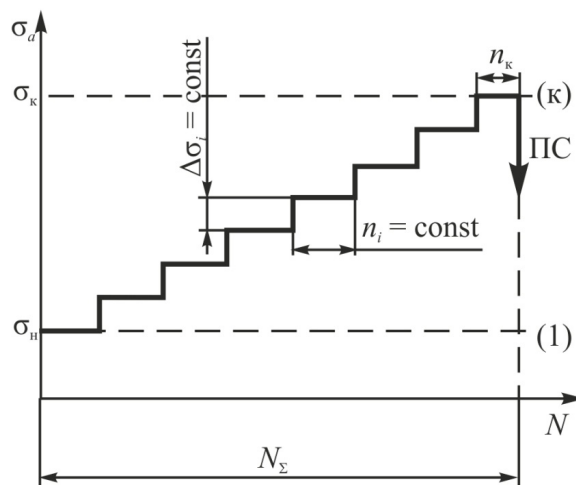


Рис. 3. Графическое представление режима испытаний

Частота вращения образца составляла 3000 мин^{-1} . Заданное значение начального уровня амплитуды напряжений при изгибе (σ_H) составляло 200 МПа. Интервал приращения амплитуды напряжений при изгибе ($\Delta\sigma_i$) приняли равным 50 МПа. Длительность ступени нагружения (n_i) составляла 10^5 циклов. Число циклов n_k на последней ступени нагружения определяли достижением предельного состояния (изломом образца). Переход на каждую ступень нагружения осуществляли без промежуточных пауз. По результатам испытаний определяли предельное напряжение при изгибе σ_K и долговечность образца N_Σ

Результаты и обсуждение

Результаты испытания на разрыв для термически обработанного крепежа, представленные в таблицах 2 не выявили изменения эксплуатационных характеристик диффузионно оцинкованного крепежа в сравнении с крепежом, оцинкованным электролитическим способом цинкования.

Таблица 2

Результаты испытания болтов на растяжение

Номинальный диаметр резьбы, мм	Вид обработки болта	Реальное значение временного сопротивления σ_b (Н/мм ²)
1	2	3
8	Закалка + отпуск + ТДЦ (1)	552
8	Закалка + отпуск + ТДЦ (2)	601
8	Закалка + отпуск + ТДЦ (3)	612
8	Закалка + отпуск + гальваника (1)	519
8	Закалка + отпуск + гальваника (2)	525
8	Закалка + отпуск + гальваника (3)	607
6	Закалка + отпуск + ТДЦ (1)	627
6	Закалка + отпуск + ТДЦ (2)	647
6	Закалка + отпуск + ТДЦ (3)	587
6	Закалка + отпуск + гальваника (1)	677
6	Закалка + отпуск + гальваника (2)	706
6	Закалка + отпуск + гальваника (3)	617

Фактическое значение временного сопротивления для данной группы образцов, оцинкованных способом ТДЦ сопоставимо с данными временного сопротивления для образцов с электролитическим цинковым покрытием. Данный факт свидетельствует об исключении влияния температур реализации процессов ТДЦ порядка 420°C на прочностные характеристики изделий. Следует отметить, что с повышением температуры диффузионного цинкования свыше 420°C вероятность разупрочнения термически обработанного крепежа возрастает [5].

По результатам фрактографического анализа для всех типов образцов характерен вязкий излом. Отличительной особенностью разрушения образцов, оцинкованных электролитическим способом, является отслоение гальванического покрытия на удлиненном после испытания участке (Рисунок 4 а, б).

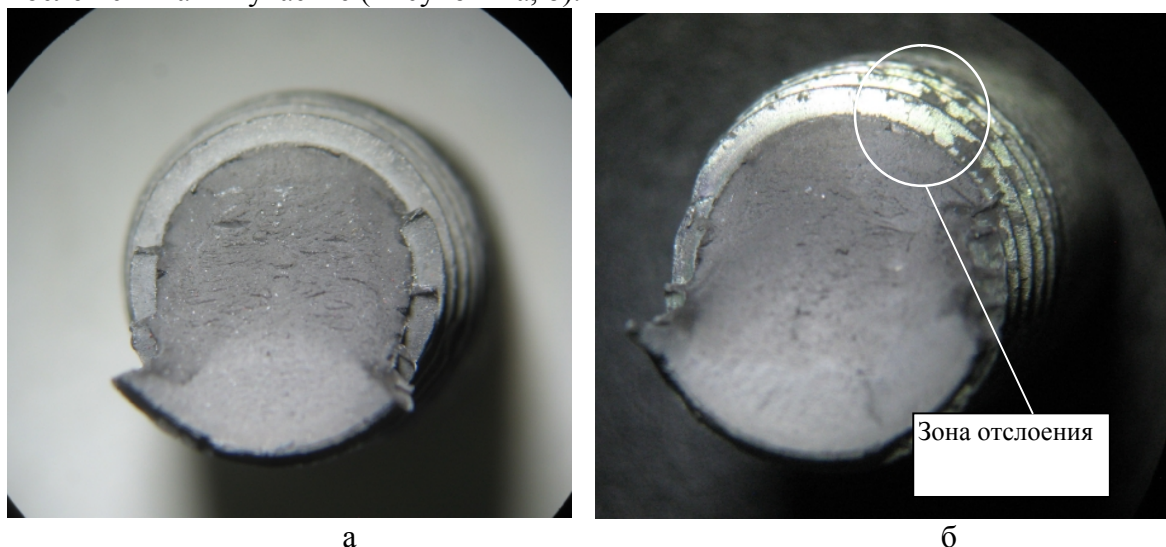


Рис. 4. Фрактография изломов крепежных элементов с диффузионным (а) и электролитическим (б) типом цинкового покрытия после испытания на растяжение, X10

На образцах, обработанных способом ТДЦ, следов отслоения слоя цинка не обнаружено, что связано с повышенной адгезионной прочностью такого типа защитного покрытия за счет диффузионного взаимодействия атомов цинка и стальной основы.

Результаты испытаний на механическую усталость для каждого исследуемого образца приведены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты испытаний образцов на механическую усталость		
№ образца	Предельное напряжение при изгибе σ_k , МПа	Долговечность образца N_{Σ} , цикл
Образцы с диффузионным слоем		
1	350	332350
2	300	253523
3	350	353364
Образцы без защитного покрытия		
4	400	484016
5	400	436715
6	400	458241

Образцы с цинковым диффузионным слоем продемонстрировали меньшую долговечность и меньшее предельное напряжение при изгибе в сравнении со стальными образцами без защитного цинкового покрытия. Данный факт может быть обусловлен формированием хрупких интерметаллидных фаз (Γ - фаза) в переходной зоне от стальной основы к диффузионному слою в исследуемых образцах. Они являются концентраторами напряжений, которые, при увеличении знакопеременной внешней нагрузки, могут являться причиной зарождения усталостной трещины [6].

Фрактографический анализ изломов образцов после испытаний с цинковым диффузионным слоем (а) и без защитного покрытия (б) свидетельствуют о формировании усталостной трещины в поверхностной зоне детали (рисунок 5).

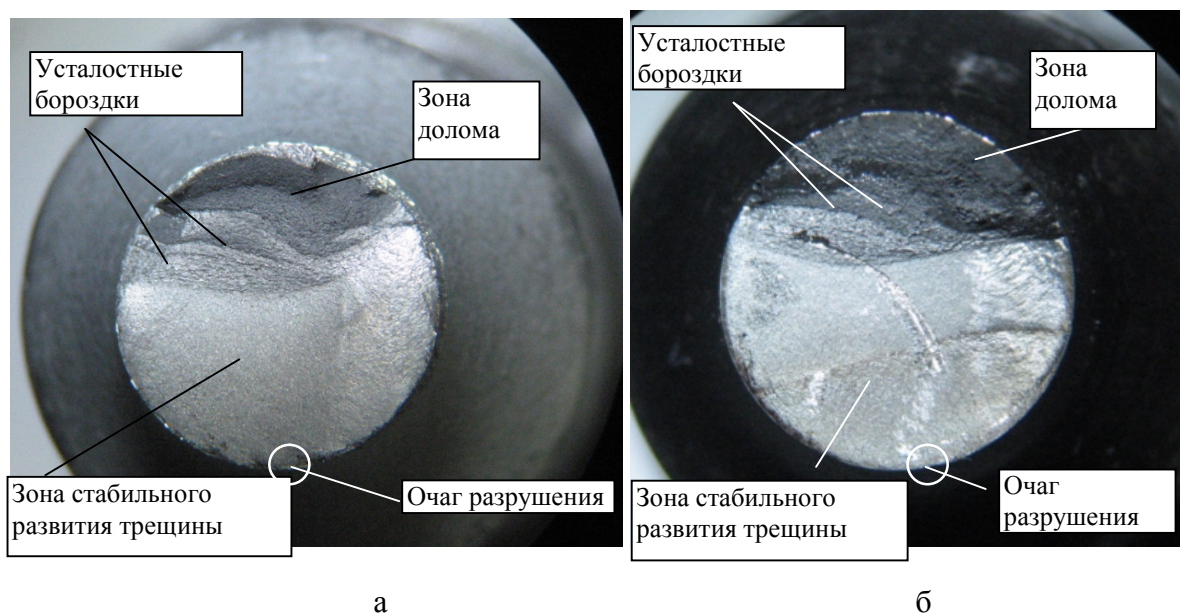


Рис. 5. Характер изломов образцов после проведения усталостных испытаний X 20
(а) – образец с цинковым диффузионным слоем
(б) – образец без защитного покрытия

Выводы

Применяя технологии ТДЦ для антикоррозионной защиты деталей с регламентируемыми прочностными параметрами, следует учитывать влияние температур реализации процесса ТДЦ на структуру и эксплуатационные свойства изделий. Фактическое значение временного сопротивления образцов, оцинкованных способом ТДЦ, сопоставимо с данными временного сопротивления для образцов с электролитическим цинковым покрытием. Данный факт свидетельствует об исключении влияния температур реализации процессов ТДЦ до (420 °С) на прочностные характеристики изделий. С повышением температуры диффузионного цинкования свыше 420 °С вероятность разупрочнения термически обработанного крепежа возрастает.

Для деталей, работающих в условиях повторно статического (малоциклового) и усталостного (многоциклового) нагружений, испытывающих при эксплуатации свыше 10^4 циклов нагружений, антикоррозионная защита способом ТДЦ, может стать причиной снижения усталостных свойств за счет наличия высокотвердых хрупких фаз в цинковом диффузионном слое. В свою очередь способ термодиффузионного цинкования можно применять для ряда деталей, испытывающих в процессе эксплуатации до 10^2 циклов нагружений, (статическое нагружение) без потери эксплуатационных свойств изделий.

Для деталей подвергаемых термической обработки с использованием закалки и последующего отпуска для снятия закалочных напряжений, совмещение среднего отпуска с процессом нанесения защитного покрытия, является эффективным технологическим решением и позволяет повысить срок службы изделий с существенным снижением затрат на антикоррозионную обработку.

Список литературы

1. *Проскуркин Е.В., Горбунов Н.С.* Диффузионные цинковые покрытия. – М.: Металлургия, 1972. – 248 с.
2. *Swanger W.H., France R.D.* Effect of zinc coatings on the endurance properties of steel // Bureau of Standards Journal Research. – 1932. – Vol. 9. – RP 454.
3. ГОСТ 1759.4–87. Болты, винты и шпильки. Механические свойства и методы испытаний.
4. СТБ 1233–2000. Трибофатика. Методы износоусталостных испытаний. Ускоренные испытания на контактно-механическую усталость.
5. *Konstantinov V.M., Buloichyk I.A.* Some aspects of sherardizing implementation during anti-corrosion protection of heat-treated metal parts // IOP Conference Series. Materials Science and Engineering. – 2015. – Vol. 71. – P. 012063. – doi: 10.1088/1757-899X/71/1/012063.
6. The effect of Al and Cr additions on pack cementation zinc coatings / D. Chaliampalias, M. Papazoglou, S. Tsipas, E. Pavlidou, S. Skolianos, G. Stergioudis, G. Vourlias // Applied Surface Science. – 2010. – Vol. 256, iss. 11. – P. 3618–3623.

INFLUENCE OF THERMO DIFFUSION PACK CEMENTATION ON MECHANICAL PROPERTIES OF HEAT-TREATED STEEL ARTICLES

Konstantinov V.M., D. Sc. (Engineering), Professor, e-mail: v_m_konst@mail.ru
Buloichyk I.A., Scientific associate, e-mail: ilya.by@gmail.com

Belarusian National Technical University, Material Science in Mechanical department, 65 Nezavisimosty avenue, Minsk, 220013, Republic of Belarus

Abstract

The article reveals the data concerning the mechanical properties changes of heat-treated steel articles subjected to thermo diffusion pack cementation. The temperature frames of thermo diffusion influence on tensile strength were determined for heat-treated steel articles. Results of tensile test of high strength bolts treated using thermo diffusion pack cementation at 420 °C show no any effect from the side of pack cementation treatment on working properties of the tested samples. It is shown that in conditions of cyclic fatigue loading thermo diffusion pack cementation of heat treated article may leads to strength loss that can be explained by formation of solid intermetallic phases in a surface area of the article.

Keywords

thermo diffusion pack cementation, zinc coatings, tensile strength, metal fatigue

УДК 621.691.92: 669.018.25

**МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ,
ПОЛУЧЕННЫХ НАПЛАВКОЙ УГЛЕРОДНОГО ВОЛОКНА НА СТАЛЬ
ЭЛЕКТРОННЫМ ЛУЧОМ В ВОЗДУШНОЙ АТМОСФЕРЕ***

*А.И. БАРДИН, студент
А.А. ЛОСИНСКАЯ, канд. техн. наук, доцент
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Бардин А.И. – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: alexxeixxx13@yandex.ru

В настоящее время актуальной проблемой материаловедения является повышение эксплуатационных свойств сталей. В работе определены некоторые механические свойства материалов, полученных наплавкой углеродного волокна на сталь электронно-лучевым методом в воздушной атмосфере. Глубина упрочнённых слоёв варьируется от 1,5 до 3 мм. Ударная вязкость образцов превышает 50 Дж/см². Износостойкость полученных покрытий превосходит свойства стали 20 после цементации и закалки с низким отпускком. Так же приведены результаты исследования микротвёрдости полученных слоёв и микроструктуры. Твёрдость поверхностных слоёв превосходит 5000 МПа.

Ключевые слова: сталь, цементация, электронный луч, износостойкость, ударная вязкость.

Введение

Большинство деталей машин работает в условиях износа и циклических нагрузок. Обычно в процессе эксплуатации максимальные напряжения возникают в поверхностных слоях металла. Для повышения долговечности деталей машин существует большое количество методов упрочнения. Среди которых можно выделить процесс цементации, как наиболее экономичный и распространенный метод поверхностного упрочнения стальных изделий. Но цементация обладает рядом недостатков, среди них высокая длительность процесса и большая энергоёмкость [1]. В современной литературе имеются данные по формированию упрочнённых слоёв с использованием лазерного, ионного, электронного и плазменного излучения [2-8]. Каждый из видов излучения имеет свои плюсы и недостатки. Особенно если речь идёт о наплавке. На данный момент в мире физика процессов высокоэнергетических обработок хорошо изучена [9]. Технология вневакуумной электронно-лучевой обработки представляет большой интерес в вопросе создания высокопрочных покрытий [10].

В проведенных ранее исследованиях было выявлено, что вневакуумная электронно-лучевая обработка является эффективным методом создания высокоуглеродистых покрытий на сталях с применением углеродсодержащих порошков [11, 12]. Исследования, посвященные использованию углеродных волокон для наплавки, проводятся не так давно, основные полученные результаты опубликованы в работах [13-15]. Однако изучению механических свойств материалов, сформированных описанным выше способом, уделялось недостаточное внимание. Данная работа посвящена ускоренной цементации стальных заготовок по методу электронно-лучевого оплавления углеродных волокон на промышленном ускорителе электронов ЭЛВ-6 и исследованию механических свойств полученных материалов.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-33-00141 мол_а

Методика

В данной работе при помощи вневакуумной электронно-лучевой обработки углеродного волокна GG 210-P формировались высокоуглеродистые слои на стали 20 с использованием промышленного ускорителя электронов ЭЛВ-6 производства ИЯФ СО РАН. Сущность процесса вневакуумного электронно-лучевого воздействия состоит в том, что кинетическая энергия, сформированного в вакууме электронного пучка, выводится в воздушную атмосферу и превращается в тепловую в зоне обработки. Именно возможность вывести электронный пучок в воздушную атмосферу является преимущественным для данного типа обработки. Высокая энергия луча имеет большой КПД (до 75%) и это самое высокое значение, относительно других видов высокоэнергетического воздействия [16].

