

Том 4 № 3 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



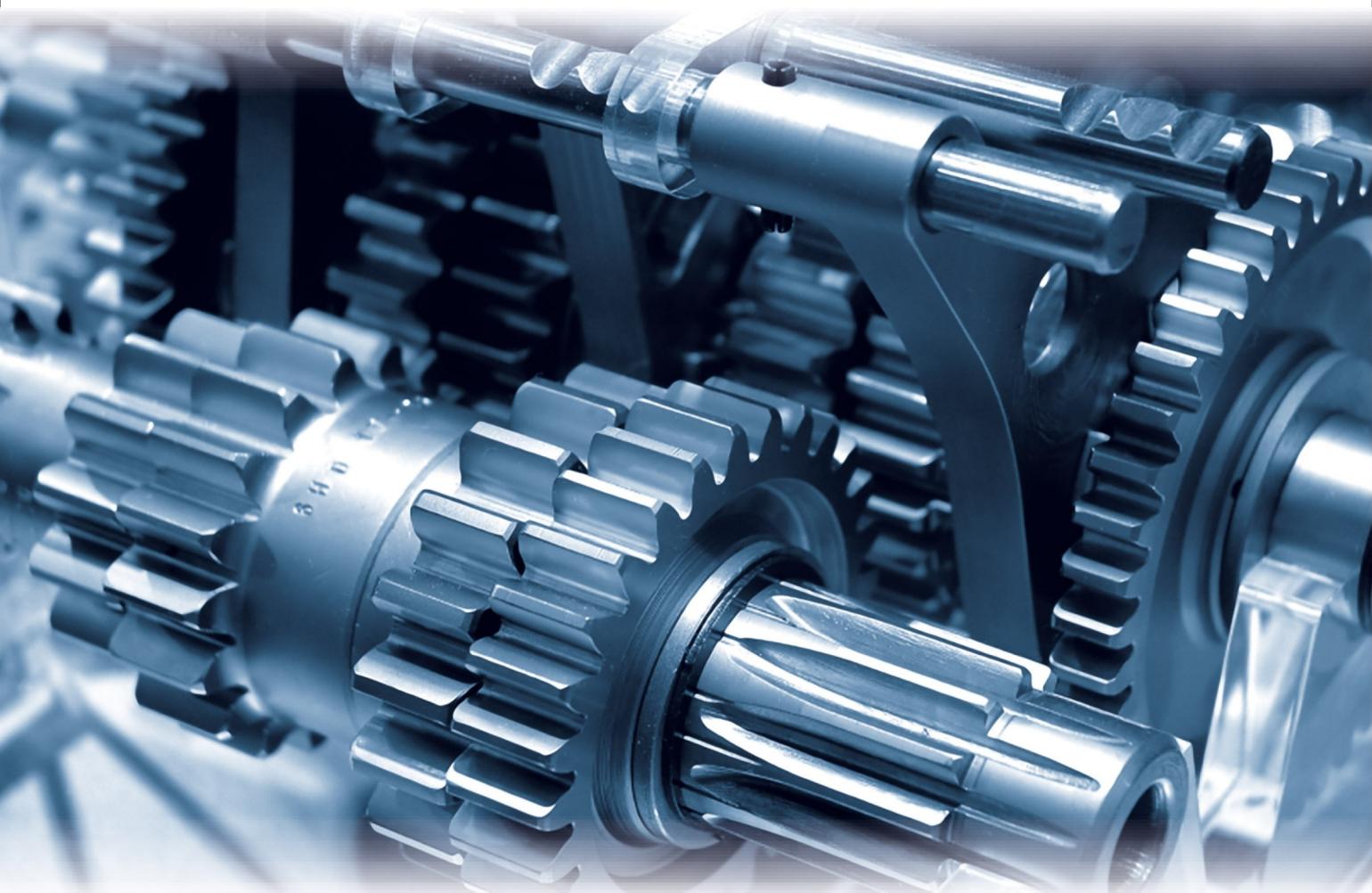


Выставка оборудования
для металлообработки
и сварки

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 №3 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 3 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

- Юсупов А.С., Журавлева А.В.** Влияние величины напряжения на глубину растворения стали 110Г13Л 9
- Журавлева А.В.** Влияние величины давления на глубину растворения алюминия в водном растворе хлорида натрия 14
- Анищенко О.И.** Повышение износостойкости деталей комбинированным методом 18
- Гаар Н.П., Иванова Ю.С.** Исследование влияния концентрации соли в электролите и его температуры на анодное поведение титанового сплава ОТ-4 в водном растворе NaCl 24
- Гаар Н.П., Давыдова С.А.** Исследование влияния концентрации соли в электролите и его температуры на анодное поведение Armko – железа в водном растворе NaCl 28
- Кряжев Ю.А., Горин Е.Ю.** Разработка алгоритма адаптивного управления процессом фрезерования на станках с ЧПУ с использованием сигнала акустической эмиссии 32
- Марков А.М., Федоров Ю.В., Потапов И.С., Андреев М.В., Шитюк А.А.** Анализ особенностей высокоскоростного точения фрезерованием 39

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ОСНАСТКА И ИНСТРУМЕНТЫ

- Десятов С.Ю.** Увеличение сопротивления статической нагрузке керамических головок тазобедренного сустава. Испытания на статическое сжатие 45
- Леонов С.Л., Иконников А.М., Гребеньков Р.В.** Расчет магнитной индукции в рабочем зазоре при магнитно-абразивной обработке плоских поверхностей заготовок из ферромагнитных и немагнитных материалов индуктором на постоянных магнитах 49
- Коротков В.А., Минкин Е.М.** Исследование влияния ориентации зёрен в шлифовальном круге на эффективность плоского шлифования 56
- Лукина С.В., Крутякова М.В.** Проектирование шлицевых протяжек оптимальных конструкций 61
- Семенова Ю.С., Слывакова К.С.** Напряженно-деформированное состояние конического соединения «головка-ножка» тазобедренного сустава 67
- Рогова О.В., Тюляхова А.А., Пауль О.Э., Нейман В.Ю.** Исследование статических тяговых характеристик электромагнитных двигателей с зубцово-пазовой зоной для виброкомпрессора 73

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ В МАШИНОСТРОЕНИИ

- Прудников А.Н., Прудников В.А.** Формирование структуры заэвтектического силумина при литье слитков полунепрерывным способом 78

| | |
|--|-----|
| Собачкина Л.Д., Бутыгин В.Б. Об оптимизации составов быстрорежущих и штамповых сталей | 84 |
| Корниенко Е.Е., Безрукова В.А., Тютюнькова М.К., Гнидан К.А. Исследование влияния внешнего магнитного поля на структуру и свойства наплавленного металла | 88 |
| Квеглис Л.И., Каравайцева А.А. Исследование влияния ремонта сваркой на качество эксплуатации литых деталей стали 20ГЛ | 94 |
| Пантелеенко Ф.И., Оковитый В.А., Пантелеенко Е.Ф. Исследование плазменных двухслойных композиционных покрытий диоксид циркония - нихром | 100 |
| Чучкова Л.В., Белов А.С., Васильева В.С. Поверхностное упрочнение титана частицами TiB и TiC с использованием метода вневакуумной электронно-лучевой наплавки | 106 |
| Рекомендации по написанию научной статьи | 112 |
| Подготовка аннотации | 114 |
| Правила для авторов | 116 |

CONTENTS

Innovative Technologies in Mechanical Engineering

- Yusupov A.S., Zhuravleva A.V.** Influence of voltage values for depth of steel dissolution 110G13L 9
- Zhuravleva A.V.** The effect of the pressure at a depth of dissolution of aluminum in aqueous sodium chloride 14
- Anishchenko O.I.** Improvement of wear resistance of parts by the combined method 18
- Gaar N.P., Ivanova Yu.S.** Research of influence of concentration of salt in electrolyte and its temperatures on anode behavior of titanium alloy OT-4 in aqueous solution NaCl 24
- Gaar N.P., Davydova S.A.** Research of influence of concentration of salt in electrolyte and its temperatures on anode behavior of Armco – iron in aqueous solution NaCl 28
- Kryazhev J.A., Gorin E.J.** The development of algorithm of adaptive milling process control on CNC using acoustic emission signal 32
- Markov A.M., Fedorov U.V., Potapov I.S., Andreev M.V., Shituk A.A.** Analysis of features of high-speed turning with a mill 39

Technological Equipment, Machining Attachments and Instruments

- Desyatov S.Yu .** Increased resistance to static loads ceramic heads hip. Test for static compression 45
- Leonov S.L., Ikonnikov A.M., Grebenkov R.V.** Calculation of magnetic induction in the working gap when the magnetic-abrasive machining of flat surfaces of workpieces made of ferromagnetic and non-magnetic materials by inductor with permanent magnets 49
- Korotkov V.A., Minkin E.M.** Investigation of the effect of orientation of grains in a grinding wheel on the efficiency of flat grinding 56
- Lukina S.V., Krutyakova M.V.** Designing of the splines broaches of the optimum structure 61
- Semenova Y.S., Slyvakova K.S.** Stress – strain state of a conical pair «head – neck» of the hip joint 67
- Rogova O.V., Tyulyahova A.A., Paul O.E., Neyman V.Yu.** Research of static thrust characteristics of the electromagnetic motor with tooth-slots area vibrating compressor 73

Materials Science in Machine Building

- Prudnikov A.N., Prudnikov V.A.** Formation of structure hypereutectic silumin when casting ingots semicontinuous process 78

| | |
|---|-----|
| Sobachkina L.D., Butygin V.B. About optimization of compositions high-speed and die steels | 84 |
| Kornienko E.E., Bezrukova V.A. Tyutyunkova M.K., Gnidan K.A. The influence of the external electromagnetic field on the structure and properties of weld metal | 88 |
| Kveglis L.I., Karavaiceva A.A. Research of influence of repair by welding on quality of operation of a cast parts from 20GL steel | 94 |
| Panteleyenko F.I., Okovity V.A., Panteleyenko E.F. Study of two-layer composition zirconium dioxide-nichrome plasma coatings | 100 |
| Chuchkova L.V., Belov A.S., Vasilieva V.S. Surface hardening of titanium by TiB and TiC particles using methods non-vacuum electron beam cladding | 106 |
| | |
| Guidelines for Writing a Scientific Paper | 112 |
| Abstract requirements | 114 |
| Rules for authors | 116 |

УДК 621.9.047

**ВЛИЯНИЕ ВЕЛИЧИНЫ НАПРЯЖЕНИЯ НА ГЛУБИНУ РАСТВОРЕНИЯ СТАЛИ
110Г13Л***А.С. ЮСУПОВ, магистрант
А.В. ЖУРАВЛЕВА, магистрант
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Юсупов А.С.– 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: yusupovalexey@gmail.com

Показано, что одним из способов формообразования стали 110Г13Л является струйная электрохимическая обработка. Оценивалось влияние напряжения, как режимного параметра, на объем удаляемого материала, а также влияние на качество получаемой поверхности.

Ключевые слова: электрохимическое растворение, струйная электрохимическая обработка, электролит, давление, абразив, сталь 110Г13Л.

Введение

Сталь марки 110Г13Л состоит из 82% железа, 12% марганца, 1% углерода, 1% кремния и 4% различных примесей [1]. Сталь имеет аустенитную структуру, которая обеспечивает материалу повышенную устойчивость к износу и склонность к упрочнению при деформации с ударной вязкостью и высокой пластичностью. Это и является как достоинством, так и главной проблемой при обработке этого материала. Из-за склонности стали к самоупрочнению, её обработку можно производить лишь за один проход, так как после обработки появляется упрочненный слой, твердость которого сопоставима с твердостью режущего инструмента [2, 3].

В связи с этим для обработки стали с высокой производительностью и требуемым качеством поверхностного слоя необходимо уменьшить деформационное воздействие на материал. Снижение деформационного воздействия на обрабатываемый материал возможно при использовании комбинированных методов формообразования, в частности, струйной электрохимической обработки.

Методика экспериментального исследования

Для проведения исследований использовалась экспериментальная установка для струйной электрохимической обработки, схема которой приведена на рисунке 1.

Электролит заливается в емкость (6) и подается под давлением по шлангу (8) в зону обработки через катод-инструмент (9). Подача электролита осуществляется через отверстие диаметром 0,5 мм в катоде. Наружный диаметр катода составляет 0,8 мм. Регулирование давления электролита происходит за счет изменения давления подающегося воздуха в емкость (6) через штуцер (7) от пневмокомпрессора. При проведении экспериментов подача электролита в зону обработки производилась с давлениями $P = 0,2$ МПа. В установке существует возможность продольного перемещение катода-инструмента относительно обрабатываемой поверхности за счет движения каретки продольного хода (4) от приводного блока (2). Катод-инструмент способен совершать возвратно-поступательные движения со

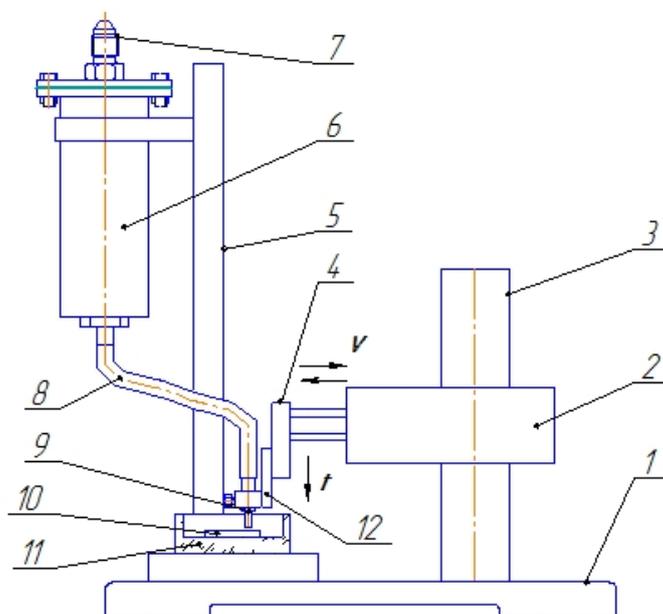


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для электрохимической струйной обработки:
1 – основание; 2 – приводной блок; 3 – стойка; 4 – каретка продольного хода; 5 – штатив;
6 – емкость для электролита; 7 – штуцер для подачи воздуха; 8 – шланг; 9 – катод-инструмент; 10 – деталь; 11 – электрохимическая ячейка; 12 – каретка вертикального перемещения

скоростью (V) до 150 мм/мин. Длина продольного перемещения катода-инструмента относительно обрабатываемой поверхности ограничивается концевыми переключателями, размещенными в приводном блоке (2). Однако в рамках, представленной работы эксперименты с продольным перемещением катода-инструмента не проводились.

Вертикальное перемещение каретки (12) позволяло настраивать величину исходного зазора (Δ) между катодом-инструментом и обрабатываемой поверхностью, который в ходе проделанных опытов, составлял 0,1 мм (рисунок 2). Катод-инструмент и обрабатываемая деталь подключаются к источнику напряжения (3). Величина напряжения при проведении экспериментов варьировалась от 4,5 до 15В с шагом 3,5В. Повышение напряжения выше 15В может привести к появлению эрозионных процессов, что снижает качество и точность обработки. Время обработки одного отверстия составляло – 120 с. В качестве электролита применяли 10% водный раствор NaCl [4].

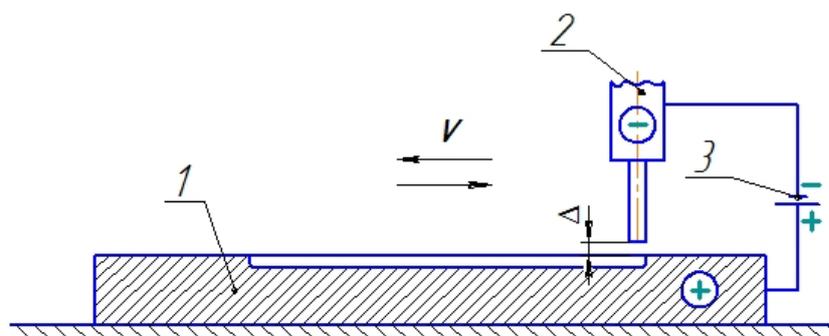


Рис. 2. Схема электрохимической струйной обработки
1 – обрабатываемая деталь; 2 – катод-инструмент; 3 – источник напряжения

Оценивалось влияние напряжения на размеры получаемого отверстия. Глубина растворенного слоя и диаметры полученных отверстий измерялись при помощи измерительного микроскопа Nikon MM-400.

Результаты и обсуждение

В результате проведенных исследований установлено, что при повышении напряжения наблюдается увеличение глубины отверстия (рисунок 3).

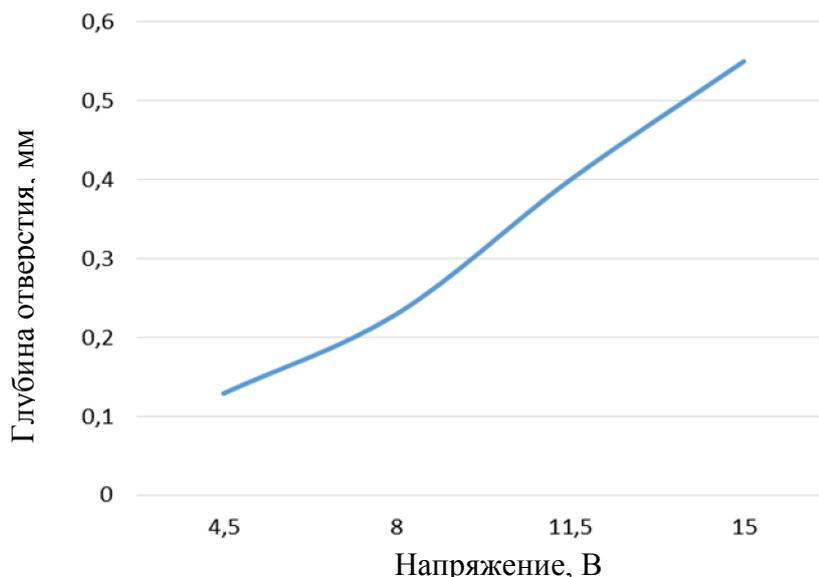


Рис. 3. Зависимость глубины растворения стали 110Г13Л от напряжения

Так же наблюдается увеличение диаметров получаемых отверстий (рисунок 4).

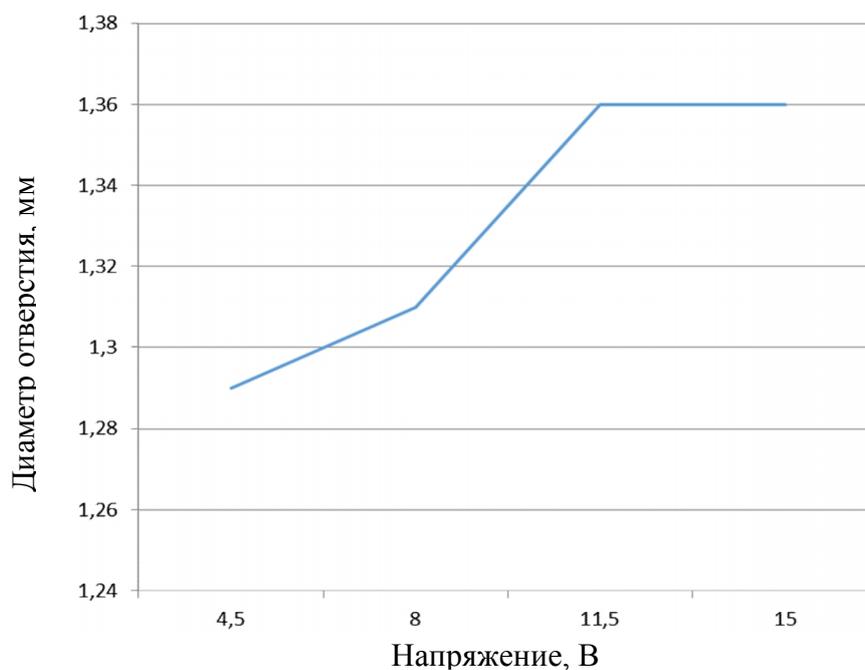


Рис. 4. Изменение диаметров получаемых отверстий

Увеличение диаметра является отрицательным фактором, так как границы отверстий получаются не четкими, имеет место растравление по всему контуру обрабатываемой лунки. Это может быть связано с распределением силовых линий по поверхности обрабатываемого материала [5] (рисунок 5).

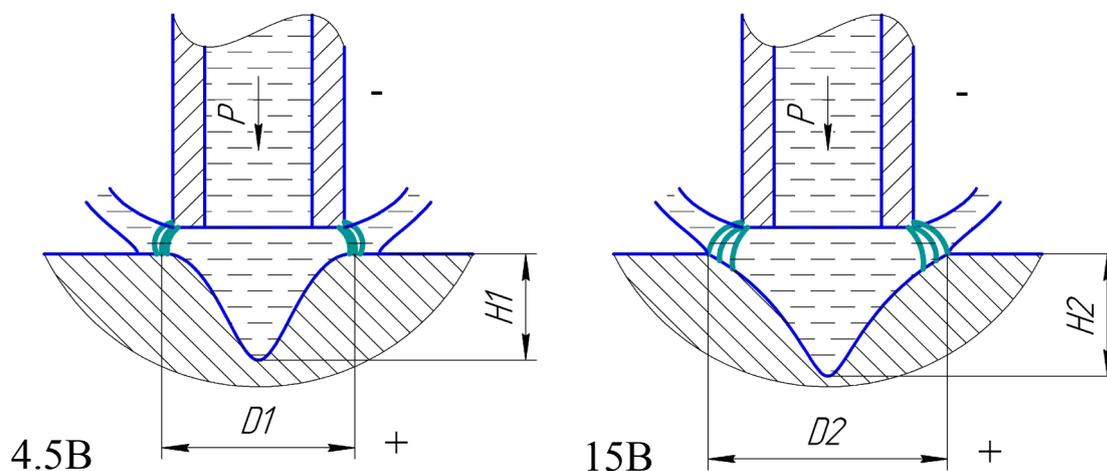


Рис. 5. Распределение силовых линий при струйной электрохимической обработке

Выводы

Установлено что при струйной электрохимической обработке стали 110Г13Л в водном растворе нейтральной соли NaCl, с повышением напряжения увеличивается объем растворенного материала. Объясняется тем, что с повышением напряжения увеличивается плотность тока. Известно [3], что плотность тока является основной характеристикой определяющей производительность процесса электрохимического растворения.

Список литературы

1. Марочник сталей и сплавов / сост.: Ю.Г. Драгунов и др. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2014. – 1216 с.
2. Черняк С.С., Бройдо В.Л. Повышение эксплуатационной стойкости конструкций и деталей горных машин для работы в условиях Севера. – Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2001. – 353 с.
3. Электрохимическое растворение стали 110Г13Л / Х.М. Рахимьянов, Б.А. Красильников, В.В. Янпольский, А.А. Марфелёв, А.Ю. Конев // Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. – 2012. – № 3 (56). – С. 40–41.
4. Влияние гидродинамического режима на скорость анодного растворения меди в пассивирующих электролитах / Х.М. Рахимьянов, Б.А. Красильников, А.С. Захаров, С.И. Василевская // Механики XXI века. – 2015. – № 14. – С. 112–115.
5. Рахимьянов Х.М., Рахимьянов К.Х., Гаар Н.П. Активация анодного растворения аморфных и нанокристаллических сплавов непрерывным обновлением поверхности // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2010. – № 1. – С. 35–38.

INFLUENCE OF VOLTAGE VALUES FOR DEPTH OF STEEL DISSOLUTION 110G13L

Yusupov A.S., Graduate Student, e-mail: yusupovalexey@gmail.com

Zhuravleva A.V., Graduate Student, e-mail: sashka093@mail.ru

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

Abstract

It has been shown that one way of forming a jet 110G13L steel electrochemical machining. Assessing the impact of stress, as the regime parameters on the amount of material removed, as well as the impact on the quality of the resulting surface.

Keywords

Electrochemical dissolution, jet electrochemical machining, electrolyte pressure, abrasive, steel 110G13L

УДК 621.9.047

**ВЛИЯНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ДАВЛЕНИЯ НА ГЛУБИНУ РАСТВОРЕНИЯ АЛЮМИНИЯ
В ВОДНОМ РАСТВОРЕ ХЛОРИДА НАТРИЯ****А.В. ЖУРАВЛЕВА, магистрант
(НГТУ, г. Новосибирск)****Журавлева А.В.** – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: sashka093@mail.ru

Проведены экспериментальные исследования струйной электрохимической обработки алюминия в водном растворе 10% NaCl. Выявлено влияние величины давления на глубину растворения материала. При проведении экспериментов подача электролита в зону обработки производилась с давлениями $P = 0,1$ МПа, 0,15 МПа, 0,2 МПа и 0,25 МПа. Установлено, что при повышении давления электролита происходит увеличение глубины растворения.

Ключевые слова: электрохимическая струйная обработка, электролит, глубина растворения, хлорид натрия, окисная пленка.

Введение

В последнее время широкое применение находит струйная электрохимическая обработка [1, 2]. Основным преимуществом этой обработки является то, что электрический ток воздействует только на небольшую область, ограниченную струей электролита, что способствует высокой степени локализации удаления материала. Производительность процесса характеризуется скоростью анодного растворения материала. Она зависит от электрохимических свойств электролита, обрабатываемого материала и плотности тока. Производительность увеличивается с повышением напряжения, подводимого к электродам, удельной электропроводности электролита. Снижение производительности наблюдается с увеличением межэлектродного промежутка. Так же важным параметром, влияющим на производительность, является давление [3].

Для эффективного применения указанного способа при обработке таких материалов, как алюминий, требуется определение рациональных режимов обработки, в частности давления.

Методика экспериментального исследования

Влияние давления электролита на производительность процесса растворения исследовалось на экспериментальной установке для струйной электрохимической обработки. В качестве образца для эксперимента использовался алюминий марки А95. В качестве электролита применялся водный раствор нейтральной соли 10% NaCl. Время обработки одной поверхности составляло 2 минуты. При проведении экспериментов подача электролита в зону обработки производилась с давлениями $P = 0,1$ МПа, 0,15 МПа, 0,2 МПа и 0,25 МПа.

Результаты и обсуждение

В результате проведенных экспериментов была установлена зависимость глубины растворения алюминия в водном растворе нейтральной соли 10% NaCl от давления электролита (рис.1).

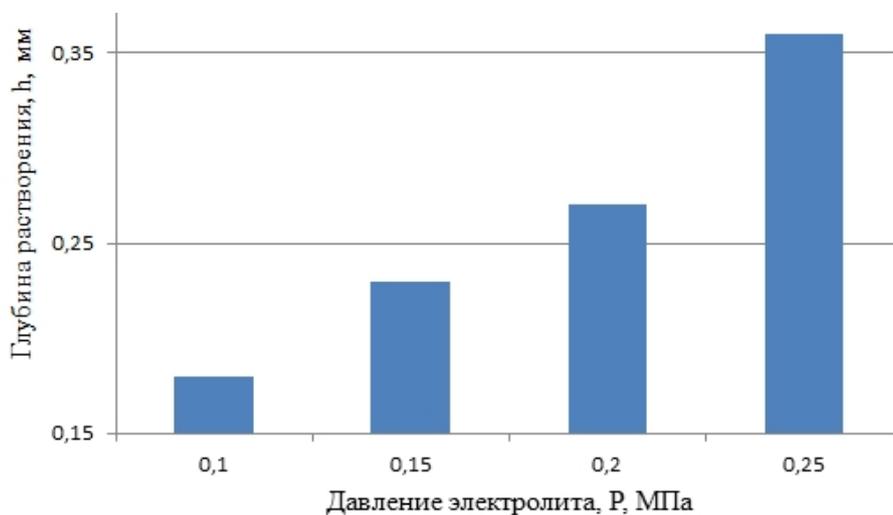


Рис. 1. График зависимости глубины растворения алюминия от величины давления электролита

Из рисунка 1 видно, что с увеличением давления от 0,1 МПа до 0,25 МПа происходит повышение глубины растворения от 0,18 мм до 0,36 мм. Вероятно, с повышением давления происходит разрушение окисной пленки [4].

Так же следует отметить, что происходит изменение границ отверстий после струйной электрохимической обработки с изменением давления (рис.2). Как видно, границы лунок не четкие.

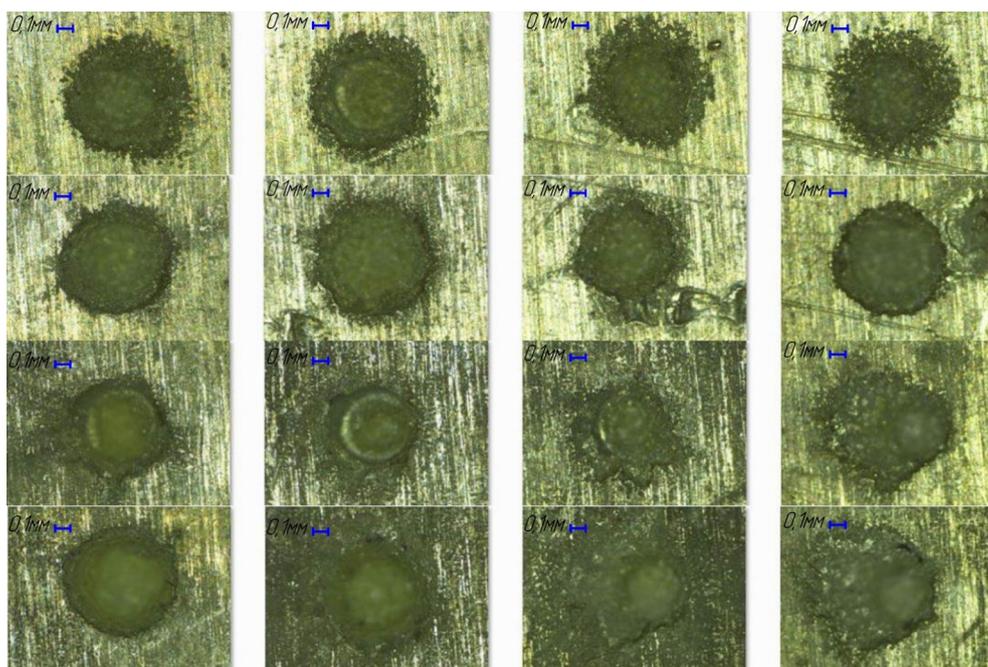


Рис. 2. Лунки при изменении величин подаваемого давления и напряжения

Это связано с течением жидкости из сопла при увеличении давления и образованием так называемого «купола» из электролита вокруг сопла при струйной электрохимической обработке (рис.3).

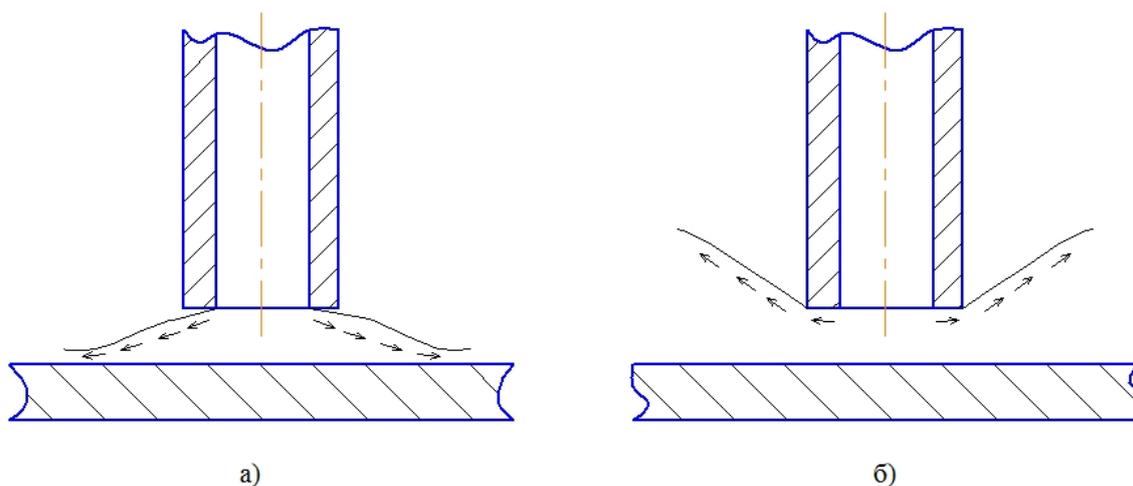


Рис. 3. Течение жидкости из сопла при струйной электрохимической обработке:
а) при малом давлении; б) при большом давлении

При увеличении давления происходит уменьшение диаметра лунок [5 - 9]. При этом границы лунок становятся более четкими (рис.4).

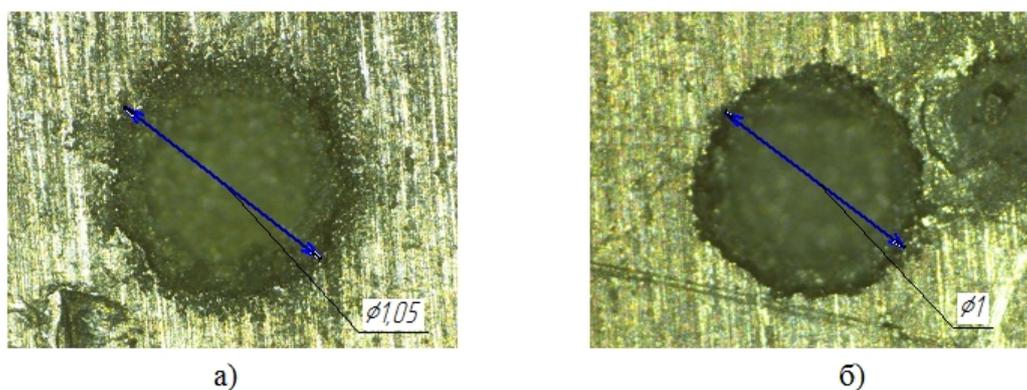


Рис. 4. Лунки при постоянном напряжении 8В при изменении величины давления:
а) 0,15 МПа; б) 0,25 МПа

Выводы

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования позволили установить, что повышение давления электролита до значения $P = 0,25$ МПа при струйной электрохимической обработке алюминия приводит к повышению глубины растворения до 0,36 мм и к уменьшению диаметров лунок.

Список литературы

1. 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.

2. Влияние гидродинамического режима на скорость анодного растворения меди в пассивирующих электролитах / Х.М. Рахимьянов, Б.А. Красильников, А.С. Захаров, С.И. Василевская // Механика XXI века. – 2015. – № 14. – С. 112–115.
3. Голубев А.И. Коррозия и защита конструкционных сплавов. – М.: Наука, 1966. – 311 с.
4. Rakhimyanov Kh., Rakhimyanov A., Heifetz M. High-precision plasma cutting of the steel-aluminum "bimetallic composition" // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Vol. 788: Actual Problems and Decisions in Machine Building. – P. 41–45.
5. Рахимьянов Х.М., Янпольский В.В., Мусеенко А.Н. Электроалмазная обработка пыленных износостойких покрытий // Инженерия поверхностного слоя деталей машин: труды международной научно-практической конференции / Кузбасский государственный технический университет, Белорусский национальный технический университет; под ред. В.Ю. Блюменштейна, Ф.И. Пантелеенко. – Кемерово, 2009. – С. 365–368.
6. Рахимьянов Х.М., Янпольский В.В. Анодное растворение быстрорежущей стали Р6М5 и ее составляющих в водных растворах // Сборник научных трудов Новосибирского государственного технического университета. – 2003. – № 4. – С. 141–147.
7. Рахимьянов Х.М., Рахимьянов К.Х., Гаар Н.П. Активация анодного растворения аморфных и нанокристаллических сплавов непрерывным обновлением поверхности // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2010. – № 1. – С. 35–38.
8. Томилов А.П. Прикладная электрохимия. – М.: Химия, 1984. – 520 с.
9. Воронкова А.И., Котляр Л.М. Математическая модель задачи о профилировании инструмента при электрохимической обработке // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2011. – Т. 15, № 2 (42). – С. 88–92.

THE EFFECT OF THE PRESSURE AT A DEPTH OF DISSOLUTION OF ALUMINUM IN AQUEOUS SODIUM CHLORIDE

Zhuravleva A.V., Master's Degree student, e-mail: sashka093@mail.ru

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

Abstract

Experimental studies inkjet electrochemical treatment of aluminum in an aqueous solution of 10% NaCl. The influence of the pressure at a depth of dissolution of the material. In the experiments, the electrolyte feed in the processing zone made with pressures $P = 0.1$ MPa, 0.15 MPa and 0.25 MPa 0.2 MPa. It is found that with increasing pressure of the electrolyte is an increase in the depth of dissolution.

Keywords

Electro-blasting, the electrolyte dissolution depth, sodium chloride, oxide film

УДК 621.9.048.6

**ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ КОМБИНИРОВАННЫМ
МЕТОДОМ****О.И. АНИЩЕНКО, магистрант
(НГТУ, г. Новосибирск)**

Анищенко О.И - 630073 г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: lesjaani@mail.ru

С целью повышения качества покрытия, производительности труда и экономии твердой смазки, твердое смазочное покрытие наносилось со связующим веществом на основе фенолформальдегидной смолы. Данное покрытие было нанесено комбинированным способом с применением ультразвуковой упрочняющей обработки, которая позволяет получать на поверхности регулярный микрорельеф, покрытый тонкой пленкой, образованной модификаторами трения. Деформация данного покрытия ультразвуком привела к существенному повышению качества покрытия: увеличивается прочность сцепления покрытия с основой, уменьшается пористость приповерхностного слоя, снижается шероховатость поверхности, происходит ориентация частиц твердой смазки параллельно плоскости скольжения-«приработка» покрытия.

Ключевые слова: смазочная композиция, графит, дисульфид молибдена, ультразвуковая обработка, пленка, регулярный микрорельеф.

Введение

Большое количество исследований, посвященных вопросу обкатки и приработки различных агрегатов автомобилей, свидетельствует о том, что эта технологическая операция играет весьма важную роль в повышении их надежности и улучшении экономических показателей в эксплуатации. В результате приработке поверхностей трения имеет место, как правило, более интенсивное изнашивание трущихся поверхностей и повышенное тепловыделение, сопровождающееся как изменением физико-механических свойств поверхностных слоев материала, так и изменением микрогеометрии поверхностей [1].

С целью снижения износа за время приработки и повышения срока службы машин можно применять присадки [2]. Они являются лучшим средством влияния на физико-химические и механические процессы при фрикционном контакте. Одними из таких присадок являются твердые смазки, к которым относятся дисульфид молибдена и графит. Они могут не принадлежать ни одному из элементов пары трения (в виде порошка), могут входить как наполнитель композиционного материала или использоваться в качестве покрытия одного или двух элементов пары трения [3-10].

Дисульфид молибдена и графит обладает слоистой структурой, в котором есть «прочные» и «плотные» слои, в достаточно большой степени удаленные друг от друга. Такие свойства твердосмазочного покрытия обеспечивают «легкое» скольжение трущихся поверхностей относительно друг друга, существенно снижая коэффициент трения и изнашивания пары трения. Высокая адгезия графита к металлам обусловлена прочными молекулярными связями, образуемыми атомами серы с металлом. Дисульфид молибдена имеет гексагональную слоистую решетку в форме призматического шестигранника. Такое строение кристаллической решетки обеспечивает наличие важных для смазочных материалов высоких адгезионных свойств [11].

Прирабатываемость пары трения зависит не только от используемых присадок, но и от физико-механических и геометрических свойств поверхностей. Одним из способов улучшения данных свойств поверхностей является поверхностное пластическое деформирование (ППД). Данная обработка повышает усталостную прочность, контактную выносливость и износостойкость деталей и тем самым увеличивает долговечность машин и оборудования [12,14]. Одним из видов ППД является упрочняюще-чистовая обработка ультразвуковым инструментом (УЗО). В результате данной обработки в зоне контакта инструмента и заготовки создаются высокое контактное давление, под действием которого микронеровности обрабатываемой поверхности пластически деформируются, и как результат образуется новый микрорельеф, причем в оптимальном диапазоне режимов УЗО шероховатость поверхности резко уменьшается [13,15-16].

Исходя из изложенного целью настоящей работы является исследование возможности формирования поверхностного слоя, обладающего повышенной износостойкостью в условиях приработки деталей при трении.

Методика проведения экспериментальных исследований

Для повышения износостойкости рабочих поверхностей были использованы слоистые модификаторы трения - графит и дисульфид молибдена в сочетании с поверхностной пластической деформацией.

С целью повышения качества покрытия, производительности труда и экономии твердой смазки, твердое смазочное покрытие, а именно графит и дисульфид молибдена наносились со связующим веществом на основе фенолформальдегидной смолы. Для экспериментов были изготовлены цилиндрические образцы из стали 45 с HRCэ 48-52. Перед нанесением данного покрытия поверхность цилиндрической образца была обезжирена. Составы были нанесены на поверхность цилиндрического образца при помощи кисти, толщина смазочной пленки составила около 0,1 мм, что контролировалось профилографированием. Состав смазочного покрытия состоял из 15-20 % графитового или дисульфид молибденового порошка, бакелитового препарата 30%, спирта этилового 50-55 % от общей массы.

Режим спекания смазочного состава проходил в печи при температуре около 80-90 °С, время выдержки 1-1,5 ч. При более высоких температурах спекания и время выдержки происходит охрупчивание смазочного состава. Полученное покрытие представлено на рис. 1.



Рис. 1. Смазочное покрытие с графитом и бакелитовым лаком

Для улучшения микрогеометрических и механических характеристик используются методы поверхностно-пластического деформирования и, в частности, упрочняюще-чистовая обработка ультразвуковым инструментом (УЗО). В настоящих исследованиях [13,15,17] представлены режимы для упрочнения образцов из стали 45. Обработка осуществлялась на

токарном станке. Упрочнение осуществлялось при следующих режимах: статическая нагрузка: $P_{ст}=100$ Н, частота колебаний инструмента: $f=22$ кГц, окружная скорость детали: $V=304$ м/мин, подача инструмента $S=0,065$ мм/об, радиус деформатора $R=3$ мм.

Схема, по которой осуществлялась УЗО наружных цилиндрических поверхностей, представлена на рис. 2.

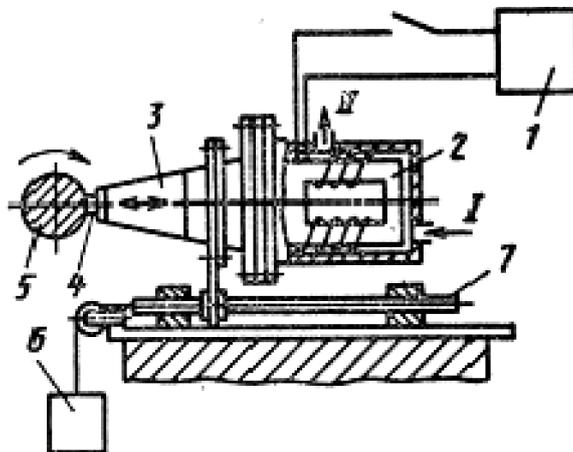


Рис. 2. Схема ультразвуковой обработки наружных цилиндрических поверхностей: I-подача воды, II- отвод воды, 1-ультразвуковой генератор, 2-магнитострикционный преобразователь, 3-концентратор, 4-рабочая часть ультразвукового инструмента, 5- обрабатываемая деталь, 6- груз, 7- направляющие.

Оценка стойкости поверхности на схватывание осуществлялась на токарном станке по схеме цилиндрический образец-колонка с нагружающей системой в виде тарированных грузов. Профиль поверхности исследуемых образцов был определен на приборе профилограф- профилометр мод.252.

Результаты и обсуждения

Приготовленные покрытия со связующим веществом, на основе фенолформальдегидных смол с графитом или дисульфид молибденом были предварительно нанесены на исходную поверхность. Профилограмма поверхности с графитовой пленкой, представлена на рис. 3.



Рис. 3. Профилограмма поверхности с графитовой пленкой.
Вертикальное увеличение 10000, горизонтальное увеличение 200.

Внешний вид образца после УЗО с графитовой пленкой представлен на рис. 4 , а профиль поверхности на рис. 5.



Рис. 4. Фотография образца после УЗО с графитовой пленкой.

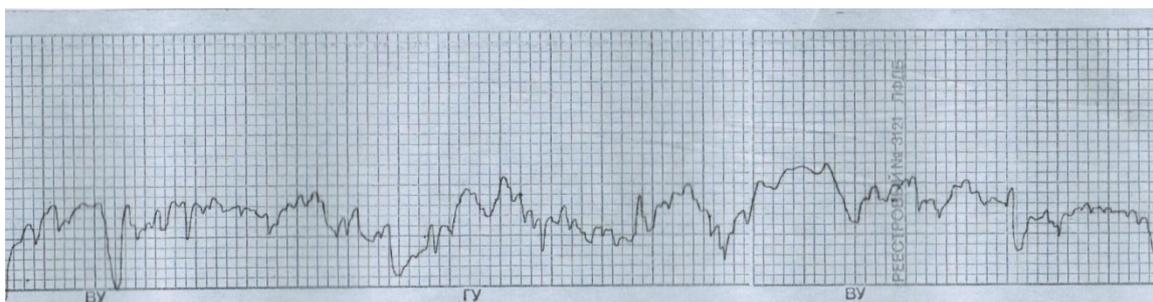


Рис. 5. Профиль поверхности.

Вертикальное увеличение 10000, горизонтальное увеличение 200.

Внешний вид образца после УЗО с дисульфид молибденовой пленкой представлен на рис.6 , а профиль поверхности на рис.7.



Рис. 6. Фотография образца после УЗО с дисульфид молибденовой пленкой.

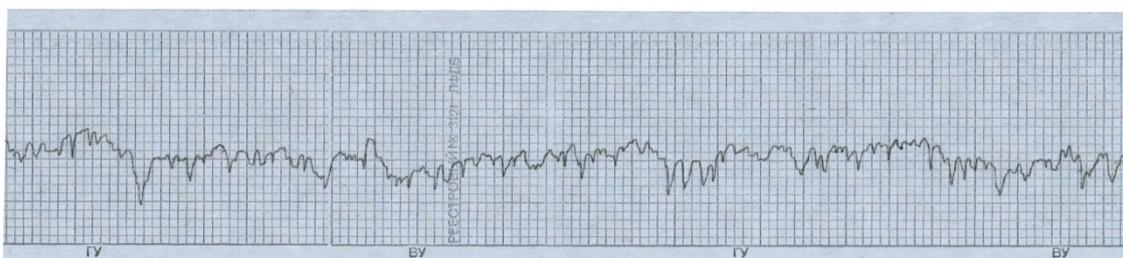


Рис. 7. Профиль поверхности.

Вертикальное увеличение 10000, горизонтальное увеличение 200.

Как видно из рис.4 на поверхности обрабатываемой детали после УЗО при данных режимах обработки сформировался специфичный регулярный микрорельеф, имеющий графитовую пленку. Данная пленка имеет хорошую адгезию с поверхностью детали и практически не удаляется при ее стирании. Предварительные испытание на схватывание

показали, что поверхность обработанная УЗО с данной пленкой имеет более высокую стойкость к схватыванию, чем поверхность без предложенной подготовки.

Как видно из рис. 6 на поверхности обрабатываемой детали после УЗО при данных режимах обработки не наблюдается дисульфид молибденовой пленки. Это свидетельствует о том, что необходимо подобрать другой режим нанесения и обработки для данного покрытия.

Выводы

Не все режимы нанесения обеспечили полное сохранение покрытия после УЗО. Сохранность смазочных слоев на поверхности наблюдается у графитового покрытия. Деформация данного покрытия ультразвуком привела к существенному повышению качества покрытия: увеличивается прочность сцепления покрытия с основой, уменьшается пористость приповерхностного слоя, снижается шероховатость поверхности, происходит ориентация частиц графита в слое параллельном плоскости скольжения. Сравнительная оценка поверхностей после УЗО с использованием графитового покрытия показала улучшение свойств на схватывание по сравнению с УЗО без применения графита.

Для дисульфид молибденового состава требуется поиск оптимального режима нанесения и воздействия ППД для получения пленки, обладающей высокой адгезией к поверхности трения.

Список литературы

1. Крагельский И.В., Алисина В.В. Трение, изнашивание и смазка. В 2 кн. Кн. 1: справочник. – М.: Машиностроение, 1978. – 400 с.
2. Дроздов Ю.Н., Павлов В.Г., Пучков В.Н. Трение и износ в экстремальных условиях. – М.: Машиностроение, 1986. – 223 с.
3. Брейтуэйт Е.Р. Твердые смазочные материалы и антифрикционные покрытия. – М.: Химия, 1967. – 342 с.
4. Сентюрихина Л.Н., Опарина Е.М. Твердые дисульфид молибденовые смазки. – М.: Химия, 1966. – 152 с.
5. Цеев Н.А., Козелкин В.В., Гуров А.А. Материалы для узлов сухого трения, работающих в вакууме. – М.: Машиностроение, 1986. – 188 с.
6. Пучков В.Н., Семенов А.П. Твердые смазки: опыт применения и перспективы // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2007. – № 11. – С. 36–47.
7. Панов В.В., Панок К.К. Смазочные масла в современной технике. – М.: Наука, 1965. – 130 с.
8. Фукс И.Г. Добавки к пластичным смазкам. – М.: Химия, 1982. – 248 с.
9. Винпер А.Г., Виленкин А.В., Гайспер Д.А. Зарубежные масла и присадки. – М.: Химия, 1981. – 192 с.
10. Фролов К.В. Современная трибология. Итоги и перспективы. – М.: ЛКИ, 2008. – 480 с.
11. Бабичев А.П., Иванов В.В., Булгаков Я.С. Исследование коэффициента трения, износостойкости и микро/нанопрофиля поверхности вибрационного механохимического покрытия дисульфида молибдена // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2011. – № 1. – С. 35–40.
12. Одинцов П.Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием: справочник. – М.: Машиностроение, 1987. – 328 с.

13. Рахимьянов Х.М., Семенова Ю.С. Прогнозирование геометрического состояния поверхности цилиндрических деталей из стали 45 при ультразвуковом пластическом деформировании металлов // *Обработка металлов (технологии, оборудование, инструменты)*. – 2011. – № 3. – С. 11–13.

14. Гилета В.П., Асанов В.Б., Безнедельный А.И. Повышение износостойкости вытяжных пуансонов // *Обработка металлов (технологии, оборудование, инструменты)*. – 2007. – № 4. – С. 11–12.

15. Гилета В.П., Асанов В.Б., Безнедельный А.И. Технологические рекомендации по применению ультразвуковой упрочняюще-чистовой обработки // *Труды 4-й международной научно-практической конференции «Инновации в машиностроении»*. – Новосибирск, 2013. – С. 248–253.

16. Гилета В.П., Асанов В.Б., Безнедельный А.И. Технологические возможности поверхностного пластического деформирования с использованием ультразвуковых колебаний // *Инженерия поверхностного слоя деталей машин: труды международной научно-практической конференции*. – Кемерово, 2009. – С. 75–79.

17. Гилета В.П., Асанов В.Б., Безнедельный А.И. Бесцентровая упрочняюще-чистовая обработка ультразвуковым инструментом // *Система. Методы. Технологии*. – 2015. – № 4. – С. 49–54.

IMPROVEMENT OF WEAR RESISTANCE OF PARTS BY THE COMBINED METHOD

Anishchenko O. I., Master's Degree student, e-mail: lesjaani@mail.ru

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

Abstract

With the aim of improving the coating quality, productivity and economy of solid lubricant, the solid lubricating coating was applied with a binder based on phenol-formaldehyde resin. The coating was applied combined method using ultrasonic hardening treatment, which allows to obtain on the surface of a regular microrelief, covered with a thin film formed by the friction modifiers. Deformation of the coating with ultrasound has led to a significant improvement of the quality of the coating, increasing the adhesion strength of the coating to the substrate, reduces the porosity of the surface layers, reduced surface roughness, the orientation of the solid lubricant in the layer parallel to the plane of sliding "extra" coverage.

Keywords

lubricating composition, graphite, molybdenum disulfide, ultrasonic treatment, film, regular microrelief

УДК 621.9.047

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ СОЛИ В ЭЛЕКТРОЛИТЕ
И ЕГО ТЕМПЕРАТУРЫ НА АНОДНОЕ ПОВЕДЕНИЕ ТИТАНОВОГО СПЛАВА
ОТ-4 В ВОДНОМ РАСТВОРЕ NaCl**

*Н.П. ГААР, канд. техн. наук
Ю.С. ИВАНОВА, магистрант
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Иванова Ю.С. – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: lilu1207@yandex.ru

Представлены результаты исследований анодного поведения титанового сплава ОТ-4 в водном растворе хлорида натрия с концентрацией соли от 10 до 20 % и при увеличении температуры до 50 °С, выполненные при помощи потенциодинамического и потенциостатического метода. Установлено, что увеличение концентрации NaCl от 10 до 20 % в составе электролита не оказывает влияния на достигаемые значения плотности тока. Увеличение температуры электролита до 50 °С приводит к снижению плотности тока с ростом потенциала во всем исследуемом диапазоне температур. Высказано предположение, что подобное анодное поведение титанового сплава ОТ-4 объясняется ростом окислых пленок на поверхности материала в результате электрохимического растворения.

Ключевые слова: анодное растворение, поляризационные кривые, окислые пленки, титановые сплавы.

Введение

Титановые сплавы относятся к группе материалов конструкционного назначения. В настоящее время они применяются практически во всех отраслях промышленности, так как имеют ряд преимуществ по сравнению со сталями и другими цветными сплавами. По сравнению с ними титановые сплавы обладают более высокой прочностью, жаропрочностью, а также высокой коррозионной стойкостью в агрессивных средах [1].

При изготовлении изделий из этих материалов используется не только традиционные механические методы обработки, а также и электрофизические. К последним относится и электрохимическая размерная обработка. Электрохимическая размерная обработка основана на электрохимическом растворении материала в токопроводящей среде (электролите) под действием электрического тока, при этом анод (деталь) копирует форму катода (инструмента). При данном методе обработки, в отличие от механической, на производительность процесса влияет не твердость материала или его температуропроводность, а его химический состав.

При электрохимическом растворении титана и его сплавов в качестве электролита наиболее часто используется водный раствор хлорида натрия определенной концентрации. В работе [2], были представлены исследования по анодному растворению титана в водном растворе хлорида натрия при концентрации соли 10%. Результаты экспериментов, приведенные в работе, указывают на незначительную скорость электрохимического растворения материала при данной концентрации хлорида натрия в электролите. Однако, влияние изменения концентрации соли в электролите и его температуры исследованы не были. В данной работе представлены экспериментальные исследования влияния

концентрации соли в электролите и его температуры на анодное поведение титанового сплава в водном растворе хлорида натрия.

Методика экспериментального исследования

Экспериментальные исследования проводились в водных растворах хлорида натрия с концентрацией соли от 10 до 20% в стационарных условиях и при повышении температуры электролита от 30 до 50 °С.

Эксперименты проводились с помощью потенциодинамического и потенциостатического метода, применяемого при исследовании анодного поведения материала в электрохимии, реализуемых при помощи потенциостата IPC Pro M и электрохимической ячейки (рис. 1). В качестве исследуемого материала был выбран титановый сплав марки ОТ-4. В качестве электрода сравнения использовался платиновый электрод сравнения. Материала вспомогательного электрода (катода) – медь.

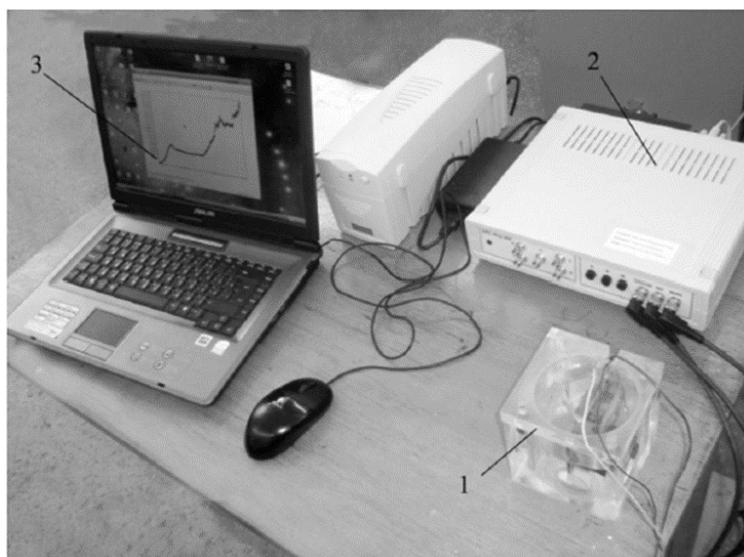


Рис. 1. Внешний вид экспериментальной установки
1-электрохимическая ячейка; 2 - потенциостат IPC Pro M; 3 - персональный компьютер

Результаты и обсуждения

Результат экспериментальных исследований анодного поведения титанового сплава ОТ-4 в водном растворе хлорида натрия с концентрацией соли 10, 15 и 20 % представлены на рисунке 2. Анализ полученных данных говорит о том, что для титанового сплава ОТ-4 повышение концентрации соли электролита с 10 до 20 % не оказывает влияние на анодное растворение материала в диапазоне потенциалов от 0 до 3 В, так как в указанном диапазоне потенциалов значение плотности тока для всех концентраций практически равно. В диапазоне потенциалов свыше 3 В происходит незначительное увеличение плотности тока с 8,6 до 9,1 мА/мм². Причем максимальное значение плотности тока достигается при концентрации NaCl в электролите 15%. При концентрации соли 20%, достигаемое значение плотности тока практически равно плотности тока при концентрации 10%. Однако, достигаемые значения плотности тока в диапазоне потенциалов от 0 до 5 В имеют небольшие значения, что говорит о низкой производительности процесса. Скорость растворения при этом настолько низка, что даже визуально растворение материала практически не наблюдается. Кроме того, потенциостатические исследования проведенные для потенциалов 1, 2, 3, 4 В указывают на снижение плотности тока с течением времени, что

говорит об пассивации поверхности материала. Таким образом, можно говорить о том, что концентрация NaCl от 10 до 20 % в электролите не оказывает влияние на анодное растворение титанового сплава ОТ-4 в диапазоне потенциалов от 0 до 5 В.

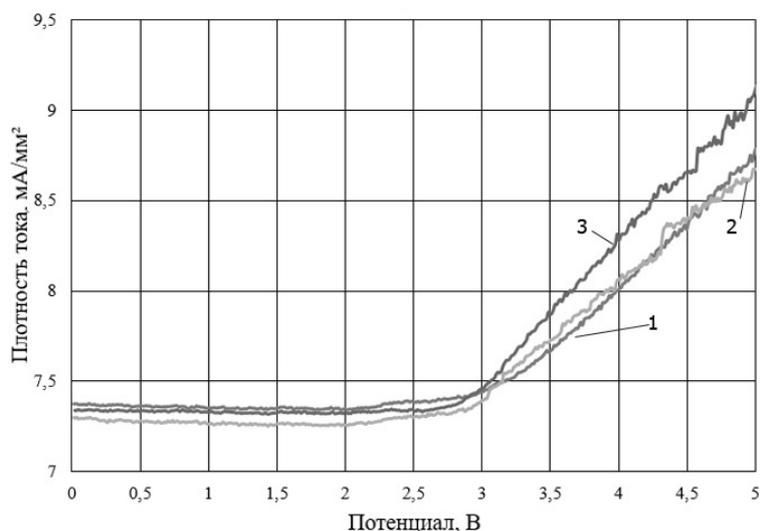


Рис. 2. Поляризационные кривые анодного поведения титанового сплава ОТ-4, полученные при помощи потенциодинамического метода, в водном растворе NaCl при концентрации соли: 1 - 10% , 2 - 15%, 3 - 20%

Анализ полученных поляризационных кривых при повышении температуры электролита от 30 до 50 °С (рис.3) указывает на тот факт, что для всех температур электролита происходит снижение плотности тока с увеличением потенциала. Подобное поведение может свидетельствовать о затухании процесса электрохимического растворения, например, из-за увеличением скорости роста или толщины окисных пленок на поверхности титана. Как и в случае с увеличением концентрации соли в электролите визуальное растворение материала практически не наблюдается.

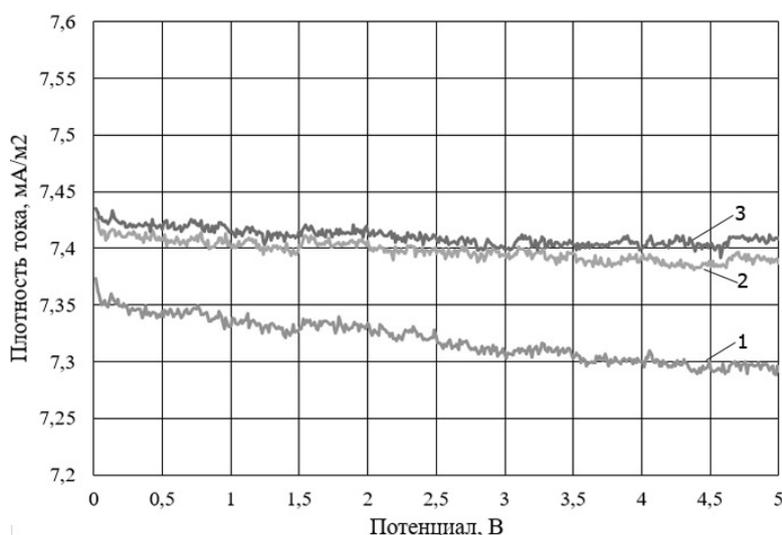


Рис. 3. Поляризационные кривые анодного поведения титанового сплава ОТ-4, полученные при помощи потенциодинамического метода, в 10% водном растворе NaCl: 1 – 30 °С, 2-40 °С, 3-50 °С

Выводы

Из анализа полученных поляризационных кривых, полученных для титанового сплава ОТ-4 в водном растворе хлорида натрия при изменении концентрации NaCl и увеличении температуры электролита, можно сделать следующие выводы. Концентрация соли в водном растворе хлорида натрия от 10 до 20 % не оказывает влияния на анодное растворение титанового сплава ОТ-4 в диапазоне потенциалов от 0 до 5 В. Увеличение температуры электролита до 50 °С приводит к снижению плотности тока во всем исследуемом диапазоне потенциалов. Потенциостатические исследования, проведенные для потенциалов, указывают на пассивацию поверхности для всех исследуемых значений температуры электролита. Вероятной причиной низкой скорости электрохимического растворения титанового сплава ОТ-4 является образования окислых пленок на поверхности материала в процессе растворения.

Список литературы

1. Колачев Б.А., Ливанов В.А., Буханова А.А. Механические свойства титана и его сплавов. – М.: Металлургия, 1974. – 544 с.
2. Иванова Ю.С. Поляризационное исследование анодного поведения титана ОТ-4 в водном растворе хлорида натрия // Наука. Технологии. Инновации: сборник научных трудов: в 9 ч., Новосибирск, 5–9 дек. 2016 г. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. – Ч. 3. – С. 311–312. – ISBN 978-5-7782-3082-8. – ISBN 978-5-7782-3085-9.

RESEARCH OF INFLUENCE OF CONCENTRATION OF SALT IN ELECTROLYTE AND ITS TEMPERATURES ON ANODE BEHAVIOR OF TITANIUM ALLOY OT-4 IN AQUEOUS SOLUTION NaCl

Gaar N.P., Ph.D. (Engineering), e-mail: gaar@corp.nstu.ru

Ivanova Yu.S., Master's Degree student, Master's Degree student, e-mail: lilu1207@yandex.ru

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

Abstract

Results of researches of anode behavior of titanium alloy in aqueous solution of sodium chloridum with concentration of salt from 10 to 20% are presented and at increase in temperature up to 50 °C, executed by means of a potentiodynamic and potentiostatic method. It is established that increase in concentration of NaCl from 10 to 20% as a part of electrolyte doesn't exert impact on the reached values of density of current. Increase in temperature of electrolyte up to 50° C leads to decrease in density of current with growth of potential in all studied range of temperatures. It is suggested that the similar anode behavior of titanium alloy is explained by growth the oxidic of films the surface of material as a result of electrochemical dissolution.

Keywords

anode dissolution, polarizing curves, oxidic films, titanium alloys

УДК 621.9.047

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ СОЛИ В ЭЛЕКТРОЛИТЕ
И ЕГО ТЕМПЕРАТУРЫ НА АНОДНОЕ ПОВЕДЕНИЕ АРМКО – ЖЕЛЕЗА
В ВОДНОМ РАСТВОРЕ NaCl**

*Н.П. ГААР, канд. техн. наук
С.А. ДАВЫДОВА, магистрант
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Гаар Н.П. – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: gaar@corp.nstu.ru

Представлены результаты исследований анодного поведения АРМКО-железа в водном растворе хлорида натрия с концентрацией соли от 10 до 20 % и при увеличении температуры до 40 °С, выполненные при помощи потенциодинамического метода. Установлено, что увеличение концентрации NaCl от 10 до 20 % в составе электролита не оказывает влияния на достигаемые значения плотности тока. Увеличение температуры электролита до 40 °С приводит к снижению плотности тока по сравнению со значениями плотности тока при комнатной температуре. Высказано предположение, что подобное анодное поведение АРМКО-железа объясняется особенностью образования окислых пленок на поверхности материала в результате электрохимического растворения.

Ключевые слова: электролит, АРМКО-железо, электрохимическая обработка, анодное поведение, окислые пленки

Введение

При обработке деталей из жаропрочных и твердых сплавов наряду с традиционными методами обработки применяется и электрохимическая размерная обработка (ЭХРО). ЭХРО металлов по сравнению с механической обработкой имеет целый ряд преимуществ, таких как: отсутствие силовых воздействий на обрабатываемую деталь; независимость обрабатываемости от твердости материала; незначительная величина шероховатости обработанных поверхностей и практически полное отсутствие термических воздействий на обрабатываемый материал [1], тем не менее производительность ЭХРО невысока. Причины этого для каждого сочетания материал-электролит свои: окислые пленки, тормозящие процесс растворения; малая активность анионов электролита т.д.

Существуют методы повышения производительности ЭХРО, в том числе и лазерно-электрохимическая обработка (ЛЭХРО) [2]. Данный метод обработки позволяет за счет задействования нескольких возможных механизмов воздействия лазерного излучения на электрохимические процессы повысить плотность тока для некоторых материалов в 5-7 раз [3], что является одним из показателей производительности ЭХРО. Однако, выявить механизмы активации, которые вероятнее всего являются основными при лазерно-электрохимической обработке при исследовании многокомпонентных материалов достаточно проблематично, так как каждый компонент может вносить свой вклад в электрохимическое состояние системы. По этой причине с целью установления возможных механизмов активации электрохимических процессов при ЛЭХРО в качестве исследуемого материала было выбрано технически чистое АРМКО-железо. Данный материал можно считать однокомпонентным. Однако, прежде чем приступить к активации процесса анодного поведения лазерным излучением необходимо исследовать его поведение в стационарных

условиях.

Анализ поляризационных исследований анодного растворения АРМКО-железа в 10% водном растворе хлорида натрия указывает на наличие областей его активного и пассивного растворения [4]. Однако, в указанной работе не устанавливалось влияние концентрации соли в электролите и его температуры на процесс анодного растворения. По этой причине данная работа посвящена исследованию влияния концентрации хлорида натрия и температуры электролита на скорость анодного растворения при помощи потенциодинамического метода.

Методика экспериментального исследования

Экспериментальные исследования проводились в водных растворах хлорида натрия с концентрацией соли от 10 до 20% и при изменении его температуры от 22 до 40°C для указанных концентраций. Эксперименты проводились с помощью потенциодинамического метода, применяемого при исследовании анодного поведения материала в электрохимии, реализуемого при помощи потенциостата IPC Pro M и электрохимической ячейки (рис. 1). В качестве электрода сравнения использовался платиновый электрод сравнения. Материал вспомогательного электрода (катода) – медь.



Рис. 1. Функциональная схема экспериментальной установки для исследования анодного поведения материала: Вс.Э.- вспомогательный электрод (катод), Э.С. – электрод сравнения, Р.Э. – рабочий электрод (исследуемый образец – анод)

Результаты и обсуждения

Результаты поляризационных исследований анодного поведения АРМКО – железа в водном растворе хлорида натрия с концентрацией соли от 10 до 20 % представлены на рис. 2. Анализ поляризационных кривых указывает на тот факт, что повышение концентрации соли в составе электролита неоднозначно влияет на достигаемые значения плотности тока, а следовательно, и на скорость электрохимического растворения. С одной стороны увеличение концентрации соли с 10 до 20% в области диапазонов от 0 до 2,5 В приводит к некоторому снижению плотности тока (с максимального значения 30 мА/мм² до 25 мА/мм²), с другой - в диапазоне потенциалов свыше 2,5 В до 5 В к незначительному увеличению плотности тока при повышении концентрации соли с 10 до 15% (с максимального значения 60 мА/мм² до 63 мА/мм²). При этом характерные участки пассивации и активного растворения не изменяют своего положения на поляризационной кривой. По этой причине можно утверждать, что увеличение концентрации соли в составе электролита на оказывает существенного влияния на скорость и характер анодного растворения АРМКО – железа.

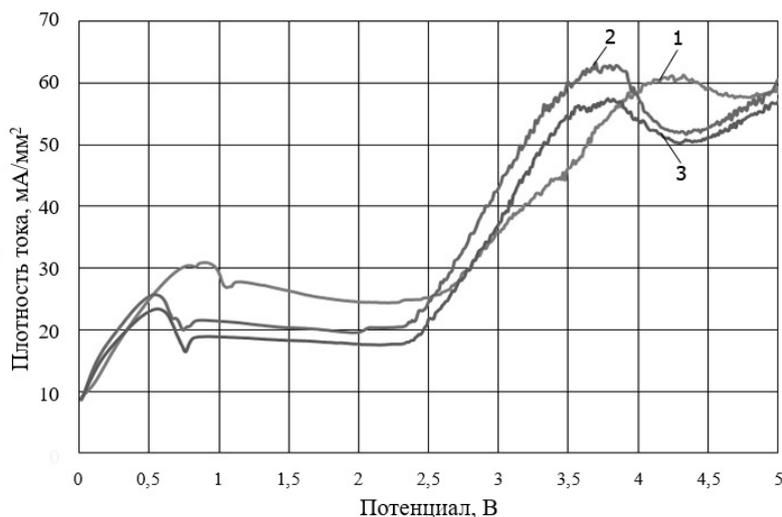


Рис. 2. Поляризационные кривые, полученные при помощи потенциодинамического метода в водных растворах хлорида натрия с концентрациями: 1-10%; 2-15%; 3-20%

Результаты поляризационных исследований, полученных при увеличении температуры электролита представлены на рис. 3.

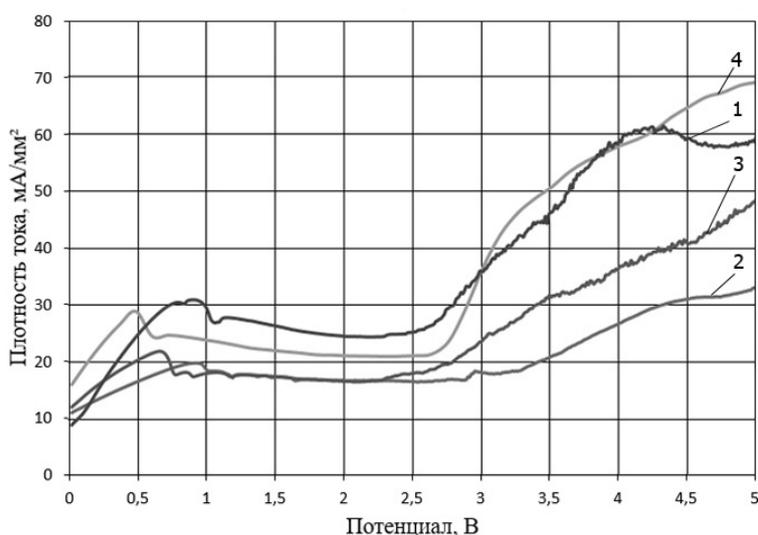


Рис. 3. Поляризационные кривые, полученные при помощи потенциодинамического метода в 10% водном растворе NaCl с температурой электролита: 1-22 °С; 2-30 °С; 3-35 °С; 4-40 °С;

Анализ полученных кривых указывает на тот факт, что повышение температуры электролита с 22 до 40 °С приводит к снижению достигаемых значений плотности тока. Причиной данного снижения могут являться образующиеся на поверхности железа пленки, интенсивность роста которых увеличивается при повышении температуры электролита [1, 5]. Проведенные исследования при повышении температуры электролита для концентрации NaCl 15 и 20 % показали аналогичные результаты – рост температуры электролита привел к снижению достигаемых значений плотности тока. Возможной причиной подобного влияния температуры электролита на скорость электрохимического растворения может объясняться наличием на поверхности исследуемого материала окислых пленок, скорость образования которых увеличивается с ростом температуры электролита.

Выводы

Анализ полученных результатов при изучении влияния концентрации NaCl в электролите и его температуры на анодное поведение ARMCO-железа позволяет сделать следующие выводы. Во-первых, концентрация соли от 10 до 20 % в диапазоне потенциалов от 0 до 5 В не оказывает существенного влияния на скорость анодного растворения. Во-вторых, увеличение температуры электролита от 22 до 40 °С приводит к снижению достигаемых значений плотности тока. Подобное анодное поведение ARMCO-железа может объясниться спецификой возникающих на поверхности материала окисных пленок, что требует дальнейших исследований.

Список литературы

1. Мороз И.И. Электрохимическая обработка металлов. – М.: Машиностроение, 1969. – 208 с.
2. Патент 2451582 Российская Федерация. Способ размерной обработки металлов и сплавов. – № 2010128204/02; заявл. 07.07.2010; опубл. 27.05.2012, Бюл. № 15. – 11 с.
3. Гаар Н.П. Электрохимическая обработка нержавеющей стали 12Х18Н9Т в условиях лазерного воздействия: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Новосибирск, 2010. – 20 с.
4. Давыдова С.А. Поляризационное исследование анодного поведения ARMCO-железа в водном растворе хлорида натрия // Наука. Технологии. Инновации: сборник научных трудов: в 9 ч., Новосибирск, 5–9 декабря 2016 г. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. – Ч. 3. – С. 306–307. – ISBN 978-5-7782-3082-8. – ISBN 978-5-7782-3085-9.
5. Клюев А.Л. Анодное поведение железа в присутствии ингибиторов окислительного типа и поверхностно-активных веществ: дис. ... канд. хим. наук: 02.00.01; 02.00.04. – М., 2005. – 144 с.

RESEARCH OF INFLUENCE OF CONCENTRATION OF SALT IN ELECTROLYTE AND ITS TEMPERATURES ON ANODE BEHAVIOR OF ARMCO – IRON IN AQUEOUS SOLUTION NaCl

Gaar N.P., Ph.D. (Engineering), e-mail: gaar@corp.nstu.ru

Davydova S.A., Master's Degree student, Master's Degree student, e-mail: davydovas.a@mail.ru

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

Abstract

Results of researches of anode behavior of ARMCO-iron in aqueous solution of chloride sodium with concentration of salt from 10 to 20% are presented and at increase in temperature up to 40 °С, executed by means of a potentiodynamic method. It is established that increase in concentration of NaCl from 10 to 20% as a part of electrolyte doesn't exert impact on the reached values of density of current. Increase in temperature of electrolyte up to 40 °С leads to decrease in density of current in comparison with values of density of current at the room temperature. It is suggested that the similar anode behavior of ARMCO-iron is explained by feature of appearance the oxidic films the surface of material as a result of electrochemical dissolution.

Keywords

electrolyte, ARMCO-iron, electrochemical machining, anode behavior, oxidic films

УДК 621.914.1

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ
ФРЕЗЕРОВАНИЯ НА СТАНКАХ С ЧПУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИГНАЛА
АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ**

*Ю.А. КРЯЖЕВ, канд. техн. наук, доцент
Е.Ю. ГОРИН, аспирант
(АлтГТУ, г. Барнаул)*

Горин Е.Ю. – 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
e-mail: evgenijgorin@gmail.com

В работе решается задача обеспечения стабильности параметров качества обрабатываемой поверхности при торцовом фрезеровании с помощью системы адаптивного управления процессом резания на основе анализа сигнала акустической эмиссии. Для решения этой задачи был разработан алгоритм системы адаптивного управления технологическими параметрами на станках с ЧПУ с использованием сигнала акустической эмиссии. В связи с отсутствием программного обеспечения, отвечающего требованиям работы данной системы, была проведена разработка приложения с применением самообучающихся алгоритмов для принятия решений на изменение технологических параметров процесса торцового фрезерования.

Ключевые слова: Фреза, торцовое фрезерование, адаптивное управление технологическими параметрами, сигнал акустической эмиссии, структурная схема.

Введение

В современном машиностроении торцовое фрезерование является одним из основных видов механической обработки и осуществляется на горизонтально – , вертикально – , продольно – фрезерных станках с ЧПУ торцовыми фрезами.

Решающим фактором экономической эффективности применения станков с ЧПУ и ГПС является производительность и эксплуатационная надежность. В балансе производительности станков с ЧПУ и ГПС доля сбоев металлорежущего оборудования по инструменту занимает одно из главных мест. На сегодняшний день в машиностроении остаются недостаточно изученными вопросы, касающиеся динамических процессов, происходящих в упругих замкнутых технологических системах. Прежде всего, это вибрации или колебания, возникающие при резании материалов. Управление этими процессами является одним из резервов повышения производительности обработки и качества изделий [1].

Обеспечение заданного качества изготовления деталей является главным показателем эффективности технологического процесса. В данной работе используется способ обеспечения заданной размерной точности и шероховатости обработанной поверхности путём прогнозирования параметра шероховатости R_a с помощью системы обработки сигнала акустической эмиссии (АЭ) [2]. Метод является технически простым и не изменяет конструкции металлообрабатывающего оборудования и обладает необходимой чувствительностью и быстродействием. Метод акустического излучения относится к акустическим методам неразрушающего контроля и технической диагностики. В основе метода лежит физическое явление излучения волн напряжений при быстрой локальной перестройке структуры материала. Метод акустического излучения, как структурно

чувствительный, обеспечивает обнаружение процессов пластической деформации, собственно разрушения и фазовых переходов [3, 4]. Но для этого необходимо иметь такую систему, которая могла бы не только принимать и анализировать виброакустический сигнал, но и также изменять технологические параметры технологического процесса в режиме реального времени.