Для равномерного распределения углерода в основном материале, применялась смачивающая компонента – особо чистый порошок железа. Так же использовали флюс и клей. Клей использовался для предотвращения сдувания наплавляемых материалов ударной волной электронного пучка с поверхности обрабатываемого материала. Смесь связующего вещества с порошками железа и флюса наносилась двумя способами. Первый способ заключался в нанесении смеси поверх двух слоев волокна, второй способ был дополнен нанесением смеси между слоями волокна. Состав наплавляемого материала: 13 % (масс.) углерода, 37 % (масс.) железа и 50 % (масс.) флюса, 100 % (масс.) связующего вещества. Перед нанесением наплавляемого материала поверхность очищалась от окислов и обезжиривалась. После нанесения заготовки сушились в печи при 40 °С до полного высыхания связующего вещества.

Поверхность заготовки в процессе электронно-лучевой обработки находилась на расстоянии 90 мм от выпускного отверстия. Энергия пучка электронов составляла 1,4 МэВ, ток пучка – 8 и 10 мА. Обработка проходила в дорожечном режиме, со скоростью 10 и 25 мм/с.

Металлографические исследования образцов были выполнены на оптическом микроскопе *AxioObserverA1m* при увеличениях в диапазоне от x25 до x1000. Микротвердость исследуемых покрытий оценивали с применением полуавтоматического микротвердомера *WolpertGroup 402MVD* в соответствии с ГОСТ 9450-76. Испытания на ударную вязкость материалов с наплавленными покрытиями проводили на маятниковом копре *Metrocom*. Максимальная энергия маятника составляет 300 Дж.

Результаты и обсуждения

В результате наплавки были получены слои толщиной до 3 мм с содержанием углерода 2,2 %. Металлографическое исследование обнаруживает следующее строение обработанных образцов: верхний высокоуглеродистый слой, зона термического влияния, зона основного неизмененного металла (рис. 1,2). В структуре верхнего слоя наблюдается перлит, вторичный цементит и ледебурит. Фаза вторичного цементита имеет видманштеттову морфологию. Зона термического влияния состоит из перлита и феррита видманштеттова типа. Макроскопические дефекты - трещины, поры - в обработанных образцах не обнаружены.

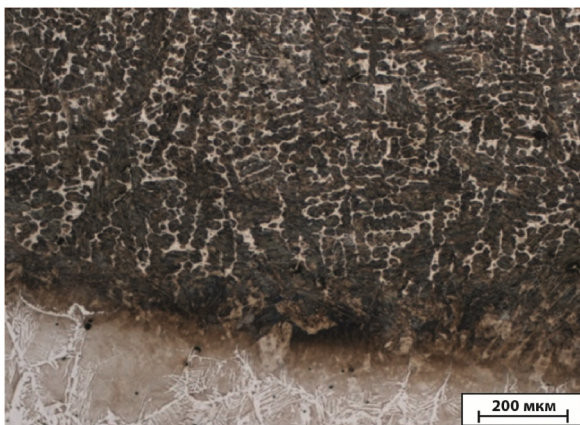


Рис. 1. Структура наплавки с переходной зоной

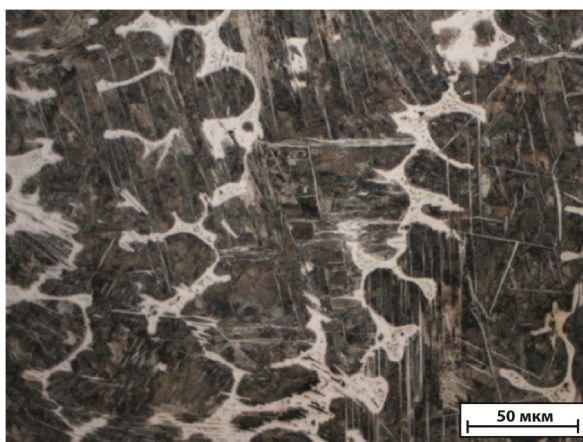


Рис. 2. Структура упрочнённого слоя

Микротвердость наплавленных слоев достигает 5000 МПа. Триботехнические испытания показали, что при воздействии закрепленных частиц абразива износостойкость наплавленных слоев соответствует свойствам стали 20 после цементации с закалкой с низким отпуском (рис. 3).

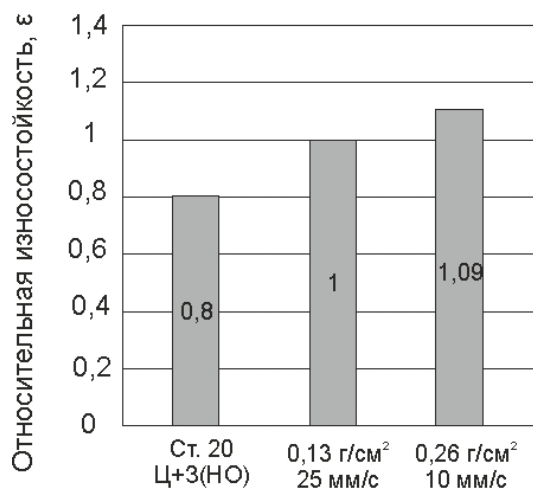


Рис. 3. Результаты испытания на износостойкость

Максимальной ударной вязкостью обладают образцы из стали 20 с феррито-перлитной структурой 125 Дж/см². Наличие высокоуглеродистых слоев приводит к снижению ударной вязкости образцов. Объясняется это повышенной хрупкостью поверхностно упрочненных слоев и высоким качеством их соединения с основным

металлом. После электронно-лучевой наплавки ударная вязкость стали 20 с высокоуглеродистыми слоями в 2,5 раза ниже по сравнению с исходным неупрочненным состоянием.

Выводы

Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что вневакуумная электронно-лучевая наплавка углеродных волокон является эффективным методом создания высокоуглеродистых слоёв большой глубины на поверхностях низкоуглеродистых стальных деталей. Формируемые слои обладают высокой твердостью, износостойкостью и приемлемой ударной вязкостью.

Список литературы

1. *Лахтин Ю.М., Арзамасов Б.Н.* Химико-термическая обработка металлов: учебное пособие для вузов. – М.: Металлургия, 1985. – 256 с.
2. Coated metal. Structure and properties of metal-coating compositions / L.I. Tushinsky, I.M. Kovensky, A.V. Plokhov, V.I. Sindeyev, P.V. Reshedko. – Berlin; Heidelberg; New-York: Springer, 2002. – 457 p.
3. Microstructure and wear property of carbon nanotube carburizing carbon steel by laser surface remelting / J. Yao, Q. Zhang, M. Gao, W. Zhang // *Applied Surface Science*. – 2008. – Vol. 254. – P. 7092–7097.
4. Laser surface treatments of iron-based substrates for automotive application / J.H. Abboud, K.Y. Benyounis, A.G. Olabi, M.S.J. Hashmi // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2007. – Vol. 182. – P. 427–431.
5. *Клебанов Ю.Д., Григорьев С.Н.* Физические основы применения концентрированных потоков энергии в технологиях обработки материалов: учебник. – М.: Изд-во МГТУ Станкин, 2005. – 220 с.
6. Mechanisms of hardening, wear and corrosion improvement of 316 L stainless steel by low energy high current pulsed electron beam surface treatment / J.X. Zou, K.M. Zhang, S.Z. Hao, C. Dong, T. Grosdidier // *Thin Solid Films*. – 2010. – Vol. 519. – P. 1404–1415.
7. Formation of high-carbon abrasion-resistant surface layers when high-energy heating by high-frequency currents / N.V. Plotnikova, V.Y. Skeebe, N.V. Martyushev, R.A. Miller, N.S. Rubtsova // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2016. – Vol. 156.
8. Structure and tribological properties of steel after non-vacuum electron beam cladding of Ti, Mo and graphite powders / I. Bataev, D. Mul, A. Bataev, O. Lenivtseva, M. Golkovski, Y. Lizunkova, R. Dostavalov // *Materials Characterization*. – 2016. – Vol. 112. – P. 60–67.
9. Высокоэнергетические процессы обработки материалов / Х.М. Рахимьянов, О.П. Солоненко, А.П. Алхимов, В.В. Марусин и др. – Новосибирск, 2000. – 425 с.
10. *Голковский М.Г., Тушинский Л.И., Барис Н.М.* Физико-химические основы электроннолучевой вневакуумной наплавки защитных покрытий на титановые сплавы // Новые высокоэнергетические технологии упрочнения металлов / УНЦ новых высокоэнергетических технологий упрочнения металлов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000. – С. 14–27.
11. Surface hardening of steels with carbon by non-vacuum electron-beam processing / I. Bataev, M. Golkovskii, A. Bataev, A. Losinskaya, R. Dostovalov, A. Popelyukh, E. Drobyaz // *Surface & Coatings Technology*. – 2014. – Vol. 242. – P. 164–169. – doi: 10.1016/j.surfcoat.2014.01.038.

12. Структура и свойства поверхностных слоев низкоуглеродистой стали, полученных методом наплавки углеродсодержащих порошковых смесей и последующей закалки / А.А. Лосинская, Е.А. Дробяз, В.А. Батаев, Н.В. Плотникова, М.Г. Голковский // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2013. – № 4 (61). – С. 5–11.
13. Surface alloying of cylindrical steel parts using non-vacuum electron beam treatment / A. Losinskaya, D. Golovin, O. Lenivtseva, E. Lozhkina // *Applied Mechanics and Materials*. – 2015. – Vol. 788: *Actual Problems and Decisions in Machine Building*. – P. 237–240.
14. Бардин А.И. Получение высокоуглеродистых слоев на низкоуглеродистых сталях методом вневакуумной электронно-лучевой обработки углеродных волокон // *Наука. Технологии. Инновации: сборник научных трудов: в 9 ч. / под ред. Ю.В. Ваняг*. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. – Ч. 3. – С. 101–102.
15. Бардин А.И. Получение высокоуглеродистых слоев на сталях методом вневакуумной электронно-лучевой обработки углеродных волокон // *Материалы 54-й Международной научной студенческой конференции МНСК-16: новые конструкционные материалы / Новосибирский государственный университет*. – Новосибирск, 2016. – С. 7.
16. Применение ускорителей серии ЭЛВ в радиационно-технологических процессах / М.Э. Вейс, Ю.И. Голубенко, Н.К. Куксанов и др. // *Машиностроитель*. – 2004. – № 8. – С. 24–28.

MECHANICAL PROPERTIES OF THE MATERIALS OBTAINED BY CLADDING OF CARBON FIBER ON STEEL USING ELECTRON BEAM IN THE AIR ATMOSPHERE

Bardin A.I., Student, e-mail: alexeixxx13@yandex.ru

Losinskaya A.A., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: anna.losinskaya@mail.ru

Novosibirsk State Technical University, 20 Prospect K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation.

Abstract

The formation of the high-carbon layers on the low-carbon steel (0.18 % C) by use of the method of electron-beam partial melting of the carbon fibers is considered. A 1.4 MeV electron beam that was extracted into air was used. The features of the cladded layers formation by use of different binders for a reliable fixation of the cladding material are studied. It is revealed that the best results are obtained using the phenol-formaldehyde glue as the binder. A 3 mm thickness layers with 2.2 % C are shown to be formed. In friction tests against fixed abrasive particles, the wear-resistance of the cladding layers was close to the wear resistance of pack-carburized specimens. The fracture toughness of samples exceeds 50 J/cm². The hardness of the surface layer exceeds 5000 MPa.

Keywords

steel, carburizing, electron beam, wear resistance, toughness

Funding

The study was financially supported by RFBR in the framework of a research project number 16-33-00141mol_a

УДК 621.791.13

**СТРУКТУРА И ПРОЧНОСТЬ СОЕДИНЕНИЙ
НА ОСНОВЕ ТИТАНА И НИКЕЛЕВОГО СПЛАВА,
СВАРЕННЫХ ВЗРЫВОМ ЧЕРЕЗ ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ СЛОИ**

*Д.Е. ФОМИНА, студент
М.С. АЛИКИНА, студент
Е.В. ХАЙБУЛИН, студент
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Фомина Д.Е. – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: gaga.95@mail.ru

В работе представлены результаты исследований микроструктуры и механических свойств сваренных взрывом четырехслойных композиций типа Ti-Ta-Cu-Ni сплав и Ti-Ta-Ni-Ni сплав, где Ta-Cu и Ta-Ni – промежуточные слои. Так как при соединении титан и никель образуют нежелательные химические соединения, в том числе и интерметаллиды, в работе представлено одно из решений данных проблем, основанное на введении промежуточных слоев. Одной из задач являлось определение оптимальной толщины промежуточных слоев, которая обеспечивает высокую прочность многослойных композиций. Для этого сваркой взрывом были получены соединения, в которых варьировалась толщина пластин тантала от 0,3 до 0,7 мм. Микроструктурные исследования многослойных композиций с различной толщиной пластины тантала свидетельствуют о формировании бездефектных соединений, которые отличаются геометрией сварных швов. Прочностные испытания показали, что прочность композиций определяется материалом промежуточного слоя. В композициях с прослойкой медь-тантал прочность определяется наименее прочной – медью, а в композициях с прослойкой никель-тантал – толщиной танталовой пластины.

Ключевые слова: титан, никель, тантал, медь, сварка взрывом, промежуточные слои.

Введение

При изготовлении деталей ответственного назначения используют композиционные материалы слоистого типа [1, 2]. Возможность соединения практически любых металлов и их сплавов, даже тех, сварка которых другими способами затруднена, представляет собой сложную задачу, которая в большинстве случаев не может быть реализована с использованием традиционных методов сварки плавлением, в частности дуговой или плазменной сваркой. Чтобы получить материалы данного типа необходимо использовать рациональный технологический процесс, который позволяет получить высококачественные соединения из разнородных материалов. Таким процессом является сварка взрывом [3].

Сварка взрывом представляет собой технологический метод получения биметаллических и многослойных соединений за счет энергии взрыва [4 - 9]. Одним из преимуществ данного метода является возможность соединения практически всех разнородных металлов и сплавов.

Материалы и методы исследования

В работе представлены четырёхслойные композиции типа Ti-Ta-Cu-Ni сплав и Ti-Ta-Ni-Ni сплав, где Ta-Cu и Ta-Ni – промежуточные слои. В качестве исходных материалов исследования, которые входили в состав анализируемых композитов, были выбраны: титан BT1-0, никелевый сплав ХН73МБТЮ-ВД, медь М1, никель НП2, тантал ТВЧ.

Никелевый сплав толщиной 5 мм использовали в качестве неподвижной пластины. Сверху последовательно располагали фольги из меди (или никеля) толщиной 0,1 мм, пластин тантала различной толщины (0,3; 0,5 и 0,7 мм). В качестве метаемой пластины использовали титан (BT1-0) толщиной 0,2 мм. Расстояние между пластинами составляло 1 мм. В качестве взрывчатого вещества был выбран аммонит 6ЖВ, который находился непосредственно на титановой пластине. Толщина взрывчатого вещества составляла 20 мм. Скорость детонации взрывчатого вещества составляла $3800 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, угол соударения пластин был равен 17° . Применение таких жестких режимов обусловлено тем, что сварка взрывом осуществлялась за один подрыв и позволяла полностью сварить пакет из всех пластин. Схема параллельной сварки взрывом изображена на рисунке 1.

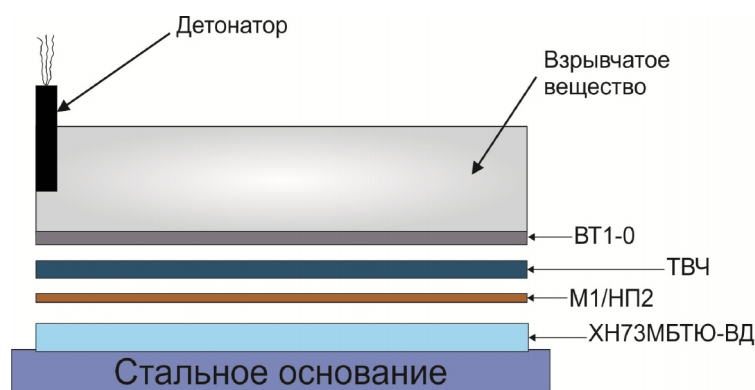


Рис. 1. Схема сварки взрывом четырехслойных композитов

Изучение микроструктуры полученных многослойных композитов проводилось на вырезанных в продольном, относительно распространения фронта волны, направлении образцах, из которых далее были изготовлены микрошлифы. Исследование осуществлялось на оптическом микроскопе Axiovert 40 MAT фирмы Carl Zeiss в режиме светлого поля в диапазоне увеличений от 100 до 1000 крат.