Теория

В соответствии с актуальностью поставленной задачи, была разработана структурная схема адаптивного управления технологическими параметрами на станках с ЧПУ с использованием сигнала АЭ (рисунок 1).

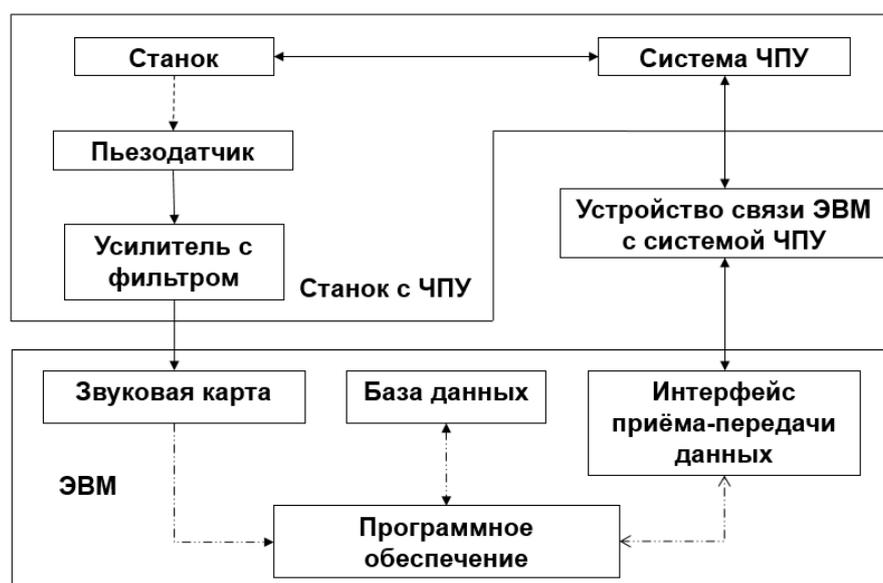


Рис. 1. Структурная схема адаптивного управления технологическими параметрами на станках с ЧПУ с использованием сигнала АЭ

Механические волны, возникающие в процессе механической обработки деталей, преобразуются пьезодатчиком в электрический сигнал, затем этот сигнал проходит через усилитель с фильтром и передаётся в звуковую карту электронно-вычислительной машины (ЭВМ). Далее в ЭВМ происходит обработка полученного ВА сигнала в специализированном программном обеспечении (ПО), анализ этих данных, а также передача полученных результатов в базу данных (БД). На основе ранее полученных результатов анализа, хранящихся в БД, и текущего получаемого ВА сигнала, ПО принимает решение на изменение технологических параметров для достижения заданного качества обработки детали. Сформированные управляющие команды изменения конкретных технологических параметров отправляется через интерфейс передачи данных в систему ЧПУ станка и происходит изменение параметров режима резания заданного технологического процесса.

Для реализации данной системы необходимо разработать ПО с применением самообучающихся алгоритмов для принятия решений на изменения технологических параметров. Структурная схема алгоритма ПО с применением самообучающихся алгоритмов представлена на рисунке 2.

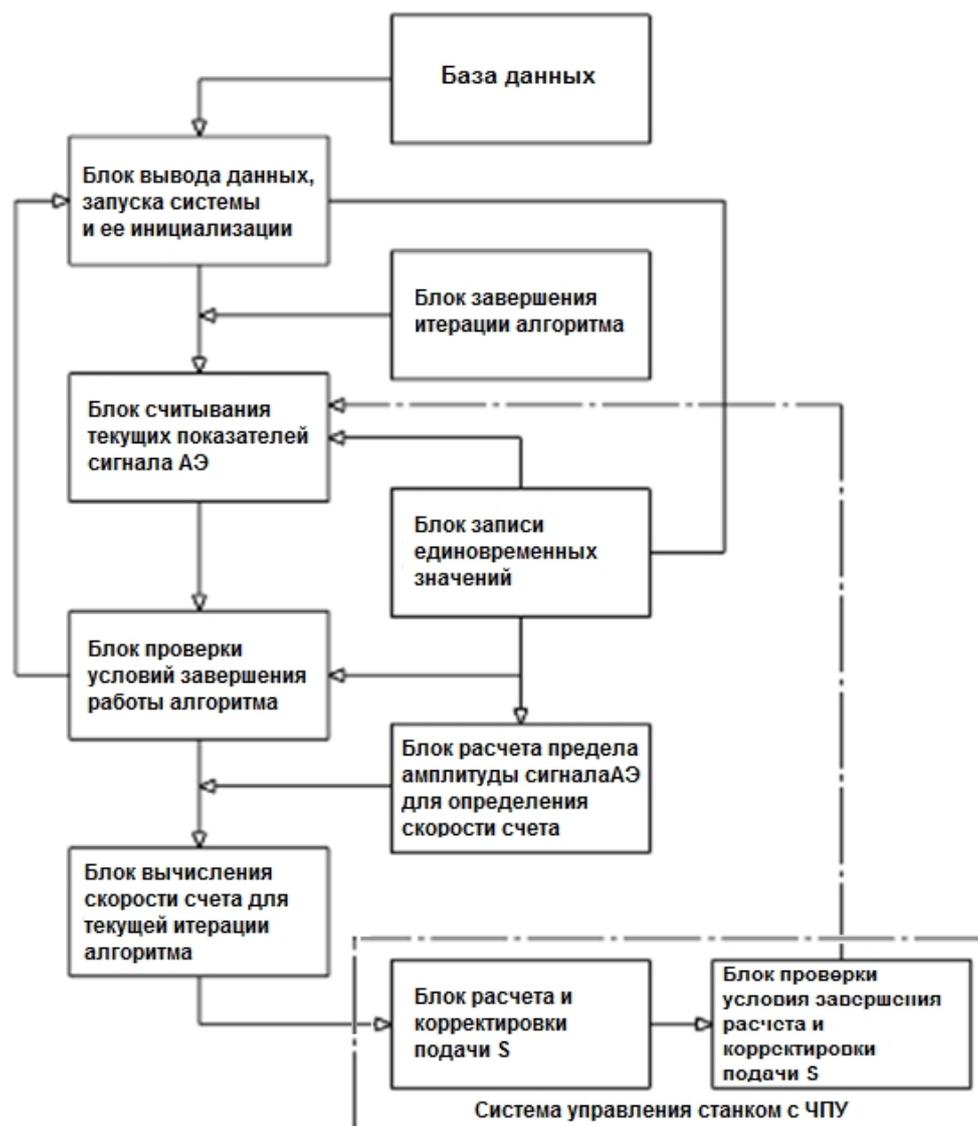


Рис. 2. Структурная схема алгоритма программного обеспечения с применением самообучающихся алгоритмов

Реализация работы алгоритма ПО осуществляется за счет последовательного выполнения команд между отдельными блоками представленной структурной схемы:

1) Блок ввода данных, запуска системы и её инициализации

В данном блоке производится приём исходных данных, загрузка зависимостей R_a от параметров процесса резания из базы данных на основе введённых данных, вычисления временных диапазонов обработки заготовки, проверка условия запуска системы и инициализация системы при запуске.

2) Блок считывания текущих показаний сигнала АЭ

В этом блоке происходит считывание текущих показаний входящей амплитуды сигнала АЭ и запись их в двумерный массив $[i][j]$ до тех пор, пока текущее значение времени с момента запуска системы не станет равным или превысит время периода съёма показаний для текущей итерации алгоритма.

3) Блок проверки условий завершения работы алгоритма

В данном блоке проводится вычисление средней амплитуды значений сигнала АЭ для текущей итерации алгоритма и проверка условий завершения работы алгоритма: превышение вычисленной $A_{ср}[i]$ над сигналом АЭ, свидетельствующим об износе режущего инструмента; и превышение времени с момента запуска системы над общим временем обработки (рисунок 3).

4) Блок записи единовременных значений

В данном блоке ведётся проверка условий для единовременной записи необходимых текущих значений в память и для дальнейшего их использования в вычислениях алгоритма. Так же в этом блоке производится расчёт среднего значения амплитуды сигнала АЭ за всё время устоявшегося процесса резания.

5) Блок завершения итерации алгоритма

В данном блоке по завершению итерации алгоритма производится корректировка значения счётчика итераций и периода съёма показаний для следующей итерации.

6) Блок расчёта предела амплитуды сигнала АЭ для определения скорости счёта

Данный блок отвечает за подбор значения предела амплитуды сигнала АЭ для определения скорости счёта. Этот блок ведёт работу единожды - в начале устоявшегося процесса резания, затем найденное $A_{расч}$ используется во всём алгоритме до момента его завершения.

7) Блок вычисления скорости счёта для текущей итерации алгоритма

Данный блок отвечает за вычисление скорости счёта для текущей итерации алгоритма. Начинает свою работу после завершения блока №6 и работает до выполнения условия блока №8.

8) Блок расчёта и корректировки подачи S

Этот блок отвечает за расчёт шероховатости от полученных данных во время работы алгоритма в текущей итерации. Если шероховатость выходит за необходимый предел, то производится корректировка подачи в соответствии с вычисленным значением подачи по другой зависимости. Если произошла корректировка подачи, то заново производятся вычисления временных диапазонов обработки заготовки в соответствии с новыми данными.

9) Блок проверки условия завершения расчёта и корректировки подачи S

Данный блок отвечает за прерывание работы блока №7 и №8 по условию превышения текущего времени с начала работы алгоритма над расчётным временем начала выхода фрезы из тела заготовки.

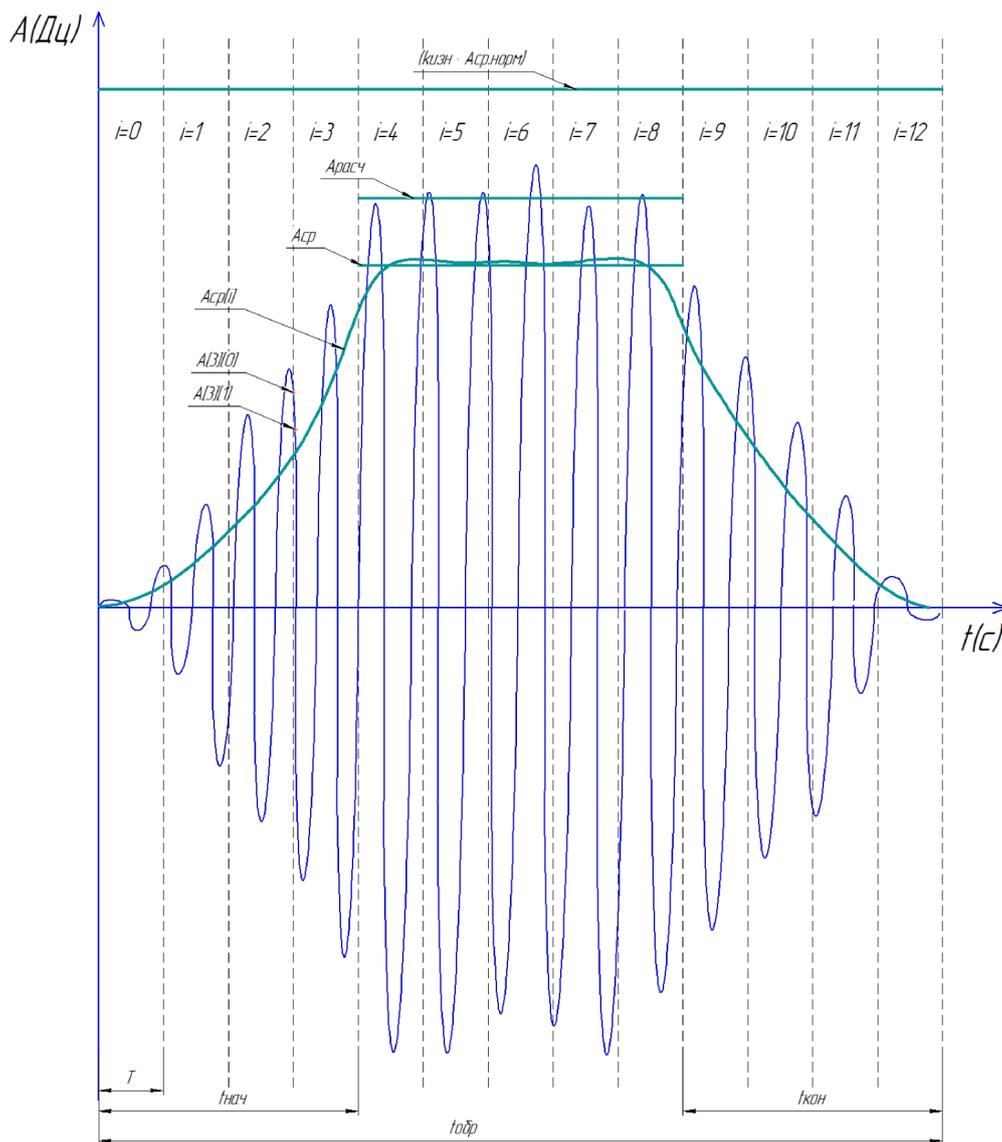


Рис. 3. График сигнала АЭ при торцовом фрезеровании

Результаты и обсуждение

В данном ПО реализовано получение, и обработка ВА сигнала со звуковой карты ЭВМ в режиме реального времени, анализ этого сигнала, сохранение результатов анализа в БД, принятие решения на изменение технологических параметров и формирование управляющих команд с отправкой их в систему ЧПУ через интерфейс передачи данных. В главном окне ПО выводится получаемая гистограмма ВА сигнала, графики скорости счёта, амплитудного и частотного распределений, а также показания времени анализа, суммарного счёта, средней скорости счёта, средней амплитуды. Так же пользователю данного ПО доступны ряд настроек, сохранение полученного ВА сигнала в формате WAV, а также загрузка файлов данного типа и проведения их анализа (рисунок 4).

Разработка данного ПО производится в бесплатной среде разработки Qt с применением бесплатной БД MySQL, с помощью которых можно создавать кроссплатформенные приложения с открытыми исходными кодами, распространяемыми на условиях лицензии GNU GPL.

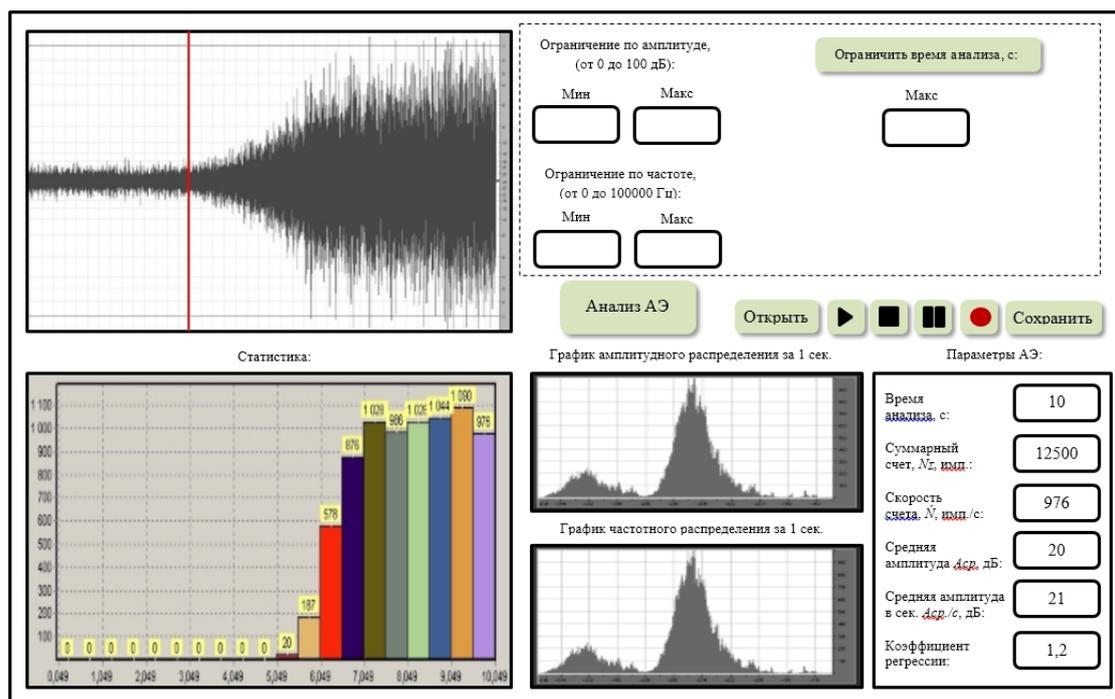


Рис. 4. Эскиз главного окна разрабатываемого приложения

Выводы

Разработанный алгоритм адаптивного управления процессом фрезерования на станках с ЧПУ с использованием сигнала акустической эмиссии реализуется в программном обеспечении с применением самообучающихся алгоритмов и обеспечивает стабильность параметров качества обрабатываемой поверхности при торцовом фрезеровании.

Список литературы

1. *Кряжев Ю.А., Огневенко Е.С.* Исследование колебательных процессов, возникающих при работе спирального сверла, с применением анализа акустического сигнала // *Технология машиностроения*. – 2008. – № 1. – С. 28–29.
2. *Татаркин Е.Ю., Кряжев Ю.А., Огневенко Е.С.* Новые аспекты применения метода акустической эмиссии в машиностроении и металлообработке: монография. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2015. – 101 с.
3. *Altintas Y.* Manufacturing automation: metal cutting mechanics, machine tool vibrations, and CNC design. – Cambridge: Cambridge University Press, 2012. – 382 p.
4. *Акустическая эмиссия при трении* / В.М. Баранов, Е.М. Кудрявцев, Г.А. Сарычев, В.М. Щавелин. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 256 с.

**THE DEVELOPMENT OF ALGORITHM OF ADAPTIVE MILLING PROCESS
CONTROL ON CNC USING ACOUSTIC EMISSION SIGNAL**

Kryazhev J. A., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: kryazhev57@mail.ru

Gorin E. J., Ph.D. student, e-mail: evgenijgorin@gmail.com

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

Abstract

In this article we solve the problem of providing stability of quality parameters of the surface during the face milling with the system of adaptive milling process control on the base of acoustic emission signal. To solve this problem the algorithm of system of adaptive technological parameters control on CNC using acoustic emission signal.

Due to the absence of software, which is required for this system, an application development was carried out with the use of self-training algorithms for decision-making to change technological parameters of face milling process.

Keywords

Mill, face milling, adaptive technological parameters control, acoustic emission signal, block diagram

УДК 621.91.01

**АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ТОЧЕНИЯ
ФРЕЗЕРОВАНИЕМ***А.М. МАРКОВ, доктор техн. наук, профессор**Ю.В. ФЕДОРОВ, канд. техн. наук, профессор**И.С. ПОТАПОВ, студент**М.В. АНДРЕЕВ, магистрант**А.А. ШИТЮК, аспирант**(АлтГТУ, г. Барнаул)*

Потапов И.С. – 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
e-mail: ivan42potapov@gmail.com

В статье рассмотрены основные технологические особенности высокоскоростной обработки, преимущества этого метода и возможности его применения при точении фрезерованием. Проанализированы особенности точения фрезерованием, отличающие его от традиционных методов обработки. Предложены формулы для оценки влияния геометрической составляющей процесса точения фрезерованием на формирование шероховатости заготовки.

Ключевые слова: механическая обработка, высокоскоростная обработка, точение, фрезерование, режимы резания.

Введение

Высокоскоростная обработка (ВСО) в настоящее время относится к числу наиболее прогрессивных и интенсивно развивающихся технологий обработки материалов. ВСО одна из современных и эффективных альтернатив многим классическим методам механической обработки. По сравнению с обычным резанием она позволяет улучшить качество обработки и дает возможность упростить структуру производственного процесса, увеличивая, таким образом, суммарную производительность. Важнейшим фактором при ВСО является не только снижение крутящего момента, но и перераспределение тепловых потоков в зоне резания. При этом увеличивается доля теплового потока, уходящего в стружку, и уменьшается количество теплоты поступающей в заготовку, инструмент и от инструмента в заготовку [3, 4]. В наибольшей степени это проявляется при высокоскоростном фрезеровании, когда инструмент и заготовка контактируют циклически.

Для эффективного применения ВСО при обработке тел вращения необходимо изменить непрерывный контакт резца с заготовкой на циклический. Альтернативой токарной обработке в этом случае будет являться точение фрезерованием. Это позволит охватить технологией ВСО огромное количество изделий машиностроительных предприятий относящихся к группе тел вращения. Размеры таких изделий (диаметральные и линейные) могут находиться в пределах от нескольких миллиметров до нескольких метров, а материал может либо хорошо подвергаться обработке резанием (сталь 45), либо вызывать большие трудности, связанные со стойкостью инструмента (титановые сплавы) [11] или качеством обработанной поверхности (полимерные композиционные материалы (ПКМ)) [8, 9].

Теория

Точение фрезерованием (фрезоточение) – это фрезерование поверхности заготовки при её вращении вокруг оси. Различают периферийную или окружную обработку, применимую для наружных и внутренних поверхностей (рисунок 1, а), и торцевую, применимую только для наружных поверхностей (рисунок 1, б).

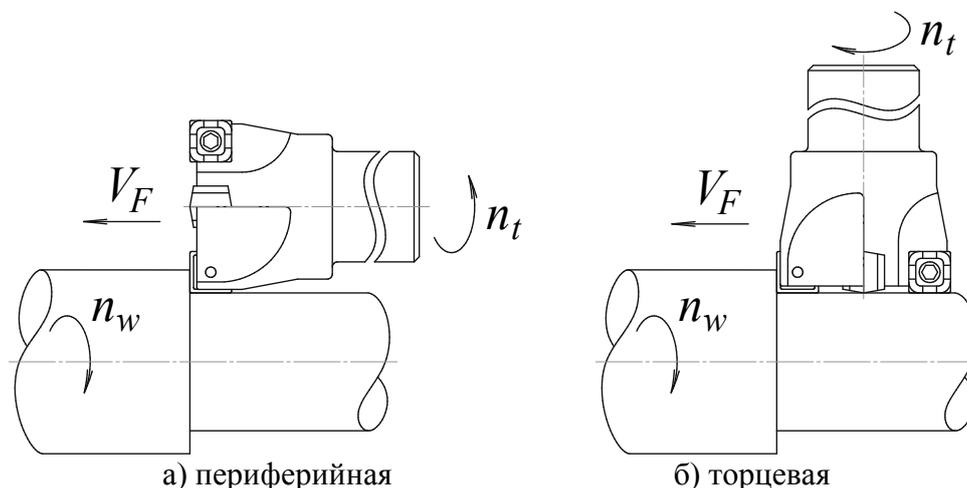


Рис. 1. Точение фрезерованием

Точение фрезерованием можно легко представить, мысленно разрезав поверхность вращения вдоль оси, развернув ее в плоскость и подвергнув плоскую поверхность традиционному фрезерованию. При фрезоточении скорость резания определяется частотой вращения фрезы, а не заготовки как при точении.

Скорость резания:

$$V = \frac{\pi \cdot d_{\phi} \cdot n_{\phi}}{1000}, \text{ (м/мин)}, \quad (1)$$

где d_{ϕ} – диаметр фрезы, мм;

n_{ϕ} – частота вращения фрезы, об/мин,

Частота вращения заготовки определяет минутную подачу фрезы:

$$S_m = \pi \cdot D_{\text{заг}} \cdot n_{\text{заг}} = S_z \cdot z \cdot n_{\phi}, \text{ (мм/мин)}, \quad (2)$$

где $D_{\text{заг}}$ – наибольший диаметр обрабатываемой поверхности заготовки, мм;

$n_{\text{заг}}$ – частота вращения заготовки, об/мин;

S_z – подача на зуб, мм/зуб;

z – число зубьев фрезы.

Частота вращения заготовки:

$$n_{\text{заг}} = \frac{S_z \cdot z \cdot n_{\phi}}{\pi \cdot D_{\text{заг}}}, \text{ (об/мин)}. \quad (3)$$

Процесс точения фрезерованием имеет определенные специфические особенности, отличающие его от традиционных процессов фрезерования. Это обстоятельство не позволяет непосредственно использовать известные формулы для определения сил резания, что приводит к необходимости проведения специальных экспериментов для их определения.

Данный вид обработки можно осуществлять как на токарно-фрезерных обрабатывающих центрах, так и на фрезерных станках с 4-й осью. Инструментом могут служить торцевые, концевые и дисковые фрезы.

Точение фрезерованием обладает рядом преимуществ по сравнению с токарной обработкой:

1. Вращающаяся фреза работает в условиях циклического контакта с обрабатываемой заготовкой. Поэтому при обработке прерывистых поверхностей вращения (с пазами, поперечными отверстиями и т.п.) фреза практически не подвержена воздействию значительных ударных нагрузок, возникающих при токарной обработке, и приводящих к увеличению шероховатости обработки и снижению стойкости инструмента.

2. В результате обработки образуется сегментная стружка удобная для складирования, транспортировки и переработки, в отличие от сливной стружки характерной для токарной обработки.

3. Не требуется высокая частота вращения заготовки, что позволяет избежать вредного воздействия дисбаланса при обработке деталей с эксцентриковыми элементами и поверхностей сложного профиля типа кулачков (распредвалы, коленвалы и т.д.).

4. Значительно повышается производительность обработки тяжелых заготовок, при точении которых зачастую невозможно установить требуемую частоту вращения для обеспечения заданной скорости резания. Согласно работе [12] производительность точения фрезерованием может возрасти до 4,5 раз, а себестоимость снижаться до 3 раз по сравнению с токарной обработкой.

Для получения желаемого результата при точении фрезерованием необходимо не только обеспечить необходимые геометрические параметры фрезы, но и правильно установить положение фрезы относительно заготовки. За счет этого обеспечивается снижение погрешностей формы и получение заданной шероховатости поверхности.

По данным работ [2, 10] эффективный съем большого объема материала при фрезеровании можно достичь, используя плунжерные фрезы (рисунок 2). Они работают путем последовательных погружений в обрабатываемый материал с осевой, а не радиальной подачей. За счет этого плунжерные фрезы менее подвержены вибрациям и позволяют более полно использовать все возможности станка, работая на больших подачах.

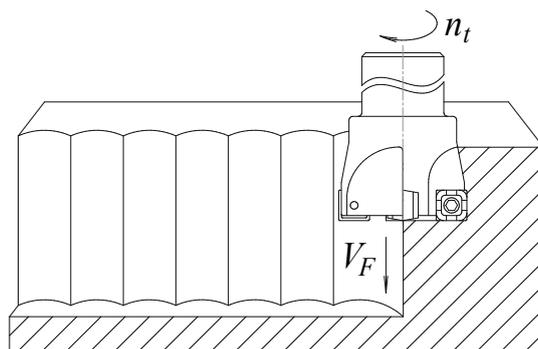


Рис. 2. Погружное фрезерование плунжерной фрезой

С целью повышения производительности точения фрезерованием целесообразно использовать плунжерную фрезу, установленную вертикально по касательной к обрабатываемой поверхности, с расположением торцевой поверхности фрезы на уровне центров токарного станка (рисунок 3). В этом случае обработка будет вестись путем непрерывного погружения фрезы в слой снимаемого припуска при вращении заготовки и перемещении вращающейся фрезы относительно заготовки также как и при точении. Возможно также не вертикальное расположение плунжерной фрезы, но при условии расположения оси центров в плоскости торцевой поверхности фрезы.

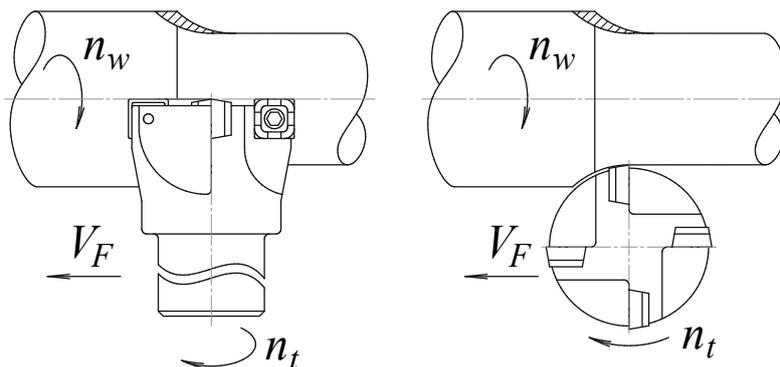
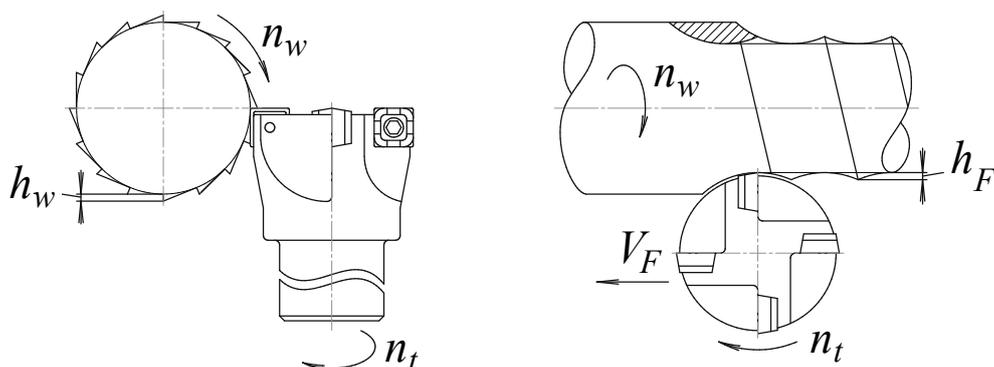


Рис. 3. Точение фрезерованием плунжерной фрезой

Среди приведенных в работе [11] принципиальных схем обработки валов фрезами есть похожая схема обработки под названием «схема резания вращающимся резцом». Однако направление вращения инструмента в ней указано соответствующим встречному фрезерованию, что не соответствует условиям ВСО.

На рисунке 4 представлены схемы формирования шероховатости в направлении вращения заготовки и в направлении подачи инструмента относительно заготовки.



а) в направлении вращения заготовки

б) в направлении подачи инструмента относительно заготовки

Рис. 4. Схемы формирования шероховатости при точении фрезерованием плунжерной фрезой

Влияние геометрической составляющей процесса точения фрезерованием на формирование шероховатости в направлении вращения заготовки можно оценить следующим образом:

$$h_w = \sqrt{R_{заг}^2 + S_z^2} - R_{заг}, \text{ (мм)}, \quad (4)$$

и в направлении подачи инструмента относительно заготовки:

$$h_F = r_\phi - \sqrt{r_\phi^2 - \frac{S^2}{4}}, \text{ (мм)}, \quad (5)$$

где r_ϕ – радиус фрезы, мм;

S – подача вращающейся фрезы относительно заготовки, мм/об.

Результаты и обсуждение

Формулы (3)- (4) позволят определять высоту остаточных гребешков между соседними проходами фрезы. Однако на формирование шероховатости влияют еще и деформационные процессы в зоне обработки. Для комплексной оценки шероховатости

необходимо учитывать тепловыделение в зоне резания, внутреннее трение частиц металла в стружке и в зоне пластического деформирования, а также давление на инструмент в процессе механообработки. Необходимо проведение специальных экспериментов для определения шероховатости при точении фрезерованием.

Как известно ВСО требует плавных траекторий движения инструмента и отсутствия углов. Это обусловлено необходимостью снижения динамических нагрузок во время резкой смены направления движения инструмента. В углах же, где инструмент меняет направление, он должен останавливаться, а снижение технологической нагрузки в этот момент вызывает врезание фрезы в тело детали. При последующем увеличении скорости нагрузка возрастает, а врезание уменьшается. Это ухудшает качество обработки, увеличивает износ инструмента и станка.

Также ВСО требует равномерной нагрузки на инструмент. Традиционная строчная обработка, состоящая из многочисленных ходов, врезания и выходов инструмента (даже если это сглаженные входы по дуге), не может быть признана оптимальной для ВСО. Предпочтение должно отдаваться спиральным стратегиям, где инструмент, однажды врезавшись, сохраняет непрерывный и равномерный контакт с заготовкой, или стратегиям эквидистантного смещения контура, которые длительное время сохраняют контакт инструмента с заготовкой, с одним заходом и выходом [1].

Выводы

Большинство требований, предъявляемых к высокоскоростному фрезерованию, смогут выполняться и при точении фрезерованием, поскольку даже при традиционной токарной обработке преобладают длинные прямолинейные траектории перемещения инструмента. Поэтому не будет необходимости в резких разгонах и торможениях при подаче фрезы, и, как следствие, больших динамических нагрузок. Такая обработка будет эффективна не только для металлов и сплавов, но и для ПКМ, поскольку малое количество теплоты, поступающее в заготовку и инструмент при ВСО, позволит избежать возникновения термодеструкции ПКМ [5, 7]. При этом невысокие значения сил резания характерные для ВСО положительно скажутся при обработке нежестких валов и тонкостенных заготовок.

Список литературы

1. Виттингтон К., Власов В. Высокоскоростная механообработка [Электронный ресурс] // САПР и графика. – 2002. – № 11. – URL: <http://www.sapr.ru/Article.aspx?id=8151> (дата обращения: 02.03.2017).
2. Лить или резать? [Электронный ресурс] / В. Власов, Д. Рассохин, А. Веретнов, К. Евченко // САПР и графика. – 2008. – № 10. – URL: <http://sapr.ru/article.aspx?id=19645&iid=906> (дата обращения: 02.03.2017).
3. 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.
4. Технологические основы создания износостойкого инструмента / В.В. Зобнев, С.Г. Иванов, А.М. Гурьев, А.М. Марков // Ползуновский альманах. – 2012. – № 1. – С. 271–273.
5. Конструкции фрез для обработки стеклопластиков / С.А. Катаева, А.М. Марков, П.О. Черданцев, С.В. Гайст, Е.Ю. Лапенков // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2016. – № 3. – С. 307–312.

6. *Кряжев Д.Ю.* Фрезерная обработка на станках с ЧПУ [Электронный ресурс]: учебное пособие. – СПб.: ИРЛЕН-инжиниринг, 2005. – 41 с. – URL: http://purelogic.ru/doc/PDF/CNC/frez_CNC.pdf (дата обращения: 02.03.2017).
7. Исследование процесса фрезерования стеклопластиков / Е.Ю. Лапенков, С.А. Катаева, С.В. Гайст, П.О. Черданцев, А.М. Марков // Вестник алтайской науки. – 2015. – № 3/4 (25/26). – С. 39–44.
8. *Мозговой Н.И., Марков А.М.* Исследование процесса формирования показателей качества отверстий в деталях из стеклопластика // Ползуновский вестник. – 2009. – № 2. – С. 23.
9. *Мозговой Н.И., Марков А.М., Доц М.* Стеклопластик и особенности его механической обработки. Все о стеклопластике. – Саарбрюкен: LAP Lambert Academic Publ., 2012.
10. Плунжерное фрезерование [Электронный ресурс]. – URL: http://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/knowledge/milling/application_overview/holes_and_cavities/plunge_milling (дата обращения: 02.03.2017).
11. *Селиванов А.Н., Насад Т.Г.* Обеспечение качества обработки валов из титановых сплавов методом высокоскоростного фрезерования и фрезоточения [Электронный ресурс] // Вестник СГТУ. – 2010. – № 1 (46), т. 3. – С. 55–61. – URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/obespechenie-kachestva-obrabotki-valov-iz-titanovykh-splavov-metodom-vysokoskorostnogo-frezerovaniya-i-frezotocheniya> (дата обращения: 02.03.2017).
12. *Селиванов А.Н., Насад Т.Г.* Расчет экономической эффективности обработки валов методом высокоскоростного фрезоточения [Электронный ресурс] // Вестник СГТУ. – 2011. – № 2 (56). – С. 134–138. – URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/raschet-ekonomicheskoy-effektivnosti-obrabotki-valov-metodom-vysokoskorostnogo-frezotocheniya> (дата обращения: 02.03.2017).

ANALYSIS OF FEATURES OF HIGH-SPEED TURNING WITH A MILL

Markov A.M., D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: andmarkov@inbox.ru
Fedorov U.V., Ph.D. (Engineering), Professor, e-mail: ufedorov40@yandex.ru
Potapov I.S., Student, e-mail: vanya_potapov@mail.ru
Andreev M.V., Master's Degree student, e-mail: m194@mail.ru
Shituk A.A., Ph.D. student, e-mail: shityuk-aa@apzrotor.ru

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

Abstract

The main technological features of high-speed cutting technology, the advantages of this method and the possibility of its use in turning with a mill have been examined. The features of turning with a mill, distinguishing it from the traditional processing methods have been analyzed. The formulas for assessing the impact of the geometric component of the turning milling process on the formation of the roughness of the workpiece have been proposed.

Keywords

machining, high speed cutting, turning, milling, cutting parameters

УДК 621.9.022

УВЕЛИЧЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ СТАТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКЕ КЕРАМИЧЕСКИХ ГОЛОВОК ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА. ИСПЫТАНИЯ НА СТАТИЧЕСКОЕ СЖАТИЕ**С.Ю. ДЕСЯТОВ, магистрант
(НГТУ, г. Новосибирск)**

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

В условиях активного замещения импортных товаров продукцией производства РФ, актуальным становится обеспечение соответствия механических характеристик и качества изделий международным стандартам. Для повышения конкурентоспособности продукции АО «НЭВЗ-Керамикс» совместно с НГТУ реализован комплекс технологических мероприятий. Проведён анализ конструкции и технологического процесса производства головки тотального эндопротеза тазобедренного сустава (ТБС). Выявлена операция производственного процесса закладывающая концентратор напряжений, уменьшающий прочность изделия. Предложено несколько способов изменения технологического процесса с целью увеличения прочности головки ТБС при статическом сжатии. После внесения изменений в технологический процесс производства проведены повторные испытания на статическое сжатие согласно ГОСТ Р ИСО 7206-10-2005.

Ключевые слова: керамика, эндопротез, тотальный эндопротез тазобедренного сустава, обработка неспечённой керамики, токарная обработка, фасонный резец.

Введение

Ежегодно на территории Российской Федерации проводится более 10000 операций по замене ТБС на эндопротез. Классический тотальный эндопротез состоит из ножки, чашки, вкладыша и головки (рис. 1). Самый распространенный вид эндопротезирования – это тотальное эндопротезирование тазобедренного сустава. В ходе этой операции заменяют на искусственные как шейку с головкой бедренной кости, так и вертлужную впадину.

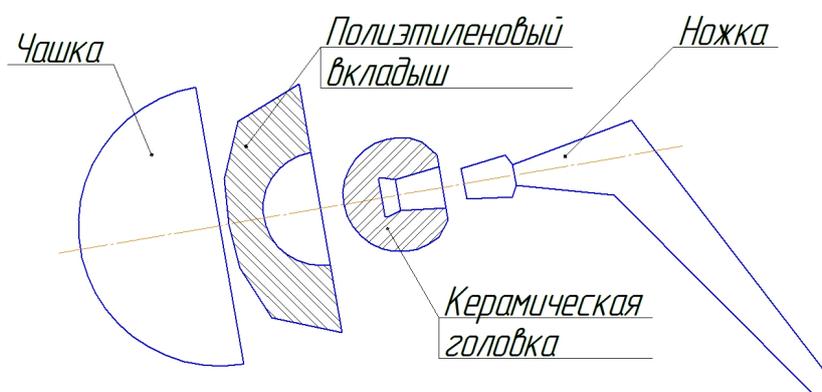


Рис. 1. Тотальный эндопротез тазобедренного сустава (ТБС)

Сопротивление статической нагрузке составляющих частей тотального эндопротеза является одной из основных характеристик оценки данного изделия.

Испытания головок ТБС на статическое сжатие в фирме Zimmer

По результатам испытаний на статическое сжатие проведённых в фирме Zimmer определено, что керамические головки ТБС производства АО «НЭВЗ-Керамикс» уступают по характеристикам своим европейским аналогам. Средняя прочность изделий фирмы Zimmer при статическом сжатии составляет 90 кН, головки ТБС производства АО «НЭВЗ-Керамикс» в процессе испытаний разрушились при нагрузке в 50 кН.

Проведен анализ осколков головок ТБС, с целью определения места зарождения трещин во время разрушения изделия.

Исследование показало, что трещины начинают образовываться из зоны 1 (рис. 2), области сопряжения конусной и радиусной поверхности. Формообразование данной зоны производится в результате механической обработки на токарной операции и по средствам усадки материала во время операции обжига.

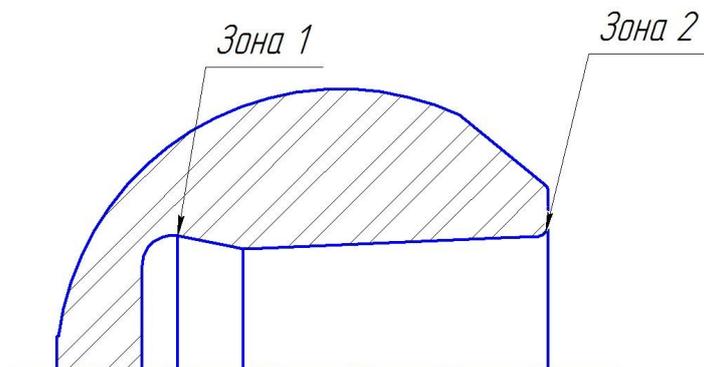


Рис. 2. Продольное сечение головки ТБС

Исследуя зону 1 (рис. 2) неспечённого изделия с применением электронного микроскопа, обнаружены ярко выраженные следы от режущего инструмента, способные уменьшить прочностные характеристики.

Методы предотвращения образования следов от режущего инструмента

На этапе изучения проблемы возникновения и удаления следов от режущего инструмента рассмотрено несколько решений:

1. Использование резца с радиусным профилем для формообразования поверхности конусного отверстия.
2. Использование комбинации резцов с разным профилем режущей поверхности для формообразования поверхности конусного отверстия.
3. Использование профильного резца для формообразования поверхности конусного отверстия (рис. 3).

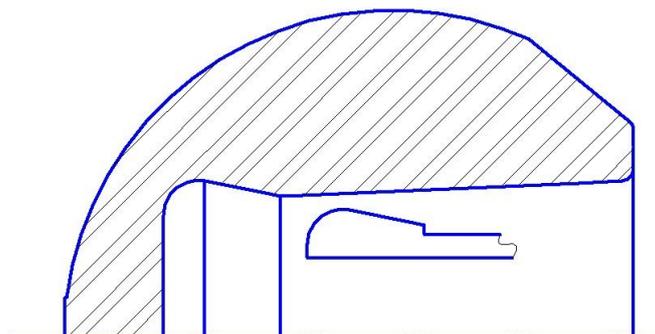


Рис. 3. Схема обработки отверстия профильным резцом

4. Введение дополнительной операции для удаления следов от режущего инструмента после токарной обработки.

В настоящее время в условиях производства опробовано изготовление изделий согласно 1-ой и 2-ой схеме обработки:

1. Изделия изготовленные одним резцом с радиусным профилем не прошли контроль качества после токарной обработки. В зоне 2 (рис. 2) обнаружено выдавливание слоя обрабатываемого материала, подобные дефекты на операции токарной обработки данного изделия недопустимы.

2. Изделия изготовленные методом разделения формообразования конусного отверстия между резцами с различным профилем прошли контроль качества после токарной обработки, проведены по основному маршруту изготовления головок ТБС и подвергнуты испытаниям на статическое сжатие согласно ГОСТ Р ИСО 7206-10-2005.

Результаты и обсуждение

По результатам повторных испытаний на статическое сжатие проведённых согласно ГОСТ Р ИСО 7206-10-2005 определено, что керамические головки ТБС, произведённые новым методом, не уступают по прочности своим европейским аналогам фирмы Zimmer. Одним из положительных результатов стало разрушение изделия на более мелкие фрагменты относительно первых испытаний, что свидетельствует о более равномерном распределении нагрузки.

Выводы

Повторные испытания на статическое сжатие показали увеличение прочности изделия, что свидетельствует о правильном определении дефектной зоны изделия и эффективности изменений внесённых в технологический процесс.

Список литературы

1. Панова И.М. Особенности конструирования изделий из керамических материалов // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2013. – № 4 (45). – С. 45–50.
2. Механическая обработка деталей из керамики и ситаллов / В.А. Хрульков, В.А. Тародей, А.Я. Головань, Ю.М. Буки. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1975. – 352 с.

3. ГОСТ Р ИСО 7206-10–2005. Имплантаты для хирургии. Эндопротезы тазобедренного сустава частичные и тотальные. Ч. 10. Определение сопротивления статической нагрузке модульных бедренных головок. – М.: Стандартинформ, 2006.

INCREASED RESISTANCE TO STATIC LOADS CERAMIC HEADS HIP. TEST FOR STATIC COMPRESSION

Desyatov S.Yu., Master's Degree Student, e-mail: serezhha.desyatov@yandex.ru

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

Abstract

In imported active substitution conditions of products produced in Russia, it becomes relevant to ensure compliance with the mechanical characteristics and quality of products to international standards. To improve the competitiveness of "NEVZ-CERAMICS" products together with the Novosibirsk State Technical University realized the complex of technological measures. The analysis of the construction and technological manufacturing process of the femoral-head prosthesis. Manufacturing process operation putting in of stress concentrator which reduces the strength of the product was exposed. Several changing ways of technological process to increase the strength of the femoral-head-prosthesis at static compression were proposed. After making changes in technological process of manufacturing repeated tests on static compression according to GOST R ISO 7206-10-2005 were exposed.

Keywords

ceramic, endoprosthesis, total hip endoprosthesis, crude ceramics processing, lathe work, forming tool

УДК 621.9

**РАСЧЕТ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ В РАБОЧЕМ ЗАЗОРЕ
ПРИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ
ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЗАГОТОВОК
ИЗ ФЕРРОМАГНИТНЫХ И НЕМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ
ИНДУКТОРОМ НА ПОСТОЯННЫХ МАГНИТАХ**

*С.Л. ЛЕОНОВ, доктор техн. наук, профессор
А.М. ИКОННИКОВ, канд. техн. наук, доцент
Р.В. ГРЕБЕНЬКОВ, аспирант
(АлтГТУ, г. Барнаул)*

Леонов С.Л. - 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
e-mail: sergey_and_nady@mail.ru

Авторы излагают методику расчета магнитной индукции в рабочем зазоре при магнитно-абразивной обработке плоских поверхностей заготовок из ферромагнитных и немагнитных материалов индуктором на постоянных магнитах. Магнитная система спроектирована в среде Ansys, в которой и будут проведены и представлены расчеты. Показаны картины силовых линий поля при магнитно-абразивной обработке ферромагнитных и немагнитных заготовок. Также приведены значения магнитной индукции в рабочем зазоре и во всей магнитной системе в целом при магнитно-абразивной обработке ферромагнитных и немагнитных заготовок. В итоге расчеты показали распределение магнитно-абразивного порошка в рабочем зазоре, в зависимости от материала обрабатываемой заготовки. При магнитно-абразивной обработке ферромагнитной заготовки порошок в рабочем зазоре концентрируется под полюсами индуктора. При магнитно-абразивной обработке немагнитной заготовки порошок концентрируется под магнитами, а не под полюсами индуктора.

Ключевые слова: Магнитно-абразивная обработка, постоянный магнит, магнитопровод, магнитная индукция, ферромагнитный материал, немагнитный материал.

Введение

Возрастающие требования к поверхностям вызывают потребность совершенствовать и создавать новые способы отделочной и упрочняющей обработки [1-3]. Разработка теоретических основ процесса отделочной обработки материалов позволяет обеспечить научно обоснованный технологический процесс с оптимальной последовательностью и минимальным количеством необходимых операций [4,5].

К финишным операциям относится и магнитно-абразивная обработка. Сущность магнитно-абразивной обработки заключается в воздействии на обрабатываемую деталь порошковой ферромагнитной массы, уплотненной магнитной индукцией [6-8]. Именно от величины и распределения магнитной индукции ферромагнитная масса будет тем или иным образом распределяться в рабочем зазоре [9,10] между магнитным индуктором на постоянных магнитах и плоской поверхностью заготовки из ферромагнитных и немагнитных материалов.

Теория

При магнитно-абразивной обработке постоянные магниты располагаются в индукторе таким образом, чтобы магнитная система индуктора состояла из магнитных ячеек, каждая из которых состоит из магнита и двух стальных магнитопроводов, размещенных у полюсных боковых поверхностей магнита [11,12] (рис. 1).

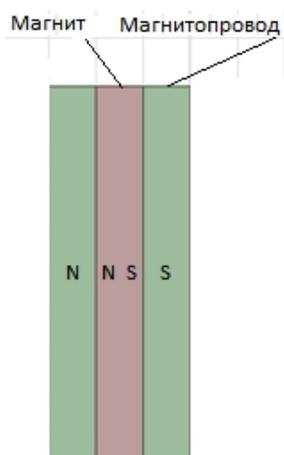


Рис. 1. Элементарная ячейка магнитной системы индуктора на постоянных магнитах

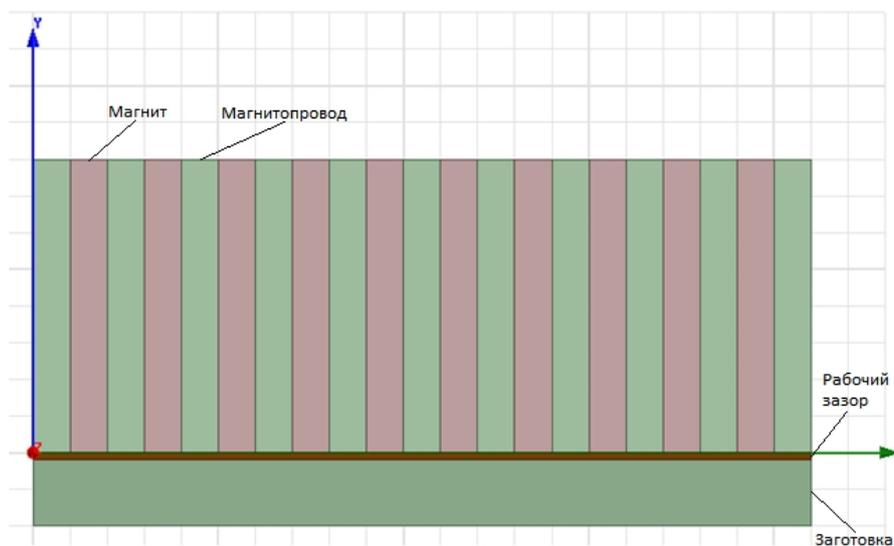


Рис. 2. Магнитная система индуктора с постоянными магнитами

У отдельной ячейки весь созданный магнитом поток переходит по воздуху со стального полюса N на стальной полюс S через их боковые и горизонтальные площадки, а также с ребер полюсов. При объединении отдельных ячеек в блоки боковые площадки не участвуют в передаче магнитного потока. Потоками с ребер полюсов ввиду их малости можно пренебречь.

Магнитная система индуктора с постоянными магнитами представляет собой один, реже – два, расположенных друг над другом блока, составленных из отдельных магнитных ячеек. Каждый блок составляют из поочередно расположенных магнитов (SmCo_5) и стальных магнитопроводов, причем магниты устанавливают так, что их одинаковые полюсы в каждых двух соседних ячейках обращены друг к другу (рис. 2). Размеры магнитов и магнитопроводов составляют 5x40 мм, величина рабочего зазора 1 мм, а размеры заготовки 105x19 мм. Данная система спроектирована [13,14] в среде Ansys, в которой и будут проведены и представлены дальнейшие расчеты.

Каждый стальной магнитопровод при этом пропускает через себя поток, созданный двумя соседними магнитами. Нижние плоскости магнитопроводов с чередующимися полярностями являются магнитными полюсами на рабочей поверхности индуктора, обращенной к заготовке [15-17].

При полировании ферромагнитной заготовки картина силовых линий поля имеет вид, изображенный на рис. 3.

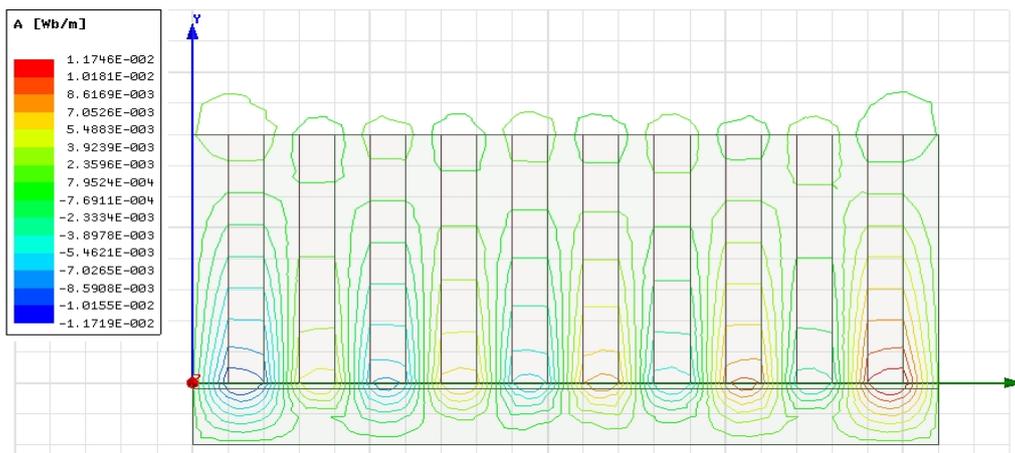


Рис. 3. Картина силовых линий поля при магнитно-абразивной обработке ферромагнитной заготовки

Плотность силовых линий в рабочем зазоре под полюсом оказывается максимальной, благодаря высокой магнитной проводимости участков на пути прохождения силовых линий.

Наибольшим магнитным сопротивлением на пути силовых линий обладают участки рабочего зазора, заполненные магнитно-абразивным порошком, магнитная проницаемость которых $\mu_{п} = (2 \div 4)\mu_0$. При обработке ферромагнитной заготовки силовые линии дважды пересекают рабочий зазор. Длина этих участков мала, а значит и их магнитное сопротивление невелико. Длина участков пути по материалу заготовки благодаря близкому расположению разноименных полюсов индуктора тоже имеет малые значения, а магнитная проницаемость на этих участках $\mu = (500 \div 1000)\mu_0$. По названным причинам падение магнитодвижущей силы на пути от одного полюса индуктора к другому имеет небольшую величину и в рабочем зазоре удастся создать высокие значение магнитной индукции. Магнитно-абразивный порошок в рабочем зазоре концентрируется в зонах с наибольшей плотностью силовых линий – под полюсами индуктора.

Измерение магнитной индукции при обработке ферромагнитной заготовки с удовлетворительной для практики точностью можно измерять как на рабочей поверхности индуктора, так и на поверхности заготовки.

При полировании ферромагнитной заготовки картина магнитной индукции поля имеет вид, изображенный на рис. 4.

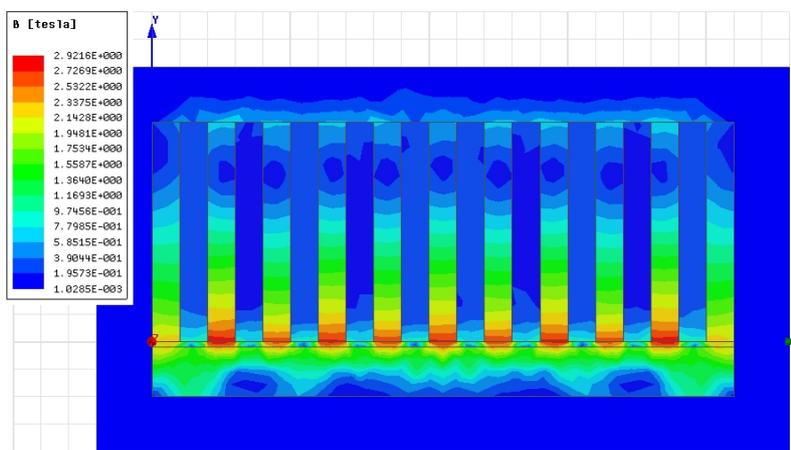


Рис. 4. Картина магнитной индукции поля при магнитно-абразивной обработке ферромагнитной заготовки

При полировании немагнитной заготовки картина силовых линий поля показана на рис. 5.

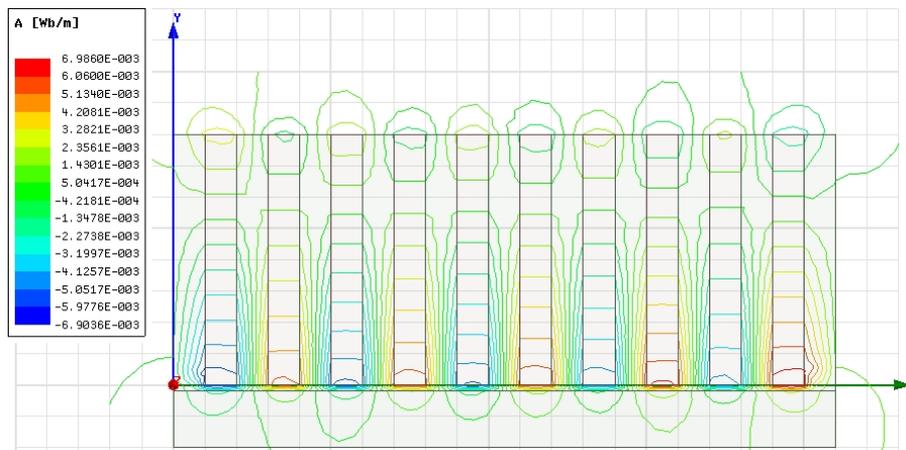


Рис. 5. Картина силовых линий поля при магнитно-абразивной обработке немагнитной заготовки

Силовые линии проходят от одного полюса индуктора к другому преимущественно вдоль рабочего зазора под магнитом, концентрируясь у боковых кромок стальных магнитопроводов. Из-за этого расположение магнитно-абразивного порошка в рабочем зазоре оказывается иным, чем при полировании ферромагнитных заготовок: порошок концентрируется под магнитами, а не под полюсами индуктора. Длина участка пути силовых линий существенно влияет на проводимость этого участка и соответственно – на падение магнитодвижущей силы.

Измерение магнитной индукции в этом случае должно производиться на рабочей поверхности магнитного индуктора.

Поскольку наличие или отсутствие немагнитной заготовки не влияет на силовые линии, измерение магнитной индукции можно выполнять без заготовки, но толщина слоя порошка на рабочей поверхности индуктора должна соответствовать выбранному значению рабочего зазора.

При полировании немагнитной заготовки картина магнитной индукции поля имеет вид, изображенный на рис. 6.

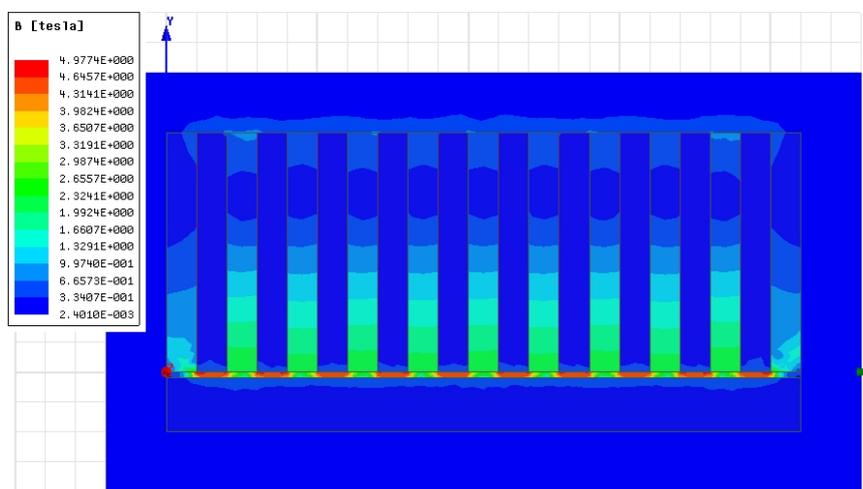


Рис. 6. Картина магнитной индукции поля при магнитно-абразивной обработке немагнитной заготовки

Результаты и обсуждение

Исследования показали возможность расчета магнитной индукции в рабочем зазоре между индуктором на постоянных магнитах и ферромагнитными и немагнитными заготовками с плоскими обрабатываемыми поверхностями в среде Ansys.

Изменить величину и распределение магнитной индукции можно, если регулировать магнитное сопротивление на пути силовых линий, или изменять долю силовых линий, направленных в рабочий зазор, в общем потоке силовых линий, созданном постоянным магнитом.

Выводы

В результате работы была рассчитана магнитная индукция в рабочем зазоре при магнитно-абразивной обработке плоских поверхностей заготовок из ферромагнитных и немагнитных материалов индуктором на постоянных магнитах.

Также расчеты показали распределение магнитно-абразивного порошка в рабочем зазоре, в зависимости от материала обрабатываемой заготовки. При магнитно-абразивной обработке ферромагнитной заготовки порошок в рабочем зазоре концентрируется в зонах с наибольшей плотностью силовых линий – под полюсами индуктора. При магнитно-абразивной обработке немагнитной заготовки расположение магнитно-абразивного порошка в рабочем зазоре оказывается иным, чем при полировании ферромагнитных заготовок: порошок концентрируется под магнитами, а не под полюсами индуктора.

Список литературы

1. Совершенствование индукторов для магнитно-импульсной обработки деталей машин и инструментов / А.В. Балашов, А.М. Иконников, Р.В. Гребеньков, И.С. Потапов, В.С. Силивакин // Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции «Перспективы инновационного развития угольных регионов России». – Прокопьевск: Изд-во фил. КузГТУ, 2014. – С. 262–264.
2. Совершенствование технологических процессов изготовления деталей с помощью методики функционально-стоимостного анализа / Е.Ю. Татаркин, А.М. Иконников, Р.В. Гребеньков, С.С. Просеков // Ползуновский вестник. – 2016. – № 3. – С. 57–62.
3. Татаркин Е.Ю., Татаркина Ю.Н. Поиск новых решений при проектировании технологических систем: учебное пособие. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ им. И.И. Ползунова, 1999. – 168 с.
4. Григорьев С.Н., Маслов А.Р. Обработка резанием в автоматизированном производстве: учебник. – М.: Машиностроение, 2009. – 372 с.
5. Modeling of the magnetic abrasive machining process of flat surface workpieces on numerically controlled machine tools / E. Tatarikin, A. Ikonnikov, T. Schrayner, R. Grebenkov // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Vol. 788. – P. 69–74.
6. Барон Ю.М. Магнитно-абразивная обработка изделий и режущих инструментов. – Л.: Машиностроение, 1986. – 176 с.
7. Шулев Г.С. Физико-технические основы обработки деталей в магнитном поле ферромагнитными порошками: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Минск, 1965.
8. Хомич Н.С. Магнитно-абразивная обработка изделий: монография. – Минск: БНТУ, 2006. – 217 с.

9. *Леонов С.Л., Иконников А.М., Гребеньков Р.В.* Автоматическое регулирование рабочего зазора при магнитно-абразивной обработке пространственно сложных поверхностей // *Материалы 1-ой Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы в машиностроении».* – Новосибирск, 2014. – С. 162–166.
10. *Сакулевич Ф.Ю.* Основы магнитно-абразивной обработки. – Минск: Наука и техника, 1981. – 328 с.
11. *Иконников А.М., Силивакин В.С., Гребеньков Р.В.* Конструирование оснастки для магнитно-абразивного полирования путем имитационного // *Материалы III Всероссийской научно-технической конференции «Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы».* – Рубцовск, 2013. – С. 80–82.
12. Проектирование технологической и инструментальной оснастки для операций магнитно-абразивной обработки / *Е.Ю. Татаркин, А.М. Иконников, В.С. Силивакин, Р.В. Гребеньков, Т.А. Шрайнер* // *Материалы VI международной научно-технической конференции «Инновации в машиностроении – основа технического развития России»*, Барнаул, 23–26 сентября 2014 г. – Барнаул, 2014. – Ч. 2. – С. 187–190.
13. Проектирование металлорежущего инструмента: учебник / *Е.Н. Трембач, Г.А. Мелетьев, А.Г. Схиртладзе* и др. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2008. – 432 с.
14. *Приходько С.П.* Моделирование процесса магнитно-абразивной обработки деталей машин на ЭВМ // *Отделочно-чистовые методы обработки и инструменты в технологии машиностроения.* – Барнаул, 1987. – С. 115–119.
15. *Коновалов Е.Г., Сакулевич Ф.Ю.* Основы электро-ферромагнитной обработки. – Минск: Наука и техника, 1974. – 272 с.
16. Физические и тепловые процессы в технологических системах: учебное пособие / *И.А. Савин, Д.Т. Сафаров, А.Г. Схиртладзе.* – Набережные Челны: Камская гос. инж.-экон. акад., 2007. – 136 с.
17. *Baron Y., Ko S., Park J.* Characterization of the magnetic abrasive finishing method and its application to deburring // *Key Engineering Materials.* – 2005. – Vol. 291–292. – P. 291–296.

**CALCULATION OF MAGNETIC INDUCTION IN THE WORKING GAP WHEN THE
MAGNETIC-ABRASIVE MACHINING OF FLAT SURFACES OF WORKPIECES MADE
OF FERROMAGNETIC AND NON-MAGNETIC MATERIALS BY INDUCTOR WITH
PERMANENT MAGNETS**

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

Ikonnikov A.M., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: iamagtu@mail.ru

Grebenkov R.V., Ph.D. student, e-mail: sigaset@yandex.ru

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

Abstract

The authors describe the method of calculating the magnetic induction in the working gap when the magnetic-abrasive machining of flat surfaces of workpieces made of ferromagnetic materials and non-magnetic inductor with permanent magnets. The magnetic system is designed in Ansys environment, which will be carried out and the calculations presented. The picture shows the field lines for magnetic-abrasive machining of ferromagnetic and non-magnetic blanks. Also the values of magnetic induction in the working gap and in the whole magnetic system as a whole when the magnetic-abrasive machining of ferromagnetic and non-magnetic blanks. In the end, calculations showed the distribution of magnetic-abrasive powder in the working gap, depending on the material of the workpiece. For magnetic-abrasive machining of the workpiece of ferromagnetic powder in the working gap is concentrated under the poles of the inductor. For magnetic-abrasive machining of the workpiece is non-magnetic powder concentrated under the magnets, and not under the poles of the inductor.

Keywords

Magnetic-abrasive machining, permanent magnet, magnetic core, magnetic induction, ferromagnetic material, nonmagnetic material

УДК 621.922.3: 621.922.025

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОРИЕНТАЦИИ ЗЁРЕН В ШЛИФОВАЛЬНОМ КРУГЕ
НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЛОСКОГО ШЛИФОВАНИЯ**

*В.А. КОРОТКОВ, канд. техн. наук, доцент
Е.М. МИНКИН, инженер
(КузГТУ, г. Кемерово)*

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

Эффективность работы шлифовальных кругов снижается из-за использования при их изготовлении зёрен с произвольной формой и хаотичной ориентацией. Предлагается повысить работоспособность шлифовальных кругов за счет целенаправленной ориентации зёрен в их теле. Описывается конструкция экспериментального шлифовального круга, в состав которого входят зёрна, ориентированные с помощью электростатического поля. Экспериментальный круг тестируется в сравнительном испытании со стандартным кругом на специальном стенде, смонтированном на базе шлифовального станка модели 3Г71. Комментируются результаты испытаний, главное содержание которых состоит в том, что эксплуатационные возможности шлифовальных кругов могут быть существенно улучшены при дифференцированном подходе к выбору формы и ориентации зёрен, используемых при их изготовлении.

Ключевые слова: плоское шлифование, шлифовальные круги, ориентированные шлифовальные зёрна, форма зёрен, силы резания, мощность и производительность при шлифовании

Введение

Установлено, что шлифовальные круги лишь частично используют свои эксплуатационные возможности. Одна из основных причин этого недостатка состоит в том, что зерна, используемые для изготовления данных инструментов, имеют произвольную форму и хаотичное расположение в их теле. Исследованиями, проведенными на кафедре «Металлорежущие станки и инструменты» показано, что форма зерна значительно влияет на эффективность шлифования [1 - 3]. В частности, установлено, что форма зерна, изменяющаяся в стандартных шлифовальных кругах от изометрических до пластинчатых разновидностей, существенно влияет на режущую способность, износ и стойкость инструментов, шероховатость обработки поверхностей, температуру резания [4]. Сепарировать зерна по признаку формы для последующего использования их в шлифовальных кругах можно различными способами. Одним из наиболее продуктивных и точных способов является вибрационный, основанный на рассеивании исходной массы абразива на вибростолке [5]. Показано, что для повышения эксплуатационных возможностей шлифовальных кругов их целесообразно изготавливать из зёрен с определенной, контролируемой формой, которую следует выбирать в зависимости от поставленных задач обработки [6].

Другим, не менее важным фактором для эффективной обработки шлифованием, является расположение зёрен в теле инструмента. Если, например, зерно располагается на рабочей поверхности шлифовального круга параллельно плоскости резания, то оно будет скользить по металлу, деформировать и нагревать его без срезания стружки. Расположение зерна перпендикулярно или наклонно к плоскости резания даст другой результат по съёму

металла, который, в данном случае, будет более результативным по снятию микростружек и производительности обработки [7].

В данной работе отражены результаты по исследованию ориентации зёрен в шлифовальном круге на эффективность процесса плоского шлифования.

Методика экспериментального исследования

Исследования проводились на плоскошлифовальном станке модели 3Г71 на следующих режимах резания: скорость резания $V_p = 22,5$ м/с, продольная подача $S_{прод} = 20$ мм/мин, поперечная подача $S_{поп.} = 1,2$ мм/ход, глубина резания $t = 0,01$ мм [8]. Шлифовались детали из стали 45 с размерами 100x50x10 мм.

В качестве инструментов использовался стандартный шлифовальный круг из зёрен с произвольной формой, без специальной ориентации зёрен в теле круга. Работа такого круга сравнивалась с результатами шлифования экспериментальным инструментом, у которого зёрна были ориентированы на рабочей поверхности в определенном направлении. Ориентация зёрен и изготовление такого круга осуществлялись за счет использования электростатического эффекта, изменяющего наклон зёрен заданным образом. Для этого использовались способ, приспособление и оснастка в соответствии с разработанным патентом (Пат. 2369474 РФ) [9]. Все остальные этапы технологического процесса (формование, термообработка) соответствовали стандартному способу изготовления шлифовальных кругов [10].

В ходе испытаний (см. рис.1) на шлифовальном станке 1, на одинаковых режимах резания стандартным и экспериментальными кругами 2, обрабатывалась деталь 3. При этом радиальная составляющая силы резания фиксировалась динамометром 4, показания которого транслировались веб-камерой 5 на экран ноутбука 7. Видеокамера 6 использовалась для одновременной записи изображения с ноутбука 7 и ваттметра 8.

Тангенциальная составляющая силы резания высчитывалась по формуле, через мощность шлифования, которая определялась ваттметром, включенным в цепь главного электродвигателя станка 3Г71.

Перед изготовлением экспериментального круга оценивалась форма зёрен, входящих в его состав. Оценка осуществлялась с помощью объемного коэффициента формы, равного отношению диаметра сферы, описанной вокруг зерна, к диаметру вписанной сферы. Измерениям коэффициента формы подвергалось не менее 50-ти отдельных произвольно выбранных зёрен из той или иной фракции отсепарированных зёрен из исходной общей массы абразива. Для упрощения этого процесса использована, специально разработанная для этой цели, программа для ЭВМ [11].

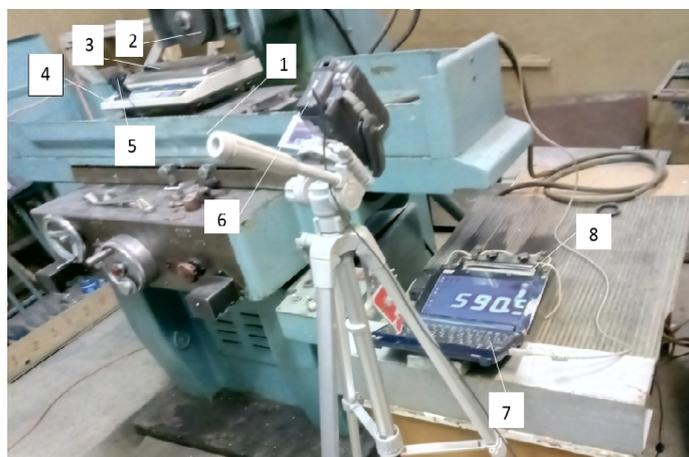


Рис. 1. Приборы и оснащение для сравнения эффективности шлифования стандартным и экспериментальными кругами

Результаты и обсуждение

Сравнительные испытания стандартного и экспериментального кругов показали, что есть существенная разница в эффективности обработки деталей такими инструментами [12]. В частности, при шлифовании кругом с ориентированными зёрнами установлено, что:

- целенаправленная ориентация зёрен позволяет повысить эффективность их участия в совокупном процессе резания;
- каждое единичное ориентированное зерно более эффективно работает, чем зерно, произвольно расположенное в теле инструмента [13];
- общий к.п.д. инструмента с ориентированными зёрнами ощутимо выше, чем стандартного инструмента, т.к. практически все ориентированные зёрна вносят положительный вклад в процесс шлифования, в отличие от стандартного инструмента, где в работе участвует лишь небольшая часть зёрен;
- наклон зёрен на рабочей поверхности экспериментального инструмента значительно воздействует на эксплуатационные параметры процесса шлифования: так, максимальной производительности инструмент достигает при угле наклона зёрен порядка 75° к плоскости резания в направлении вращения инструмента;
- перпендикулярное расположение зёрен к плоскости резания дает меньший эффект по производительности обработки, чем в предыдущем случае;
- переход от пластинчатой формы зёрен к изометрической в экспериментальном круге снижает производительность обработки, но улучшает её качество (уменьшает шероховатость).

Выводы

1. Эффективность работы шлифовальных кругов можно существенно повысить, если использовать для их изготовления зёрна не с произвольной, а с контролируемой и специально подбираемой формой.
2. Как показали проведенные исследования и литературные данные [14], повысить эксплуатационные возможности шлифовальных кругов можно также за счет целенаправленной ориентации зёрен в их теле.
3. Универсальным было бы использовать оба упомянутых фактора при конструировании и изготовлении шлифовальных инструментов [15].
4. Технология изготовления инструментов с контролируемой формой и ориентацией зёрен несколько сложнее, чем стандартная технология. Она дополнительно включает операцию по сортировке зёрен по признаку формы и ориентацию зёрен в электростатическом поле [16].
5. Инструменты, изготовленные по предлагаемой технологии, будут несколько дороже, чем стандартные инструменты, но их более высокие эксплуатационные показатели компенсируют возросшую стоимость.

Список литературы

1. Korotkov A.N., Korotkova L.P., Gubaidulina R.H. Effect on grains form on performances grinding wheels // Applied Mechanics and Materials. – 2014. – Vol. 682. – P. 469–473.
2. Lukshin V.S. Evaluation of abrasive grain form // Applied Mechanics and Materials. – 2014. – Vol. 682. – P. 148–153.

3. *Lukshin V.S., Barsuk A.V., Fazleev R.R.* Cutting capacity and strength of single grinding grains // *Materials Science and Engineering*. – 2015. – Vol. 91. – P. 132–136.
4. *Коротков В.А.* Повышение эксплуатационных возможностей отрезных шлифовальных кругов. – М.: Машиностроение, 2009. – 178 с.
5. Патент 2236303 Российская Федерация, МПК⁷ В 03 С 7/08. Устройство для сепарации шлифовальных зерен по форме / А.Н. Коротков, С.А. Костенков, В.С. Люкшин, Н.В. Прокаев. – № 2003113373; заявл. 20.09.07; опубл. 27.12.07, Бюл. № 26.
6. *Korotkov A.N., Shatko D.B.* Prospective designs of flap grinding wheels – new opportunities and approaches to import substitution of grinding tools // *Applied Mechanics and Materials*. – 2015. – Vol. 788. – P. 313–317.
7. *Korotkov V.A., Minkin E.M.* Forecasting of operational indicators of grinding tools with the controlled form and orientation of abrasive grains // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2015. – Vol. 91. – P. 118–122.
8. Абразивная и алмазная обработка материалов: справочник / под ред. А.Н. Резникова. – М.: Машиностроение, 1977. – 391 с.
9. Патент 2369474 Российская Федерация, МПК⁷ В 24 Д 18/00. Способ изготовления шлифовальных кругов с ориентированными зернами / В.А. Коротков. – Опубл. 10.10.2009, Бюл. № 28.
10. Основы проектирования и технология изготовления абразивного и алмазного инструмента / под ред. А.М. Ковальчука. – М.: Машиностроение, 1984. – 280 с.
11. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2006613051. Форма шлифовальных зерен в объеме / В.А. Коротков, Г.М. Рылов. – № 2006612327; заявл. 04.07.06; опубл. 01.09.06.
12. *Korotkov V.A., Petrushin S.I.* Research of operational characterizations of cutting discs with oriented abrasive grains // *Applied Mechanics and Materials*. – 2014. – Vol. 682. – P. 224–230.
13. *Люкшин В.С.* Повышение работоспособности шлифовальных лент путем использования зерен с контролируемой формой и ориентацией: дис. ... канд. техн. наук. – Кемерово, 2007. – 173 л.
14. *Зайцев А.Г.* Влияние расположения алмазных зерен на процесс шлифования твердых сплавов // *Вестник машиностроения*. – 1977. – № 8. – С. 71–72.
15. *Кожевников Д.В., Курсанов С.В.* Металлорежущие инструменты. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2003. – 390 с.
16. *Коротков А.Н.* Повышение эксплуатационных возможностей шлифовальных инструментов: монография. – Кемерово: Изд-во ГУ КузГТУ, 2005. – 232 с.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF ORIENTATION OF GRAINS IN A GRINDING WHEEL ON THE EFFICIENCY OF FLAT GRINDING

Korotkov V.A., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: korotkov.v.a@mail.ru

Minkin E.M., Engineer, e-mail: minkin.e.m@gmail.ru

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

Abstract

The efficiency of the grinding wheel is reduced due to the use in the manufacture of grains with arbitrary shape and random orientation. It is proposed to improve the performance of grinding wheels due to the target bean in their body. Describes the experimental design of grinding wheel, which is composed of grains oriented with the electrostatic field. The experimental range is tested in a comparative test with a standard circle on a special stand mounted on the base of the grinding machine model 3G71. The results of the tests, the main content of which is that the performance of grinding wheels can be significantly improved by a differentiated approach to the choice of the shape and orientation of the grains used in their manufacture.