Прочностные испытания проводились на образцах, представленных на рисунке 2. Растяжение образцов осуществлялось вдоль расположения слоев.

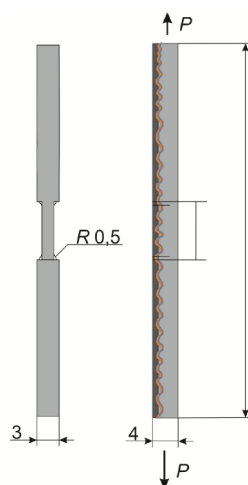


Рис. 2. Продольное расположение слоев в образцах относительно приложенной нагрузки при испытании на растяжение

Результаты исследований

Общий вид многослойных композиций типа Ti-Ta-Cu-Ni сплав с различной толщиной танталовой пластины представлен на рисунке 3. Микроструктурные исследования показали, что сварной шов на границе медь-никелевый сплав является волнообразным. Во всех остальных случаях соединения имели преимущественное безволновое строение, что обусловлено физико-механическими свойствами свариваемых материалов. На границе медь-никелевый сплав на некоторых участках были обнаружены микротрещины, что может быть с одной стороны связано с малопластичными свойствами никелевого сплава, а с другой – жесткими режимами сварки взрывом, необходимыми для соединения всех слоев.

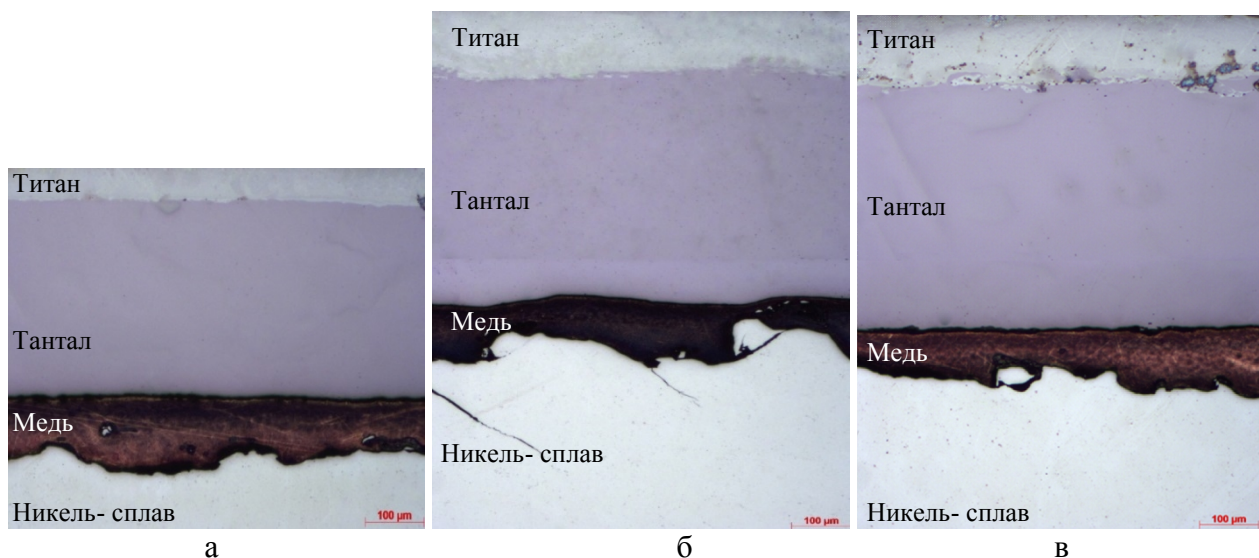


Рис. 3. Общий вид четырехслойных композитов типа Ti-Ta-Cu-Ni сплав с различной толщиной танталовой пластины: а – Та-0,3 мм, б – Та-0,5мм, в – Та-0,7мм

На рисунке 4 изображены результаты микроструктурных исследований образцов, в которых промежуточными слоями были тантал-никель.

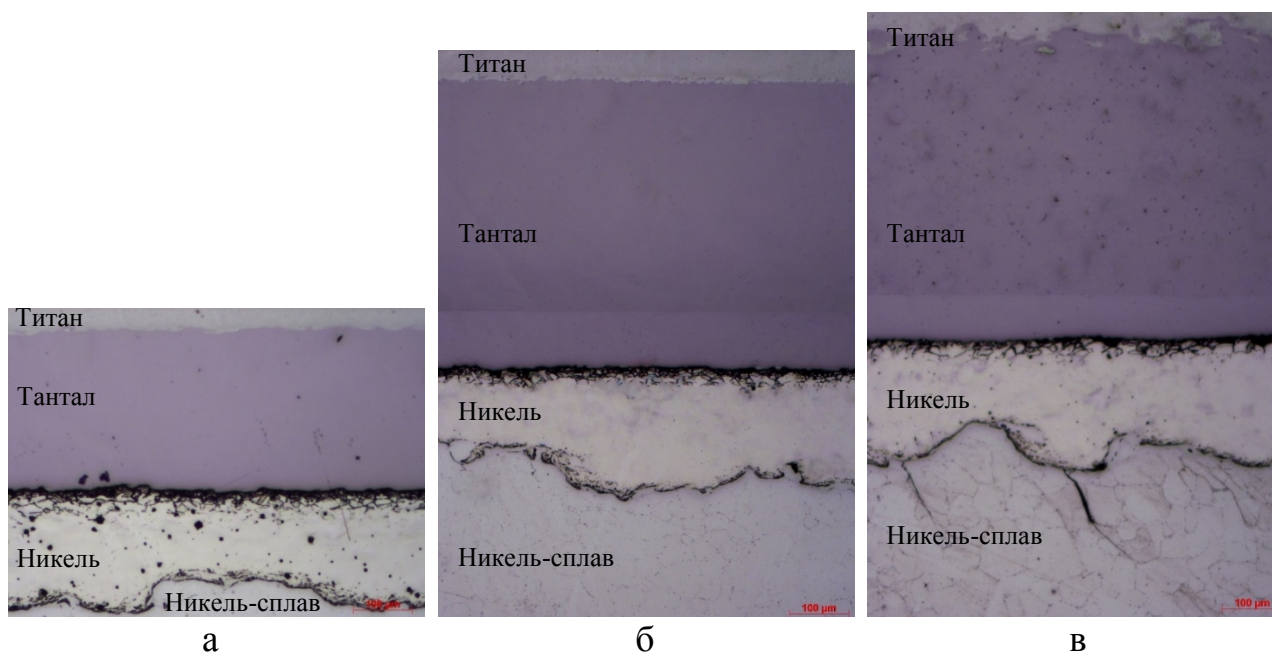


Рис. 4. Общий вид композита с никель-танталовой прослойкой:
а – Та-0,3 мм; б – Та-0,5мм; в – Та-0,7мм

Толщина тантала также изменялась от 0,3 до 0,7 мм. В композитах данного типа, с различной толщиной танталовой пластины, видимых дефектов, негативно влияющих на свойства материала, обнаружено не было. Граница никель-никелевый сплав имеет сварной шов волнообразной формы. На границах никель-тантал и никель-никелевый сплав можно наблюдать сплошные темные полосы, которые свидетельствуют о протекании в этих областях интенсивных пластических деформаций.

Результаты прочностных испытаний показали, что в композициях с медь-танталовой прослойкой толщина тантала не оказывает влияния на предел прочности и предел текучести материалов (рисунок 4). Средний предел прочности для всех композиций составил 550 МПа. Для данных композиционных материалов прочностные свойства определяются наименее прочным материалом композиции – медью. Иная картина наблюдается при испытании композиций, содержащих прослойку из никеля и тантала (рисунок 5). С увеличением толщины тантала прочность композиций падает. Максимальный предел прочности 1200 МПа характерен для композиций с толщиной тантала 0,3 мм. При увеличении толщины тантала до 0,7 мм падение прочностных характеристик произошло в 2 раза.

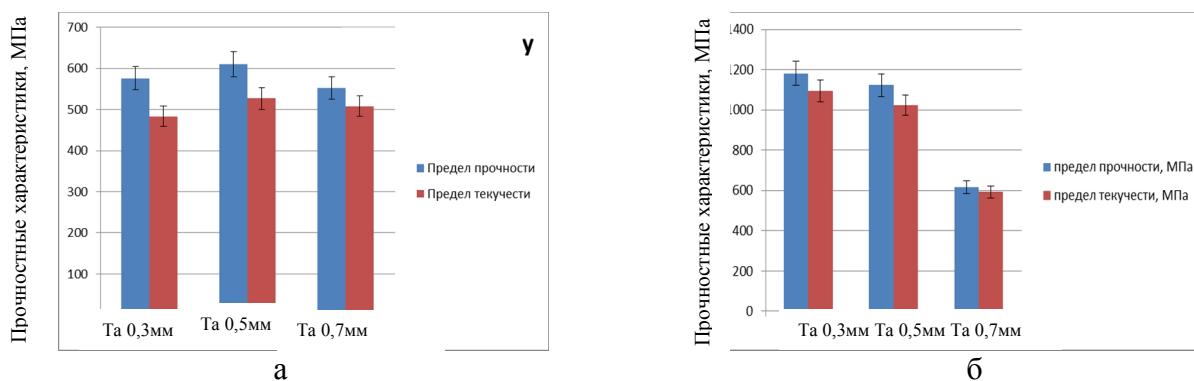


Рис. 5. Изменение предела прочности и предела текучести в композитах:
а - с медь-танталовой прослойкой; б - с никель-танталовой прослойкой

Выводы

Таким образом, на основании проведенных исследований, можно сделать вывод о том, что технология сварки взрывом является одним из перспективных способов получения высококачественных и бездефектных соединений между материалами различного типа. Прочностные свойства композиционных материалов зависят как от толщины, так и от типа материалов, используемых в качестве промежуточных слоев. В композициях с прослойкой медь-тантал прочность композиций определяется наименее прочной медью, а в композициях с прослойкой никель-тантал – толщиной танталовой пластины.

Список литературы

1. ASM handbook. Vol. 06. Welding, brazing, and soldering / K. Ferjutz, J.R. Davis. – Materials Park, Ohio: ASM International, 1993. – 1299 p.
2. Лысак В.И., Кузьмин С.В. Создание композиционных материалов сваркой взрывом // Вестник южного научного центра. – 2013. – Т. 9, юбилейный вып.: Химия и новые материалы. – С. 64–69.
3. Конон Ю.А., Первухин Л.Б., Чудновский А.Д. Сварка взрывом / под ред. В.М. Кудинова. – М.: Машиностроение, 1987. – 216 с.
4. Фомина Д.Е. Исследование структуры соединений на основе титана и никелевого сплава, сваренных взрывом через промежуточные слои // Наука. Технологии. Инновации:

сборник научных трудов: в 9 ч. / под ред. Ю.В. Ванаг. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. – Ч. 3. – С. 210–211.

5. Sun Z., Ion J.C. Review laser welding of dissimilar metal combinations // Journal of Materials Science. – 1995. – Vol. 30. – P. 4205–4214.

6. Progress in the characterization of explosively joined Ti/Ni bimetal / K. Topolski, P. Wicinski, Z. Szulc, A. Galka, H. Garbacz // Materials and Design. – 2014. – Vol. 63. – P. 479–497.

7. Control of energetic conditions by employing interlayer of different thickness for explosive welding of titanium/304 stainless steel / P. Manikandana, K. Hokamoto, M. Fujita, K. Raghukandan, R. Tomoshige // Journal of Materials Processing Technology. – 2008. – Vol. 195. – P. 232–240.

8. Захаренко И.Д. Сварка взрывом. – Минск: Наука и техника, 1990. – 205 с.

9. Yurko G.A., Barton J.W., Parr J.G. The crystal structure of Ti₂Ni // Acta Crystallographica. – 1959. – Vol. 12. – P. 909–911.

STRUCTURE AND STRENGTH OF TITANIUM AND NICKEL ALLOY JOINTS EXPLOSIVELY WELDED THROUGH INTERLAYERS

Fomina D.E., Student, e-mail: gaga.95@mail.ru

Alikina M.S., Student, e-mail: am.unimail@mail.ru

Haybulin E.V., Student, e-mail: mister-evgenii@yandex.ru

Novosibirsk State Technical University, 20 Prospect K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation

Abstract

In the current research, results of microstructure and mechanical properties of explosively welded four-layered Ti-Ta-Cu-Ni alloy and Ti-Ta-Ni-Ni alloy, where Ta-Cu and Ta-Ni are interlayers, were presented. As titanium with nickel form undesirable intermetallic compounds (such as Ti₂Ni, TiNi, TiNi₃) one of the solutions of this problem based on introduction between them the intermediate layers. One of the objectives was to determine the appropriate thickness of the intermediate layer, which provides a high strength of multilayered compositions. Thus, in research by explosive welding was obtained joints varied by the thickness of tantalum plate from 0.3 to 0.7 mm. Microstructural studies of multilayered compositions with different thickness of tantalum plate indicate on the formation of defect-free joints with various types of weld geometry. Results of tensile tests have shown that strength of the composition is determined both by the thickness of tantalum as well as by the material of the intermediate layer. In composition with copper-tantalum intermediate layer, strength is determined by the weakest component is copper. From the other side composition with nickel-tantalum intermediate layer, the strength was determined by the thickness of tantalum plate. The highest strength properties (ultimate strength 1200 MPa) were observed for composite with tantalum of 0.3 mm thick.

Keywords

Titanium, nickel, tantalum, copper, explosion welding, interlayers

УДК 621.791.13

**ПОЛУЧЕНИЕ МНОГОСЛОЙНЫХ КОМПОЗИЦИЙ
Nb-ИНТЕРМЕТАЛЛИД-Al С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА СВАРКИ ВЗРЫВОМ**

*М.С. АЛИКИНА, студент
Д.Е. ФОМИНА, студент
Х.М. БУБЛИКОВА, студент
С.В. ПОЗДНЯКОВ, студент
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Аликина М.С. – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: am.unimail@mail.ru

В работе представлены результаты исследований микроструктуры и механических свойств многослойных композиций, состоящих из фольг ниобия и алюминия, полученных методом сварки взрывом. Так как время сварки взрывом измеряется в микросекундах, гомогенизация структуры в зоне перемешивания не успевает завершиться, вследствие чего требуется дополнительная термическая обработка, необходимая для активизации диффузионных процессов и роста интерметаллидного слоя на границе между материалами. Таким образом, производился дополнительный отжиг полученных сваркой взрывом образцов в интервале температур 620-850 °С. Установлено, что существенный рост прослоек интерметаллида начинается от 750 °С и выше. Результаты измерений микротвердости показали, что образовавшиеся слои имеют твердость пределах 400-530 HV, что в несколько раз превышает твердость исходных материалов.

Ключевые слова: ниобий, алюминий, сварка взрывом, интерметаллид, отжиг.

Введение

В настоящее время слоистые металлические материалы, содержащие интерметаллидные прослойки, представляют большой интерес. В результате формирования таких композитов возможно получение материалов с уникальными свойствами, которыми не может обладать каждый составной элемент композита в отдельности [1]. Система Nb-Al, анализируемая в работе, является перспективной, благодаря возможности получения сверхпроводящего интерметаллидного соединения $AlNb_2$ при подборе определенной термической обработки, следующей после сварки взрывом. Также, это соединение является основным упрочняющим элементом в формируемых композитах. Все интерметаллиды системы Nb-Al наряду с высокой температурой плавления обладают низкой плотностью, а также высокой жаропрочностью и износостойкостью, что позволяет применять композиты на их основе в авиационной и автомобильной промышленности [2-6]. Кроме того, применение слоистых композиций позволяет снизить стоимость готового изделия путем соединения дорогостоящего компонента с более дешевым [1].

Характерные особенности сварки взрывом позволяют решить проблему расслаивания металлических многослойных композиций, вызванную недостаточной прочностью контактов соединяемых заготовок. Кроме того, высокая скорость воспроизведения сварки и её минимальная продолжительность позволяют сваривать разнородные материалы с образованием интерметаллидных прослоек, имеющих ультрамелко- или наноразмерную структуру [7].

Таким образом, целью работы являлось формирование сваркой взрывом и последующим отжигом многослойных композитов на основе ниобия и алюминия, содержащих интерметаллидные прослойки, а также изучение микроструктуры и механических свойств полученных образцов.