Keywords

flat grinding, grinding wheels, oriented grinding grains, shape of grains, the cutting force, power and performance when grinding

УДК 621.9.025.19:681.3.06

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ШЛИЦЕВЫХ ПРОТЯЖЕК ОПТИМАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

*С.В. ЛУКИНА, доктор техн. наук, профессор
М.В. КРУТЯКОВА, канд. техн. наук, доцент
(Московский политех, г. Москва)*

Лукина С.В. – 107023, г. Москва, ул. Большая Семёновская, д. 38,
Московский политехнический университет,
e-mail: lukina_sv@mail.ru

Рассматривается методика проектирования оптимальных конструкций шлицевых протяжек. Многообразие конструктивных исполнений протяжек описано совокупностью геометрических, конструктивных и эксплуатационных параметров рабочей и хвостовой частей. Для оценки эффективности шлицевых протяжек сформирована система целевых функций, характеризующих длину шлицевой, круглой и фасочной частей в зависимости от схемы резания. Обоснована система конструктивных и технологических ограничений на основные параметры протяжки. Решение задачи выбора оптимального решения построено на реализации алгоритма динамического программирования. Методика проектирования оптимальных конструкций шлицевых протяжек, реализованная в среде MS Excel.

Ключевые слова: шлицевая протяжка, проектирование, целевая функция, математическая модель, оптимизация

Введение

Протягивание является одним из наиболее производительных процессов обработки металлов резанием. Протягивание применяется для предварительной и окончательной обработки как внутренних, так и наружных поверхностей различных деталей с высокой точностью (по 7 - 6 квалитетам) и малой шероховатостью ($Ra=1,25...2,5\text{мкм}$). Производительность протягивания выше, чем производительность сверления, зенкерования и развертывания отверстий в 10...15 раз [1]. Кроме того, при выполнении многошлицевых отверстий обработка протягиванием является единственно возможным процессом обработки деталей.

Однако, протяжки - металлоемкий, сложный по конструкции и в изготовлении инструмент. Экономическая целесообразность их применения оправдывается лишь при проектировании оптимальной конструкции, выборе рациональных режимов резания, качественном изготовлении и правильной эксплуатации [2,3].

Проблема выбора рациональной конструкции шлицевой протяжки является сложной и многоплановой задачей, требующей оптимизации многочисленных геометрических, конструктивных и эксплуатационных параметров. Существующие методики ориентированы на проектирование конструкций протяжек равной стойкости и не позволяют выбирать параметры инструмента по совокупности критериев оптимальности [1-8].

Целью работы является повышение эффективности работы протяжного инструмента за счет уменьшения его длины на основе разработанной методики проектирования, построенной на базе математической модели, обеспечивающей оптимизацию основных геометрических и конструктивных параметров инструмента.

Теория

Для проектирования протяжки необходимо определить систему исходной информации, обеспечивающей непрерывную взаимосвязь расчетных параметров с параметрами обрабатываемой детали и условиями эксплуатации инструмента. Для установления выше указанных взаимосвязей необходимо конструкцию протяжки однозначно описать системой параметров ее конструктивных элементов [9]. Основными конструктивными параметрами, определяющими протяжку в целом, являются параметры ее режущей части: подъем на зуб S , шаг t и высота h (глубина стружечной канавки) зуба, число зубьев в группе (секции) Z_c . Условия эксплуатации протяжного инструмента достаточно полно характеризуются скоростью резания V и количеством его допустимых переточек n . Параметры S , t , h , V и n – взаимосвязаны и не определяются однозначно. В этой связи для обеспечения процедуры выбора значений параметров инструмента необходимо сформировать ряд математических моделей, характеризующих процесс эксплуатации спроектированной конструкции инструмента [10].

Таким образом, для формирования структуры процесса проектирования протяжки следует выявить и рассмотреть взаимосвязи параметров протяжки с параметрами оценки ее эффективности с учетом ограничений на режимы эксплуатации.

При решении задач автоматизации проектирования основные свойства и характеристики режущих инструментов следует описывать с помощью формальных математических моделей. Любая математическая модель должна обеспечивать адекватность и простоту представления исходного объекта, информационную сложность, простоту обработки и наглядность. Чтобы правильно сформировать математическую модель, отвечающую всем выше приведенным требованиям, необходимо было выявить параметры, характеризующие конструкцию протяжного инструмента в целом.

С этой целью конструкция протяжки была представлена в виде совокупности множеств, каждое из которых определяют какую-либо часть конструкции инструмента, конструктивный элемент или параметры части конструкции или конструктивного элемента [11].

Сформировано множество неповторяющихся параметров, по которым проектируется инструмент, включающее параметры рабочей части и хвостовика:

$$l_x = \bigcup_{i=1}^{n_{lx1i}} x_{1i} \bigcup_{i=1}^{n_{lx11}} x_{11i} \bigcup_{i=1}^{n_{lx12}} x_{12i} \bigcup_{i=1}^{n_{lx13}} x_{13i} \bigcup_{i=1}^{n_{lx21}} x_{21i} \bigcup_{i=1}^{n_{lx22}} x_{22i}, \quad (1)$$

где x_{11} , x_{12} , x_{13} – параметры круглой, шлицевой и фасочной частей протяжки, соответственно; x_1 – параметры, характеризующие рабочую часть протяжки в целом; x_{21} , x_{22} , – параметры направляющей и хвостовой частей протяжки, соответственно.

Установлено, что при решении задачи выбора оптимального, с точки зрения какого-либо критерия, варианта конструкции протяжки достаточно определить параметры ее рабочей части, поскольку параметры ее хвостовой части в сравниваемых вариантах будут одинаковыми [12-15].

Для оценки эффективности спроектированной конструкции протяжного инструмента выбран критерий обеспечения минимальной длины рабочей части. Возможное уменьшение длины протяжки по сравнению с базовым вариантом однозначно позволит снизить стоимость инструмента за счет уменьшения затрат на материалы и его изготовление, а так же повысить производительность операции протягивания при прочих равных условиях.

Аналитические зависимости между критерием оптимальности и подлежащими оптимизации геометрическими, конструктивными и эксплуатационными параметрами инструмента выражались в виде целевых функций. Причем, каждая целевая функция содержала

только те элементы выбранного критерия, которые могли быть представлены функционально от параметров проектируемого инструмента. Постоянные, то есть не зависящие от искомых параметров, величины, изменяющие только абсолютные значения целевых функций, не оказывая тем самым влияния на результаты оптимизации, при расчетах не учитывались.

В работе сформирована система целевых функций, характеризующих длину шлицевой, круглой и фасочной частей протяжки в зависимости от заданной схемы резания:

Рабочая длина шлицевой части для схемы резания Ф-Ш-(К-Ш):

$$L_{шл} = \left[\frac{D_{amax} - d_0 - 2S_{\phi 0} * (1 + i_{\phi}) - 2S_{ш0} - (1,9S_{ш0} - 0,04) - \frac{0,14}{ГК^{0,45}}}{2 * S_{ш0}} * z_{сш} + 1 \right] * \tag{2}$$

$$* t_0 + (30,2S_0 - 0,3)t_0 + (0,6^{ГК} * 8,7z_{счч} - 1) * t_{чс} + (10,7 - 0,6KV)t_{КАЛ} \rightarrow \min;$$

Рабочая длина шлицевой части для схемы резания Ф-Ш-К или Ф-К-Ш:

$$L_{шраб} = t_{0ш} * \left(\frac{D_{amax} - D_E - 2S_{зш0} - (1,9S_{ш0} - 0,04) - \frac{0,14}{ГК^{0,45}}}{2S_{ш0}} * z_{сш} + 1 \right) + \tag{3}$$

$$+ (30,2S_0 - 0,3)t_{0ш} + t_{0ш} + (0,593^{ГК} * 8,7z_{счч} - 1 + 10,7 - 0,6KV)t_{чсш} \rightarrow \min;$$

Рабочая длина круглой части шлицевой протяжки:

$$L_{кр} = t_0 * \left[\frac{D_{fmax} - D_{0min} - 1,9S_0 + 0,04 - \frac{0,14}{ГК^{0,45}}}{2S_{кр0}} * z_{срк} + 10,5S_0 + 0,42 \right] + \tag{4}$$

$$+ ((6,5 - 1,3 * GK)z_{счч} + 10,7 - 0,6KV - 1)t_{чс} \rightarrow \min;$$

Рабочая длина фасочной части шлицевой протяжки:

$$L_{\phi} = \left(\frac{D_e + 0,2 - d_{0min} - 2S_{z\phi 0}}{2S_{z\phi 0}} * z_{с\phi} + z_{с\phi} \right) * t_0 \rightarrow \min; \tag{5}$$

где D_e – расчетный теоретический диаметр последнего фасочного зуба; Здесь t - шаг зубьев, S -подъем на зуб, Z_c – число зубьев в группе, A_o – припуск на операцию протягивания, $ГК$ – группа качества обработанной поверхности [2, 3].

Для решения задачи выбора оптимальной, согласно принятому критерию, конструкции шлицевой протяжки была сформирована система ограничений на параметры инструмента (1) вида:

$$\begin{cases} x_{1min} \leq x_1 \leq x_{1max} \\ x_{2min} \leq x_2 \leq x_{2max} \\ \dots\dots\dots \\ x_{nmin} \leq x_n \leq x_{nmax} \end{cases} \tag{6}$$

Здесь x_{1min} , x_{2min} , x_{nmin} ; x_{1max} , x_{2max} , x_{nmax} – минимальные и максимальные допустимые значения параметров проектируемого инструмента соответственно. При этом каждое минимальное значение параметра x_{min} является максимальным из минимально допустимых значе-

ний параметра $x_i, x_j, x_k, \dots, x_n$, а каждое максимальное значение x_{max} – минимальным из максимально допустимых значений параметра $x_a, x_b, x_c, \dots, x_m$ [16].

Эта система учитывает: допустимую силу резания в зависимости от тяговой силы станка, прочности протяжки по хвостовику и канавке первого зуба; степень заполнения стружечной канавки, целесообразные ее размеры, учитывающие запас на переточку; жесткость инструмента, его технологичность; плавность работы протяжки, устойчивое базирование на ней заготовки и эффективность использования СОТС; допустимые скорость резания и количество переточек и другие.

Разработанная математическая модель, состоящая из целевых функций (2)-(5) и системы ограничений (6), была реализована численным методом динамического программирования [9].

Результаты

Разработанная методика была практически реализована для решения задачи сравнительной оценки конструкций шлицевых протяжек с различной схемой срезания припуска.

Расчеты показали, что критерий наименьшей длины инструмента может успешно служить для оценки вариантов конструкций протяжек с произвольным числом зубьев в группе, поскольку учитывает особенности проектирования протяжек одинарного и группового резания.

Выводы

1. Установлено, что необходимо и достаточно в математическую модель протяжки включить следующие основные конструктивные и эксплуатационные параметры: шаг зубьев, толщину срезаемого слоя (подъем на зуб), глубину стружечной канавки, длину задней поверхности и скорость резания.

2. По результатам расчетов сформирована методика проектирования оптимальных конструкций шлицевых протяжек, реализованная в среде MS Excel.

3. Проектирование оптимизированного протяжного инструмента позволяет:

-уменьшить длину рабочей части инструмента и повысить производительность операции протягивания на 18-35%;

-снизить себестоимость операции протягивания на 25-30%.

Список литературы

1. *Кацев П.Г.* Протяжные работы. – М.: Машиностроение, 1985. – 225 с.
2. Протяжки для обработки отверстий / Д.К. Маргулис, М.М. Тверской, В.Н. Ашихмин и др. – М.: Машиностроение, 1986. – 232 с.
3. *Щеголев В.А.* Конструирование протяжек. – М.: Машгиз, 1960. – 352 с.
4. *Зарак Т.В.* Разработка информационно-математической модели и системы автоматизированного проектирования круглых протяжек с винтовыми зубьями: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Иркутск, 2004. – 20 с.
5. *Куприянова О.П., Копейкин Е.А.* Оптимизация конструктивных параметров круглой протяжки // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные науки. – 2012. – № 1. – С. 41–45.

6. Макаров В.Ф., Петухов Г.Д. Расчет и проектирование сборных конструкций – протяжек для скоростного протягивания замков лопаток компрессора // Вестник ПНИПУ. 2015. – Т. 17, № 3. – С. 101–109.
7. Hagglund S. New procedure for optimizing cutting data for general turning // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B. – 2003. – Vol. 217. – P. 349–362.
8. Ozturk O. Modelling of broaching process: M.Sc. thesis, Industrial Engineering / Sabanci University. – Istanbul, Turkey, 2003.
9. Лукина С.В. Совершенствование конструкции и условий эксплуатации протяжного инструмента на основе математического моделирования: автореф. дис ... канд. техн. наук. – М., 1999. – 24 с.
10. Лукина С.В. Автоматизация процедур формирования и выбора структурных компоновок сборных режущих инструментов на этапе технической подготовки производства // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2011. – Т. 3, № 1. – С. 241–247.
11. Лукина С.В. Прогностическое моделирование проектных инновационных решений по конфигурации средств оснащения высокотехнологичных производств // Инновации. – 2015. – № 8. – С. 68–71.
12. Лукина С.В., Крутякова М.В. Современные проблемы организации и управления инструментальным обеспечением машиностроительных производств: учебное пособие. – М.: Ун-т машиностроения, 2014. – 116 с.
13. Проектирование протяжек оптимальных конструкций в среде Microsoft Excel / С.В. Лукина, М.В. Крутякова, О.П. Куприянова, П.Ф. Вялкова // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2010. – № 1. – С. 24–26.
14. Лукина С.В., Седов Б.Е., Гречишников В.А. Повышение эффективности протяжного инструмента на основе математического моделирования // Вестник машиностроения. – 1997. – № 2. – С. 23.
15. Куприянова О.П., Копейкин Е.А. Оптимизация конструктивных параметров круглой протяжки // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные науки. – 2012. – № 1. – С. 41–45.
16. Крутякова М.В., Лукина С.В. Методика проектирования и расчет протяжного инструмента: учебное пособие. – М.: МГТУ «МАМИ», 2009. – 146 с.

DESIGNING OF THE SPLINES BROACHES OF THE OPTIMUM STRUCTURE

Lukina S.V., D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: lukina_sv@mail.ru

Krutyakova M.V., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: krutyakova_mv@mail.ru

Moscow Polytechnic University, 38 Bolshaya Semenovskaya st., Moscow, 107023, Russian Federation

Abstract

The technique of designing of optimum designs of the splines broaches is considered. The variety of designs of broaches is described by set of geometrical, design and operational parameters of the cutting and tail parts. For an efficiency evaluation of the splines broaches the system of the objective functions of the length for the spline, round and facet parts depending on the scheme of cutting is created. The system of constructive and technological restrictions for basic parameters of a broach is proved. The solution of a task of the choice of the optimal solution is constructed on implementation of an algorithm of dynamic programming. The technique of designing of optimum designs for the splines broaches with the help of the personal computers tools in the environment of MS Excel is automated.

Keywords

splines broach, design, objective function, mathematical model, optimization

УДК 62 – 03

**НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ КОНИЧЕСКОГО
СОЕДИНЕНИЯ «ГОЛОВКА-НОЖКА» ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА***

*Ю.С. СЕМЕНОВА, канд. техн. наук, доцент
К.С. СЛЫВАКОВА, магистрант
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Слывакова К.С. – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: K.naumova.2011@stud.nstu.ru

Рассмотрена проблема обеспечения работоспособности конструкции конического соединения «головка – ножка» тазобедренного сустава. Исследуется напряженно - деформированное состояние керамического материала медицинского назначения разработанного в НГТУ. Представлены расчёты коэффициента запаса прочности, максимальных и нормальных напряжений для различной геометрии конических соединений «головка – ножка». Показан характер контактирования головки и ножки для различных вариантов конструкций соединения. В результате анализа полученных данных установлена наиболее благоприятная геометрия соединения «головка-ножка».

Ключевые слова: конечно – элементный анализ, напряженно – деформированное состояние, коэффициент запаса прочности, максимальные напряжения, нормальные напряжения.

Введение

В настоящее время в современном эндопротезировании стоит задача обеспечения работоспособности тазобедренного сустава (ТБС) в условиях нагружения. ТБС состоит из тазовой и бедренной частей, соединяющихся между собой с помощью трибологической пары, которая представлена модульной головкой бедренной части и вкладышем тазовой части. Головка имеет посадочное место на конус шейки (ножка) бедренного компонента [1, 2]. С целью реализации импортозамещения в России в рамках совместного проекта ЗАО "НЭВЗ-Керамикс" и НГТУ разработан новый материал для медицинского назначения, который предполагается применять для изготовления керамических головок [3]. В ходе исследования работоспособности разработанного материала необходимо провести расчеты напряженно – деформированного состояния конического соединения керамической головки и ножки. Необходимо определить характер и величину напряжений керамической головки в диапазоне нагрузок, действующих в соединении при эксплуатации сустава.

Цель исследования заключается в установлении взаимосвязи между напряженно – деформированным состоянием керамической головки и ножки ТБС с их геометрическими характеристиками для достижения надежности сопряжения. Для достижения заданной цели необходимо с помощью метода конечного элементного (МКЭ) анализа определить коэффициент запаса прочности, максимальные напряжения и нормальные. Определить каким обра-

* Данная работа выполнена на основе проекта между НЭВЗ – Союз и НГТУ по созданию высокотехнологичного производства по теме: «Разработка технологии производства керамики и керамических композитов для нового поколения изделий медицинского назначения, замещающих металлоимплантаты».

зом контактируют поверхности ножки и головки в процессе нагружения. Для обеспечения работоспособности ТБС необходимо также установить наиболее рациональные сочетания геометрических параметров ножки и головки ТБС, таких как минимальная просадка ножки в отверстие головки, минимальные напряжения при нагружении, максимальный коэффициент запаса прочности, обеспечивающие безопасную, надежную работу конструкции и отдельных ее частей.

Инструментом для прогнозирования НДС керамической головки ТБС в зависимости от уровня приложенных нагрузок, является математическое моделирование. Данный метод исследования позволяет значительно уменьшить затраты при разработке новых изделий, так как может существенно сократить объемы или даже полностью отказаться от дорогостоящих стендовых испытаний. Наиболее распространенным и достаточно универсальным методом анализа напряженно – деформированного состояния является МКЭ, для реализации расчетов с помощью МКЭ анализа использовался программный комплекс ANSYS [4-6].

Методика экспериментального исследования

Существует конструкторская документация (КД), в которой установлен диапазон допустимых предельных значений угловых размеров и диаметров для конического соединения «головка – ножка». Угловые размеры находятся в пределах угла трения скольжения аналогично конусам Морзе [7].

Исследование напряженно – деформированного состояния конического соединения проводилось для различных сочетаний геометрических параметров головки и ножки. Сочетания геометрических параметров исходили из предельных отклонений угловых размеров, указанных на чертеже. Момент контакта в данном соединении начинается в верхней части сопряжения. Исходя из технических требований КД, были выбраны предельные значения размеров для сочетания конических поверхностей головки и ножки такие как: «головка максимум – ножка минимум» и «головка минимум – ножка максимум». На рис. 1 представлены параметры конического соединения «головка - ножка». Немаловажным параметром для работоспособности ТБС является зазор «k». Он необходим для обеспечения возможности перемещения ножки вглубь отверстия головки (просадки) при нагружении [8]. В каждом типе соединения допускается просадка при максимальных нагрузках (15000 Н). У соединения «головка минимум – ножка максимум» при контакте в нижней части сопряжения, зазор равен 2,84 мм, что позволяет глубже просаживаться ножке при нагружении. Меньше всего возможности перемещения ножки вглубь отверстия при максимальных нагрузках у соединения «головка максимум – ножка минимум» в момент контакта в верхней части сопряжения (1,15 мм).

На данном этапе исследования расчеты проводились для гладкого конического соединения без учета микронеровностей поверхностей.

Для сравнения рассчитывались варианты соединений головки и ножки, с углами $\alpha_H < \alpha_T$ (рис. 1, а) и $\alpha_H > \alpha_T$ (рис. 1, б). В первом случае контакт начинается в верхней части соединения, а во втором в нижней части соединения.

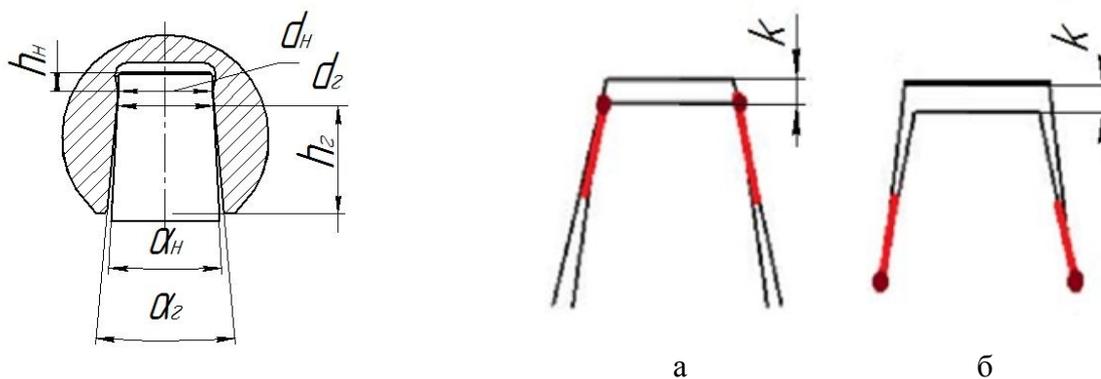


Рис. 1. Параметры конического соединения «головка-ножка»: а – сопряжение сверху; б – сопряжение снизу

В таблице представлены параметры конического соединения в момент контакта в верхней части сопряжения и в момент контакта в нижней части сопряжения.

Таблица

| Параметры | Контакт в верхней части сопряжения | | Контакт в нижней части сопряжения | |
|------------------------------|------------------------------------|----------|-----------------------------------|----------|
| | минимум | максимум | минимум | максимум |
| $\alpha_{Г}, \text{ }^\circ$ | 5,722 | 5,812 | 5,625 | 5,708 |
| $\alpha_{Н}, \text{ }^\circ$ | 5,625 | 5,708 | 5,722 | 5,812 |
| $d_{Г}, \text{ мм}$ | 12,896 | 12,966 | 12,896 | 12,966 |
| $d_{Н}, \text{ мм}$ | 12,64 | 12,7 | 12,64 | 12,7 |
| $h_{Г}, \text{ мм}$ | 14,51 | 14,69 | 14,51 | 14,69 |
| $h_{Н}, \text{ мм}$ | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 |

В качестве исходных данных для моделирования использовались 3D - модели соединений «ножка – головка», установленных в медное кольцо, согласно ГОСТ Р ИСО 7206-10-2005 [9].

Входными параметрами в программном комплексе ANSYS являются физико-механические характеристики материалов модели, таких как плотность, модуль Юнга, предел текучести, установление связей в модели. Важным параметром численного моделирования является создание расчетной сетки. Для высокой точности результатов определялись зоны адаптации сетки (локального измельчения). В расчетной модели зонами адаптации являлось место контакта головки и ножки. Данный этап, как и все другие, очень важен и ошибки, допущенные на этой стадии моделирования, могут привести к некорректности всего расчета. Закончить ввод входных параметров нужно заданием нагрузки и опорной поверхности.

На выходе численного моделирования получаем значения таких параметров как коэффициент запаса прочности, максимальные и нормальные напряжения, деформация ножки в поперечном сечении, просадка ножки в отверстие головки и площадь контакта конических поверхностей при различных нагрузках в диапазоне от 200 Н до 15000 Н (в соответствии с условием эксплуатации).

На рисунке 2 представлена схема нагружения конического соединения согласно ГОСТ Р ИСО 7206 - 10-2005 [9].

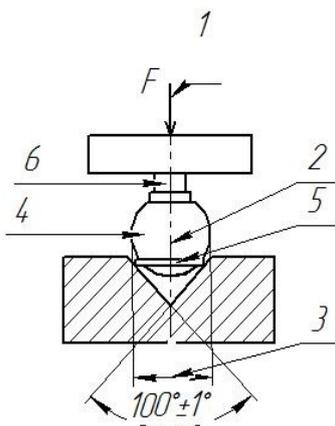


Рис. 2. Пример схемы нагружения конического соединения:
1 – ось нагрузки, 2 – ось шейки, 3 – $0,75 \times$ диаметр головки (не менее),
4 – головка, 5 – медное кольцо, 6 – шейка

Результаты и обсуждения

При контакте в верхней части сопряжения, график зависимости распределения коэффициента запаса прочности от нагрузки для соединения «головка минимум-ножка максимум» показывает значения в 1,5 раза выше, чем у соединения «головка максимум-ножка минимум». При этом, максимальные напряжения у соединения «головка минимум-ножка максимум» меньше в 1,4 раза (рис. 3).

Максимальная площадь контакта для соединения начинается уже при нагрузке 3000 Н, тогда как у соединения «головка максимум-ножка минимум» полный (100 %) контакт не наступает даже при нагрузке 15000 Н (рис. 4).

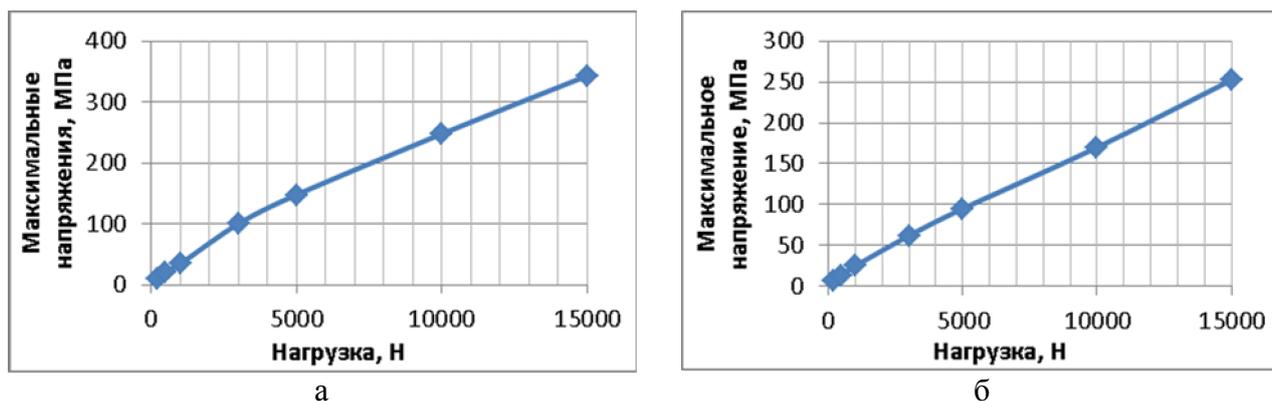


Рис. 3. График зависимости распределения максимальных напряжения от нагрузки в момент контакта в нижней части сопряжения:

а - «головка максимум - ножка минимум»; б - «головка минимум - ножка максимум»

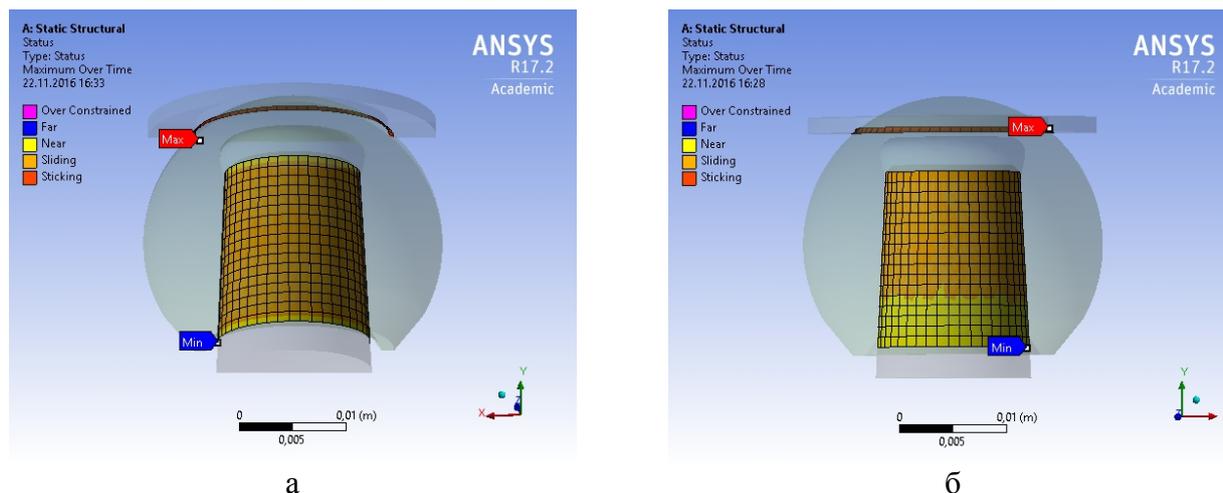


Рис. 4. Площадь контакта для соединений в верхней части сопряжения:
а – при нагрузке 3000 Н; б – при нагрузке 15000 Н

При контакте в нижней части сопряжения, график зависимости распределения коэффициента запаса прочности от нагрузки, соединения «головка минимум – ножка максимум» показывает значение в 1,2 раза выше, чем у соединения «головка максимум – ножка минимум», при этом максимальные напряжения у «головка минимум-ножка максимум» меньше в 1,13 раза. Максимальная площадь контакта наступает у соединения «головка минимум - ножка максимум» раньше, чем у соединения «головка максимум - ножка минимум».

Анализируя полученные результаты расчетов, можно сделать вывод, о том, что соединение с контактом в нижней части сопряжения имеет более низкие показатели в исследуемом диапазоне нагрузок.

Выводы

Путем сравнения расчетов для представленных сочетаний геометрических параметров головки и ножки можно сделать следующие выводы:

1. Коническое сопряжение «головка минимум - ножка максимум» испытывает меньшие напряжения при прочих равных условиях;
2. Сопряжение «головка минимум - ножка максимум» при контакте в верхней части сопряжения лучше по расчетным данным обеспечивает работоспособность ТБС в условиях нагружения, чем коническое сопряжение «головка минимум - ножка максимум» при контакте в нижней части сопряжения.

Следует также отметить, что в случае сопряжения «головка минимум - ножка максимум» для просадки ножки в отверстие головки обеспечивается больший зазор.

Список литературы

1. Прохоренко В.М., Садовой М.А., Слабодской А.Б. Атлас первичного эндопротезирования крупных суставов. – Новосибирск: Наука, 2016. – 268 с.
2. Надеев А.А. Эндопротезирование тазобедренного сустава в России (философия построения, обзор имплантатов, рациональный выбор). – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 177 с.

3. Разработка керамического материала для пары трения шар-вкладыш эндопротеза тазобедренного сустава / С.В. Веселов, А.А. Батаев, Н.С. Белоусова, Г.Р. Карагедов, А.М. Аронов // Инновации в медицине: основные проблемы и пути их решения. Регенеративная медицина и новые биосовместимые материалы: материалы 3 международного форума. – Новосибирск, 2014. – С. 24–28.

4. Барулина М.А. Использование ANSYS Workbench для работы с геометрическими моделями. – Саратов: Эдитус, 2012. – 316 с.

5. Бруйка В.А. Инженерный анализ в ANSYS Workbench: учебное пособие. – Самара: СамГТУ, 2013. – 147 с.

6. Морозов Е.М. ANSYS в руках инженера. Механика разрушения. – М.: URSS, 2007. – 453 с.

7. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3 т. Т. 1 / под ред. И.Н. Жестоквой. – 8-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2001. – 920 с.

8. Серeda А.П. Эндопротезирование тазобедренного сустава: ответы на все вопросы. – М.: Гранат, 2014. – 121 с.

9. ГОСТ Р ИСО 7206-10–2005. Эндопротезы тазобедренного сустава частичные и тотальные. – М.: Стандартинформ, 2006. – 15 с.

STRESS – STRAIN STATE OF A CONICAL PAIR «HEAD – NECK» OF THE HIP JOINT

Semenova Y. S., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: yu.semenova@corp.nstu.ru

Slyvakova K. S., Master's Degree student, e-mail: K.naumova.2011@stud.nstu.ru

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

Abstract

The problem of operability ensuring of the conical pair «head-neck» design of the hip joint is considered. The stress-strained state of the medical ceramic material developed in NSTU is investigated. Calculations of safety factor, the maximum principal stress and normal stress for various geometry of the conical pair «head-neck», are presented. The nature of engagement of a head and a neck for various designs of pair is shown. As a result of the analysis of the obtained data the optimum geometry of the conical pair «head-neck» is established.

Keywords

final – element analysis, stress – strain state, safety factor, maximum principal stress, normal stress

УДК 621.313.17

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ТЯГОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ЗУБЦОВО-ПАЗОВОЙ ЗОНОЙ
ДЛЯ ВИБРОКОМПРЕССОРА***О.В. РОГОВА, старший преподаватель**А.А. ТЮЛЯХОВА, студент**О.Э. ПАУЛЬ, студент**В.Ю. НЕЙМАН, доктор техн. наук, профессор
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Рогова О.В. - 630073, Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет
e-mail: rogoва@corp.nstu.ru

Работа посвящена исследованию статической тяговой характеристики линейного электромагнитного двигателя с активной зубцово-пазовой зоной. Представлено обоснование конечно-элементной модели линейного электромагнитного двигателя с зубцово-пазовой зоной, обеспечивающей высокую точность получаемых значений статического тягового усилия. Установлено, что относительная погрешность максимальных значений статического тягового усилия, полученных в ходе численного эксперимента, не превышает 4% по сравнению с результатами физического эксперимента. Результаты исследования могут быть востребованы при исследованиях линейных электромагнитных двигателей с активной зубцово-пазовой зоной, применяемых в приводе вибрационных установок.

Ключевые слова: вибрационные технологии, цилиндрический электромагнитный двигатель, зубчатые элементы конструкции магнитопровода, моделирование магнитного поля

Введение

Среди компьютерных программ расчета магнитных полей в настоящее время наибольшее распространение получили программы, в которых используется метод конечных элементов [1-3]. Большая часть численных экспериментов выполняется с использованием имеющегося в свободном доступе программного пакета FEMM.

FEMM (Finite Element Method Magnetics) – это программа конечно-элементного расчета магнитного поля, позволяющая выполнять исследования плоскопараллельного или плоскомеридианного (осесимметричного) магнитного поля, и определять цепные параметры рассчитываемых устройств с построением картин распределения линий потока. При этом в ходе моделирования магнитного поля возможно решение как линейных, так и нелинейных задач [4 - 7].

Данный программный продукт отличается простым в использовании графическим интерфейсом и возможностью автоматизированного расчета с заданным шагом изменения одного из параметров модели.

Апробация программы конечно-элементного моделирования «FEMM» показала высокую точность получаемых результатов при расчетах цилиндрических систем электромагнитных двигателей [8 - 11].

Однако, в отличие от традиционных цилиндрических электромагнитных двигателей с притягивающимся или втяжным якорем ЛЭМД с зубцово-пазовой зоной (рис. 1) обладают рядом особенностей, которые заключаются в следующем:

- сложная картина пространственного распределения линий магнитного потока в воздушных зазорах зубцово-пазовой зоны;
- магнитная несимметрия, вызывающая неравномерное распределение магнитного потока в рабочих областях занятых зубцово-пазовой зоной [12-16].

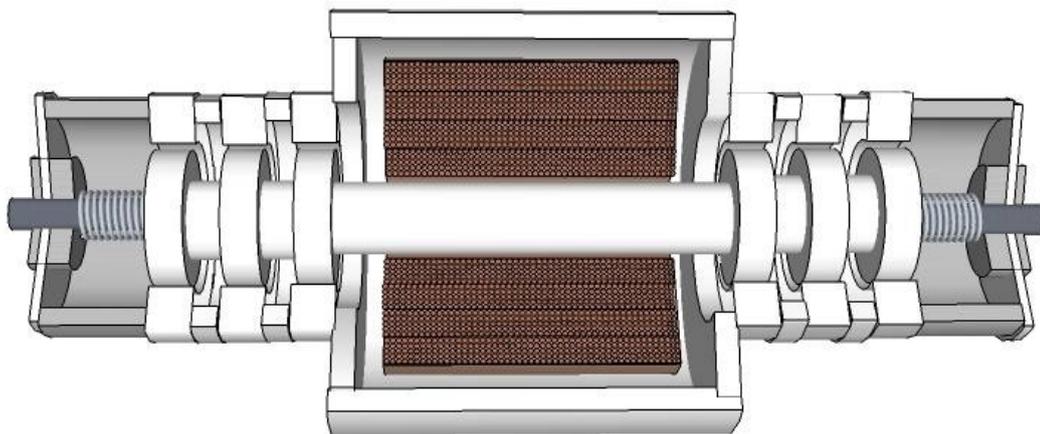


Рис. 1. Вариант конструктивного исполнения ЛЭМД с зубцово-пазовой зоной

Учет указанных особенностей имеет существенное значение при проектировании ЛЭМД с рациональными геометрическими соотношениями размеров, обеспечивающих на выходе максимальные значения показателей. По понятным причинам введение ряда упрощений при моделировании даже на этапе предварительной оценки может оказаться достаточно грубым приближением. В связи с этим для исследования подобных магнитных систем наиболее целесообразно применять конечно-элементное моделирование, позволяющее рассчитывать модели, адекватно отражающие любые конструктивные изменения.

Метод исследования

Достоверность результатов расчета при использовании программного продукта FEMM, была оценена сравнением значений статического тягового усилия ЛЭМД с зубцово-пазовой зоной, полученных на физической модели.

Исследование проведено для близкого по конструктивному исполнению варианта ЛЭМД с зубцово-пазовой зоной, используемого для удержания якоря в ударных устройствах [17].

Численный эксперимент был выполнен для следующих геометрических соотношений размеров магнитной системы (рис. 2): $h_k/l_k = 0,33$; $a/\tau = 0,5$; $a/b = 1,0$; $c/\tau = 0,6$; $\Delta/\tau = 0,08$, где h_k – высота обмоточного пространства; l_k – длина обмоточного пространства; b и a – соответственно высота и ширина зубца; c – ширина межзубцового расстояния, τ – зубцовое деление; Δ – воздушный технологический зазор.

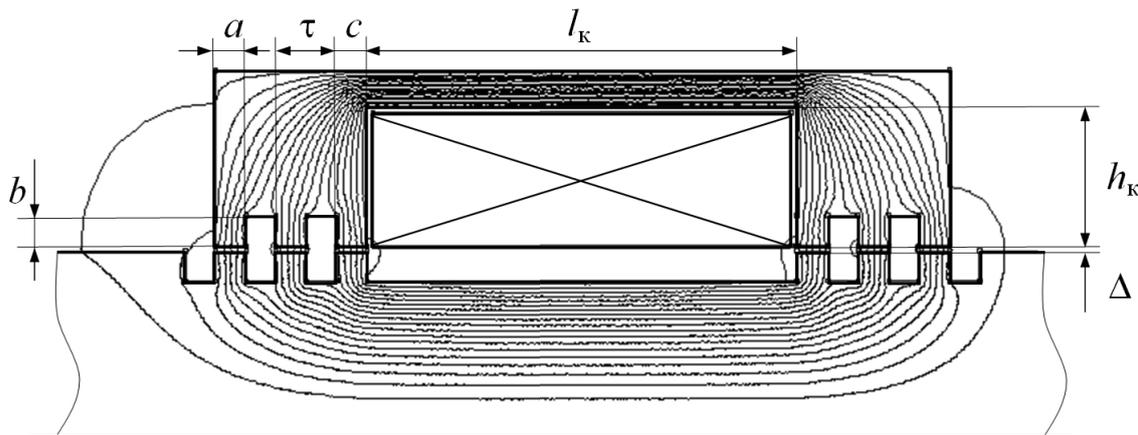


Рис. 2. Геометрическая структура магнитной системы и линий распределения магнитного потока

Численный эксперимент выполнялся для осесимметричной постановки задачи. Граничные условия конечно-элементной модели ЛЭМД принимались с векторным потенциалом $A = 0$.

С целью обеспечения высокой точности получаемых результатов для блоков конечно-элементной модели, определяющих якорь и статор двигателя, размеры сторон конечных элементов не превышали 0,3 мм.

При построении конечно-элементной модели в качестве материала магнитопровода была выбрана конструкционная сталь марки Ст. 3. Намагничивающая сила катушки принималась равной $F = 1650 \text{ А}$, ток катушки $I = 5 \text{ А}$.

Основные результаты и выводы

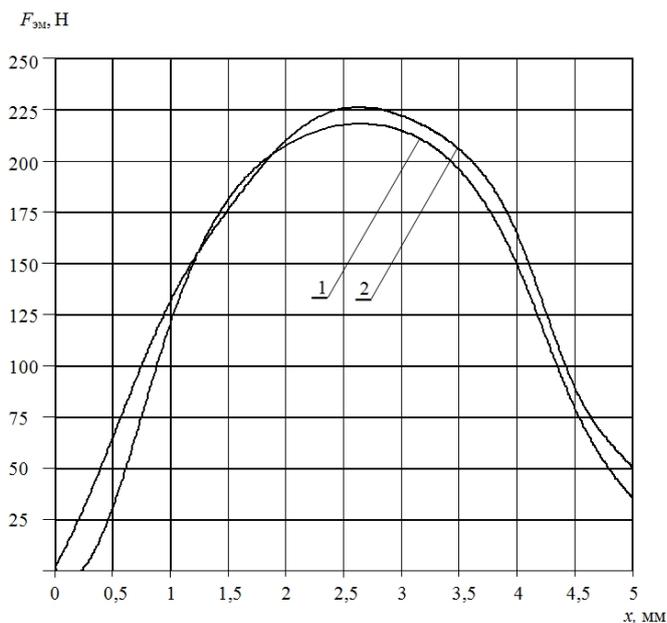


Рис. 3. Статические тяговые характеристики

В качестве примера, результаты расчета статических тяговых характеристик, в режиме параметров блока, представлены на рис. 3, где кривая с индексом 1 характеризует значения статического тягового усилия, полученного в ходе физического эксперимента, а кривая с индексом 2 – значения статического тягового усилия, полученного в ходе конечно-элементного моделирования модели.

Установлено, что относительная погрешность максимальных значений статического тягового усилия, полученных в ходе конечно-элементного моделирования, по сравнению с результатами физического эксперимента, не превышает 4%.

Это подтверждает достоверность получаемых значений статиче-

ского тягового усилия модели ЛЭМД полученных на основании конечно-элементного моделирования.

Предлагаемый программный продукт был использован в ходе выполнения серии численных экспериментов по поиску и выбору рационального конструктивного исполнения ЛЭМД и геометрических соотношений элементов магнитной системы с зубцово-пазовой зоной.

Результаты выполненных исследований могут быть использованы при проектировании линейных электромагнитных двигателей с активной зубцово-пазовой зоной.

Список литературы

1. ANSYS [Электронный ресурс] / Центр информационной поддержки клиентов продуктов ANSYS. – URL: <http://www.ansys.com/> (дата обращения: 01.02.2014).
2. Бирли О., Калленбах Э. Эскизное проектирование магнитных приводов с применением программного пакета SESAM // Известия вузов. Электромеханика. – 2002. – № 4. – С. 7–14.
3. Comsol [Электронный ресурс] / Центр поддержки клиентов продуктов COMSOL. – URL: <http://www.comsol.com/> (дата обращения: 31.01.2017).
4. Андреева Е.Г., Семина И.А., Татевосян А.В. Исследование поля магнитной системы открытого типа с помощью программного пакета ANSYS // Динамика систем, механизмов и машин. – 2014. – № 1. – С. 173–175.
5. Татевосян А.С., Татевосян А.А. Расчет электрических и магнитных полей методом конечных элементов с применением комплекса программ ELCUT: учебное пособие. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2015. – 96 с.
6. Буль О.Б. Методы расчета магнитных систем электрических аппаратов. Магнитные цепи, поля и программа FEMM: учебное пособие. – М.: Академия, 2006. – 284 с.
7. Приступ А.Г., Червяков А.В. Моделирование магнитных полей в программе FEMM: учебно-методическое пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2012. – 92 с.
8. Оптимизация геометрии линейных электромагнитных двигателей с использованием конечно-элементного моделирования магнитного поля / Ю.Г. Соловейчик, В.Ю. Нейман, М.Г. Персова, М.Э. Рояк, Ю.Б. Смирнова, Р.В. Петров // Известия вузов. Электромеханика. – 2005. – № 2. – С. 24–28.
9. Петрова А.А., Нейман В.Ю. Моделирование в FEMM магнитного поля для расчета тяговых характеристик электромагнитных двигателей постоянного тока // Сборник научных трудов Новосибирского государственного технического университета. – 2008. – № 2. – С. 101–108.
10. Мошкин В.И., Шестаков Д.Н., Помялов С.Ю. Моделирование тяговых характеристик линейного электромагнитного двигателя с различным материалом магнитопровода // Вестник Курганского государственного университета. – 2014. – № 2. – С. 85–87.
11. К вопросу учета главных размеров при выборе типа электромагнита по значению конструктивного фактора / В.Ю. Нейман, Л.А. Нейман, А.А. Петрова, О.В. Рогова, А.А. Скотников // Электротехника. – 2011. – № 6. – С. 50–53.
12. Нейман Л.А., Рогова О.В. К исследованию тяговых характеристик электромагнитных приводов с учетом зубчатости элементов магнитопровода // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. – 2013. – № 1. – С. 100–108.
13. Рогова О.В. Сравнение тяговых характеристик электромагнитных двигателей с двухсторонней зубчатостью якоря // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2013. – № 2. – С. 317–320.

14. Патент 2526852, Н 02 К 33/02, Н 02 К 1/06. Электромагнитный двигатель (варианты) / Л.А. Нейман, В.Ю. Нейман, О.В. Рогова. – № 2012146808/07; заявл. 01.11.12; опубл. 27.08.14, Бюл. № 24. – 7 с.

15. Патент 149508, Н 02 К 33/02. Электромагнитный двигатель / В.Ю. Нейман, Л.А. Нейман, О.В. Рогова. – № 2014106191/07; заявл. 19.02.12; опубл. 10.01.15, Бюл. № 1. – 2 с.

16. Мошкин В.И., Нейман В.Ю., Угаров Г.Г. Импульсные линейные электромагнитные двигатели. – Курган: Изд-во Курган. гос. ун-та, 2010. – 220 с.

17. Rogova O.V. Electromagnetic motor with an active teeth-slot zone for vibration technologies // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Vol. 792: Energy Systems, Materials and Designing in Mechanical Engineering. – P. 67–72.

RESEARCH OF STATIC THRUST CHARACTERISTICS OF THE ELECTROMAGNETIC MOTOR WITH TOOTH-SLOTS AREA VIBRATING COMPRESSOR

Rogova O.V., Senior Lecturer, e-mail: rogoval@corp.nstu.ru

Tyulyahova A.A., Student, e-mail: yanagrin@inbox.ru

Paul O.E., Student, e-mail: newlur@mail.ru

Neyman V.Yu., D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: nv.nstu@ngs.ru

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

Abstract

Work is devoted to research of static traction characteristic linear electromagnetic motor with an active area of the tooth-slot. Presented study of finite element model of a linear electromagnetic motor of the tooth-slot area, providing high accuracy of static thrust values. It is found that the maximum values of the relative error of the static thrust produced during the numerical experiment, no more than 4% compared with the experimental results. Results of the study can be used in the study of linear electromagnetic motors with an active area of the tooth-slot involving finite element modeling.

Keywords

vibrating technologies, cylindrical electromagnetic motor, gear magnetic circuit, finite element modeling

УДК 669.715: 621.74.047

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЗАЭВТЕКТИЧЕСКОГО СИЛУМИНА ПРИ ЛИТЬЕ СЛИТКОВ ПОЛУНЕПРЕРЫВНЫМ СПОСОБОМ

*А.Н. ПРУДНИКОВ, доктор техн. наук, профессор
В.А. ПРУДНИКОВ, аспирант
(СибГИУ, г. Новокузнецк)*

Прудников А.Н. – 654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42,
Сибирский государственный индустриальный университет,
e-mail: a.prudnikov@mail.ru

Исследованы поверхность разрушения, макро- и микроструктура слитков полунепрерывного литья диаметром 165 мм из бинарного заэвтектического силумина с содержанием кремния 20 %. Установлено, что излом слитка в поперечном сечении характеризуется значительными участками вязкого и квазивязкого разрушения по эвтектике и твердому раствору, чередующимися с фасетками хрупкого скола по кристаллам первичного кремния (КПК). Макроструктура отличается неоднородностью распределения эвтектических колоний (Al+Si), участков и дендритов α -твердого раствора. Показано, что в поперечном сечении слитка полунепрерывного литья из заэвтектического силумина формируются периферийная, промежуточная и центральная зоны, отличающиеся между собой по количеству, размерам и распределению КПК, а также строению эвтектики. Приведены усредненные механические свойства слитков.

Ключевые слова: силумин, слиток, полунепрерывное литье, структура, кристаллы первичного кремния, эвтектика.

Введение

Для изготовления поршней тяжело нагруженных двигателей внутреннего сгорания (ДВС), используемых для большегрузных автомобилей, тракторов, тепловозов и другой техники, наиболее часто используют деформируемые алюминиевые сплавы [1]. Данная технология их производства, обычно, включает производство слитков полунепрерывным способом, их прессование на пруток и последующую штамповку деталей на гидравлических прессах. Полунепрерывный способ изготовления слитков является наиболее производительным и экономичным в заготовительном литье алюминиевых сплавов [2]. Еще в 70-80 годы XX века в области непрерывного литья алюминиевых сплавов появились работы, посвященные металлургии жидкого металла, технологии литья слитков различной формы, улучшению их качества, формированию структуры слитка и образованию дефектов и др. для сплавов различных систем (АМг2 – АМг-5; Д16, Д20, АК4, АК8, В95, АМц) [3-4]. Позднее количество работ в этой области значительно увеличилось [5-7]. В настоящее время, преимущественно, для тяжело нагруженных ДВС используют легированные заэвтектические силумины. Работ, выполненных в области технологии производства, формирования структуры и свойств слитков из заэвтектических силуминов выполнено недостаточно. Несмотря на это, можно отметить некоторые из них в области исследования структуры слитков из силуминов эвтектического и заэвтектического состава, механических и физических свойств, оптимизации технологических параметров литья, разработки новых технологических решений при литье слитков [8-15]. Получение же высококачественной деформированной поршневой заготовки зависит от структуры слитка, а для заэвтектических силуминов – в первую очередь от количества, распределения, размеров и формы кристаллов первичного кремния (КПК). В связи с этим целью настоящей работы являлось изучение

формирования структуры и свойств слитков полунепрерывного литья, изготовленных в промышленных условиях из двойного силумина с содержанием кремния 20 %.

Материал и методика экспериментального исследования

Слитки из заэвтектического силумина изготавливали полунепрерывным способом в промышленных условиях ОАО «СМК» (г. Ступино). Сплав Al - 20 % Si готовили в печи сопротивления в графитошамотном тигле вместимостью 60 кг. В качестве шихтовых материалов использовали технически чистый силумин Сил 0 и кремний Кр1. После приготовления расплава в печи при 820÷880 °С и съема шлака с зеркала металла, его сливали в миксер емкостью 150 кг. Слитки отливали на машине полунепрерывного литья ПН-2 с дюралюминиевым кристаллизатором скольжения диаметром 165 мм со скоростью литья 77 мм/мин при 750÷770 °С. Макро- и микроструктуру изучали на темплетях, вырезанных из донной части слитков на расстоянии 100 мм от их дна с использованием оптического микроскопа ЛабоМет-1И. Для фрактографического анализа использовали эти же темплеты, разрушенные в поперечном сечении по диаметру слитка. Для определения механических характеристик слитков использовали цилиндрические образцы, изготовленные по ГОСТ 1497 – 84, диаметром 6 мм. Образцы вырезали из поперечных темплетов, а результаты испытаний усредняли по всему сечению слитка. Для определения температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР) образцов при различных температурах использовали высокотемпературный дилатометр DIL 402С с цифровой обработкой данных и погрешностью измерения $0,1 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.

Результаты и обсуждение

В работе проведено исследование излома, а также макро- и микроструктуры слитков полунепрерывного литья и их свойств из бинарного заэвтектического силумина с содержанием кремния 20 %. Для слитка отмечается сочетание заэвтектической и доэвтектической структуры во всем объеме слитка, что согласуется с данными работ В.И. Добаткина [3], с той лишь разницей, что соотношение первичных кристаллов кремния и дендритов первичного алюминия, равно как и строение последних, различно для разных частей слитка. Фрактографический анализ темплетов из слитков показал, что наряду со значительными по размеру участками вязкого разрушения по эвтектике и твердому раствору видны крупные фасетки скола по кристаллам первичного кремния (рис. 1). Причем в центральной части слитка наряду с большим объемом участков вязкого и квазивязкого разрушения присутствует и большее количество участков хрупкого скола по КПК, размер которых превышает размеры хрупких участков в периферийных слоях металла

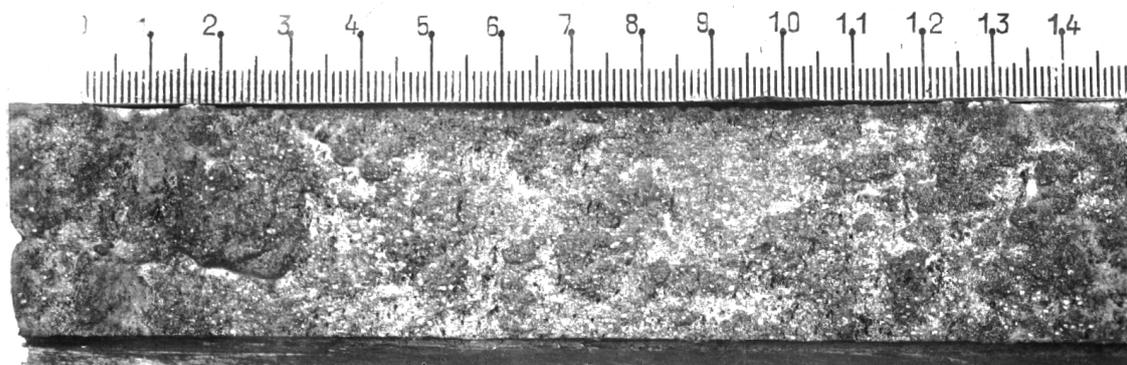


Рис. 1. Излом в поперечном сечении слитка полунепрерывного литья из сплава Al - 20 % Si

Характерной особенностью макроструктуры заэвтектического силумина является отсутствие зоны столбчатых кристаллов (рис. 2), что положительно сказывается на технологичности слитков при горячей деформации. Однако по всему сечению слитка наблюдается неоднородность макроструктуры, связанная с наличием участков повышенной травимости с эвтектической структурой, и светлых областей с увеличенной объемной долей α -твердого раствора.

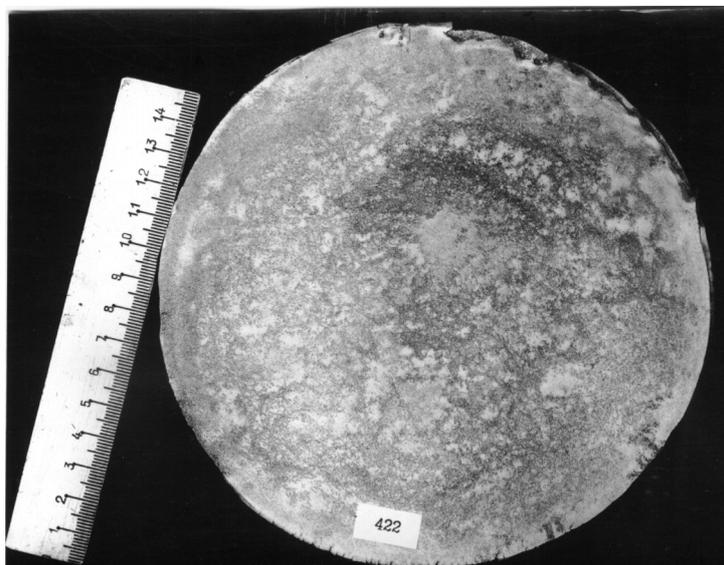


Рис. 2. Макроструктура слитка полунепрерывного литья из сплава Al - 20% Si:

При изучении микроструктуры в поперечном сечении слитка можно выделить несколько зон, которые кристаллизуются с различной интенсивностью охлаждения: поверхностную, периферийную, промежуточную и центральную. Указанные зоны отличаются по количеству, размерам и распределению первичных кристаллов кремния и дендритов α -твердого раствора, а также по морфологии и степени модифицирования эвтектики. Поверхностная зона, затвердевающая при непосредственном контакте со стенками кристаллизатора, как правило, мала по размерам (1÷5 мм) и обычно удаляется при механической обработке слитков. Поэтому эта зона участие в формировании свойств полуфабрикатов не принимает и нами не рассматривается. Характеристики микроструктуры различных зон слитков, приготовленных с различной обработкой расплава, приведены в таблице, а на рис. 3 показана микроструктура этих зон.

Таблица

Характеристики микроструктуры слитков полунепрерывного литья из сплава Al-20 % Si

| Зона слитка | Характеристики микроструктуры | |
|---------------|-------------------------------|---|
| | Размер КПК, мкм | Эвтектика |
| Периферийная | 80-100 | Размодифицированная |
| Промежуточная | 130-150 | Слабомодифицированная, участками модифицированная |
| Центральная | 100-170 | Слабомодифицированная |

При анализе структуры зон слитка выявлено, что наименьшие размеры КПК присутствуют в периферийной зоне (среднее значение 90 мкм), что, очевидно, связано с повышенной скоростью охлаждения по сравнению с другими зонами, расположенными ближе к центру слитка. Однако на эвтектический кремний градиент скорости охлаждения

существенно не повлиял. Во всех зонах эвтектика (Al+Si) остается слабо- или размодифицированной.

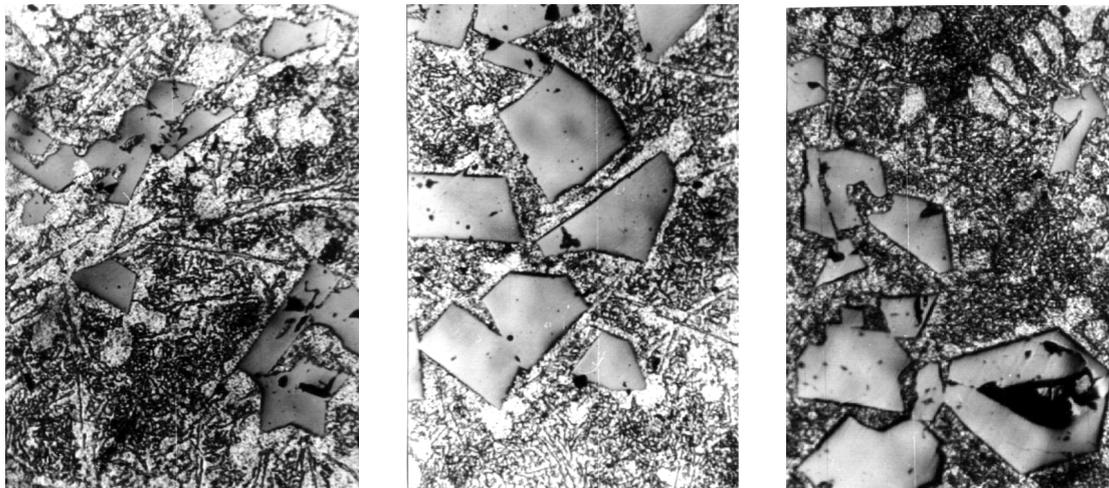


Рис. 3. Микроструктура слитка полунепрерывного литья из сплава Al - 20 % Si:
а, б и в – периферийная, промежуточная и центральная зоны; $\times 100$

Пониженная скорость охлаждения центральных слоев слитка по сравнению с остальными зонами способствует некоторому огрублению структуры в центре слитка: увеличиваются размеры первичного и эвтектического кремния, а также, зачастую, присутствует эвтектика пластинчатого или игольчатого типа (см. рис 3). Такой результат воздействия способа полунепрерывного литья на структуру слитка диаметром 165 мм говорит о необходимости использования модифицирования как первичного, так и эвтектического кремния для повышения технологической пластичности.

Результаты определения механических характеристик слитков из заэвтектического силумина показали, что усредненная величина временного сопротивления разрыву σ_B по сечению слитка составляет 88 МПа, а относительное удлинение δ – 1,5 %, что не на много отличается от свойств при изготовлении слитка в металлическую изложницу с меньшей скоростью охлаждения. Перспективой улучшения механических свойств слитков являются процессы модифицирования структуры и последующей горячей обработки давлением. Среднее значение ТКЛР в интервале 50 – 200 °С составляет $17.7 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$, что соизмеримо со значениями литейных поршневых сплавов типа АК21.

Выводы

1. Фрактографическим анализом показано, что излом слитка полунепрерывного литья из сплава Al-20 % Si характеризуется значительными участками вязкого и квазивязкого разрушения по эвтектике и твердому раствору, чередующимися с фасетками хрупкого скола по КПК.

2. Макроструктура по поперечному сечению слитка отличается неоднородностью распределения эвтектических колоний (Al+Si) и участков и дендритов α -твердого раствора.

3. Установлено, что в поперечном сечении слитка полунепрерывного литья из заэвтектического силумина формируются периферийная, промежуточная и центральная зоны, отличающиеся между собой по количеству, размерам и распределению КПК, а также строению эвтектики.

Список литературы

1. *Липчин Т.Н.* Получение заготовок поршней литьем с кристаллизацией под давлением. – Пермь: Изд-во ТГУ, 1991. – 136 с.
2. Непрерывное литье алюминиевых сплавов / В.И. Напалков, Г.В. Черепок, С.В. Махов и др. – М.: Интермет Инжиниринг, 2005. – 512 с.
3. *Добаткин В.И.* Слитки алюминиевых сплавов. – Свердловск: Metallurgia, 1960. – 176 с.
4. *Ливанов В.А., Габидуллин Р.М., Шитлов В.С.* Непрерывное литье алюминиевых сплавов. – М.: Metallurgia, 1977. – 168 с.
5. *Sengupta J., Thomas B.G., Wells M.A.* The use of water cooling during the continuous casting of steel and aluminum alloys // *Metallurgical and Materials Transactions.* – 2005. – Vol. 36a. – P. 187–204.
6. *Turbalioglu K., Sun Y.* The improvement of the mechanical properties of AA 6063 aluminum alloys produced by changing the continuous casting parameters // *Scientific Research and Essays.* – 2011. – Vol. 6 (13). – P. 2832–2840.
7. *Ganiger B.M., Chandrashekharaiah T.M., Prasad T.B.* The Effect of modification of primary silicon on the microstructure, mechanical and sliding wear behavior of commercial LM-29 cast alloy // *American Journal of Materials Science.* – 2015. – Vol. 5, N 3. – P. 1–6.
8. *Прудников А.Н.* Структурно-технологические основы разработки прецизионных силуминов с регламентированным содержанием водорода: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.16.09 / Новосибирский государственный технический университет. – Новосибирск, 2013. – 40 с.
9. *Prudnikov A.N.* Deformable heatproof transeutectic silumin for pistons // *Steel in Translation.* – Vol. 39, N 6. – P. 456–459.
10. *Jorstad J., Apelian D.* Hypereutectic Al-Si alloys: practical casting considerations // *International Journal of Metalcasting.* – 2009. – Vol. 3, N 3. – P. 13–36.
11. *Прудников А.Н.* Структура и свойства жаропрочного силуминового поршня // *Известия вузов. Черная металлургия.* – 2009. – № 8. – С. 28–30.
12. *Prudnikov A.N.* Production, structure and properties of engine pistons made from transeutectic deformable silumin // *Steel in Translation.* – Vol. 39, N 5. – P. 391–393.
13. *Прудников А.Н.* Поршневые деформируемые заэвтектические силумины // *Технология металлов.* – 2014. – № 2. – С. 8–11.
14. *Белов М.В., Белов В.Д., Тен Э.Б.* Об изготовлении слитков из поршневого заэвтектического силумина методом полунепрерывного литья // *Известия вузов. Черная металлургия.* – 2005. – № 5. – С. 30–33.
15. *Heshmatpour B.* Modification of silicon in eutectic and hyper-eutectic Al-Si alloys // *Essential Readings in Light Metals.* – 2016. – Vol. 3, N 3. – P. 425–432.

**FORMATION OF STRUCTURE HYPEREUTECTIC SILUMIN WHEN CASTING
INGOTS SEMICONTINUOUS PROCESS****Prudnikov A.N.**, D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: a.prudnikov@mail.ru**Prudnikov V.A.**, Ph.D. student, e-mail: vladpr88@gmail.com

Siberian State Industrial University, 42 Kirova st. Novokuznetsk, 654007, Russian Federation

Abstract

Investigated fracture surface, macro- and microstructure of ingots semi-continuous casting of binary hypereutectic silumin with a silicon content of 20%. Ingots produced in industrial conditions on the PN-2 machine with mold slip 165 mm. Ingot length was 100 cm and its weight - 60 kg. It is found that the break in the cross section of the ingot is characterized by the presence of significant areas of quasi-viscous and viscous destruction. These regions are formed in the ground breaking for the eutectic (Al + Si) and α -solid solution. Within this matrix are brittle cleavage facets located on the primary silicon crystals. Moreover, their size and the volume fraction greater in the central part of the ingot than at the periphery. The macrostructure characterized eutectic colonies distribution inhomogeneity (Al + Si), and portions of dendrites α -solid solution. It is shown that in the cross section of the ingot semicontinuous casting hypereutectic silumin formed peripheral, intermediate and central zones. These areas differ in the number, size and distribution of the primary silicon crystals and the eutectic structure. Are shows the mechanical properties averaged over the cross section of ingots (σ_{ts} , = 88 MPa, δ , = 1,5 %). The average value of the coefficient of thermal expansion in the range of 50 - 200 ° C is $17.7 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, which is comparable with the piston casting alloys such as AK21.

Keywords

silumin, ingot, semicontinuous casting, structure, primary crystal silicon, eutectic

УДК 669-156.669.14.018.29

ОБ ОПТИМИЗАЦИИ СОСТАВОВ БЫСТРОРЕЖУЩИХ И ШТАМПОВЫХ СТАЛЕЙ

Л. Д. СОБАЧКИНА, магистрант
В. Б. БУТЫГИН, канд. техн. наук, профессор
(АлтГТУ, г. Барнаул)

Собачкина Л. Д. – 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,
Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова,
e-mail: karpov43@list.ru

Показаны пути легирования инструментальных сталей элементами, в количестве позволяющем повысить содержание упрочняющей фазы, твёрдость, прокаливаемость, теплостойкость.

Рассмотрена возможность удешевления стоимости инструментальных сталей путём комплексного легирования более дешёвыми материалами.

Ключевые слова: термическая обработка, легирование, теплостойкость, твёрдость, фазовый состав, ковка, карбиды, закалка.

Введение

Поскольку многие штамповые и режущие инструменты имеют различные размеры и конфигурацию, и являются металлоёмкими, необходимы дальнейшие исследования путей повышения легирования и, в частности, элементами, позволяющими снизить стоимость инструментальных сталей. [1, 2]

Трудность решения этих задач возрастает в связи с тем, что при легировании, требуемом для создания необходимой теплостойкости и твердости, как правило, снижается ударная вязкость [3–6]. Это требует изучения основных закономерностей влияния фазового и структурного состояния штамповой стали на основные механические и технологические свойства [7–9].

Цель данной работы заключается в определении влияния легирующих элементов на повышение механических свойств быстрорежущих и штамповых сталей.

Методика экспериментального исследования

При исследовании использовались макроанализ и микроанализ сталей после различных видов термической обработки.

В наших исследованиях [10, 11] изучались стали, легированные кремнием, марганцем, вольфрамом, молибденом, хромом, никелем, ванадием, кобальтом, алюминием, медью. Для повышения ударной вязкости содержание углерода принято в пределах 0,1–0,35%.

Проведённые исследования подтверждают мнение авторов о возможности повышения свойств инструментальных сталей путём комплексного легирования.

Но рассматривая вопрос о комплексном легировании инструментальных сталей с целью повышения их свойств, надо не забывать о микролегировании. В связи с чем требуется изучение новых структур и упрочняющих фаз.

Исследование этой возможности в настоящее время выдвигается на уровень актуальных.

Результаты и обсуждение

Исследования показали, что теплостойкость экспериментальных сталей (для твёрдости HRC 45) составляет 650°C.

На сталь состава, мас. %: углерод – 0,2 - 0,3; кремний – 0,4 - 0,8; молибден – 2,0 – 2,5; хром – 8,0 - 10,0; вольфрам – 2,5 - 3,0; кобальт – 1,0 - 1,5; марганец – 1,0 – 1,4; титан – 0,2 – 0,3; никель – 6,0 – 8,0; ванадий – 0,2 - 0,3; железо – остальное, получен патент [12].

В наших исследованиях показана актуальность изучения вопросов по повышению прочностных характеристик комплексным легированием. Комплексное легирование, прежде всего, предусматривает воздействие различных легирующих элементов на образование соединений, создающих упрочняющую фазу, с целью улучшения механических свойств.

В процессе изучения комплексного легирования были проведены исследования о влиянии содержания кремния на свойства и теплостойкость инструментальных сталей. Вопрос влияния кремния изучается многими авторами уже не один год. Но однозначных выводов до сих пор нет.

На наш взгляд, изучение влияния кремния на свойства сталей остаётся и, скорее всего, останется на долгие годы актуальным.

В наших исследованиях [13] было уделено внимание влиянию кремния на свойства сталей с целью использования их в качестве сталей для режущего и штампового инструмента. Исследовался ряд сталей с различным содержанием кремния.

Исследования показали, что ударная вязкость при принятых пределах кремния не изменяется. Однако, увеличение содержания кремния выше 1,4% вызывает резкое снижение вязкости. При содержании кремния 1,4% прочность при изгибе увеличивается с 4100 МПа до 4500 МПа, с сохранением высокой ударной вязкости (таблица).

Таблица

Механические свойства исследуемых сталей в зависимости от содержания кремния

| № образца | Содержание Si, % | Твёрдость образца, HRC | Ударная вязкость КС, Дж/м ² | Прочность при изгибе $\sigma_{изг}$, МПа |
|-----------|------------------|------------------------|--|---|
| 1 | 0,67 | 58 – 59 | 1,6 | 4100 |
| 2 | 0,97 | 59 – 60 | 1,6 | 4200 |
| 3 | 1,4 | 67 – 68 | 1,6 | 4500 |

Выводы

Из анализа результатов исследования можно сделать выводы:

1. Возможно использование исследуемых сталей для штампового инструмента, работающего в пределах температур от 300 до 650°C.
2. Сталь 3M2X10B3K можно использовать до температуры 750°C.
3. Наличие хрома, никеля, марганца, молибдена, ванадия обеспечивает высокую прокаливаемость, а следовательно, возможно изготовление из этих сталей крупногабаритного инструмента.
4. Подбор для легирования указанных элементов определяет высокие механические свойства, особенно ударную вязкость.

5. Исследуемые стали можно рекомендовать для матриц и пуансонов при горячем деформировании легированных конструкционных сталей и жаропрочных сплавов, пресс-форм, литья под давлением, цветных сплавов.
6. Меньшая стоимость этих сталей из-за меньшего количества дорогостоящих легирующих элементов.
7. Кремний повышает дисперсионное твердение.
8. Наличие кремния в пределах 0,64 – 1,4% не приводит к образованию большого количества остаточного аустенита.
9. Наличие кремния в указанных количествах не приводит к снижению ударной вязкости, однако повышает прочность при изгибе.
10. Повышение содержания кремния до 1,4% приводит к повышению дисперсности мартенситной структуры и снижению склонности к росту зерна при перегреве.
11. С повышением содержания кремния теплостойкость сталей возрастает.
12. Легирование сталей кремнием позволяет заменить часть дорогостоящих элементов, тем самым снизить стоимость стали.

Список литературы

1. *Svistun L.I.* Constructional carbide steels: a review of their fabrication, properties, and application // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. – 2010. – Vol. 51, N 2. – P. 188–196.
2. Optimisation of chemical composition of high speed steel with high vanadium content for abrasive wear using an artificial neural network / X. Liu, X. Jiandong, W. Shizhong, Z. Yongzhen, L. Rui // Materials and Design. – 2007. – Vol. 28, N 3. – P. 1031–1037.
3. Effect of steplike high-temperature treatment on the composition and structure of the primary carbides in R6M5 high-speed steel ingots / I.V. Doronin, P.L. Alekseev, Y.A. Lukina, I.O. Bannykh // Russian metallurgy (Metally). – 2011. – Vol. 2011, N 1. – P. 29–32.
4. Special features of the composition, structure and properties of high-speed steels for cutting tools with ion-plasma coatings based on titanium nitride / L.S. Kremnev, A.K. Onegina, L.A. Vinogradova, I.Yu. Sapronov // Metal Science and Heat Treatment. – 2012. – Vol. 54, N 1–2. – P. 3–7.
5. Effect of alloying elements (Cu, Fe, and Nb) on the creep properties of Zr alloys / H.G. Kim, Y.H. Kim, B.K. Choi, Y.H. Jeong // Journal of Nuclear Materials. – 2006. – Vol. 359, N 3. – P. 268–273.
6. Effect of alloying on the structure and phase transformations in Ni-Mn alloys alloyed by titanium / K.A. Yurchenko, L.I. Yurchenko, N.I. Kourov, V.G. Pushin // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. – 2008. – Vol. 72, N 10. – P. 1442–1444.
7. *Skakov M., Rakhadilov B., Karipbayeva G.* Specifics of microstructure and phase composition of high-speed steel R6M5 // Applied Mechanics and Materials. – 2013. – Vol. 404. – P. 20–24.
8. *Chaus A.S., Porubski J.* Effect of heat treatment on the structure of cast high-speed steel of type R6M5 modified with tungsten additives // Metal Science and Heat Treatment. – 2014. – Vol. 55, N 11–12. – P. 583–591.
9. Structure and composition of laser produced WC alloyed layers on M2 high-speed steel / M. Riabkina-Fishman, E. Rabkin, R. Galun, T. Maiwald, B.L. Mordike // Applied Computational Electromagnetic Society Journal. – 2001. – Vol. 20, N 20. – P. 1917–1920.
10. *Варфоломеев В.И., Бутыгин В.Б., Демидов А.С.* Разработка и исследование экономно легированных штамповых сталей // Ползуновский вестник. – 2012. – № 1. – С. 56–58.

11. Собачкина Л.Д., Бутыгин В.Б. Разработка штамповых сталей различной теплостойкости // Ползуновский вестник. – 2015. – № 3. – С. 28–30.
12. Патент 2550071 С 1 Российская Федерация, МПК С 22 С 38/52. Штамповый сплав / В.Б. Бутыгин, А.С. Демидов. – № 2014103769/02; заявл. 04.02.2014; опубл. 10.05.2015, Бюл. № 13. – 6 с.
13. Бутыгин В.Б., Собачкина Л.Д., Околович Г.А. Влияние содержания кремния на свойства теплостойких инструментальных сталей // Ползуновский альманах. – 2016. – № 4. – С. 108–110.

ABOUT OPTIMIZATION OF COMPOSITIONS HIGH-SPEED AND DIE STEELS

Sobachkina L.D., Graduate student, e-mail: karpov43@list.ru

Butygin V.B., Ph.D. (Engineering), Professor, e-mail: karpov43@list.ru

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

Abstract

In this paper we describes the ways of doping tool steels by elements in the amount, allowing to increase the content of the hardening phase, hardness, hardenability, heat resistance.

We consider the possibility of cheapening the cost of tool steels, by complex alloying less expensive elements.

Examined steels is possible to use for the punching tools working in a temperature range from 300 to 650 °C. The steel 3M2H10V3K can be used to a temperature of 750 °C. Lower cost of these steels explained by the lower amount of alloying elements.

Keywords

heat treatment, alloying, heat resistance, hardness, phase composition, forging, carbides, quenching

УДК 621.791.753

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА*

*Е. Е. КОРНИЕНКО, канд. техн. наук, доцент
В. А. БЕЗРУКОВА, студент
М. К. ТЮТЮНЬКОВА, студент
К. А. ГНИДАН, магистрант
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Е. Е. Корниенко – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: kornienko_ee@mail.ru

В настоящей работе сварочную проволоку марки KF S2 наплавляли под слоем флюса на пластины из низкоуглеродистой стали ST-355. С целью исследования влияния внешнего электромагнитного поля (ВМП) на структуру и свойства полученных композиций, осуществляли наплавку под слоем флюса как с использованием ВМП, так и без него. Структурные исследования проводили при помощи оптической микроскопии. Кроме того, в работе приведены результаты измерений микротвердости и износостойкости в условиях трения о закрепленные частицы абразива. Методом оптической микроскопии показано, что наплавка с ВМП способствует увеличению объемной доли игольчатого феррита, и уменьшению количества видманштеттова феррита в наплавленном металле, что приводит к росту микротвердости и износостойкости.

Ключевые слова: наплавка под слоем флюса, внешнее электромагнитное поле, низкоуглеродистая сталь.

Введение

Современная промышленность предполагает использование деталей и узлов машин в тяжелых условиях эксплуатации. В связи с этим они должны обладать комплексом высоких механических свойств. Изготовление монолитных изделий может вызвать проблемы, связанные с их механической обработкой, а также высокой стоимостью. Поэтому более целесообразно использование технологий нанесения защитных и износостойких покрытий. Перспективным направлением нанесения покрытий являются наплавочные технологии, что связано с возможностью получения покрытий большой толщины, использования различных наплавочных и основных материалов, нанесения покрытий на детали различной конфигурации, а также простотой и доступностью технологии [1-4]. Выделяют следующие способы наплавки: под слоем флюса, электродуговую, в инертных газах и плазменную [3-7]. Основной проблемой при реализации наплавки под слоем флюса является образование грубокристаллической структуры наплавленного металла, что может отрицательно сказываться на свойствах покрытий [3].

В последнее время широкий интерес вызывает исследование влияния ВМП на структуру и свойства сварных соединений [8-12]. Авторами работ показано, что ВМП позволяет получить мелкозернистую структуру в сварных швах [7-11], повысить пластичность сварных соединений из алюминиевых сплавов [13] и коррозионную стойкость сварных соединений из титановых сплавов [9], уменьшить толщину интерметаллидных слоев при сварке разнородных материалов [14], снизить пористость наплавленного металла аустенитных сталей [15]. Кроме того, использование ВМП влияет на геометрию сварных

* Работа выполнена при финансовой поддержке DAAD в рамках научного проекта № 9.756.2016/ДААД.

швов [15, 16] и повышает производительность процесса сварки и наплавки [16]. Несмотря на достаточное количество работ, посвященных сварке с использованием ВМП различных материалов, данных о сварке и наплавке с ВМП низкоуглеродистых сталей практически не встречается. Таким образом, целью настоящей работы является исследование влияния ВМП на структуру и свойства композиций из низкоуглеродистых сталей, полученных при помощи наплавки под флюсом.