Материалы и методы исследования

В работе исследовали слоистые композиционные материалы, полученные методом сварки взрывом, состоящие из чередующихся фольг ниобия марки Nb-1 и алюминия марки А5, толщина каждой из которых составляла 0,2 мм. С целью повышения прочности композита, нижний и верхний слои были образованы титановыми сплавами ВТ14 и ОТ4 толщиной 0,6 и 0,3 мм, соответственно. Расстояние между пластинами при формировании многослойных композитов составило 1 мм. Взрывчатым веществом являлся аммонит марки 6ЖВ, толщина которого составляла 15 мм (рисунок 1). Скорость детонации – 2,6 км/с.



Рис. 1. Схема сварки взрывом многослойного композита Nb и Al

Полученные сваркой взрывом композиты подвергали дополнительному отжигу в интервале температур 620-850 °С в течение 1 часа, с целью активизации и роста интерметаллидного слоя на границе между ниобием и алюминием. Отжиг проводили в лабораторной печи SNOL 7,2/1100. Для предотвращения окисления образцов, их обмазывали гипсом.

Изучение микроструктуры полученных многослойных композитов проводилось на вырезанных в продольном, относительно распространения фронта волны, направлении образцах, из которых далее были изготовлены микрошлифы. Исследование осуществлялось на оптическом микроскопе Axiovert 40 MAT фирмы Carl Zeiss в режиме светлого поля в диапазоне увеличений от 100 до 1000 крат.

Для исследования механических свойств полученных композитов проводилось измерение микротвердости по Виккерсу на приборе Wolpert Group 402 MVD. Для этого использовали образцы непосредственно после сварки взрывом, а также после дополнительного отжига. Нагрузка на индентор составляла 0,1 Н. Уколы производились на расстоянии 70 мкм, как в слоях исходных материалов, так и в микрообъемах сварных швов. Для расчета среднего значения микротвердости в каждой из указанных областей были выполнены три дорожки измерений во всех образцах по 30-35 уколов. По результатам измерений микротвердости были построены зависимости микротвердости от расстояния (исследуемой области).

Результаты и обсуждение

На рисунке 2 представлена микроструктура композита Nb-Al, полученного сваркой взрывом. Результаты микроструктурных исследований показали, что границы, формируемые между различными слоями композиции, имеют преимущественно волновое строение. Видимых дефектов, таких как трещины, поры, непровары и т.д. обнаружены не были.

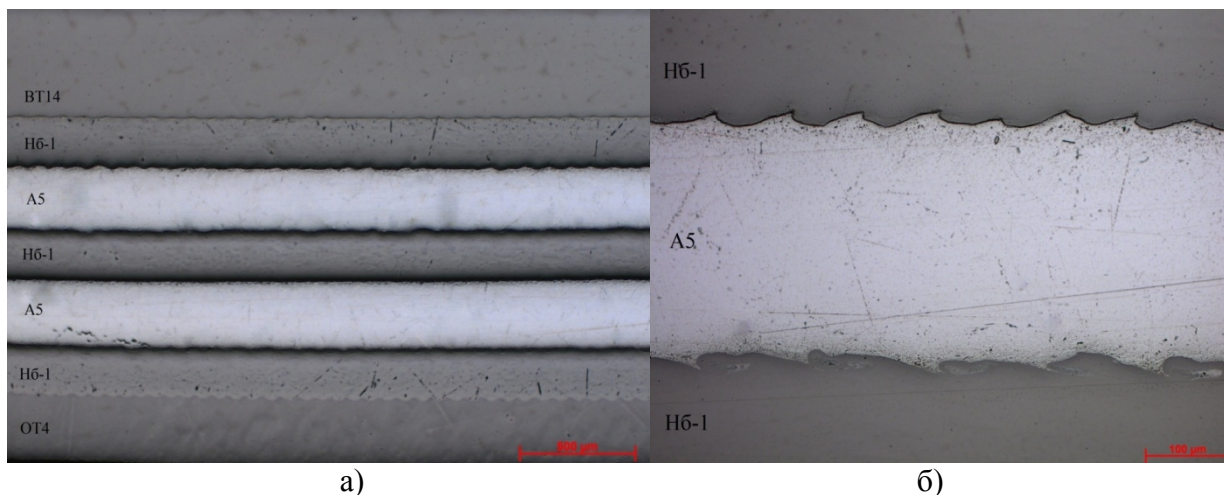


Рис. 2. Многослойный композит, полученный сваркой взрывом:
а – общий вид, б – зона сварного шва H6-1/A5/H6-1

Результаты исследований микроструктуры отожженных после сварки взрывом образцов показали, что в результате отжига при температурах ниже 750 °С видимых изменений микроструктуры и значительного роста интерметаллидных слоев не происходит. Однако при температурах 750 °С и выше отмечен их существенный рост – на границе Nb-Al появляется сплошная прослойка интерметаллида, кроме того, происходит заполнение вихревых зон.

При температуре 800 °С интерметаллидный слой начинает расти вглубь алюминия на толщину 10-20 мкм. С дальнейшим повышением температуры отжига до 850 °С идут активные диффузионные процессы, в результате которых интерметаллидный слой вырос на 30-50 мкм. В некоторых участках можно наблюдать рост интерметаллида в центральной части Al фольги, при этом сплошного заполнения не происходит.

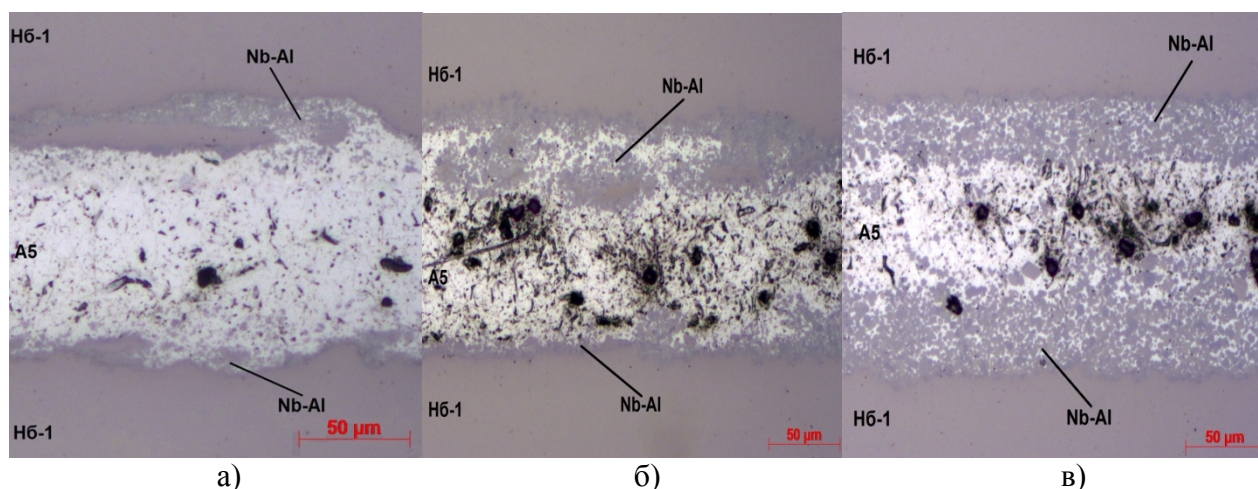


Рис. 3. Микроструктура отожженных образцов при:
а – 750, б – 800, в – 850 °С

По результатам измерений микротвердости были построены зависимости микротвердости от расстояния (рисунок 4 а). Результаты измерений показали, что образовавшиеся слои имеют твердость, в несколько раз превышающую твердость исходных материалов и находится в пределах 400-530 HV.

При измерении микротвердости в интерметаллидном слое было отмечено растрескивание вокруг укола (рисунок 4 б). Это объясняется высокой твердостью образовавшегося слоя, а также его низкой пластичностью. С другой стороны, теоретическая твердость интерметаллидов на основе ниобия и алюминия составляет 580-910 HV в зависимости от состава сплава [8], что существенно выше полученных в работе значений. Это объясняется тем, что анализируемый слой состоял как из интерметаллидных частиц, так и из алюминия, твердость которого очень мала. Таким образом, можно предположить, что полученный сваркой взрывом и последующим отжигом композит наряду с высокой твердостью будет обладать достаточной пластичностью.

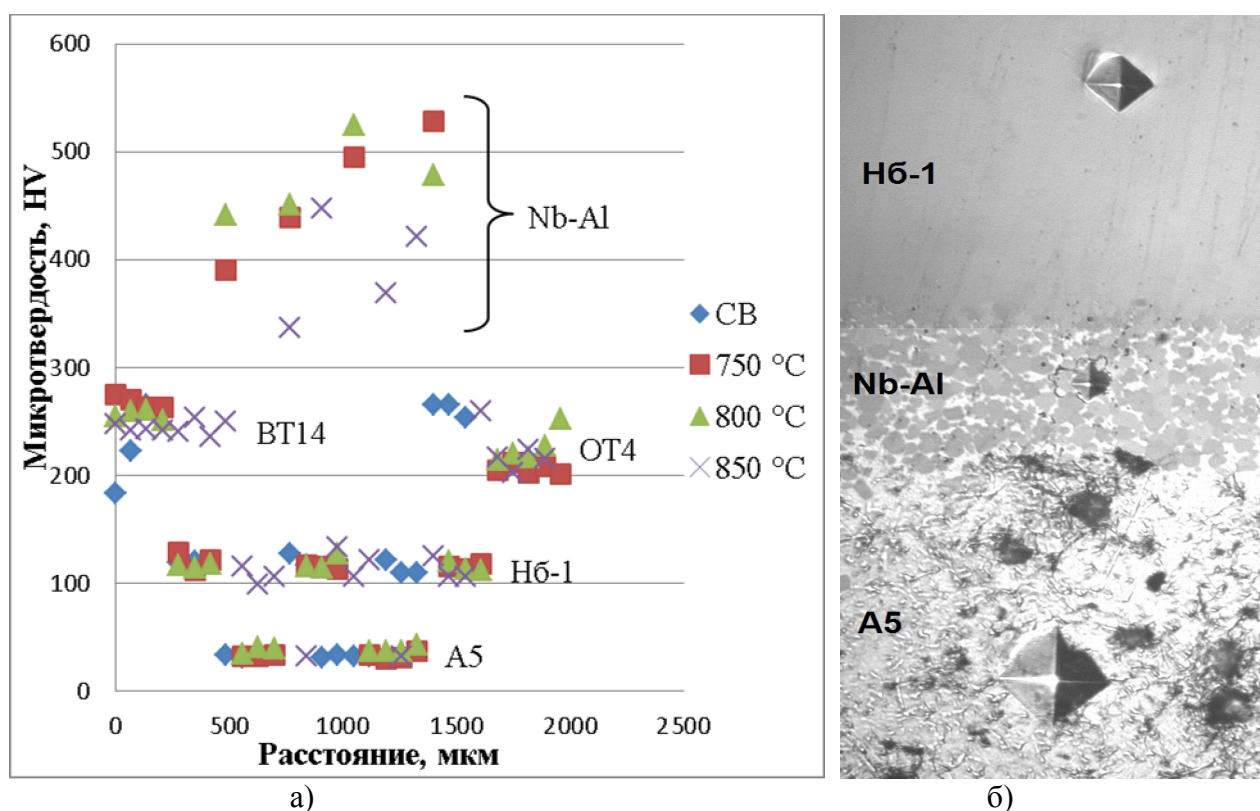


Рис. 4. Результаты измерений микротвердости:

а – зависимость микротвердости от исследуемой области, б – растрескивание вокруг укола в интерметаллидном слое. СВ – образцы после сварки взрывом

Выводы

1. Методом сварки взрывом были получены многослойные композиции из ниобиевых и алюминиевых фольг, сварные соединения на границе которых имеют бездефектное волнообразное строение;

2. Зарождение и рост интерметаллидного слоя на границе «ниобий-алюминий» происходит при дополнительном отжиге при температуре выше 750 °C;

3. Твердость прослойки, образовавшейся после отжигов и состоящей из алюминиевой матрицы и интерметаллидных частиц, составила 400-530 HV.

Список литературы

1. Гуляев А.П. *Металловедение: учебник для вузов.* – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1977. – 647 с.
2. Прохоров Д.В. Структура и механические свойства жаропрочных композиционных материалов на основе системы Nb-Al: дис. ... канд. техн. наук: 05.16.01: защищена 12.10.16 / Прохоров Дмитрий Владимирович. – Черноголовка, 2016. – 190 с.
3. Growth and micro structure evolution of the Nb₂Al-Al₃Nb eutectic in situ composite / C.T. Rios, P.L. Ferrandini, S. Milenkovic, R. Caram // *Materials Characterization.* – 2000. – Vol. 54. – P. 187–193.
4. Directional solidification, microstructure and properties of the Al₃Nb-Nb₂Al eutectic / C.T. Rios, S. Milenkovic, P.L. Ferrandini, R. Caram // *Journal of Crystal Growth.* – 2005. – Vol. 275. – P. 153–158.
5. Rios C.T., Ferrandini P.L., Caram R. Fracture toughness of the eutectic alloy Al₃Nb-Nb₂Al // *Materials Letters.* – 2003. – Vol. 57. – P. 3949–3953.
6. Kumagai T., Hanada S. Microstructure of Nb₂Al-NbAl₃ eutectic alloys produced by unidirectional solidification // *Materials Science and Engineering A.* – 1992. – Vol. 152, iss. 1–2. – P. 349–355.
7. Захаренко И.Д. Сварка металлов взрывом: учебник для вузов. – Минск: Наука и техника, 1990. – 205 с.
8. Chung D.-S., Enoki M., Kishi T. Microstructural analysis and mechanical properties of in situ Nb/Nb-aluminide layered materials // *Science and Technology of Advanced Materials.* – 2002. – Vol. 3. – P. 129–135.

FABRICATION OF NB-INTERMETALLIC COMPOUND-AL MULTILAYERED
COMPOSITIONS BY EXPLOSIVE WELDING TECHNOLOGY

Alikina M.S., Student, e-mail: am.unimail@mail.ru
Fomina D.E., Student, e-mail: gaga.95@mail.ru
Bublikova H.M., Student, e-mail: khri95@mail.ru
Pozdnyakov S.V., Student, e-mail: s.t.a.s.13.3@mail.ru

Novosibirsk State Technical University, 20 Prospect K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation

Abstract

Current research presents the results of microstructural studies and mechanical properties of multilayered materials consisting of niobium and aluminum foils. Compositions were produced by explosive welding. Because of high-speed of explosive welding technology the homogenization has no time to be completed, which results in the additional heat treatment for activation of diffusion processes and growth of intermetallic layer at the interface between materials. Thus, in research post annealing of explosively welded compositions was carried out in the temperature range of 620–850 °C. It was found that intensive growth of intermetallic layers begins with 750 °C and higher. Results of microhardness measurements have shown that hardness of formed intermetallic layers was 450–530 HV. These values were in several times greater than that of initial materials.

Keywords

niobium, aluminum, explosive welding, intermetallic layer, annealing

УДК 621.747.58

**ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ТЕРМООБРАБОТКИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ
ДЕТАЛЕЙ**

*Е.О. ЧЕРТОВСКИХ¹, инженер ОГМет,
А.В. ГАБЕЦ¹, канд. техн. наук, директор по развитию
Д.А. ГАБЕЦ², аспирант
А.М. МАРКОВ², доктор техн. наук, профессор
Г.А. ОКОЛОВИЧ², доктор техн. наук, профессор
(¹ ООО «АСЛЗ», г. Барнаул, ² АлтГТУ г. Барнаул)*

Чертовских Е.О. - 656037, г. Барнаул, пр. Калинина 116/52,
ООО «Алтайский сталелитейный завод»,
e-mail: chertovskih13@gmail.com

Проведено исследование влияния режимов термической обработки стали 20ГФЛ на ударную вязкость KCV^{60} , являющуюся оценкой надежности изделий, работающих в сложных климатических условиях. На основе ортогональной центральной композиционной матрицы планирования эксперимента выполнен расчет уравнения полинома 2-х степеней показателя ударной вязкости KCV^{60} . Применена контролируемая термическая обработка с построением термограмм критических точек инкубационного, перлитного, промежуточного превращения. Трансмиссионной электронной микроскопией выявлена структура феррито-сорбито-бейнитная.

Ключевые слова: феррито-перлит, нижний бейнит, ударная вязкость, критические точки, промежуточное превращение.