Методика экспериментального исследования

В качестве материала основы была выбрана низкоуглеродистая конструкционная сталь марки ST-355. Сварочную проволоку KF S2 производства Kjellberg диаметром 3 мм использовали в качестве наплавочного материала. Химический состав стальных пластин и сварочной проволоки представлен в таблице 1. Сварочную проволоку наплавляли под слоем флюса марки KF AB 123 производства Kjellberg ($\text{SiO}_2 + \text{TiO}_2$; $\text{CaO} + \text{MgO}$; Al_2O_3 ; CaF_2) на стальные пластины размерами 300 × 120 мм и толщиной 10 мм. Наплавку проводили на автоматическом сварочном комплексе КА 2-UP в институте материаловедения (IW) г. Ганновера. Режимы наплавки были следующими: ток дуги – 600 А (с ВМП и без ВМП); напряжение – 32 В; скорость наплавки – 300 мм/мин. Перед наплавкой поверхность стальных заготовок очищали при помощи пескоструйной обработки.

Таблица 1

| Химические элементы, вес. % | | | | | | | | | |
|-----------------------------|--------|-------|-------|------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | Fe | C | Si | Mn | P | S | Cr | Ni | другие |
| Сталь ST-355 | Основа | 0.131 | 0.392 | 1.38 | 0.0122 | 0.0113 | 0.0179 | 0.0207 | 0.2815 |
| Сварочная проволока | Основа | 0.12 | 0.7 | 1.46 | 0.02 | 0.04 | 0.1 | 0.14 | - |

Для проведения металлографических исследований использовали оптический микроскоп Carl Zeiss AxioObserver Alm. Образцами для структурных исследований выступали поперечные микрошлифы, запрессованные в полимерную матрицу и подготовленные по стандартной методике (шлифование абразивными бумагами и полирование суспензией, содержащей частицы оксида алюминия). Для травления микроструктуры использовали раствор следующего состава: 5 мл HNO_3 и 95 мл этилового спирта. Микротвердость оценивали на микротвердомере Wolpert Group 402MVD при нагрузке 50 г. Испытания на абразивное изнашивание при трении о закрепленные абразивные частицы проводили по схеме «цилиндрический образец - вращающийся диск». В качестве эталона использовали сталь 45 после отжига.

Результаты и обсуждение

Макроскопическими исследованиями показано, что глубина проплавления композиций, полученных с ВМП, в 3 раза больше, чем глубина проплавления композиций, полученных без ВМП, и равна, примерно, 16 и 4 мм, соответственно. При этом ширина крупнозернистого участка зоны термического влияния практически не изменяется.

Оптической микроскопией выявлено, что полученные композиции состоят из трех зон: наплавленный металл, зона термического влияния и основной металл. Основной металл имеет полосчатую структуру и характеризуется наличием ферритных и перлитных зерен. В

полосах без перлита ферритные зерна более крупные, чем в полосах с перлитом. Структура различных участков зоны термического влияния композиций представлена на рис. 1. Участки частичной перекристаллизации (рис. 1, а) и нормализации (рис. 1, б) также характеризуются феррито-перлитной структурой. Ближе к наплавленному металлу равноосность ферритных зерен нарушается и появляется бейнит (рис. 1, в, г). Наблюдается незначительное количество перлита. Изображение крупнозернистого участка зоны термического влияния представлено на рис. 1, г. Видно, что размер первичных аустенитных зерен на этом участке достигает 100...150 мкм. Структура представляет собой бейнит.

На рис. 2 показана микроструктура наплавленных слоев, полученных без использования ВМП (а) и с ВМП (б). Видно, что в обоих случаях наплавленный металл имеет дендритную структуру. Оси дендритов, представляющие собой феррит, ориентированы в направлении теплоотвода. Междендритное пространство характеризуется наличием игольчатого феррита и видманштеттова феррита. Стоит отметить, что оси дендритов в наплавленном металле, полученном без ВМП, представляют собой вытянутые ферритные зерна, в то время как в слое, наплавленном с ВМП, - полигональные зерна феррита. Также, стоит отметить, что в образцах, полученных наплавкой с ВМП, объемная доля видманштеттова феррита уменьшается, а игольчатого феррита – увеличивается.

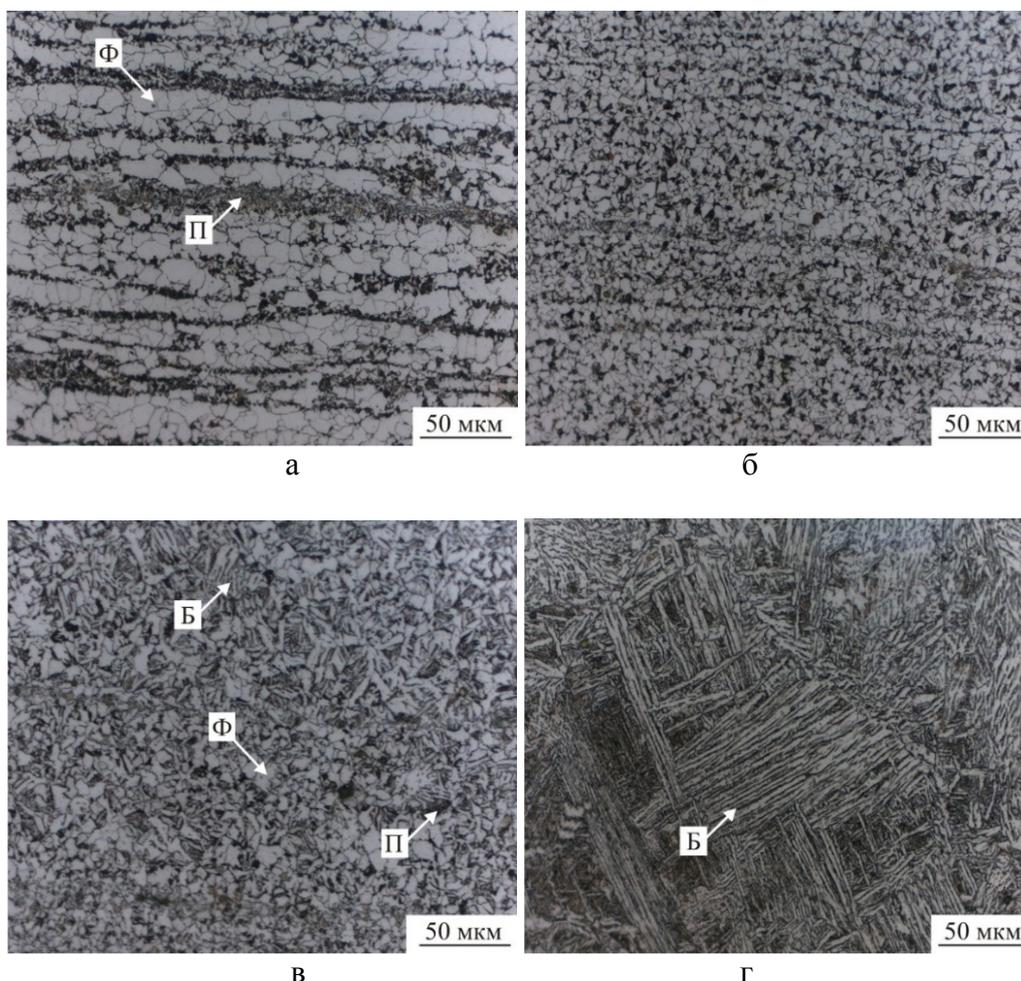


Рис. 1. Структура зоны термического влияния:

а – зона частичной перекристаллизации; б – зона нормализации; в, г – зона перегрева.

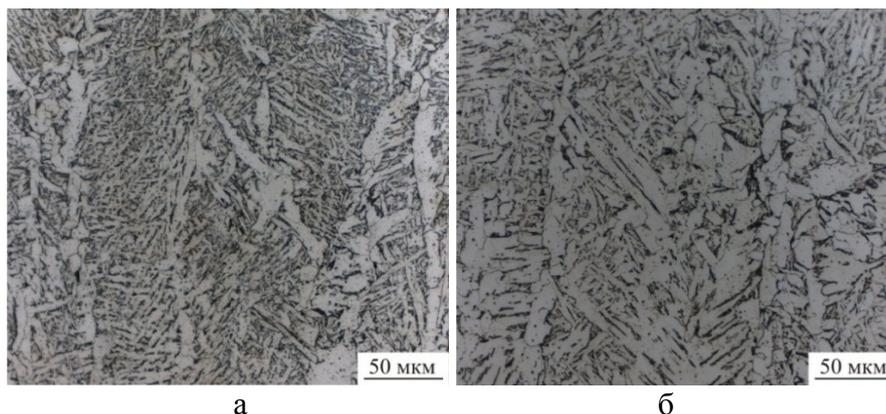


Рис. 2. Микроструктура наплавленного слоя: а – без ВМП; б – с ВМП.

В результате измерения микротвердости было выявлено, что композиции, полученные с использованием ВМП имеют более высокие значения микротвердости (рис. 3). Максимальная микротвердость характерна для зон перегрева, что объясняется образованием структур неравновесного типа (бейнит). При этом микротвердость этих зон в композициях, полученных с ВМП, выше, чем в композициях, полученных без ВМП (380 HV и 280 HV). В направлении от наплавленного металла к основному металлу микротвердость плавно снижается и достигает значений 210...220 HV. Металл, наплавленный с ВМП, имеет большую микротвердость, чем металл, наплавленный без ВМП (230 и 190 HV). Это можно объяснить увеличением объемной доли игольчатого феррита при наплавке с ВМП.

Испытания в условиях трения о закрепленные частицы абразива показали, что максимальным уровнем относительной износостойкости обладают композиции, полученные с ВМП, а минимальным – без ВМП: их износостойкость в 1,7 и 1,3 раза, соответственно, превосходит относительную износостойкость эталонного материала (рис. 4).

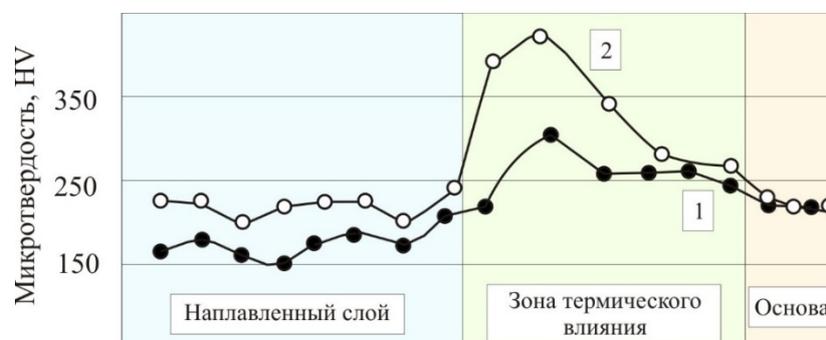


Рис. 3. Микротвердость композиций, полученных при 600 А без ВМП (1) и с ВМП (2).

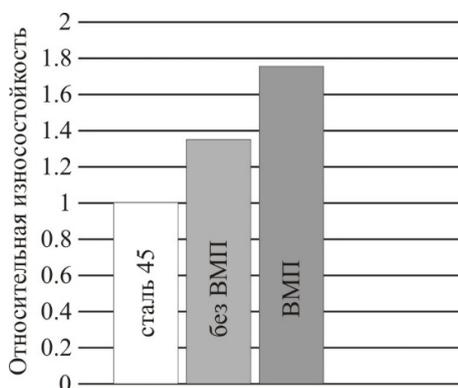


Рис. 4. Относительная износостойкость эталонного образца и наплавленного металла, полученного без ВМП и с ВМП.

Выводы

1. Установлено, что наплавка с ВМП способствует увеличению объемной доли игольчатого феррита, и уменьшению количества видманштеттова феррита в наплавленном металле.
2. Показано, что значения микротвердости наплавленного металла и зон термического влияния композиций, полученных с ВМП выше микротвердости композиций, полученных без ВМП.
3. Выявлено, что наибольшей износостойкостью характеризуется наплавленный металл, полученный с ВМП.

Список литературы

1. A study on the quality of two-wire tandem submerged arc welds under iso-heat input conditions / D.V. Kiran, D.W. Cho, H.K. Lee et al. // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2015. – Vol. 78, iss. 1. – P. 53–62. – doi: 10.1007/s00170-014-6644-3.
2. Lee H.J., Lee H.W. Effect of Cr content on microstructure and mechanical properties of low carbon steel welds // *International Journal of Electrochemical Science*. – 2015. – Vol. 10, iss. 10. – P. 8028–8040.
3. Choi C.L, Hill D.C. A study of microstructural progression in as-deposited *weld metal* // *Welding Journal*. – 1978. – Vol. 57. – P. 232–236.
4. Muragan N., Parmar R.S. Stainless steel cladding deposited by automatic gas metal arc welding // *Welding Journal*. – 1997. – Vol. 76, iss. 10. – P. 391–403.
5. Mechanical and microstructural properties of submerged arc weldments with high heat input / J.C.F. Jorge, L.F.G. de Souza, E.S. Marouco, O.R.F. Santos, J.L.C. Diniz // *Soldagem & Inspecao*. – 2015. – Vol. 20. – P. 347–358. – doi: 10.1590/0104-9224/SI2004.04.
6. The role of filler metal wire and flux composition in submerged arc weld metal transformation kinetics / N.A. Fleck, O. Grong, G.R. Edwards, D.K. Matlock // *Welding Journal*. – 1986. – Vol. 65. – P. 139–149.
7. Sundaresan S., Ram G.D.J. Use of magnetic arc oscillation for grain refinement of gas tungsten arc welds in a–b titanium alloys // *Science and Technology of Welding and Joining*. – 1999. – Vol. 4, iss. 3. – P. 151–160. – doi: 10.1179/136217199101537699.
8. Effect of electromagnetic stirring of weld pool on properties of VT1-0 alloy joints / V.E. Blashchuk, S.M. Gurevich, L.M. Onoprienko et al. // *Avtomaticheskaya Svarka*. – 1976. – Vol. 8. – P. 40–43.
9. Grain reinforcement due to grain detachment in electromagnetically stirred AA7020 welds / M.G. Mousavi, M.J.M. Hermans, I.M. Richardson, G. Den Ouden // *Science and Technology of Welding and Joining*. – 2003. – Vol. 8, iss. 4. – P. 309–312.
10. Zhou J., Tsai H.L. Effects of electromagnetic force on melt flow and porosity prevention in pulsed laser keyhole welding // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. – 2007. – Vol. 50. – P. 2217–2235. – doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2006.10.040.
11. Effect of external magnetic field on resistance spot welds of aluminum alloy / Y. Li, Z. Luo, F. Yan, R. Duan, Q. Yao // *Materials & Design*. – 2014. – Vol. 56. – P. 1025–1033. – doi: 10.1016/j.matdes.2013.12.005.
12. Effect of axial external magnetic field on cold metal transfer welds of aluminum alloy and stainless steel / Y. Liu, Q. Sun, J. Liu, S. Wang, J. Feng // *Materials Letters*. – 2015. – Vol. 1. – P. 29–31. – doi: 10.1016/j.matlet.2015.03.077.

13. About the influence of a steady magnetic field on weld pool dynamics in partial penetration high power laser beam welding of thick aluminium parts / M. Bachmann, V. Avilov, A. Gumenyuk, M. Rethmeier // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. – 2013. – Vol. 60. – P. 309–321. – doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer. 2013.01.015.

14. *Watanabe Y., Takeda T., Sato H.* Effect of magnetic field on weld zone by spotwelding in stainless steel // *ISIJ International*. – 2006. – Vol. 46. – P. 1292–1296. – doi: 10.2355/isijinternational.46.1292.

15. *Yang D.C., Liu J.H.* Effect of outer magnetic field on laser beam welding penetration depth // *Laser Technology*. – 2001. – Vol. 25, iss. 5. – P. 347–350.

16. Mechanism of the gas tungsten-arc welding in longitudinal magnetic field controlling. I. Property of the arc / J. Luo, C.S. Jia, Y.S. Wang, J. Xue, Y.X. Wu // *Acta Metallurgica Sinica*. – 2001. – Vol. 37. – P. 212–216.

THE INFLUENCE OF THE EXTERNAL ELECTROMAGNETIC FIELD ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF WELD METAL

Kornienko E. E., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: kornienko_ee@mail.ru

Bezrukova V. A., student, e-mail: vikabezrukova1995@mail.ru

Tyutyunkova M. K., Student, e-mail: mystery22@inbox.ru

Gnidan K. A., Graduate student, e-mail: g.k.@inbox.ru

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

Abstract

In this study we overlaid submerged arc the wire KF S2 onto the plates from low carbon structural steel ST-355. In order to investigate the influence of the external electromagnetic field on the structure and properties of the compositions we carried out overlaying using both the external electromagnetic field and without it. The structure was investigated by the optical microscopy. Furthermore, the microhardness measurements as well as tribological tests are shown in this article. We demonstrated that volume fraction of acicular ferrite is increased and Widmanstätten ferrite is decreased in the weld metal obtained with external electromagnetic field. It contributes the increase of wear resistance and microhardness of the weld metal.

Keywords

weld deposit, external electromagnetic field, steel ST-355

Funding

This study is financially supported by DAAD within the research project № 9.756.2016/ДААД.

УДК 669-1

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕМОНТА СВАРКОЙ НА КАЧЕСТВО
ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ СТАЛИ 20ГЛ**

*Л.И. КВЕГЛИС, доктор физ.-мат. наук, профессор
А.А. КАРАВАЙЦЕВА, аспирант
(СФУ, г. Красноярск)*

Каравайцева А.А. – 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79,
Сибирский Федеральный Университет,
e-mail: anastasiya-romanova-16.09@mail.ru

Для повышения эффективности процесса перевозки и достижения надлежащего уровня безопасности железнодорожного транспорта необходимо обеспечивать соответствующее качество деталей подвижного состава. Одним из факторов, непосредственно влияющим на безопасность движения на железнодорожном транспорте, являются изломы боковых рам тележек грузовых вагонов в результате возникновения и развития усталостных трещин. Основным видом удаления трещин являются процессы: расчистка, разделка и заваривание. В настоящем исследовании рассмотрены вопросы, связанные с завариванием дефектов литых деталей тележек вагонов. Рассмотрены типичные дефекты между основным и наплавленным металлом, образующиеся при сварке.

Ключевые слова: Заваривание дефектов, микроструктура, сталь 20ГЛ, микронапряжения, механические свойства, структурные несовершенства.

Введение

Типичной формой предельного состояния балки и рамы, работающих в условиях колоссальных нагрузок, является разрушение или повреждение как результат развития трещины [1]. Обычным местом нахождения трещин являются сварные швы или их окрестности. Для исправления небольших поверхностных дефектов применяется расчистка (механическое удаление дефекта с плавным выравниванием поверхности). После выполнения расчистки геометрические параметры детали не должны выходить за поле допуска нормативных размеров. Для устранения других дефектов, годных к исправлению, производится разделка детали с последующей заваркой до полного удаления дефекта [2].

Процесс сварки – это технологический процесс получения неразъемного соединения посредством установления межатомных и межмолекулярных связей между свариваемыми частями изделия при их нагреве (местном или общем), и/или пластическом деформировании [3].

В механических способах сварки преобладающее значение имеет механическая энергия, которую используют при холодной, прессовой, кузнечной сварке, а так же сварке трением.

Механизированным процессом сварки в углекислом газе и его смесях с кислородом сваривают низко- и среднеуглеродистые, а также низколегированные стали. В углекислом газе сваривают стали толщиной до 40, а в смесях газов – до 80 мм. Защита смесью газов улучшает технологические и металлургические характеристики процесса сварки. Расход углекислого газа зависит от мощности дуги, вылета электрода, воздушных потоков в помещении, где выполняется сварка [4].

При дуговом заваривании дефектов в качестве источника энергии используется электрический разряд, возникающий при присоединении свариваемых деталей к одному полюсу источника тока, а электрода – к другому. Движение электрода с дуговым разрядом и

подведенным в его зону присадочным материалом (в виде прутка) относительно кромок изделия заставляет перемещаться сварочную ванну, образующую сварной шов [5].

Послесварочная термообработка включает в себя любые процедуры по термообработке после сварки. Послесварочная термообработка изделий из углеродистых сталей и низколегированных сталей выполняется с целью снижения остаточного напряжения после сварки, уменьшения твердости околошовной зоны, повышения пластичности и ударной вязкости, а также освобождения диффундирующего водорода [6].

Цель работы. Разработать способы заваривания дефектов литых деталей из стали 20ГЛ до термической обработки и после нее.

Эксперимент. Обсуждение результатов исследования

Для проведения исследований качества разделки и заварки дефектов были отобраны три надрессорные балки с разными номерами плавков. Вместе с балками отбирался комплект соответствующих им пробных брусков для каждой плавки. Все пробные бруски впоследствии подвергались термической обработке одновременно с конкретной отливкой.

Все отобранные детали соответствовали ГОСТ 32400-2013 по химическому составу и отвечали требованиям нормативных документов для стали 20ГЛ.

Заваривание разделок производилось следующими основными способами: механизированный процесс сварки в защитных газах (МП) и ручная дуговая сварка (РД) на постоянном токе обратной полярности.

Технологические параметры разделки и последующей заварки приведены в таблице 1.

Таблица 1

Сочетание способов разделки и заварки дефектов

| Способ разделки | Мех. | Мех. | Мех. | Мех. | Мех. |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|
| Способ сварки | РД | РД | РД | РД | РД |
| Диаметр электрода, мм | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 |
| Сила тока, А | 80-120 | 80-120 | 130-160 | 130-160 | 180-210 |
| Предварительный подогрев, °С | 100-150 | 100-150 | 100-150 | 100-150 | 100-150 |
| <i>Примечание – предварительный подогрев производили при температуре детали ниже +5°С. Условные сокращения: Мех.- механический способ разделки; РД- ручная дуговая сварка покрытым электродом.</i> | | | | | |

Характер сплавления на большинстве образцов имеет удовлетворительное качество (см. рис. 1). Номер зерна во всех рассматриваемых образцах составляет 8–9 по ГОСТ 5639-82 [7].

Для исследования были получены образцы, имеющие на рабочей поверхности микрошлифа наплавленный металл, зону термического влияния (ЗТВ) и основной металл. Для правильного определения зоны вырезки микрошлифа образцы были протравлены 20% спиртовым раствором азотной кислоты после грубой шлифовки [7], что позволило выявить локализацию исследуемых зон в заготовке.

Однородная по характеру феррито-перлитная структура не имеет резкого перехода между указанными зонами [8]. Это свидетельствует о высоком качестве и стабильности проводимой на предприятии термообработки.

Выявленные при анализе макро- и микроструктуры трещины и несплавления на границе основного и наплавленного металла на образце №2, являются наиболее опасными дефектами [9] (см. рис. 2).

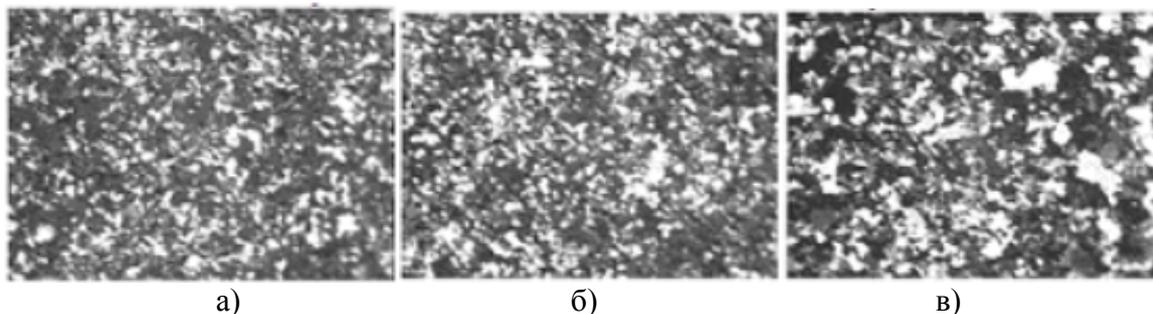


Рис.1. Образец №1 а) микроструктура основного металла (x100); б) микроструктура ЗТВ (x100) в) микроструктура металла шва (x100)

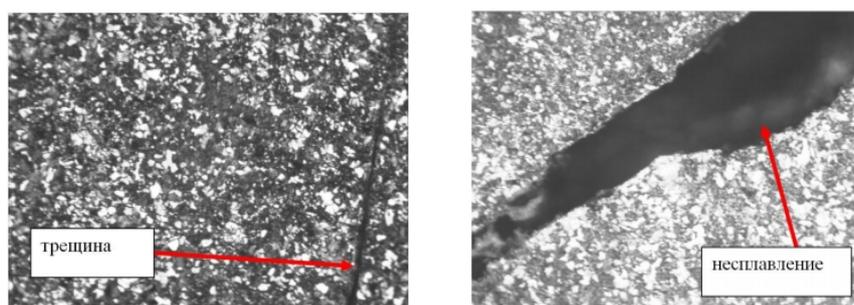


Рис.2. Изображения дефектных зон наплавленного и основного металла: слева—трещина в месте сплавления; справа- неспавление основного и наплавленного металла

По-видимому, более низкая энергия [9] механизированного процесса сварки по сравнению с ручной дуговой не позволяет полноценно переплавить микропоры, характерные для литой структуры. Данный процесс имеет вероятностный характер и зависит от распределения допустимых пор в конкретной отливке [10]. Вероятно, целесообразно увеличить диаметр сварочной проволоки при механизированной сварке в углекислом газе до 1,6-2 мм.

Для выявления структурных несовершенств, их типов, концентрации и характера распределения, был проведен рентгеноструктурный анализ. Параметрами, которые анализируются по рентгенограмме при определении микроискажений структуры, являются ширина или профиль рентгенограммы [11]. Дифракционный максимум в идеальном кристалле имеет минимальную интегральную ширину. При внесении дефектов интегральная ширина увеличивается. Дальнейшие воздействия меняют дефектность структуры и, соответственно, изменяют интегральную ширину дифракционного максимума [12].

Рентгеноструктурный анализ проводили на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3М в Cu-K α излучении ($\lambda=1,54418 \text{ \AA}$). В результате рентгеноструктурных исследований были получены рентгенограммы, по которым была проведена идентификация напряжений, имеющих в зоне термического влияния образцов сварных соединений.

На основании результатов рентгеноструктурного анализа образцов сварных соединений стали 20ГЛ в исходном состоянии и после различных видов послесварочной обработки установлено, что для сварных соединений из стали 20ГЛ все виды послесварочной обработки приводят к снижению микронапряжений. Эти результаты согласуются с результатами авторов [12].

Механические свойства наплавленного металла электродами Э50А УОНИИ-13/55- О 3 УД/Е51 7 Б 20; Э50А УОНИИ-13/55- О 4 УД/Е51 7 Б 20; Э50А УОНИИ-13/55- О 5 УД/Е51 7 Б 20 [13] по ГОСТ 9466-75 [14], ГОСТ 9467-75 [15] приведены в таблице 2.

Таблица 2

Механические свойства наплавленного металла

| Статическое испытание образцов на растяжение по ГОСТ 1497-84 | | | | Динамическое испытание образцов на ударную вязкость по ГОСТ 9454-78 |
|--|--|----------------------------------|------------------------------|---|
| Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа | Временное сопротивление σ_b , МПа | Относит. удлинение, δ , % | Относит. сужение, Ψ , % | KCV, Дж/см ² |
| Требования ГОСТ 32400-2013, не менее | | | | |
| от 300,0 до 343,0 | 500,0 | 20,0 | 35,0 | 17,0 |
| 343,0 и более | 510,0 | 18,0 | 30,0 | 20,0 |
| Фактическое значение (среднее по всем образцам) | | | | |
| 524,0 | 813,0 | 20,0 | 58,0 | 41,0 |

Механические свойства основного и наплавленного металла соответствуют предъявляемым к ним требованиям, что позволяет применять данную технологию при производстве литых деталей грузовых вагонов [16]. Это позволяет сделать вывод, что при соблюдении технологии исправления дефектов сваркой [17] зона наплавленного металла будет иметь уровень механических свойств соответствующий требованиям ОСТ 32.183-2001 и ТТ ЦВ-32-695-2006, предъявляемым к отливке в целом.

Выводы

1. Разработаны способы заваривания дефектов литых деталей из стали 20ГЛ до термической обработки и после нее.
2. Установлено, что для сварных соединений из стали 20ГЛ все виды послесварочной обработки приводят к снижению микронапряжений.
3. Полученные результаты используются при разработке технологической инструкции по исправлению литейных дефектов рамы боковой и балки наддресорной на АО «Востокмашзавод».

Список литературы

1. Кульбовский И.К., Тупатилов Е.А., Михайлов В.Н. О влиянии температуры заливки и химсостава стали 20ГЛ на образование горячих трещин в железнодорожных отливках // Литейное производство. – 2010. – № 7. – С. 5–9.
2. Тен Э.Б., Базлова Т.А., Ачилдиев О.Х. Разделка дефектов на стальных отливках и качество их заварки // Литейное производство. – 2015. – № 4.
3. Сварка. Резка. Контроль. Т. 1: справочник / Н.П. Алешин, Г.Г. Чернышев, А.И. Акулов и др. – М.: Машиностроение, 2004.
4. Александров А.Г., Заруба И.И., Пиньковский И.В. Эксплуатация сварочного оборудования. – Киев: Будівельник, 1990. – (Справочник рабочего).
5. Лупачев В.Г. Ручная дуговая сварка. – М.: Высшая школа, 2006.

6. *Выбойщик Л.М., Сопин Н.Л., Колосовский М.И.* Влияние послесварочной обработки на механические и коррозионные свойства сварных соединений ВЧС // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2010. – № 4.
7. ГОСТ 5639–82. Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна. – М.: Изд-во стандартов, 1982.
8. *Мануев М.С., Кульбовский И.К.* Влияние легирующих элементов на качество низкоуглеродистых сталей // Тезисы докладов 57-й научной конференции профессорско-преподавательского состава: в 2 ч. / под ред. С.П. Сазонова, И.В. Говорова. – Брянск: БГТУ, 2004. – Ч. 1.
9. *Lukaschkin N.D., Borissow A.P., Erlikh A.I.* The system analysis of metal forming technique in welding processes // Journal of Materials Processing Technology. – 1997. – Vol. 66 (1). – P. 264–269.
10. *Mazancová E., Mazanec K.* Stacking fault energy in high manganese alloys // Materials Engineering. – 2009. – Vol. 16, N 2. – P. 26–31.
11. *Китайгородский А.И.* Рентгеноструктурный анализ мелкокристаллических и аморфных тел. – М.: Гос. изд-во техн.-теорет. лит., 1952.
12. *Абраменко Д.Н.* Повышение износостойкости литых деталей грузовых вагонов дуговой наплавкой слоя стали со структурой игольчатого феррита: дис. ... канд. техн. наук. – М., 2008.
13. *Воробьев А.А., Соболев А.А., Павлов А.В.* Исправление литейных дефектов деталей тележки 18–100 грузового вагона на АО «Востокмашзавод» // Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. – 2016. – № 3 (35). – С. 73–77.
14. ГОСТ 9466–75. Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки сталей и наплавки.
15. ГОСТ 9467–75. Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки конструкционных и теплоустойчивых сталей. Типы.
16. *Soldatov V., Manuev M., Ivaschenkov Y.* Optimization of properties of steel 20GL for railway transport castings // Metal Science and Heat Treatment. – 2007. – Vol. 49 (7). – P. 417–419.
17. *Муравьев Д.В.* Современные проблемы ремонта надрессорных балок тележек грузовых вагонов новых моделей // Инновационные проекты и технологии в образовании, промышленности и на транспорте. – Омск, 2015. – С. 215–221.

**RESEARCH OF INFLUENCE OF REPAIR BY WELDING ON QUALITY
OF OPERATION OF A CAST PARTS FROM 20GL STEEL**

Kveglis L.I., D.Sc. (Physics and Mathematics), Professor,
e-mail: kveglis@list.ru, kveglis@iph.krasn.ru

Karavaiceva A.A. Ph.D. student, e-mail: anastasiya-romanova-16.09@mail.ru

Siberian Federal University, 79 Avenue Free, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

Abstract

To improve the efficiency of the process of transportation and to achieve the proper level of security is required to ensure the appropriate quality of the rolling stock parts. One of the factors directly affecting the traffic safety on the railways are fracture side frames of freight wagons as a result of the emergence and development of fatigue cracks. The main type of crack repair is the process of peeling-off, cutting, and welding. The present study addressed issues related to the welding defects in cast parts trolley cars. Defects are considered typical between base metal and weld metal formed during welding.

Keywords

welding defects, microstructure, steel 20GL, microtension, mechanical properties, structural imperfections

УДК 621.793.71

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАЗМЕННЫХ ДВУХСЛОЙНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ
ПОКРЫТИЙ ДИОКСИД ЦИРКОНИЯ - НИХРОМ**

Ф.И. ПАНТЕЛЕЕНКО, доктор техн. наук, профессор,
Член-корреспондент НАН Беларуси
В.А. ОКОВИТЫЙ, канд. техн. наук
Е.Ф. ПАНТЕЛЕЕНКО, канд. техн. наук, доцент
(БНТУ, г. Минск)

Пантелеенко Ф.И. – 220013, Республика Беларусь, г. Минск, пр. Независимости, 65
Белорусский национальный технический университет
e-mail: panteleyenkofi@tut.by

В статье приведены результаты исследования влияния параметров плазменной струи и фракционного состава исходного порошка на характеристики двухслойных композиционных покрытий на основе никель-хрома и диоксида циркония на элементах защитных экранов. Проведена оптимизация на основании получения максимального коэффициента использования порошка (КИП). Приведены результаты исследования микроструктуры поперечных сечений сформированных покрытий, проведенные с использованием растровой электронной микроскопии. Рассмотрены микроструктуры поперечных сечений покрытия ZrO_2 и промежуточного слоя Ni-Cr.

Ключевые слова: плазменная струя, покрытия на элементах защитных экранов, коэффициент использования порошка, компрессионные плазменные потоки, кубическая модификация оксида циркония.

Введение

При рассмотрении эксплуатационных характеристик покрытий экранов, защищающих объекты от повреждений при высокоэнергетическом воздействии, одним из важнейших показателей является уровень поглощения кинетической энергии метеорных частиц материалом покрытия. Не касаясь всех механизмов поглощения энергии, укажем, что значительная ее часть расходуется на упругую и пластическую деформацию материала покрытий. Значимыми факторами, влияющими на увеличение стойкости таких покрытий, являются высокая пластичность и вязкость. Повышение твердости резко снижает пластичность и вязкость, приводит к хрупкому разрушению. Наиболее часто применяемые конструкционные материалы для противометеорных экранов – это алюминиевые сплавы, титан, сталь. Более высокую противоударную стойкость проявляют многослойные структуры с твердым керамическим лицевым слоем и подслоем из вязкого металлического материала. Для получения лицевого керамического слоя антиметиоритных покрытий чаще всего используют оксидные композиции, в том числе на основе диоксида циркония [1-5]. Это обусловлено рядом его свойств: сравнительно высоким коэффициентом линейного термического расширения и возможностью обеспечения высоких механических свойств упрочненной керамики, в частности ударной вязкости. Основное требование для обеспечения эффективной работы таких защитных элементов заключается в том, чтобы они позволяли существенным образом снизить кинетическую энергию налетающих микрочастиц, сохраняя при этом стабильность своей структуры. Исходя из этого, предложено формировать композиционные покрытия на основе оксида циркония с предварительным осаждением переходного вязкого подслоя на основе металлов, во-первых, повышающего адгезионную прочность сформированного покрытия к подложке, а во-вторых, обладающего иными по

сравнению с внешним покрытием вязко-пластическими свойствами [6-11], что приводит к значительному замедлению проходящих микрочастиц.

Методика

С целью повышения прочности поверхностного керамического слоя покрытия, который в первую очередь взаимодействует с налетающей микрочастицей, в работе предложено проводить его обработку компрессионными плазменными потоками с энергиями, обеспечивающими плавление приповерхностного слоя. Предполагается, что в результате такой модификации за счет процессов, связанных со скоростной кристаллизацией расплава, будет осуществляться формирование мелкокристаллической структуры, обладающей повышенными механическими свойствами. Структурно-фазовое состояние приповерхностного модифицированного слоя регулировалось параметрами самого компрессионно-плазменного воздействия, в частности, плотностью поглощенной энергии, давлением газа остаточной атмосферы, числом последовательных импульсов воздействия и др. Оптимизация напыления подслоя на основе NiCr проводилась по методике, описанной в источниках [12]. Исследования микроструктуры поперечных сечений сформированных покрытий проводили с использованием растровой электронной микроскопии (РЭМ).

Результаты и обсуждение

В процессе плазменного напыления действует большое число факторов, оказывающих влияние на свойства получаемых покрытий. Важнейшими из них при прочих равных условиях являются: расход плазмообразующего и транспортирующего газов, расход распыляемого порошка, ток электрической дуги (подводимая мощность), дистанция напыления, скорость перемещения подложки [12]. На первом этапе проводилась оптимизация процесса напыления вязкого металлического слоя на основе никель-хрома на основании получения максимального коэффициента использования материала. Вначале коэффициент использования порошка (КИП) определяли при различных значениях тока (300 – 650 А, с интервалом 50А) и расходах плазмообразующего газа (азота) R_{N_2} (45; 50; 55) л/мин, но с постоянной дистанцией напыления $L=110$ мм (рис. 1). На следующем этапе оптимальные значения дистанции напыления определялись с постоянными значениями тока и величины расхода плазмообразующего газа ($I=550$ А; $R_{N_2}=50$ л/мин) для различных фракций порошка (рис. 2). Очевидно, что увеличение силы тока и расхода плазмообразующего газа (рис. 1) до определенных значений приводят к увеличению КИП, т.к. эти параметры влияют на степень проплавления порошка [1-4]. Дальнейшее их увеличение приводит к тому, что частицы перегреваются и при ударе о подложку разбрызгиваются, следовательно, КИП уменьшается. При увеличении расхода N_2 , происходит уменьшение значений тока для максимального КИП. Похожая тенденция сохраняется и при изменении дистанции напыления (рис. 2) при оптимизации значения расхода N_2 и тока (в нашем случае $R_{N_2}=50$ л/мин, $I=550$ А). При малых дистанциях напыления частица не успевает достаточно нагреться и достигает подложки с температурой $<t_{пл}$. Максимальный КИП наблюдается при $L=110$ мм, дальнейшее увеличение дистанции напыления приводит к тому, что частица из-за длительного нахождения в струе переплавляется и при ударе о подложку разбрызгивается, соответственно КИП падает [5].

Таким образом, на оптимальных режимах для NiCr (расход плазмообразующего газа азота – 50 л/мин, сила тока – 550А, дистанция напыления -110 мм, фракция порошка 40-63 мкм, расход порошка 4,5 кг/час) получены покрытия с максимальным КИП – 85%.