Введение

В конструкции грузового вагона до 70% литых деталей изготавливается из низкоуглеродистой стали 20ГФЛ, где общий суммарный вес деталей в одном вагоне составляет 4 т. Это детали автосцепного устройства и тележки вагона. Средняя востребованность машиностроительной отрасли в деталях для постройки новых вагонов составляет 140 тыс. тонн литья/год. Особого внимания к себе требуют ответственные высоконагруженные крупные детали: рама боковая и балка надрессорная. На боковую раму и балку надрессорную воздействуют статические и динамические нагрузки в продольном и поперечном направлениях, а также крутящие моменты в вертикальных и горизонтальных плоскостях. Основным видом разрушения является вязкий-хрупко излом. Из-за износов частей узла гашения колебаний, отмечено повышение нагрузок. Смыкание пружин и стыковые переезды усиливают ударные нагрузки. В ходе исследования установлено, что пик разрушений наблюдается при отрицательных температурах. На основании статистических данных известно, что зарождение трещины происходит в летний период времени, а разрушение детали в зимний [1 - 6].

Методика экспериментального исследования

Рама боковая и балки надрессорные изготавливаются из стали 20ГФЛ, химический состав которой представлен в таблице 1 [3].

Таблица 1

Химический состав стали 20ГФЛ

Массовая доля химических элементов, %									
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al
0,19	0,42	1,15	0,01	0,01	0,08	0,05	0,1	0,06	0,03

Обеспечение эксплуатационной надежности указанных деталей связано с обеспечением такого показателя как ударная вязкость. Показатель ударной вязкости характеризует рост аустенитного зерна и склонность стали к трещинам и деформациям. При этом за последние годы требование к ударной вязкости KCV^{60} изменялись от 1,67 до 2 кДж/м² [1]. Для эксплуатации деталей в условиях Севера показатель ударной вязкости должен иметь многократный запас.

Значение показателя ударной вязкости определяется режимами операций термической обработки, в частности нормализации. График изменения температуры в процессе нормализации представлен на рисунке 1, а (традиционная технология для отливок рам и балок). Недостатком существующей технологии является низкая скорость охлаждения на воздухе. Это способствует формированию структуры с расположением перлита в виде сетки (рисунке 1, б), что может приводить к снижению ударной вязкости до 1 кДж/м². Из ранее проведенных исследований известно, что наиболее благоприятной структурой для обеспечения высокой ударной вязкости является бейнитная структура. Однако для крупногабаритных деталей типа рам вопрос получения бейнитной структуры при термообработке недостаточно изучен и требует дальнейших исследований.

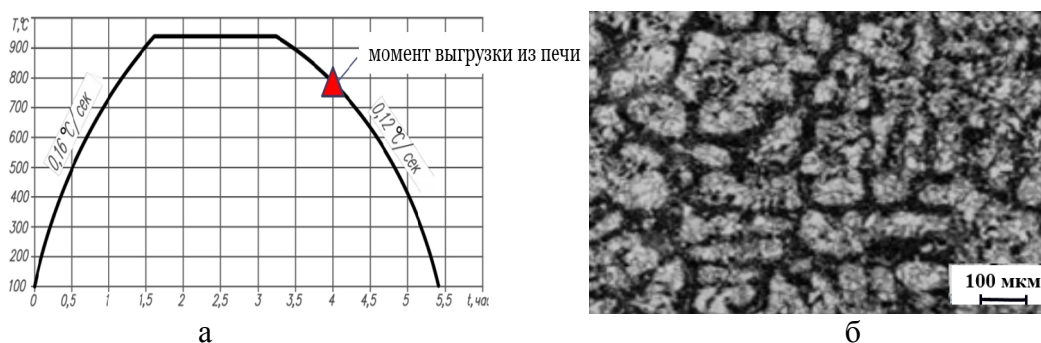


Рис. 1. Режим термообработки рам и балок (а) с полученной феррито-перлитной структурой (б)

Для исследования процесса формирования бейнитной структуры с целью повышения механических свойств разработана методика контролируемой термообработки с использованием оригинальной камеры охлаждения потоком воздуха [2]. В качестве экспериментальных образцов использованы стандартные заготовки для измерения ударной вязкости в образце с сечением 10x10 мм. Изменение режимов (время выдержки, температура нагрева, скорость охлаждения) в ходе исследования проводятся на основе матрицы планирования эксперимента. Фиксация изменения температуры производится автоматически с частотой 1Гц [6].

Результаты и обсуждение

Исследован температурный диапазон от 850 до 950 °С с изменением времени выдержки от 30 до 60 мин, последующее охлаждение проведено потоком воздуха от 2,5 до 8,5 м/с, что для исследуемых образцов соответствует скорости охлаждения 3,5÷7 °С/сек. Такие скорости охлаждения выбраны для формирования бейнитной структуры в промежуточной области и обеспечение минимальных термических напряжений в сложной разностенной конструкции крупногабаритной детали.

Установлено, что при охлаждении образцов на воздухе с температуры 940 °С критические точки соответствуют температурам $A_{r3}=830$ °С, $A_{r1}=740$ °С. Это соответствует изотермической диаграмме распада переохлажденного аустенита А.А. Попова. Ускоренное охлаждение обеспечивает измельчение феррито-перлитной структуры. По режиму с

температурой 850 °С отмечено, что увеличение времени выдержки с 30 до 60 мин благотворно повлияло на повышение ударной вязкости.

Сравнивая два режима с одинаковой температурой выдержки 940 °С можно отметить снижение количества бейнитной составляющей при уменьшении скорости обдува от 8 до 3 м/с (изменение скорости охлаждения от 6 до 4,5 °С/сек). При этом скорость охлаждения образцов 6 °С/сек ведет к получению участков с верхним бейнитом хлопьевидной формы при снижении KCV⁻⁶⁰ до недопустимых значений 1,25 кДж/м². Снижение скорости до 4,5 °С/сек обеспечивает многократный рост до 3,08 кДж/м² с образованием нижнего бейнита в перлите с выделением осветленного легированного феррита на фоне общего феррита.

По результатам исследований построены термограммы, отражающие происходящие по перегибам кривой охлаждения превращения. На рисунке 2 приводится термокинетическая диаграмма, на которую наложена термограмма режима термообработки 850 °С, 45 мин, 4 °С/сек (KCV⁻⁶⁰=5,14 кДж/м² после отпуска 600 °С, 30 мин). Как видно из рисунка, в интервале температур 701÷576 °С протекает инкубационный период, а затем минуя интервал выделения перлита происходит промежуточное превращение в интервале 576÷456 °С за 45 сек. Бейнитная структура характеризуется формой в виде пластин или реек с высокой плотностью дислокаций. Имеется место искривления специальных карбидов и их дробление с нарушением правильного чередования специальных карбидов и феррита. Специальные карбиды заключены в твердом растворе α -железа, что возможно только при протекании промежуточного превращения в момент распада переохлажденного аустенита [4 - 9]. При снижении температуры превращения повышается прочность легированного феррита. Вязкость, связанная с размером эффективного зерна, в свою очередь, определяется характером границ продуктов превращения и структурным состоянием исходного аустенита [10 - 14]. Таким образом, упрочнение твердого раствора углеродом и увеличение плотности дислокаций в результате сочетания изменения объема и превращения по сдвиговому типу будут приводить к более высокой прочности стали при снижении температуры превращения.

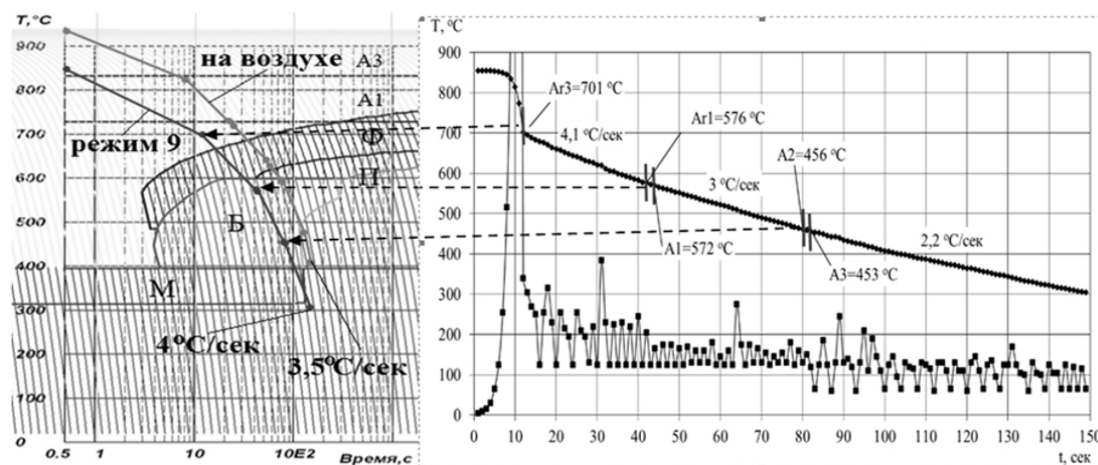


Рис. 2. Термокинетическая диаграмма стали 20ГФЛ с наложенной термограммой режима термообработки

На основе матрицы планирования эксперимента выполнен расчет регрессионного уравнения ударной вязкости KCV⁻⁶⁰ в натурном виде:

$$\begin{aligned} KCV^{-60} = & 3,074 - 0,019 \cdot (T_h - 900) - 0,018 \cdot (t_{exp} - 45) - 0,117 \cdot (V_{air} - 5,5) + \\ & + 0,00017 \cdot (T_h - 900)^2 - 0,001 \cdot (t_{exp} - 45)^2 - 0,079 \cdot (V_{air} - 5,5)^2 - 0,0003 \cdot (T_h - \\ & - 900) \cdot (t_{exp} - 45) - 0,002 \cdot (T_h - 900) \cdot (V_{air} - 5,5) - 0,0033 \cdot (t_{exp} - 45) \cdot (V_{air} - 5,5), \end{aligned} \quad 1$$

где T_h – действительная температура нагрева, °С, t_{exp} – действительное время выдержки при температуре T_h , мин, V_{air} – действительная скорость потока воздуха, м/с.

На гистограмме (рисунок 3) можно наблюдать, как при изменении 3-х факторов происходит рост показателя ударной вязкости. Применение не высоких скоростей воздушного потока приводит к изменению температурного интервала феррито-перлитного превращения с формированием нижнего бейнита. В соответствии с коэффициентами уравнения (1) установлено, что на снижение KCV^{-60} влияет температура термообработки и скорость потока воздуха, в том числе их сочетание. При этом нижние границы температуры нагрева способствуют повышению ударной вязкости. В случае увеличения времени выдержки от 30 до 60 мин и применения скорости потока 5,5 м/сек ударная вязкость может отличаться в 1,5 раза из-за роста аустенитных зерен.

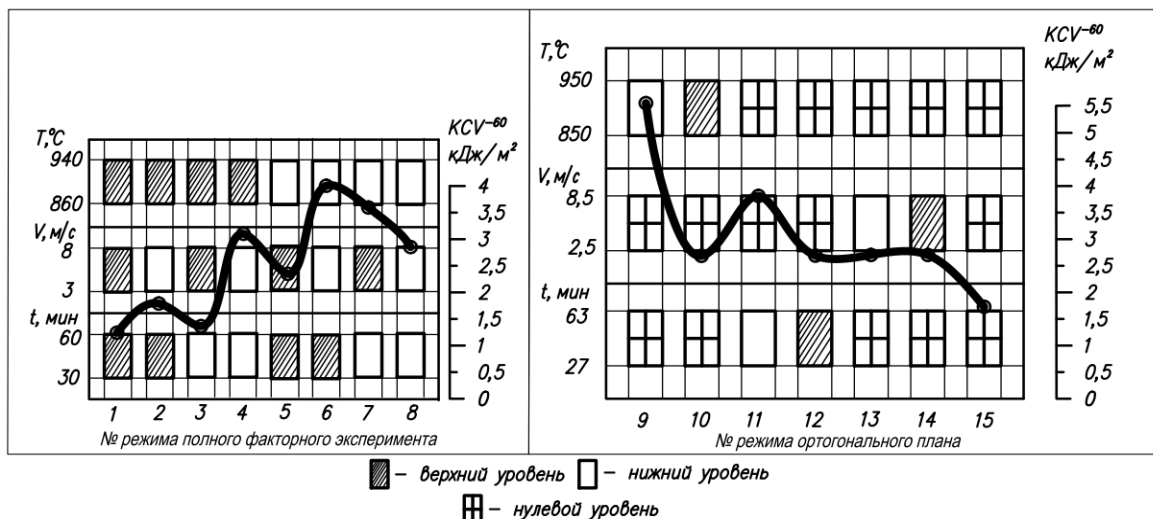


Рис. 3. Полиномы зависимости ударной вязкости KCV^{-60} от T_h, V_{air}, t_{exp}

На рисунке 4 приведена фотография феррито-сорбито-бейнитной структуры стали 20ГФЛ после термообработки (850 °С, 45 мин, 4 °С/сек с отпуском 600 °С, 30 мин) на которой можно видеть наличие нижнего бейнита: короткие ε-карбиды, стремящиеся к сферической форме, расположены в феррите. Соседние области представляют собой перлит с колониями цементита, разделенными пластинами феррита, то есть сорбитообразный перлит. Межпластинчатые расстояния составляют 0,1 мкм.

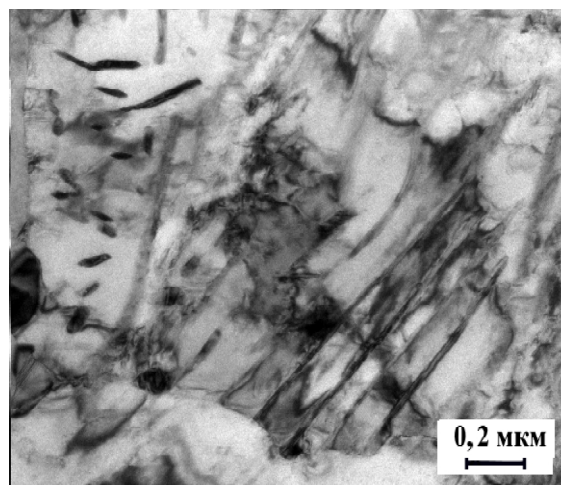
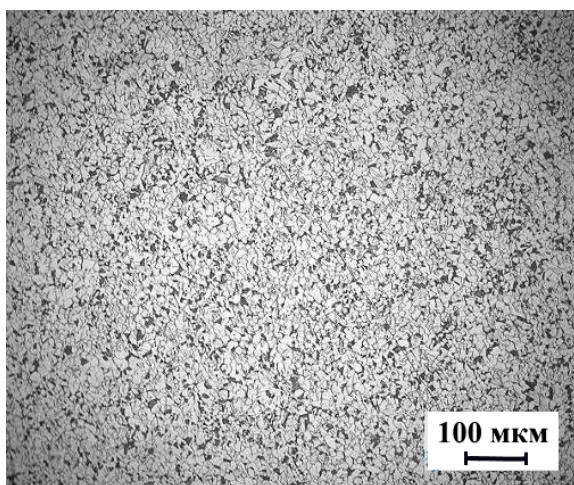


Рис. 4. Феррито-сорбито-бейнитная структура стали 20ГФЛ после термообработки по предложенной методике

Выводы

1. Применение контролируемой термической обработки измельчает аустенитное зерно. Все остальные методы, повышающие прочность, одновременно снижают ударную вязкость. Ускоренное охлаждение обеспечивает устранение появления цементитной сетки, измельчает феррито-перлитную структуру с выделением дополнительной структурной составляющей в виде нижнего бейнита, что обеспечивает получение показателя ударной вязкости не 3 кДж/м².

2. Снижение температуры нормализации от 950±10 до 850±10 °С при скорости охлаждения 3,5 °С/сек обеспечивает выделение нижнего бейнита в промежуточном интервале.