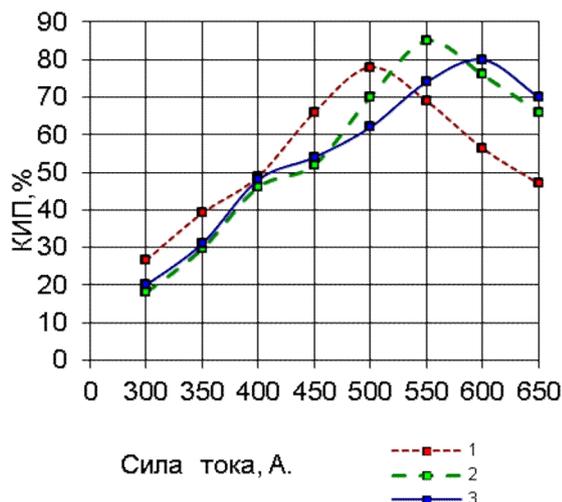


Рис. 1. Зависимость КИП, % от силы тока электрической дуги I , А для порошков NiCr с различными расходами плазмообразующего газа R_{N_2} : 1 – 55 л/мин.; 2 – 50 л/мин.; 3 – 45 л/мин.; ($L=110$ мм, $R_{пор.}=4,5$ кг/час, фракция порошка 40...63 мкм).

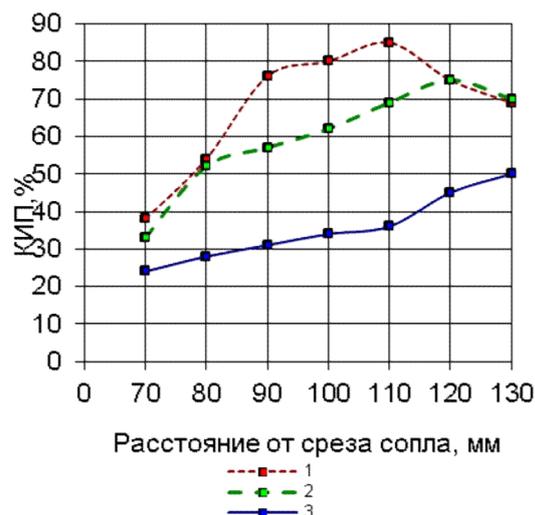


Рис. 2. Зависимость КИП, % от дистанции напыления L , мм для порошков NiCr: 1 – с фракцией 40...63 мкм; 2 – с фракцией 63...100 мкм; 3 – с фракцией 100...160 мкм; ($I=550$ А, $R_N=50$ л/мин, $R_{пор.}=4,5$ кг/час).

Следующим этапом являлась оптимизация процесса нанесения твердого слоя на основе диоксида циркония. На рисунках 3-4 представлены зависимости коэффициента использования распыляемого порошка (КИП, %) на основе диоксида циркония при плазменном напылении его на подложку из никельхрома от перечисленных выше условий напыления. Зависимость КИП, % от дистанции напыления показана на рисунке 3.

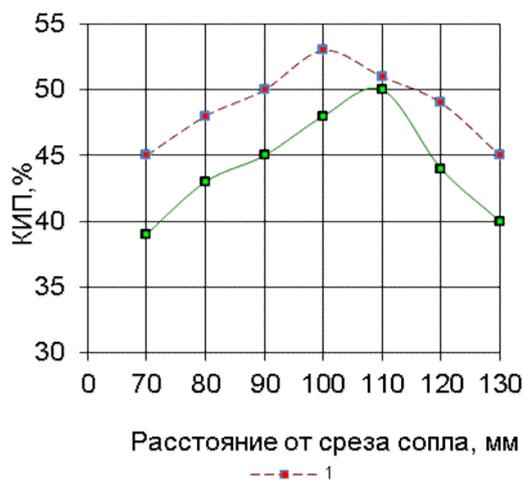


Рис. 3. Зависимость КИП, % от дистанции напыления L , мм для порошков ZrO_2 : 1- с фракцией < 50 мкм; 2- с фракцией 50-63 мкм; ($I=500$ А, $R_N=50$ л/мин, $R_{пор.}=4,5$ кг/час).

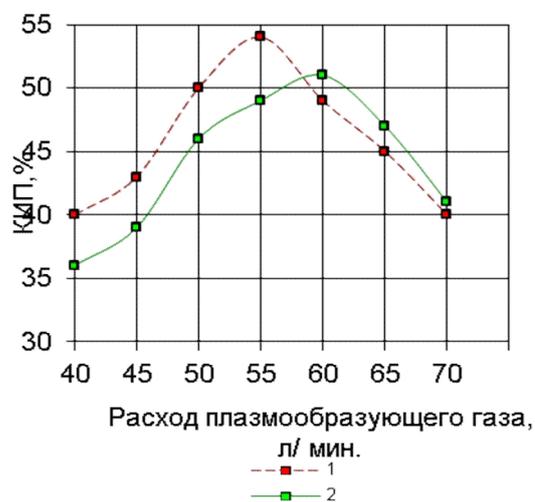


Рис. 4. Зависимость КИП, % от расхода плазмообразующего газа N_2 для порошков ZrO_2 : 1 – с фракцией < 50 мкм; 2 – с фракцией 50-63 мкм; ($L=100$ мм, $I=500$ А; $R_{пор.}=4,5$ кг/час).

При малых дистанциях напыления частица не успевает достаточно нагреться и достигает подложки с температурой $<t_{пл.}$. В нашем случае возрастание КИП идет до $L=100$

мм для порошков ZrO_2 с фракцией < 50 мкм и до $L=110$ мм с фракцией 50–63 мкм, дальнейшее увеличение дистанции напыления приводит к тому, что частица из-за длительного нахождения в струе переплавляется и при ударе о подложку разбрызгивается, соответственно КИП падает [5]. Увеличение тока и расхода плазмообразующего газа до определенных значений (рисунок 4) приводят к увеличению КИП, т.к. эти параметры влияют на степень проплавления порошка [1-4]. Дальнейшее их увеличение приводит к тому, что частицы перегреваются и при ударе о подложку разбрызгиваются, следовательно, КИП уменьшается. При увеличении расхода N_2 происходит уменьшение значений силы тока для максимального КИП. Для $R_{N_2}=55$ л/мин максимальный КИП=56% соответствует $I=600$ А, для $R_{N_2}=50$ л/мин максимальный КИП=54% соответствует $I=650$ А.

Результаты исследования микроструктуры поперечных сечений сформированных покрытий представлены на рисунке 5. Из представленных данных видно, что толщина покрытия ZrO_2 составляет около 800 мкм. Между покрытием на основе оксида циркония ZrO_2 на изображении обнаружено наличие промежуточного подслоя, толщина и элементный состав которого были исследованы с помощью рентгеноспектрального микроанализа. Результаты, представленные на рисунке 6, указывают на то, что толщина подслоя составляет около 450 мкм. Элементный анализ позволил установить, что подслоем состоит из никеля и хрома. На рисунке 7 представлены РЭМ-изображения микроструктуры поперечных сечений покрытия ZrO_2 и промежуточного слоя Ni-Cr. Из представленных данных видно, что в исходном состоянии покрытие характеризуется пористостью, причем средний размер пор составляет несколько микрометров, и в некоторых областях достигает 20 мкм. Микроструктура слоя Ni-Cr характеризуется меньшей пористостью.

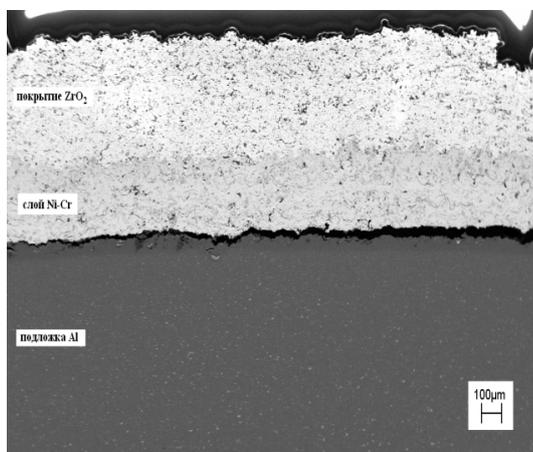


Рис. 5. РЭМ-изображение поперечного сечения покрытия до воздействия компрессионными плазменными потоками

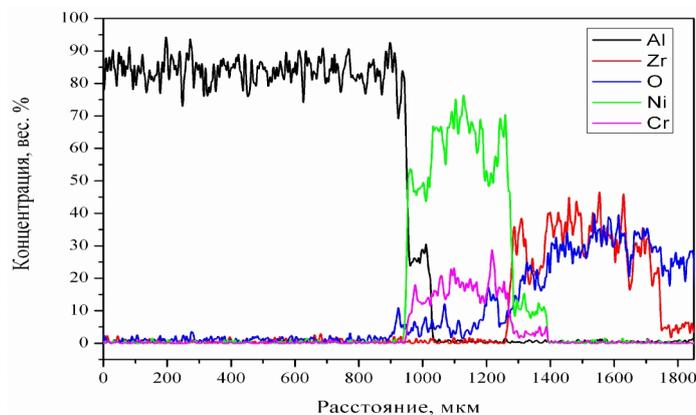


Рис. 6. РЭМ-изображение и распределение характеристического рентгеновского излучения элементов вдоль выделенной линии на поперечном шлифе покрытия

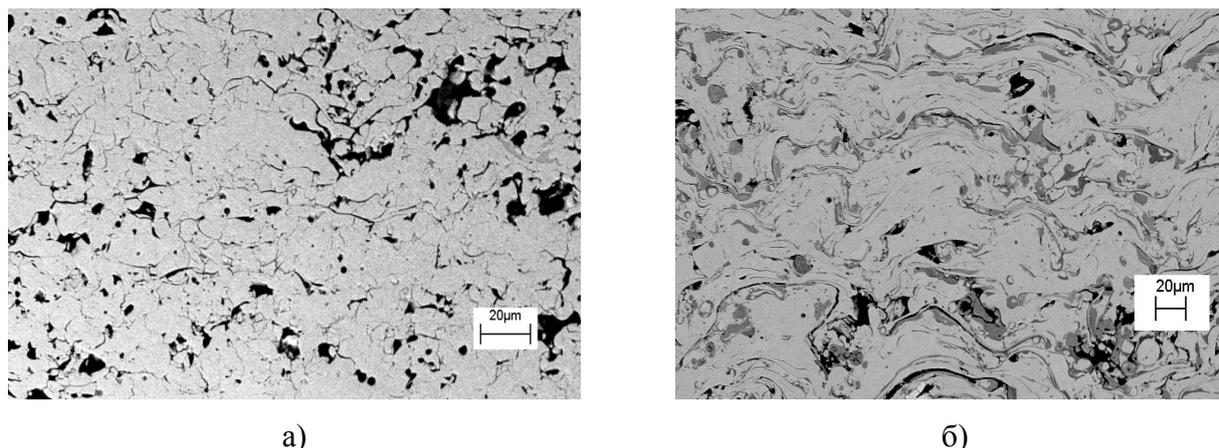


Рис. 7. РЭМ-изображение микроструктуры покрытия оксида циркония (а) и промежуточного слоя Ni-Cr (б) на поперечном шлифе

Выводы

Проведена оптимизация плазменного напыления двухслойных композиционных покрытий на основе никель-хрома и диоксида циркония на элементах защитных экранов с точки зрения получения максимального коэффициента использования порошка (КИП). Проведены исследования влияния параметров плазменной струи (ток, дистанция напыления, расход плазмообразующего газа азота), фракционного состава исходного порошка на характеристики покрытий. Результаты исследования микроструктуры поперечных сечений сформированных покрытий, проведенные с использованием растровой электронной микроскопии показали, что напыленная структура представляет собой покрытие на основе оксида циркония ZrO_2 , толщиной покрытия ~ 800 мкм. Между покрытием и подложкой из алюминиевого сплава присутствует переходный вязкий слой из переходных металлов Ni-Cr, толщина которого составляет 450 мкм.

Список литературы

1. Оптимизация процесса напыления керамических плазменных покрытий на модели элементов экранов противометеорной защиты / Ф.И. Пантелеенко, В.А. Оковитый, О.Г. Девойно, В.А. Асташинский // Тезисы международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера 21 века», Севастополь, 15–20 сентября 2014 г. – Севастополь, 2014. – Т. 2. – С. 123–127.
2. Девойно О.Г., Оковитый В.В. Плазменные теплозащитные покрытия на основе диоксида циркония с повышенной термостойкостью // Наука и техника. – Минск, 2014. – Вып. 6. – С. 3–10.
3. Разработка технологии нанесения плазменных композиционных покрытий на основе диоксида циркония для систем космических аппаратов / Ф.И. Пантелеенко, В.А. Оковитый, О.Г. Девойно, В.А. Асташинский, В.В. Оковитый, С.Б. Соболевский // Наука и техника. – Минск, 2015. – Вып. 3. – С. 5–9.
4. Оковитый В.В. Выбор оксидов для стабилизации диоксида циркония при получении теплозащитных покрытий аппаратов // Наука и техника. – Минск, 2015. – Вып. 5. – С. 26–32.
5. Девойно О.Г., Оковитый В.В. Высокоэнергетическая обработка плазменных покрытий на основе диоксида циркония // Труды международной научно-технической конференции «Инновации в машиностроении». – Кемерово, 2015. – С. 332–335.

6. Нанесение покрытий плазмой / В.В. Кудинов, П.Ю. Пекшев, В.Е. Белашенко, О.П. Солоненко. – М.: Наука, 1990. – 244 с.
7. *Анциферов В.Н.* Газотермические покрытия. – Екатеринбург: Наука, 1994. – 324 с.
8. *Куприянов И.Л.* Газотермические покрытия с повышенной прочностью сцепления. – Минск: Навука і тэхніка, 1990. – 254 с.
9. Газотермическое напыление композиционных порошков / А.Я. Кулик, Ю.С. Борисов, А.С. Мнухин, М.Д. Никитин. – Л.: Машиностроение, 1985. – 261 с.
10. Теплозащитные покрытия на основе ZrO_2 . / А.Ф. Ильющенко, В.С. Ивашко, В.А. Оковитый, С.Б. Соболевский. – Минск: Ремика, 1998. – 128 с.
11. *Акишин А.И.* Космическое материаловедение: методическое и учебное пособие. – М: НИИЯФ МГУ, 2007. – 209 с.
12. Формирование и исследование многослойных композиционных оксидных плазменных покрытий на элементах экранной противометеорной защиты для международного научно-технического журнала / В.А. Оковитый, Ф.И. Пантелеенко, О.Г. Девойно, В.В. Оковитый, В.М. Асташинский, П.П. Храмцов, М.Ю. Черник, В.В. Углов // Наука и техника. – Минск, 2016. – Вып. 5. – С. 357–364.

STUDY OF TWO-LAYER COMPOSITION ZIRCONIUM DIOXIDE-NICHROME PLASMA COATINGS

Panteleyencko F.I., D.Sc. (Engineering), Professor, Corresponding Member of National Academy of Sciences of the Republic of Belarus, e-mail: panteleyenckofi@tut.by

Okovity V.A., Ph.D. (Engineering), e-mail: vasil_ok@inbox.ru

Panteleyencko E.F., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: panteleyencko@inbox.ru

Belarusian National Technical University, 65 Nezavisimosty avenue, Minsk, 220013, Republic of Belarus

Abstract

The subject of this paper is the study results of the plasma jet parameters and the fractional composition of the initial powder influence on the characteristics of the two-layer composition coatings of the shielding elements, based on nickel-chromium and zirconium dioxide. Optimization based on obtaining the maximum rate of use of the powder (CIP) is carried out. The microstructure investigation results of the cross sections of coatings obtained are performed using scanning electron microscopy. The cross sections microstructure of ZrO_2 coating and intermediate Ni-Cr layer is examined.

Keywords

plasma jet, coatings on shielding elements, the ratio of powder use, compression plasma flows, cubic modification of zirconium oxide.

УДК 621.791.92, 621.793.79

**ПОВЕРХНОСТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ ТИТАНА ЧАСТИЦАМИ TiB И TiC
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ВНЕВАКУУМНОЙ
ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ НАПЛАВКИ**

*Л.В. ЧУЧКОВА, магистрант
А.С. БЕЛОВ, студент
В.С. ВАСИЛЬЕВА, студент
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Чучкова Л.В. – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: L_Chuchkova@bk.ru

В связи с низкими триботехническими свойствами титана и сплавов на его основе, применение данных материала в условиях трения и абразивного изнашивания не эффективно. В данной работе для повышения прочности и износостойкости титана была реализована наплавка частиц карбида бора с использованием метода вневакуумной электронно-лучевой обработки. Металлографические исследования полученных слоев показали, что покрытия состоят из частиц карбида и борида титана, распределенных в титановой матрице. Вблизи зоны термического влияния во всех образцах были зафиксированы небольшие скопления нерастворившегося порошка карбида бора. Толщина покрытий изменяется от 1,2 до 1,6 мм. Максимальное значение уровня микротвердости упрочненных слоев составило 5900 МПа, а износостойкость в условиях воздействия закрепленных и нежестко закрепленных частиц абразива увеличилась в 1,85 и 2,5 раза соответственно, в сравнении с титаном ВТ1-0.

Ключевые слова: электронно-лучевая наплавка; титан; триботехнические свойства; борид титана; карбид титана; микроструктура

Введение

В современном мире к конструкционным материалам предъявляется все больше требований по эксплуатационным свойствам. Получение композитов, которые сочетают в себе свойства нескольких материалов представляет собой научный и практический интерес.

Титановые сплавы, благодаря их превосходной коррозионной стойкости и низкой удельной прочности относятся к распространенным конструкционным материалам. Однако, склонность титана и сплавов на его основе к схватыванию, образованию задиров при трении с другими материалами, а также низкая износостойкость титановых изделий при работе в условиях абразивного изнашивания ограничивают его применение.

Одним из способов повышения прочности и износостойкости титановых сплавов является формирование керамических высокопрочных частиц в поверхностном слое. Метод вневакуумной электронно-лучевой наплавки позволяет сформировать равномерное качественное покрытие с тугоплавкими частицами, такими как оксиды, нитриды, карбиды и бориды металлов. Также, благодаря возможности выводить пучок электронов в атмосферу, с заготовок снимаются габаритные ограничения.

Целью данной работы являлось исследование влияния режимов вневакуумной электронно-лучевой обработки на структуру и триботехнические свойства упрочненных слоев, полученных на титановом сплаве ВТ1-0.

Материалы и методы

В качестве исходного материала использовался титановый сплав ВТ1-0. Технически чистый титан был выбран как модельный материал благодаря минимальному содержанию легирующих элементов в составе сплава. Упрочнение такого материала позволило точнее проанализировать влияние электронно-лучевой наплавки порошков карбида бора и титана на структуру и свойства покрытий.

Для формирования высокопрочных керамических частиц в поверхностном слое титана применялся порошок карбида бора. Карбид бора является третьим в мире материалом по значению твердости, уступая лишь таким материалам как алмаз и нитрид бора. Легирование титанового сплава порошком карбида бора позволяет повысить триботехнические свойства заготовок благодаря формированию частиц карбида и борида титана.

В процессе работы было реализовано четыре режима с различными параметрами обработки. Изменяемой величиной являлся ток пучка, который варьировался от 27 до 30 мА с шагом в 1 мА. Остальные параметры оставались неизменными. Скорость перемещения образца относительно выпускного отверстия была равна 25 мм/с, частота сканирования – 50 Гц.

В качестве наплавляемой смеси выступала смесь 30 % вес. порошков титана, 20 % вес. карбида бора и 50 % вес. фтористых флюсов (CaF_2 и LiF). Порошок титана в наплавочной смеси применялся в качестве смачивающей компоненты, а флюс позволил защитить ванну расплава от атмосферного воздействия.

Результаты и обсуждения

Для определения фазового состава покрытий был проведен рентгенофазовый анализ всех образцов. Расшифровка рентгенограмм показала, что все покрытия состоят из трех фаз: α -титан (α' -титан), карбид и борид титана. На рисунке 1 представлена дифракционная картина, снятая с поверхности образца полученного при токе пучка равном 28 мА.

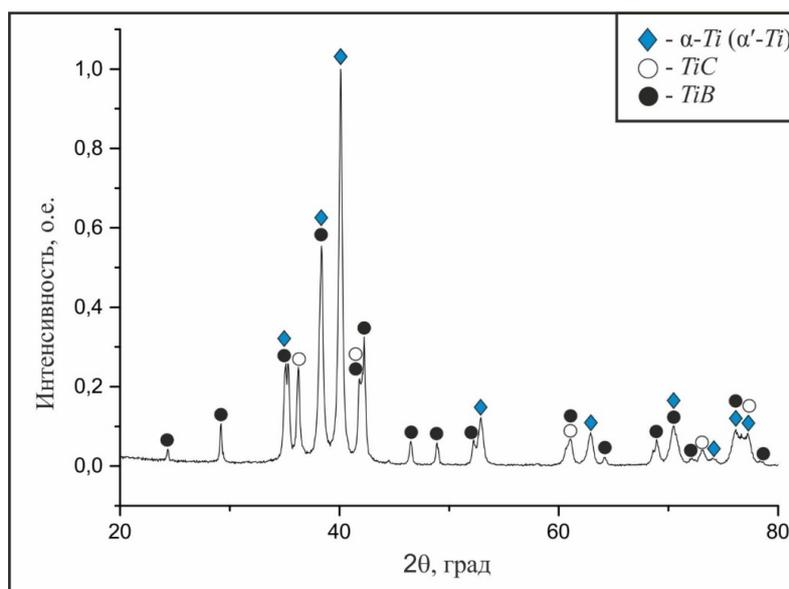


Рис. 1. Дифракционная картина, снятая с поверхности образца ($I=28$ мА)

Металлографические исследования показали, что полученные образцы состоят из трех зон: упрочненный слой, зона термического влияния и зона основного материала (рисунок 2 а). На рисунке 2 б-г представлены микрофотографии поверхностных слоев титана. Как видно на рисунке 2 б, в борид титана имеет форму гексагональных призм, а карбид титана кристаллизуется в виде дендритных и округлых частиц. Также, все образцы вблизи зоны термического влияния имеют небольшие скопления нерастворившихся частиц карбида бора (рисунок 2 г).

Уровень микротвердости по глубине полученных покрытий уменьшается при увеличении тока пучка в процессе обработки. Максимальное значение микротвердости было зафиксировано у первого образца, полученного при наплавке с током пучка равным 27 мА, и составило 5900 МПа. При снижении тока пучка до 30 мА микротвердость снизилась до 5210 МПа. Это объясняется тем, что при повышении тока пучка, толщина покрытий увеличивается с 1,2 до 1,6 мм, при неизменной концентрации порошка карбида бора в исходной порошковой насыпке. Это приводит к большему разбавлению упрочняющих частиц с материалом основы и, как следствие, снижению уровня микротвердости.

Для определения износостойкости наплавленных слоев были проведены испытания в условиях воздействия закрепленных и нежестко закрепленных абразивных частиц. Полученные данные сравнивались с эталонным образцом, за который был принят технически чистый титан.

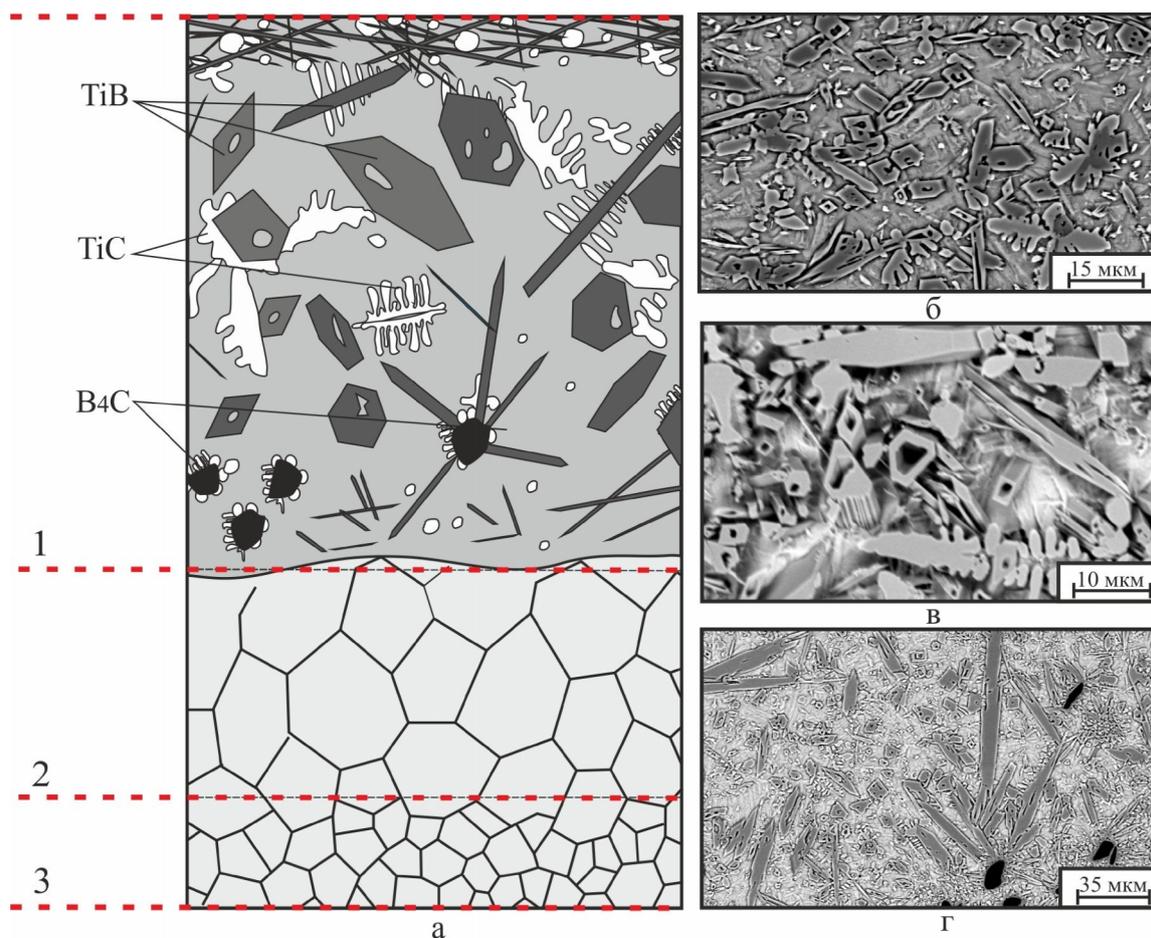


Рис.2. Схема поперечного сечения полученных материалов (а)

и микроструктура покрытий (б-г):

1 – покрытие; 2 – зона термического влияния; 3 – зона основного металла.

Уровень микротвердости по глубине полученных покрытий уменьшается при увеличении тока пучка в процессе обработки. Максимальное значение микротвердости было зафиксировано у первого образца, полученного при наплавке при токе пучка равным 27 мА, и составило 5900 МПа. При снижении тока пучка до 30 мА микротвердость снизилась до 5210 МПа. Это объясняется тем, что при повышении тока пучка, толщина покрытий увеличивается с 1,2 до 1,6 мм, при неизменной концентрации порошка карбида бора в исходной порошковой насыпке. Это приводит к большему разбавлению упрочняющих частиц с материалом основы и, как следствие, снижению уровня микротвердости.

Для определения износостойкости наплавленных слоев были проведены испытания в условиях воздействия закрепленных и нежестко закрепленных абразивных частиц. Полученные данные сравнивались с эталонным образцом, за который был принят технически чистый титан.

Результаты испытаний на трение в условиях воздействия закрепленных абразивных частиц показали, что максимальная относительная износостойкость наблюдается у первого образца, полученного при наплавке с током пучка равным 27 мА. Значение относительной износостойкости данного образца составляет 1,85. Минимальная износостойкость зафиксирована у четвертого образца ($I=30$ мА), её значение не превышает 1,3.

Износостойкость материалов в условиях воздействия нежестко закрепленных частиц абразива в 2,2...2,5 раз выше в сравнении износостойкостью с титанового сплава ВТ1-0.

Выводы

1. Вневакуумная электронно-лучевая наплавка порошков карбида бора и титана на заготовки из титанового сплава ВТ1-0 позволяет сформировать равномерные покрытия, состоящие из высокопрочных частиц карбида и боридов титана распределенных в титановой матрице. Во всех исследуемых образцах, вблизи зоны термического влияния были обнаружены скопления нерастворившихся частиц порошка карбида бора.

2. Максимальное значение уровня микротвердости равное 5900 МПа было зафиксировано у образца, полученного при наплавке с током пучка равным 27 мА. Полученные данные коррелируют с результатами триботехнических испытаний. Данный образец имеет более высокий уровень износостойкости в 1,85 и 2,5 раза, превышающий уровень износостойкость технически чистого титана при трении в условиях воздействия закрепленных и нежестко закрепленных абразивных частиц, соответственно.

Список литературы

1. Structure and properties of wear resistant layers fabricated by non-vacuum electron beam cladding / O. Lenivtseva, D.S. Krivezhenko, G.I. Alferova, D.O. Mul, L.V. Chuchkova // 11 International forum on strategic technology (IFOST 2016): proceedings, Novosibirsk, 1–3 June 2016. – Novosibirsk: NSTU, 2016. – Pt. 1. – P. 144–147. – ISBN 978-1-5090-0853-7.

2. Влияние режимов вневакуумной электронно-лучевой обработки на структуру и свойства титанового сплава ВТ1-0 / Л.В. Чучкова, О.Г. Ленивцева, В.С. Васильева, А.С. Белов // Наука. Промышленность. Оборона: трелс 17 Всероссийской научно-технической конференции, Новосибирск, 20–22 апреля 2016г.: в 4 т. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. – Т. 3. – С. 79–83. – ISBN 978-5-7782-2923-5.

3. Structure and properties of Ti-C-B coatings produced by non-vacuum electron beam cladding / O. Lenivtseva, N. Belousova, E. Lozhkina, T. Zimoglyadova, V. Samoylenko, L.

Chuchkova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 156. – Art. 012021. – doi: 10.1088/1757-899X/156/1/012021.

4. Структура и свойства слоев TiB-TiC-Ti, полученных на поверхности сплава ВТ1-0 методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки / О.Г. Ленивцева, А.С. Гонтаренко, Е.А. Дробяз, Т.А. Зимоглядова, Л.В. Чучкова // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2016. – № 73. – С. 63–74.

5. Structure and properties of titanium surface layers after electron beam alloying with powder mixtures containing carbon / O. Lenivtseva, I. Bataev, M. Golkovski, A. Bataev, V. Samoilenko, N. Plotnikova // Applied Surface Science. – 2015. – Vol. 355. – P. 320–326. – doi: 10.1016/j.apsusc.2015.07.043.

6. Structure and properties of surface layers obtained by atmospheric electron beam cladding of graphite-titanium powder mixture onto titanium substrate / O. Lenivtseva, E. Golovin, V. Samoilenko, D. Mul, D. Golovin // Advanced Materials Research. – 2014. – Vol. 1040: High technology: research and applications. – P. 784–789.

7. Zhang Y., Sun J., Vilar R. Characterization of (TiB + TiC)/TC4 in situ titanium matrix composites prepared by laser direct deposition // Journal of Materials Processing Technology. – 2011. – Vol. 211. – P. 597–601.

8. Microstructural characterization of titanium matrix composite coatings reinforced by in situ synthesized TiB + TiC fabricated on Ti6Al4V by laser cladding / J. Li, Z. Yu, H. Wang, M. Li // Rare Metals. – 2010. – Vol. 29. – P. 465–472.

9. Non-vacuum electron-beam boriding of low-carbon steel / I.A. Bataev, A.A. Bataev, M.G. Golkovsky, A.Y. Teplykh, V.G. Burov, S.V. Veselov // Surface & Coatings Technology. – 2012. – Vol. 207. – P. 245–253.

10. WCp/Ti-6Al-4V graded metal matrix composites layer produced by laser melt injection / Y. Chen, D. Liu, F. Li, L. Li // Surface and Coatings Technology. – 2008. – Vol. 202. – P. 4780–4787.

11. Dong H. Tribological properties of titanium-based alloys // Surface Engineering of Light Alloys / ed. by H. Dong. – Oxford: Woodhead Publ., 2010. – P. 58–80.

12. Формирование упрочняющих покрытий в пучке релятивистских электронов / И.М. Полетика, М.Г. Голковский, М.Д. Борисов, Р.А. Салимов, М.В. Перовская // Физика и химия обработки материалов. – 2005. – № 5. – С. 29–41.

13. Голковский М.Г., Полетика И.М., Салимов Р.А. Электронно-лучевая наплавка покрытий на титановые сплавы // Физика и химия обработки материалов. – 2009. – № 1. – С. 56–64.

14. 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.

15. Тополянский П.А., Тополянский А.П. Прогрессивные технологии нанесения покрытий – наплавка, напыление, осаждение // Технология обработки поверхности. – 2011. – № 4 (73). – С. 63–68.

**SURFACE HARDENING OF TITANIUM BY TiB AND TiC PARTICLES USING
METHODS NON-VACUUM ELECTRON BEAM CLADDING**

Chuchkova L.V., Graduate students, e-mail: L_Chuckova@bk.ru

Belov A.S., Student, e-mail: al_belov98@mail.ru

Vasilieva V.S., Student, e-mail: wera.wasiljewa@yandex.ru

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

Abstract

Titanium and its alloys cannot be used in tribological applications due to low wear resistance. Promising way to expand the use of these alloys in that area is providing high strength and wear resistant coating by non-vacuum electron beam cladding.

This paper focused on the study of coatings obtained by cladding with different electron beam current. Electron beam current changed from 27 to 30 mA, other technological parameters were fixed. During investigation, the following studies were conducted: optical microscopy, X-ray diffraction analysis, fixed and against loose abrasive particles friction tests, microhardness tests. X-ray diffraction analysis has shown that coatings contain of α -titanium (α' -titanium), titanium boride and titanium carbide phases. Optical microscopy has shown that coating is represented by titanium matrix reinforced by titanium boride and titanium carbide particles. Undissolved boron carbide particles were found near heat-affected zone. Depending on beam current coating thickness range from 1.2 to 1.6 mm. Maximum microhardness value (5900 MPa) for alloyed layers were achieved by electron beam current 27 mA. Wear resistance increased 1.85 and 2.5 times during fixed and against loose abrasive particles friction tests respectively in comparison to commercially pure titanium.

Keywords

Electron beam cladding; titanium; tribological properties; titanium boride; titanium carbide; microstructure

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 указываются 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 списке 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 ^{13}C -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 **A4** (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* описание 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 описание 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., Skeeba 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.ijmachtools.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 resursosbergayushchie 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 vozrozhdeniyu: 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). Недостаёт 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_farmacevticheskaja_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)

Пример оформления статьи

УДК 621.9.06:518.4

**ВЫБОР КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ БАЗОВЫХ ДЕТАЛЕЙ
НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ****В.Г. ИВАНОВ**¹, доктор техн. наук, профессор
В.С. ПЕТРОВ², аспирант
(¹ НГТУ, г. Новосибирск, ² БрГУ, г. Братск)**Иванов В.Г.** – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: machine-building@mail.ru**Аннотация****Ключевые слова**

<желательная структура текста представляемого материала >

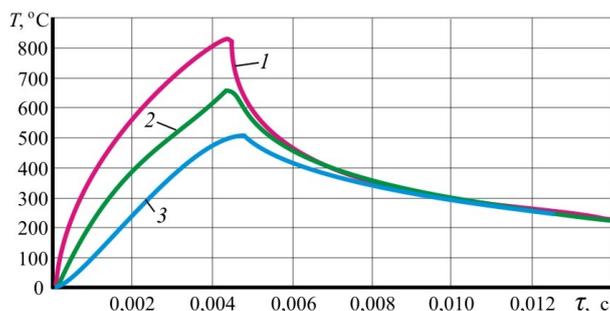
1. Введение**2. Теория** или методика экспериментального исследования или материалы и методы и др.

Рис. 1. Пример оформления рисунка

Таблица 1

Пример оформления таблицы

| Зернистость, Z | $\sigma_\varepsilon \cdot \alpha_\varepsilon$, мм ⁻¹ | $A_{cp} \times 10^{-3}$, кгс · мм | Износ гранул, I , г | Интенсивность износа, J , г/мин | Износостойкость, $\gamma \times 10^{-2}$ | Коэффициенты пропорциональности | |
|------------------|---|---------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|---|---------------------------------|---|
| | | | | | | γ / A_{cp} | $\gamma / \sigma_\varepsilon \cdot \alpha_\varepsilon \times 10^{-2}$ |
| 12 | 6,317 | 2,593 | 430 | 7,167 | 13,958 | 53,83 | 2,209 |

3. Результаты и обсуждение**4. Выводы****5. Список литературы****Choice of design parameters of base details at the design stage****Ivanov V.G.**¹, D.Sc. (Engineering), Associate Professor, e-mail: ivanov@mail.ru**Petrov V.S.**², Post-graduate Student, e-mail: petrov@gmail.com¹ Novosibirsk State Technical University, 20 Prospect K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation² Bratsk State University, 40 Makarenko st., Bratsk, 665709, Russian Federation**Abstract** (100- 150 слов)**Keywords**

Пример оформления сведений для РИНЦ

УДК 621.9.06:518.4

Выбор конструктивных параметров базовых деталей на этапе проектирования

¹Иванов Владимир Григорьевич, ²Петров Виктор Сергеевич, ...**(Ф.И.О. указывается полностью и для всех соавторов!)**

¹Новосибирский государственный технический университет, пр. К. Маркса, 20, г. Новосибирск, 630073, Россия

²Братский государственный университет, ул. Макаренко, 40, г. Братск, 665709, Россия

Иванов В.Г. e-mail: metal_working@mail.ru

Петров В.С. e-mail: petrov_v@mail.ru

Аннотация

Рассматривается расчет упругих деформаций фундамента тяжелого многоцелевого станка на абсолютно жестком основании и на упругом винклеровом основании. Показано, что от толщины фундамента существенно зависит деформирование его поверхности... **(10 строк, 850 знаков)**

Ключевые слова

фундамент, многоцелевой станок, упругие деформации, метод конечных элементов...

Список литературы

1. Каминская В.В., Решетов Д.Н. Фундаменты и установка металлорежущих станков. - М.: Машиностроение, 1975. - 208 с.

2. Атапин В.Г. Проектирование рациональных несущих конструкций многоцелевых станков // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). - 2008. - №4(41). - С. 18-25.

3. Атапин В.Г. Оценка параметров несущих конструкций тяжелого многоцелевого станка на этапе проектирования // Вестник машиностроения. - 2007. - № 2. - С. 61-64.
(15-25 наименований)

Choice of design parameters of base details at the design stage

¹Ivanov V.G., ²Petrov V.S., ...

¹Novosibirsk State Technical University, 20, Prospect K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation

²Bratsk State University, 40 Makarenko st., Bratsk, 665709, Russian Federation

Abstract

The calculation of the elastic deformations of the heavy multi-purpose machine for absolutely rigid basis and on an elastic basis is considered. It is shown that the thickness of substantially depends on the deformation of its surface. ... **(не менее 100 - 250 слов)**

Keywords

foundation, machining center, elastic deformations, finite element method.

Подписано в печать 10.03.2017 Формат 60 × 84 1/8. Бумага офсетная.
Тираж 20 экз. Уч.-изд. л. 28,83. Печ. л. 15,5. Изд. № 56. Заказ № 407.

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



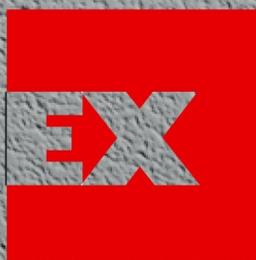
Организатор международных
выставок и конференций



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