Список литературы

1. *Габец А.В., Филиппов Г.А., Чертовских Е.О.* Влияние режимов термообработки на кинетику превращения и ударную вязкость стали 20ГФЛ // *Сталь*. – 2015. – № 8. – С. 67–70.
2. Триботехнические свойства специального чугуна ЧМН-35М / *Е.О. Чертовских, Д.А. Габец, В.В. Каргин, А.М. Марков, А.В. Габец* // *Инновации в машиностроении: 7-я международная научно-практическая конференция*. – Кемерово: Изд-во КузГТУ, 2015. – С. 268–273.
3. Регулируемая термообработка для литых деталей тележки грузового вагона / *Е.О. Чертовских, Д.А. Габец, А.М. Марков, А.В. Габец* // *Актуальные вопросы современной науки: сборник научных трудов*. – Новосибирск: Изд-во ЦРНС, 2015. – № 44/1. – С. 153–161.
4. *Свищенко В.В., Чепрасов Д.П., Антонюк О.В.* Образование мезоферрита и зернистого бейнита в низкоуглеродистой низколегированной стали // *МиТОМ*. – 2004. – № 8. – С. 7–11.
5. *Ahaneku I.E., Kamal A.R., Ogunjirin O.A.* Effects of heat treatment on the properties of mild steel using different quenchants // *Frontiers in Science*. – 2012. – Vol. 2 (6). – P. 153–158.
6. *Adetunji O.R., Kuye S.I., Alao M.J.* Microstructures of mild steel spring after heat treatment // *The Pacific Journal of Science and Technology*. – 2013. – Vol. 14, N 2. – P. 11–13.
7. *Иванов И.И.* Продукты превращений аустенита при непрерывном охлаждении [Электронный ресурс] // *Металловедение в металлургии*. – URL: <http://metal-archive.ru/metallurgiya/761-produkty-prevrascheniya-austenita-pri-nepreryvnom-ohlazhdenii.html> (дата обращения: 09.03.2017).
8. *Bhadeshia H.K.* Nanostructured bainite // *Proceedings of the Royal Society A*. – 2010. – Vol. 466. – P. 3–18.
9. *Gabarello F.G., Miller M.K., Garcia-Mateo C.* Opening previously impossible avenues for phase transformation in innovative steels by atom probe tomography // *Materials Science and Technology*. – 2014. – Vol. 30. – P. 1034–1039.
10. *Естифеев А.Д., Гузиков А.А., Петров И.В.* Зависимость перегиба скорости от температуры // *Техническая физика*. – 2013. – № 83 (7). – С. 59–63.
11. Методика регулируемой термообработки литых деталей [Электронный ресурс] / *Е.О. Чертовских, Д.А. Габец, А.М. Марков, А.В. Габец* // *Машиностроение: сетевой электронный журнал*. – 2015. – Т. 3, № 4. – С. 48–52. – URL: <http://indust-engineering.ru/issues/2015/2015-4-8.pdf> (дата обращения: 10.03.2017).
12. *Волченков Н.В., Моисеенков В.П., Сургаева Е.С.* Стальное литье и методы повышения качества [Электронный ресурс] // *Металлоснабжение и сбыт*. – URL: <http://www.metalinfo.ru/ru/news/49443> (дата обращения: 10.03.2017).

13. Zur festigkeit niedriglegierter stähle mit erhöhtem kohlenstoffgehalt gegen abrasiven verschleiß / O. Hesse, J. Merker, M. Brykov, V. Efremenko // Tribologie Schmierungstechnik. – 2013. – Vol. 6. – P. 37–43.

14. Effect of base metal composition on the toughness in the heat affected zone of DSAW-welded largediameter linepipes / C. Stallybrass, O. Dmitrieva, J. Schroder, A. Liessem // Proceedings of the 6th International Pipeline Technology Conference. – Ostend, 2013. – P. 26–29.

LARGE PARTS HEAT TREATMENT SCHEDULE IMPROVEMENT

Chertovskih E.O.¹, Engineer, e-mail: chertovskih13@gmail.com

Gabets A.V.¹, Ph.D. (Engineering), Development director, e-mail: gabets22@gmail.com

Gabets D.A.², Ph.D. student, e-mail: gabets22@mail.ru

Markov A.M.², D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: andmarkov@inbox.ru

Okolovich G.A.², D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: mtio10@mail.ru

¹ Altai steel-casting factory, 116/52 Kalinina avenue, Barnaul, Altai region, 656037, Russian Federation

² I.I. Polzunov Altai State Technical University, 46 Lenina avenue, Barnaul, Altai region, 656038, Russian Federation

Abstract

The article presents carried out research of steel 20GFL heat treatment influence to toughness KCV^{-60} , which is reliability assess of products working in harsh climate. Calculation of equations by polynomial of 2 toughness KCV^{-60} exponents is made on the basis of orthographic central composite planning matrix. Controlled heat treatment with construction of thermal images of incubation, perlite, and intermediate conversion critical points is applied. The ferrite-sorbite-bainite structure was found out by means of transmission electron microscopy.

Keywords

cold resistance, ferrite-perlite, lower bainite, hardness, allowed perlite, incubatory transformation, critical points, intermediate conversion

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО НАПИСАНИЮ НАУЧНОЙ СТАТЬИ

Оформление русскоязычной части статьи, подаваемой в научно-технический и производственный журнал «Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)», должно соответствовать по стилю и содержанию определенным минимальным требованиям еще до того, как она будет принята на рассмотрение для публикации. Статьи, не соответствующие этим минимальным требованиям, получают мотивированный отказ редактора – их даже не отправляют на рассмотрение в редакционный совет. Вопросы новизны и оригинальности исследования решаются авторами статьи.

Отметим одно необходимое условие, сформировавшееся за время работы в журнале, – нельзя подавать на рассмотрение работу, которая предварительно не прошла оценки качества самим автором (и научным руководителем в случае недостаточного опыта автора в подготовке научных статей). Кроме того, текст должен быть внимательно прочитан всеми авторами (а не одним автором, как это зачастую бывает), так как все авторы несут коллективную ответственность за содержание работы.

1. Общие комментарии

Пишите доходчивым и простым языком – абстрактные формулировки и излишне длинные фразы трудны как для чтения, так и для понимания.

Статья не должна быть слишком длинной, даже если журнал не указывает максимального объема статьи. Пишите лаконично и грамотно, соблюдая правила написания по русскому языку.

Избегайте:

- неряшливости, например, многочисленных опечаток, небрежного стиля, маленьких иллюстраций, уравнений с ошибками и др.;
- длинного текста (абзаца), содержащего избыточные высказывания.

Научная статья должна иметь определенную структуру, которая описана ниже.

2. Заглавие и сведения об авторах

Используйте лаконичное описательное название, содержащее основные ключевые слова темы статьи. Перед заглавием обязательно указывается УДК.

После заглавия по порядку следуют И.О. ФАМИЛИЯ авторов, их ученая степень, ученое звание, в скобках указывается сокращенное название организации, город. Ниже – данные для переписки: Фамилия И.О. основного автора, почтовый адрес и полное название организации, e-mail.

3. Аннотация (реферат)

Аннотация содержит ключевые слова и представляет собой сжатый обзор содержания работы, указывает на основные проблемы, к которым обращается автор, на подход к этим проблемам и на достижения работы (не менее 10 строк).

4. Ключевые слова

Ключевые слова должны отображать и покрывать содержание работы. Ключевые слова служат профилем вашей работы для баз данных.

5. Введение

Раздел «Введение» должен быть использован для того, чтобы определить место вашей работы (подхода, данных или анализа). Подразумевается, что существует нерешенная или новая научная проблема, которая рассматривается в вашей работе. В связи с этим в данном разделе следует представить краткий, но достаточно информированный литературный обзор (до 2 стр.) по состоянию данной отрасли науки. Не следует пренебрегать книгами и статьями, которые были написаны, например, раньше, чем пять лет назад. В конце раздела «Введение» формулируются цели работы и описывается стратегия для их достижения.

6. Описание экспериментальной части и теоретической/вычислительной работы

6.1. Материал, испытываемые образцы и порядок проведения испытаний

Приводится обоснование выбора данного материала (или материалов) и методов описания материала (материалов) в данной работе.

При необходимости приводятся рисунки образцов с единицами измерения (единицы измерения только в системе СИ). При испытании стандартных образцов достаточно ссылки на стандарт. Для большой программы испытаний целесообразно использовать таблицу матричного типа. Если образцы взяты из слитков, заготовок или компонентов, то описывается их ориентация и нахождение в исходном материале, используются стандартные обозначения по ГОСТу.

При проведении испытаний приводится следующая информация.

1. Тип и условия испытаний, например, температура испытаний, скорость нагружения, внешняя среда.

2. Описываются переменные параметры, измеряемые величины и методы их измерения с точностью, степенью погрешности, разрешением и т.д.; для величин, которые были вычислены, – методы, используемые для их вычисления.

6.2. Результаты экспериментов

Результаты предпочтительно представлять в форме графиков и описывать их словесно. Не следует писать о том, что ясно видно по графику.

6.3. По теоретической/вычислительной работе

Вышеперечисленные рекомендации актуальны также и для теоретической, и вычислительной работы. В статьях, основанных на вычислительной работе, необходимо указать тип конечного элемента, граничные условия и входные параметры. Численный результат представляется с учетом ограничений (точности) в применяемых вычислительных методах.

В статьях, основанных на аналитической работе, при изложении длинного ряда формул необходимо давать поясняющий текст, чтобы была понятна суть содержания работы. Правильность вычислений необходимо подтверждать промежуточными вычислениями. Так же как и в случае с экспериментальной работой, простого описания числовых или аналитических преобразований без рассмотрения теоретической (физической) первопричины обычно недостаточно, для того чтобы сделать публикацию такой статьи оправданной. Простой отчет о числовых результатах в форме таблиц или в виде текста, как и бесконечные данные по экспериментальной работе, без попытки определить или выдвинуть гипотезу о том, почему были получены такие результаты, без попытки выявить причинно-следственные связи, не украшают работу.

Сравнение ваших числовых результатов с числовыми результатами, полученными кем-то другим, может быть информативным. Но оно ничего не ДОКАЗЫВАЕТ. Контроль при помощи сравнения с общеизвестными решениями и проверка при помощи сравнения с экспериментальными данными являются обязательными.

7. Обсуждение

Необходимо использовать этот раздел для того, чтобы в полном объеме объяснить значимость вашего подхода, данных или анализа и результатов. Настоящий раздел упорядочивает и интерпретирует результаты. Цель раздела – показать, какие знания были получены в результате вашей работы, а также перспективу полученных результатов, сравнив их с существующим положением в данной области, описанным в разделе «Введение». Большое количество графиков и цветных иллюстраций не дает научного результата, это не презентация в *PowerPoint*. Обязанностью автора является упорядочение данных и систематическое представление результатов. Так, простой отчет о результатах испытаний без попытки исследовать внутренние механизмы не имеет большой ценности.

8. Выводы

Этот раздел обычно начинается с нескольких фраз, подводящих итог проделанной работе, а затем в виде списка представляются основные выводы. Следует быть лаконичным.

9. Список литературы

Прежде чем составить список литературы, необходимо ознакомиться с правилами оформления ссылок в журнале «Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)» на сайте www.nstu.ru (раздел «Научная и инновационная деятельность»; научные издания).

В список литературы обязательно включайте иностранные источники (желательно не менее 50 %, исключение – публикации по региональной тематике); число цитируемой литературы чаще всего от 15 до 30 ссылок. Списки литературы (References) – это демонстрация вашей эрудиции, информированности о текущих исследованиях в данной области, поэтому цитируемые публикации должны быть как можно более новыми (но и увеличивать их чрезмерно, без причины тоже не следует). Ссылки на свои работы приветствуются, но проявляйте умеренность.

В.Г. Атапин, В.Ю. Скиба,
Редакционный совет и редакция журнала
«Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)»

ПОДГОТОВКА АННОТАЦИИ

(структура, содержание и объем авторского резюме (аннотации) к научным статьям в журнале; фрагменты из работы **О. В. Кирилловой «Редакционная подготовка научных журналов для включения в зарубежные индексы цитирования: методические рекомендации. – Москва, 2012»**, кандидата технических наук, заведующей отделением ВИНТИ РАН, члена Консультативного совета по формированию контента (Content Selection and Advisory Board – CSAB) SciVerse Scopus, Elsevier)

Авторское резюме должно излагать существенные факты работы и не должно преувеличивать или содержать материал, который отсутствует в основной части публикации. Результаты работы описывают предельно точно и информативно. Приводятся основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, обнаруженные взаимосвязи и закономерности. При этом отдается предпочтение новым результатам и данным долгосрочного значения, важным открытиям, выводам, которые опровергают существующие теории, а также данным, которые, по мнению автора, имеют практическое значение. Выводы могут сопровождаться рекомендациями, оценками, предложениями, гипотезами, описанными в статье.

Сведения, содержащиеся в заглавии статьи, не должны повторяться в тексте авторского резюме. Следует избегать лишних вводных фраз (например, «автор статьи рассматривает...»). Исторические справки, если они не составляют основное содержание документа, описание ранее опубликованных работ и общеизвестные положения в авторском резюме, не приводятся.

В тексте авторского резюме следует употреблять синтаксические конструкции, свойственные языку научных и технических документов, и избегать сложных грамматических конструкций. В тексте авторского резюме следует применять значимые слова из текста статьи. Текст авторского резюме должен быть лаконичен и четок, свободен от второстепенной информации, лишних вводных слов, общих и незначащих формулировок. Текст должен быть связным, разрозненные излагаемые положения должны логично вытекать одно из другого. Сокращения и условные обозначения применяют в исключительных случаях или дают их расшифровку и определения при первом употреблении в авторском резюме. В авторском резюме не делаются ссылки на номер публикации в списке литературы к статье.

Объем текста авторского резюме определяется содержанием публикации (объемом сведений, их научной ценностью и/или практическим значением), но не менее 100–250 слов (для русскоязычных публикаций – предпочтительнее больший объем).

Пример авторского резюме на русском языке

Значительная часть инновационных планов по внедрению изменений, содержащих в своей основе нововведения, либо не доходит до практической реализации, либо в действительности приносит гораздо меньше пользы, чем планировалось. Одна из причин этих тенденций кроется в отсутствии у руководителя реальных инструментов по планированию, оценке и контролю над инновациями. В статье предлагается механизм стратегического планирования компании, основанный на анализе как внутренних возможностей организации, так и внешних конкурентных сил, поиске путей использования внешних возможностей с учетом специфики компании. Стратегическое планирование опирается на свод правил и процедур, содержащих серию методов, использование которых позволяет руководителям компаний обеспечить быстрое реагирование на изменение внешней конъюнктуры. К таким методам относятся: стратегическое сегментирование; решение проблем в режиме реального времени; диагностика стратегической готовности к работе в условиях будущего; разработка общего плана управления; планирование предпринимательской позиции фирмы; стратегическое преобразование организации. Процесс стратегического планирования представлен в виде замкнутого цикла, состоящего из 9 последовательных этапов, каждый из которых представляет собой логическую последовательность мероприятий, обеспечивающих динамику развития системы. Результатом разработанной автором методики стратегического планирования является предложение перехода к «интерактивному стратегическому менеджменту», который в своей концептуальной основе ориентируется на творческий потенциал всего коллектива и изыскание путей его построения на базе оперативного преодоления ускоряющихся изменений, возрастающей организационной сложности и непредсказуемой изменчивости внешнего окружения.

Это же авторское резюме на английском языке

A considerable part of innovative plans concerning implementation of developments with underlying novelties either do not reach the implementing stage, or in fact yield less benefit than anticipated. One of the reasons of such failures is the fact that the manager lacks real tools for planning, evaluating and controlling innovations. The article brings forward the mechanism for a strategic planning of a company, based on the analysis of both inner company's resources, and outer competitive strength, as well as on searching ways of using external opportunities with account taken of the company's specific character. Strategic planning is based on a code of regulations and procedures containing a series of methods, the use of which makes it possible for company's manager to ensure prompt measures of reaction to outer business environment changes. Such methods include: strategic segmentation; solving problems in real-time mode; diagnostics of strategic

readiness to operate in the context of the future; working out a general plan of management; planning of the business position of the firm; strategic transformation of the company. Strategic planning process is presented as a closed cycle consisting of 9 successive stages, each of them represents a logical sequence of measures ensuring the dynamics of system development. The developed by the author strategic planning methods result in the recommendation to proceed to "interactive strategic management" which is conceptually based on the constructive potential of the collective body, on searching ways of its building on the basis of effective overcoming accelerating changes, increasing organizational complexity, and unpredictable changeability of the environment.

Пример структурированного авторского резюме из иностранного журнала в Scopus

Purpose: Because of the large and continuous energetic requirements of brain function, neurometabolic dysfunction is a key pathophysiologic aspect of the epileptic brain. Additionally, neurometabolic dysfunction has many self-propagating features that are typical of epileptogenic processes, that is, where each occurrence makes the likelihood of further mitochondrial and energetic injury more probable. Thus abnormal neurometabolism may be not only a chronic accompaniment of the epileptic brain, but also a direct contributor to epileptogenesis.

Methods: We examine the evidence for neurometabolic dysfunction in epilepsy, integrating human studies of metabolic imaging, electrophysiology, microdialysis, as well as intracranial EEG and neuropathology.

Results: As an approach of noninvasive functional imaging, quantitative magnetic resonance spectroscopic imaging (MRSI) measured abnormalities of mitochondrial and energetic dysfunction (via ¹H or ³¹P spectroscopy) are related to several pathophysiologic indices of epileptic dysfunction. With patients undergoing hippocampal resection, intraoperative ¹³C-glucose turnover studies show a profound decrease in neurotransmitter (glutamate-glutamine) cycling relative to oxidation in the sclerotic hippocampus. Increased extracellular glutamate (which has long been associated with increased seizure likelihood) is significantly linked with declining energetics as measured by ³¹PMR, as well as with increased EEG measures of Teager energy, further arguing for a direct role of glutamate with hyperexcitability.

Discussion: Given the important contribution that metabolic performance makes toward excitability in brain, it is not surprising that numerous aspects of mitochondrial and energetic state link significantly with electrophysiologic and microdialysis measures in human epilepsy. This may be of particular relevance with the self-propagating nature of mitochondrial injury, but may also help define the conditions for which interventions may be developed. © 2008 International League Against Epilepsy.

Фрагменты из рекомендаций авторам журналов издательства Emerald

Авторское резюме (реферат, abstract) является кратким резюме большей по объему работы, имеющей научный характер, которое публикуется в отрыве от основного текста и, следовательно, само по себе должно быть понятным без ссылки на саму публикацию. Оно должно излагать существенные факты работы и не должно преувеличивать или содержать материал, который отсутствует в основной части публикации. Авторское резюме выполняет функцию справочного инструмента (для библиотеки, реферативной службы), позволяющего читателю понять, следует ли ему читать или не читать полный текст.

Авторское резюме включает следующее.

1. Цель работы в сжатой форме. Предыстория (история вопроса) может быть приведена только в том случае, если она связана контекстом с целью.

2. Кратко излагая основные факты работы, необходимо помнить следующие моменты:

– следовать хронологии статьи и использовать ее заголовки в качестве руководства;

– не включать несущественные детали;

– вы пишете для компетентной аудитории, поэтому можете использовать техническую (специальную) терминологию вашей дисциплины, четко излагая свое мнение и имея также в виду, что вы пишете для международной аудитории;

– текст должен быть связным с использованием слов «следовательно», «более того», «например», «в результате» и т. д. («consequently», «moreover», «for example», «the benefits of this study», «as a result» etc.), либо разрозненные излагаемые положения должны логично вытекать один из другого;

– необходимо использовать активный, а не пассивный залог, т. е. "The study tested", но не "It was tested in this study" (частая ошибка российских аннотаций);

– стиль письма должен быть компактным (плотным), поэтому предложения, вероятнее всего, будут длиннее, чем обычно.

Примеры, как не надо писать реферат, приведены на сайте издательства (<http://www.emeraldinsight.com/authors/guides/write/abstracts.htm?part=3&>).

На сайте издательства также приведены примеры хороших рефератов для различных типов статей (обзоры, научные статьи, концептуальные статьи, практические статьи):

<http://www.emeraldinsight.com/authors/guides/write/abstracts.htm?part=2&PHPSESSID=hdac5rtkb73ae013ofk4g8nrv1>.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Научно-технический и производственный журнал «Актуальные проблемы в машиностроении» (Print ISSN: 2313-1020; Online ISSN: 2542-1093) публикует статьи, содержащие новые и оригинальные результаты исследований. Журнал представлен на сайте НГТУ: <http://journals.nstu.ru/machine-building> и <http://machine-building.conf.nstu.ru/>. Электронная версия издания доступна на платформе eLIBRARY. Научно-технические статьи, направленные в адрес журнала, проходят рецензирование и редактирование. Публикация статей бесплатная.

Для того, чтобы подать статью, автор и все соавторы должны быть зарегистрированы на сайте журнала (при регистрации профиля автора должны быть заполнены все поля). Автор (один из соавторов) в своем кабинете выбирает в меню пункт «Подать статью» и вводит все необходимые данные. Своих соавторов при этом он выбирает из списка зарегистрированных пользователей.

Для регистрации перейдите по ссылке: <http://journals.nstu.ru/machine-building/registration>

Обращаем Ваше внимание! Если Вы зарегистрированы на сайте научно-технического и производственного журнала «Обработка металлов (технология · оборудование · инструменты)», то для подачи своей работы на сайте журнала «Актуальные проблемы в машиностроении» необходимо использовать тот же логин и пароль.

ПОДГОТОВКА РУКОПИСИ

Рукопись статьи готовится в соответствии с правилами оформления журнала (см. ниже) «Актуальные проблемы в машиностроении» в редакторе MS Word и прикрепляется в формате *.doc, *.docx.

Сканированные Лицензионный договор с подписями авторов, Экспертное заключение о возможности открытого опубликования статьи и Заключение внутривузовской комиссии по экспортному контролю о возможности использования научных материалов при международном сотрудничестве (если предусмотрено ВУЗом) (цветной режим сканирования, разрешение не менее 300 dpi) необходимо также прикрепить на сайте журнала в разделе «Подать статью» в формате *.pdf, *.jpg, *.jpeg. Поскольку, в оболочке при подаче статьи существует только одна опция «Скан экспертного заключения», необходимо «Экспертное заключение о возможности открытого опубликования статьи» и «Заключение внутривузовской комиссии по экспортному контролю о возможности использования научных материалов при международном сотрудничестве» объединить в один документ (многостраничный) и загрузить сформированный файл.

По окончании всех работ обязательно нажать кнопку «Отправить в редакцию».

Обращаем внимание, что авторы должны дополнительно отправить заявку на участие, в которой указать фамилию, имя и отчество (Ф.И.О. полностью), должность, ученую степень, звание, тематика доклада (Инновационные технологии в машиностроении; Технологическое оборудование, оснастка и инструменты; Материаловедение в машиностроении; Экономика и организация инновационных процессов в машиностроении), название организации, адрес, телефон, факс, e-mail. Заявку можно отправить на e-mail: metal_working@mail.ru, либо написать «Сообщение» в своем авторском профиле.

Бронированием мест в гостиницах участники занимаются самостоятельно. На сайте конференции, в разделе «Контакты» (<http://machine-building.conf.nstu.ru/archive/>), представлены адреса возможных гостиниц для размещения участников конференции в г. Новосибирске.

Одновременно со статьей высылаются оригиналы всех перечисленных документов на почтовый адрес редакции: 630073, г. Новосибирск, пр-т Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет (НГТУ), корп. 5, ком. 137 ВЦ, зам. гл. редактора Скибе В.Ю.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ РУКОПИСЕЙ

(<http://journals.nstu.ru/machine-building/rules>)

Текст набирается в русифицированном редакторе *Microsoft Word*; формат А4 (210×297 мм); ориентация – книжная, все поля 2 см; без переносов; шрифт Times New Roman, размер шрифта основного текста – 14 пт, через 1 интервал, абзацный отступ – 1,25 см, страницы не нумеруются. Рисунки, таблицы, графики, фотографии должны быть включены в текст работы.

Единицы физических величин. При подготовке рукописи необходимо руководствоваться Международной системой единиц (СИ).

Таблицы нумеруются, если их число более одной. Заголовок необходим, когда таблица имеет самостоятельное значение, без заголовка дают таблицы вспомогательного характера.

Математические формулы. Сложные и многострочные формулы должны быть целиком набраны в редакторе формул *Microsoft Equation 3.0*. Используется только сквозная нумерация.

Рисунки. Рекомендуемые размеры рисунков: 60 × 150, 60 × 70 мм с разрешением не менее 300 dpi.

Библиографический список, оформленный в соответствии с ГОСТ Р 7.05-2008 «Библиографическая ссылка», составляется по ходу упоминания литературы в тексте и приводится в конце рукописи. Ссылки в тексте на литературу даются в квадратных скобках, например [1], [2, 3], [4–7], [4, стр. 23–28].

Англоязычный блок должен включать следующую информацию: *Заглавие работы; Фамилию И.О. (всех авторов); Аффiliation всех авторов; Аннотация (Abstract) 100-150 слов; Ключевые слова (Keywords).*

Научная публикация должна иметь следующую структуру:

1. **Заглавие** (должно быть как можно короче и отражать содержание текста).
2. **Аннотация:**
 - *на русском языке* на основе ГОСТ 7.9-95 – сжатый обзор содержания работы (по ГОСТ не менее 10 строк, 850 знаков), указывает на ключевые проблемы, на подход к этим проблемам и на достижения работы; следует применять значимые слова из текста статьи;
 - *на английском языке* - по объему больше аннотации на русском языке и включает 100 - 250 слов, рекомендуется следовать хронологии статьи, использовать англоязычную специальную терминологию, не включать несущественные детали и использовать активный, а не пассивный залог, избегать сложных грамматических конструкций (не применимых в научном английском языке).
3. **Ключевые слова** (должны отображать содержание работы). На английском языке - использовать термины из контролируемых словарей.
4. **Введение** (краткий обзор по состоянию проблемы с цитатами или ссылками на актуальную литературу; в конце раздела необходимо сформулировать цель или задачу нового исследования и то как вы это сделали).
5. **Теория** (для теоретических работ) или **методика** экспериментального исследования (для экспериментальных работ). Следует избегать повторов, излишних подробностей и известных положений, подробных выводов формул и уравнений (приводить лишь окончательные формулы, пояснив, как они получены).
6. **Результаты и обсуждение.**
7. **Выводы** (по результатам работы, описанной в данной статье; следует быть лаконичным).
8. **Список литературы:** не менее 15 – 25 наименований источников (оформлять в соответствии с ГОСТ Р 7.05-2008 «Библиографическая ссылка»). Составляется по ходу упоминания литературы в тексте и приводится в конце рукописи. Ссылки в тексте на литературу даются в квадратных скобках, например [1], [2, 3], [4–7], [4, стр. 23–28]. Внимание авторы, в работе не должно быть более 30 % собственных статей, не менее 50 % - литература за последние 10 лет, обязательно включайте иностранные источники (желательно не менее 50 %).
9. **Англоязычный блок статьи** подготавливается на следующей странице, сразу же после русскоязычного списка литературы. Правила оформления данного раздела работы представлены ниже.
10. **Сведения для РИНЦ** (пример оформления представлен ниже).

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ АНГЛОЯЗЫЧНОГО БЛОКА СТАТЬИ В ЖУРНАЛЕ «АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ»

Англоязычная часть статьи должна включать в себя:

Заголовок (Title), переведенный с русского языка. В переводе заглавий статей на английский язык не должно быть никаких транслитераций с русского языка, кроме непереводаемых названий собственных имен и др. объектов, имеющих собственные названия; также не используется непереводаемый сленг, известный только русскоговорящим специалистам. Это также касается авторских аннотаций и ключевых слов;

Аффiliation (Affiliation).

Для каждого автора указывается: *Фамилия* и первые буквы *Имени* и *Отчества, степень, звание, должность, адрес электронной почты (e-mail)*, адресные данные [*официальное название организации на английском языке, которую он представляет, полный почтовый адрес организации (включая название улицы, город, почтовый индекс, страна)*]. Для указания степени, звания и должности можно воспользоваться справочными материалами, представленными на сайте журнала: http://journals.nstu.ru/files/2_4/affiliation.doc;

Аннотация (Abstract) - по объему больше аннотации на русском языке и включает **100 - 250 слов**, рекомендуется следовать хронологии статьи, использовать англоязычную специальную терминологию, не включать несущественные детали и использовать активный, а не пассивный залог, избегать сложных грамматических конструкций (не применимых в научном английском языке);

Ключевые слова (Keywords);

Информация об источниках финансирования исследования (Funding) (гранты, если необходимо).

Внимание! Авторам запрещается предоставлять переводы заголовков статей, аннотаций, ключевых слов и информации об источниках финансирования, подготовленные с помощью электронных переводных систем (работы с ошибками и некорректным переводом будут отклонены).

ОФОРМЛЕНИЕ АНГЛОЯЗЫЧНОГО БЛОКА СТАТЬИ В ЖУРНАЛЕ «ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ (ТЕХНОЛОГИЯ • ОБОРУДОВАНИЕ • ИНСТРУМЕНТЫ)»

Обращаем внимание наших авторов, что в связи с планируемой подготовкой журнала к включению в международные базы данных библиографического описания и научного цитирования Web of Science и Scopus с

2014 г. существенно изменены правила оформления представляемых рукописей. Главная цель изменений состоит в том, чтобы сделать основные положения и выводы публикуемых в журнале статей доступными для широкой зарубежной аудитории, не владеющей русским языком. Особое значение теперь приобретают англоязычная аннотация к статье (Abstract) и список использованной автором литературы (References), поскольку именно они, а не текст самой статьи, находят отражение в системах Scopus и Web of Science. По своему содержанию и информативности Abstract и References должны привлечь внимание зарубежных читателей к теме статьи. Соответственно, в интересах автора тщательно подойти к подготовке этих блоков статьи и обеспечить их максимально высокое качество.

Англоязычная часть статьи подготавливается на следующей странице, сразу же после *русскоязычного списка литературы* и включается в себя:

- **Заголовок (Title)**, переведенный с русского языка. В переводе заглавий статей на английский язык не должно быть никаких транслитераций с русского языка, кроме непереводаемых названий собственных имен и др. объектов, имеющих собственные названия; также не используется непереводаемый сленг, известный только русскоговорящим специалистам. Это также касается авторских аннотаций и ключевых слов;

- **Аффилиация (Affiliation)**.

Для каждого автора указывается: *Фамилия* и первые буквы *Имени* и *Отчества*, *степень*, *звание*, *должность*, *адрес электронной почты (e-mail)*, адресные данные [*официальное название организации* на английском языке, которую он представляет, *полный почтовый адрес организации (включая название улицы, город, почтовый индекс, страна)*]. Для указания *степени*, *звания* и *должности* необходимо воспользоваться следующими справочными материалами;

- **Аннотация (Abstract)** - по объему больше аннотации на русском языке и включает **не менее 250 слов**, рекомендуется следовать хронологии статьи, использовать англоязычную специальную терминологию, не включать несущественные детали и использовать активный, а не пассивный залог, избегать сложных грамматических конструкций (не применимых в научном английском языке);

- **Ключевые слова (Keywords)**;

- **Список литературы (References)**. Ссылки на источники в англоязычном списке должны совпадать со ссылками, представленными в русскоязычном списке использованной литературы.

Список **всей** использованной в статье литературы дается на **латинице** (источники на англ., фр., нем. и др. языках – в оригинале, русскоязычные источники необходимо транслитерировать и переводить (правила оформления см. ниже)). Для автоматической транслитерации в латиницу рекомендуется обращаться на сайт <http://translit.ru> (стандарт транслитерации – **BSI**; настройка перед транслитерацией).

- **Информация об источниках финансирования исследования (Funding)** (гранты, если необходимо).

Внимание! Авторам запрещается предоставлять переводы заголовков статей, аннотаций, ключевых слов и информации об источниках финансирования, подготовленные с помощью электронных переводных систем (работы с ошибками и некорректным переводом будут отклонены)

Правила подготовки списка литературы в англоязычном блоке статьи*

Списки литературы в российских журналах включают большое разнообразие русскоязычных источников: журналы, материалы конференций, сборники, монографии, патенты, диссертации, отчеты, законы, постановления и пр. Поэтому постоянно возникают вопросы, как готовить для *References* описания этих публикаций.

Для подготовки описания этих видов документов необходимо учитывать тот факт, что эти публикации отсутствуют в системе и не предназначены для установления соответствий между публикациями и ссылками на них. Однако они также должны быть обязательно представлены в романском алфавите. Поэтому их описания можно делать достаточно короткими. Исключение составляют переводные книги, в основном, монографии.

Если готовить ссылки в *References* с пониманием цели их представления в системе, тогда существует ряд правил, выполняя которые можно получить максимальное число связанных с публикациями ссылок в журнале. К таким правилам можно отнести:

- 1) представлять в *References*, вместо русскоязычного варианта описания журнала, описание его переводной версии, которая, скорее всего, будет или уже представлена в *Scopus*;

- 2) так как известно, что описания включаемых в зарубежные индексы цитирования и другие базы данных публикаций даются по их англоязычному блоку, то в самом идеальном случае в *References* можно включать переводное название статьи в том виде, как оно указано в журнале (и потом - в базе данных). В таком случае

* По материалам работ *О. В. Кирилловой*: 1. Редакционная подготовка научных журналов для включения в зарубежные индексы цитирования: методические рекомендации. М., 2012, 68 с.; 2. Редакционная подготовка научных журналов по международным стандартам. Рекомендации эксперта БД Scopus. М., 2013. Ч. 1. 90 с.

транслитерация заглавия статьи не требуется, но указывается в скобках после ее описания язык публикации (**in Russian**);

3) представлять в *References*, вместо переводного издания книги (монографии), описание оригинальной ее версии, так как индексы цитирования все больше включают книг в свои ресурсы, в т.ч. *Scopus*. Переводная версия может быть также описана, как дополнительные сведения (в скобках), см. пример ниже;

4) представление в *References* только транслитерированного (без перевода) описания недопустимо, так как делает такое описание совершенно не читаемым (еще как-то понятным для русскоязычного читателя, но не понятным по содержанию больше никому). Поэтому, если нужно сократить описание, то лучше приводить его переводное описание с указанием в скобках (**in Russian**). Это в большей степени относится к анонимным (не авторским) произведениям: законодательным, нормативным документам, а также к патентам, диссертациям, отчетам и другим не типичным для индексов цитирования документов;

5) при описании изданий без авторов (сборников, коллективных монографий) допускается вместо авторов писать одного, максимум двух редакторов издания;

6) для неопубликованных документов можно делать самое короткое название с указанием в скобках (**unpublished**), если оно имеет авторство (для учета ссылок автора), либо просто “**Unpublished Source**” или “**Unpublished Report**” и т.д., если авторство в документе отсутствует;

7) так как русскоязычные источники трудно идентифицируются зарубежными специалистами, рекомендуется в описаниях оригинальное название источника выделять курсивом, как в большинстве зарубежных стандартов;

8) если описываемая публикация имеет doi, его обязательно надо указывать в библиографии в *References*, так как этот идентификатор является наиболее точным источником информации о статье и по нему производится связка “ссылка - публикация”;

9) нежелательно в ссылках делать произвольные сокращения названий источников. Это часто приводит к потере связи, так как название может быть не идентифицировано.

10) все основные выходные издательские сведения (в описаниях журнала: обозначение тома, номера, страниц; в описаниях книг: место издания - город, обозначение издательства (кроме собственного непереводного имени издательства, оно транслитерируется)) должны быть представлены на английском языке.

11) в описаниях русскоязычных учебников, учебных пособий не надо указывать тип изданий. Эта информация в ссылках в данном случае является избыточной.

12) в выходных данных публикаций в ссылках (статей, книг) необходимо указывать количество страниц публикации: диапазон страниц в издании указывается “**pp.**” перед страницами; количество страниц в полном издании (книге) - указывается как “**p.**” после указания количества страниц;

13) перевод заглавия статьи или источника берётся в квадратные скобки; иногда используются круглые скобки, однако, если квадратные скобки используются редко для других целей в описаниях изданий, то круглые скобки могут иметь другое предназначение, поэтому их использование может вызвать путаницу в описаниях;

14) одна публикация описывается в списке литературы один раз, независимо от того, сколько раз в тексте публикации был упомянут источник;

15) если книга в списке литературы (в любом варианте - основном или в *References*) описывается полностью, тогда в библиографии должен быть указан полный объем издания, независимо от того, какие страницы издания были процитированы в тексте; исключения составляют случаи, когда используются отдельные главы из книги; в этом варианте в списке литературы дается описание главы, с указанием страниц “от-до”.

16) использовать системы автоматического перевода кириллицы в романский алфавит; не делать транслитерацию вручную. Это позволит избежать ошибок транслитерации.

Для транслитерации русских слов целесообразно использование сайта: <http://translit.net/>

Нужно войти в программу **Translit.net**, включить русский язык, выбрать вариант стандарта транслитерации **BSI (British Standard Institute)**, вставить в нужное поле текст ссылки на русском языке и нажать «**в транслит**».

Последние два пункта «правил» относятся к процессу составления библиографии в целом. Ниже приведены примеры ссылок на различные виды публикаций.

Описание статьи из журналов:

Atapin V.G., Skeebe V.Yu. Chislennoe modelirovanie beskarkasnykh arochnykh pokrytii [Numerical simulation of frameless arched covers]. *Obrabotka metallov (tehnologiya, oborudovanie, instrumenty) = Metal Working and Material Science*, 2012, no. 4(57), pp. 23–27.

Kiselev E.S., Unyanin A.N., Kurzanova Z.S., Kuznetsova M.A. Sovremennye smazochno-okhlazhdayushchie zhidkosti [Modern coolants]. *Vestnik mashinostroeniya = Russian Engineering Research*, 1996, no. 7, pp. 30-34.

Описание статьи из электронного журнала:

Swaminathan V., Lepkoswka-White E., Rao B.P. Browsers or buyers in cyberspace? An investigation of electronic factors influencing electronic exchange. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 1999, vol. 5, no. 2. Available at: <http://www.ascusc.org/jcmc/vol5/issue2/> (Accessed 28 April 2011).

Если статья имеет DOI – обязательно указать его!

Описание статьи с DOI:

Abul'khanov S.R., Goryainov D.S., Skuratov D.L., Shvetsov A.N. Formation of the surface layer in diamond smoothing. *Russian Engineering Research*, 2015, vol. 35, iss. 2, pp. 147-149. doi: 10.3103/S1068798X15020033

Ding H.T., Shin Y.C. Laser-assisted machining of hardened steel parts with surface integrity analysis. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2010, vol. 50, iss. 1, pp. 106-114. doi:10.1016/j.jmachtools.2009.09.001

Описание статьи из продолжающегося издания (сборника трудов)

Astakhov M.V., Tagantsev T.V. [Experimental study of the strength of joints "steelcomposite"]. *Trudy MGTU «Matematicheskoe modelirovanie slozhnykh tekhnicheskikh sistem»* [Proceedings of the Bauman MSTU "Mathematical Modeling of Complex Technical Systems"], 2006, no. 593, pp. 125–130. (In Russian)

Описание материалов конференций:

Usmanov T.S., Gusmanov A.A., Mullagalina I.Z., Muhametshina R.Ju., Chervyakova A.N., Sveshnikov A.V. [Features of the design of field development with the use of hydraulic fracturing]. *Trudy 6 Mezhdunarodnogo Simpoziuma "Novye resursoberegayushchie tekhnologii nedropol'zovaniya i povysheniya neftegazootdachi"* [Proceedings 6th International Symposium "New energy saving subsoil technologies and the increasing of the oil and gas impact"]. Moscow, 2007, pp. 267–272. (In Russian).

Нежелательно оставлять только переводное название конференции, так как оно при попытке кем-либо найти эти материалы, идентифицируется с большим трудом.

Sen'kin A.V. [Issues of vibration diagnostics of elastic spacecraft]. *Problemy teorii i praktiki v inzhenernykh issledovaniyakh. Trudy 33 nauchnoi konferentsii RUDN* [Problems of the Theory and Practice of Engineering Research. Proc. Russ. Univ. People's Friendship 33rd Sci. Conf.]. Moscow, 1997, pp. 223-225. (In Russian)

Описание книги (монографии, сборники):

Nenashev M.F. *Poslednee pravitel'stvo SSSR* [Last government of the USSR]. Moscow, Krom Publ., 1993. 221 p.

Ot katastrofy k vrozozhdeniyu: prichiny i posledstviya razrusheniya SSSR [From disaster to rebirth: the causes and consequences of the destruction of the Soviet Union]. Moscow, HSE Publ., 1999. 381 p.

Lindorf L.S., Mamikonians L.G., eds. *Ekspluatatsiya turbogeneratorov s neposredstvennym okhlazhdeniem* [Operation of turbine generators with direct cooling]. Moscow, Energiya Publ., 1972. 352 p.

Kanevskaya R.D. *Matematicheskoe modelirovanie gidrodinamicheskikh protsessov razrabotki mestorozhdenii uglevodorodov* [Mathematical modeling of hydrodynamic processes of hydrocarbon deposit development]. Izhevsk, 2002. 140 p.

Izvekov V.I., Serikhin N.A., Abramov A.I. *Proektirovanie turbogeneratorov* [Design of turbo-generators]. Moscow, MEI Publ., 2005, 440 p.

Latyshev V.N. *Tribologiya rezaniya. Kn. 1: Friksionnye protsessy pri rezanie metallov* [Tribology of Cutting, Vol. 1: Frictional Processes in Metal Cutting], Ivanovo, Ivanovskii Gos. Univ. Publ., 2009. 245 p.

Belousov, A.I., Bobrik, P.I., Rakhman_Zade, A.Z. *Teplovye yavleniya i obrabatyvaemost' rezaniem aviatsionnykh materialov. Trudy MATI* [Thermal Phenomena and the Ease of Cutting of Aviation Materials: Proceedings of the Moscow Aviation Engineering Institute]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1966, no. 64.

Последняя ссылка является не полной. Из нее непонятно, описывается ли книга в целом (монография), выпущенная в серии трудов института, или это статья (в описании без заглавия статьи). Недостает в этом случае указания страниц. Если монография, тогда указывается, сколько всего страниц (235 p.), если статья - диапазон страниц или одна страница (pp. 220-222). Однако в любом случае эта ссылка будет найдена при поиске публикаций авторов.

Описание переводной книги:

Timoshenko S.P., Young D.H., Weaver W. *Vibration problems in engineering*. 4th ed. New York, Wiley, 1974. 521 p. (Russ. ed.: Timoshenko S.P., Iang D.Kh., Uiver U. *Kolebaniya v inzhenernom dele*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985. 472 p.).

Brooking A., Jones P., Cox F. *Expert systems. Principles and case studies*. Chapman and Hall, 1984. 231 p. (Russ. ed.: Bruking A., Dzhons P., Koks F. *Ekspertnye sistemy. Printsipy raboty i primery*. Moscow, Radio i sviaz' Publ., 1987. 224 p.).

Если можно выявить оригинал, по которому был сделан перевод книги, тогда полезно описать его как основное название, вместо переводного. Такой вариант описания позволяет найти публикации авторов в действительном представлении их фамилий, а отличии от переводной версии (по все правилам, при переводе описания в латиницу фамилии авторов транслитерируются, что значительно искажает его настоящее написания - пример выше это хорошо демонстрирует).

Когда не удается выявить сведения об оригинальной версии книги, либо переводная версия является, например, сборником из нескольких зарубежных изданий, в основном описании остается переводное издание.

Описание неопубликованного документа:

Latypov A.R., Khasanov M.M., Baikov V.A. *Geology and Production (NGT GiD). The Certificate on official registration of the computer program. No. 2004611198, 2004. (In Russian, unpublished).*

Pressure generator GD-2M. Technical description and user manual. Zagorsk, Res. Inst. of Appl. Chem. Publ., 1975. 15 p. (In Russian, unpublished).

Описание Интернет-ресурса:

Kondrat'ev V.B. *Global'naya farmatsevticheskaya promyshlennost'* [The global pharmaceutical industry]. Available at: http://perspektivy.info/rus/ekob/globalnaja_farmatsevticheskaja_promyshlennost_2011-07-18.html. (accessed 23.06.2013)

APA Style (2011). Available at: <http://www.apastyle.org/apa-style-help.aspx> (accessed 05.02.2011).

Описание диссертации или автореферата диссертации:

Semenov V.I. *Matematicheskoe modelirovanie plazmy v sisteme kompaktnyi tor*. Diss. dokt. fiz.-mat. nauk [Mathematical modeling of the plasma in the compact torus. Dr. phys. and math. sci. diss.]. Moscow, 2003. 272 p.

Grigor'ev Iu.A. *Razrabotka nauchnykh osnov proektirovaniia arkhitektury raspredelennykh sistem obrabotki dannykh*. Diss. dokt. tekhn. nauk [Development of scientific bases of architectural design of distributed data processing systems. Dr. tech. sci. diss.]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 1996. 243 p.

Описание ГОСТа:

GOST 8.586.5-2005. Metodika vypolneniia izmerenii. Izmerenie raskhoda i kolichestva zhidkosti i gazov spomoshch'iu standartnykh suzhaiushchikh ustroistv [State Standard 8.586.5 - 2005. Method of measurement. Measurement of flow rate and volume of liquids and gases by means of orifice devices]. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 10 p.

или

State Standard 8.586.5-2005. Method of measurement. Measurement of flow rate and volume of liquids and gases by means of orifice devices. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 10 p. (In Russian)

Описание патента:

Palkin M.V., e.a. *Sposob orientirovaniia po krenu letatel'nogo apparata s opticheskoi golovkoi samonavedeniia* [The way to orient on the roll of aircraft with optical homing head]. Patent RF, no. 2280590, 2006.

В описании не все авторы, как дано в основном списке литературы. Если работать с *References* добросовестно, тогда можно найти патент и дополнить авторов.

Описание авторского свидетельства (Inventor's Certificate) – аналогично.

Описание анонимных документов:

Russian Pharmaceutical Market. Results of 2010. The Analytical Review. DSM Group, 2011. 74 p. (In Russian)

Current status of the Russian pharmaceutical industry and international experience. Materials for the working group of the Commission for Modernization and Technological Development of Russia's Economy. Available at: <http://www.strategy.ru>. (In Russian)

Code of Business Conduct of OJSC "LUKOIL". Available at: http://www.lukoil.ru/materials/doc/documents/lukoil_corp_code.pdf. (In Russian)

RF Federal Law "On Protection of Consumers' Rights" of February 07, 1992 N 2300-1 (as amended by Federal Law of January 09, 1996 N 2 FZ, December 17, 1999 N 212 FZ). (In Russian)

Подписано в печать 10.03.2017. Формат 60 × 84 1/8. Бумага офсетная.
Тираж 20 экз. Уч.-изд. л. 33,48. Печ. л. 18,0. Изд. № 57. Заказ № 408.

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

МЕХАНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ НГТУ

Кафедры:

Инженерной графики (ИГ)
Материаловедения в машиностроении (ММ)
Проектирования технологических машин (ПТМ)
Технологии машиностроения (ТМС)
Химии и химической технологии (ХХТ)

Научная деятельность:

выполнение фундаментальных и прикладных исследований в области:

- создания новых материалов с уникальными свойствами;
- исследования структурных превращений в металлических материалах;
- технологий производства керамики и керамических композитов;
- исследования процесса образования водорода и нановолокнистого углерода каталитическим разложением углеводородов при давлениях выше атмосферного;
- исследования способов модификации углеродных нанотрубок и нановолокон;
- управления качеством поверхностного слоя деталей машин при интеграции поверхностной термической и механической обработки на одном технологическом оборудовании;
- технологий плазменного нанесения покрытий на детали машин;
- разработки технологических процессов лазерной и плазменной резки, поверхностной термообработки, сварки, маркировки, а также электрохимической и ультразвуковой обработки;
- разработки опытных образцов установок и модернизации существующего оборудования электрофизических методов обработки.

Производственная деятельность:

- содействие в конструкторско-технологической подготовке производства;
- проектирование технологических процессов;
- услуги по плазменной и лазерной резке материалов;
- услуги гибки листового и трубного проката;
- определение механических свойств, химического состава и структуры материалов;
- услуги механической, термической обработки материалов;
- проектирование и изготовление технологического оборудования с подготовкой требуемой конструкторской документации в NX, SolidWorks, AutoCAD, Компас;
- проведение инженерного анализа конструкторских задач и технологических процессов в программных комплексах ANSYS, SYSWELD, APM WinMachine для оптимизации проектных разработок на ранних стадиях;
- услуги плазменного нанесения покрытий на детали машин;
- технологический аудит предприятий;
- установление причин разрушения деталей машин.

Образовательные услуги:

- курсы повышения квалификации и обучающие семинары для сотрудников предприятий;
- обучение работе на станках с ЧПУ, лазерных и плазменных комплексах.

Центры, лаборатории:

Учебный центр современных металлообрабатывающих технологий «DMG-НГТУ».
Научно-образовательный центр «Сварочные технологии» - «НГТУ- «Kjellberg Finsterwalde».
Научно-образовательный центр «Нанотехнологии».
Научно-образовательный центр «Лазерные и плазменные технологии».
Научно-образовательный центр в области машиностроения «НГТУ-ИТПМ СО РАН».
Учебно-научная лаборатория «Термическая обработка материалов».
Учебно-научная лаборатория «Плазменные покрытия».
Центр прототипирования.

Адрес:

630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, корп. 5, НГТУ, МТФ, V-278.

Тел./факс: +7 (383) 346-51-92

Сайт факультета: <http://www.mtf.nstu.ru/>

Декан МТФ: к.т.н., доцент Янпольский Василий Васильевич
e-mail: mtf@corp.nstu.ru

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

ТЕХНОЛОГИЯ
ОБОРУДОВАНИЕ
ИНСТРУМЕНТЫ

ISSN 1994-6309

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



Выставка оборудования
для металлообработки и сварки

Россия, Новосибирск

www.mashex-siberia.ru