

**Том 4 № 2 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**



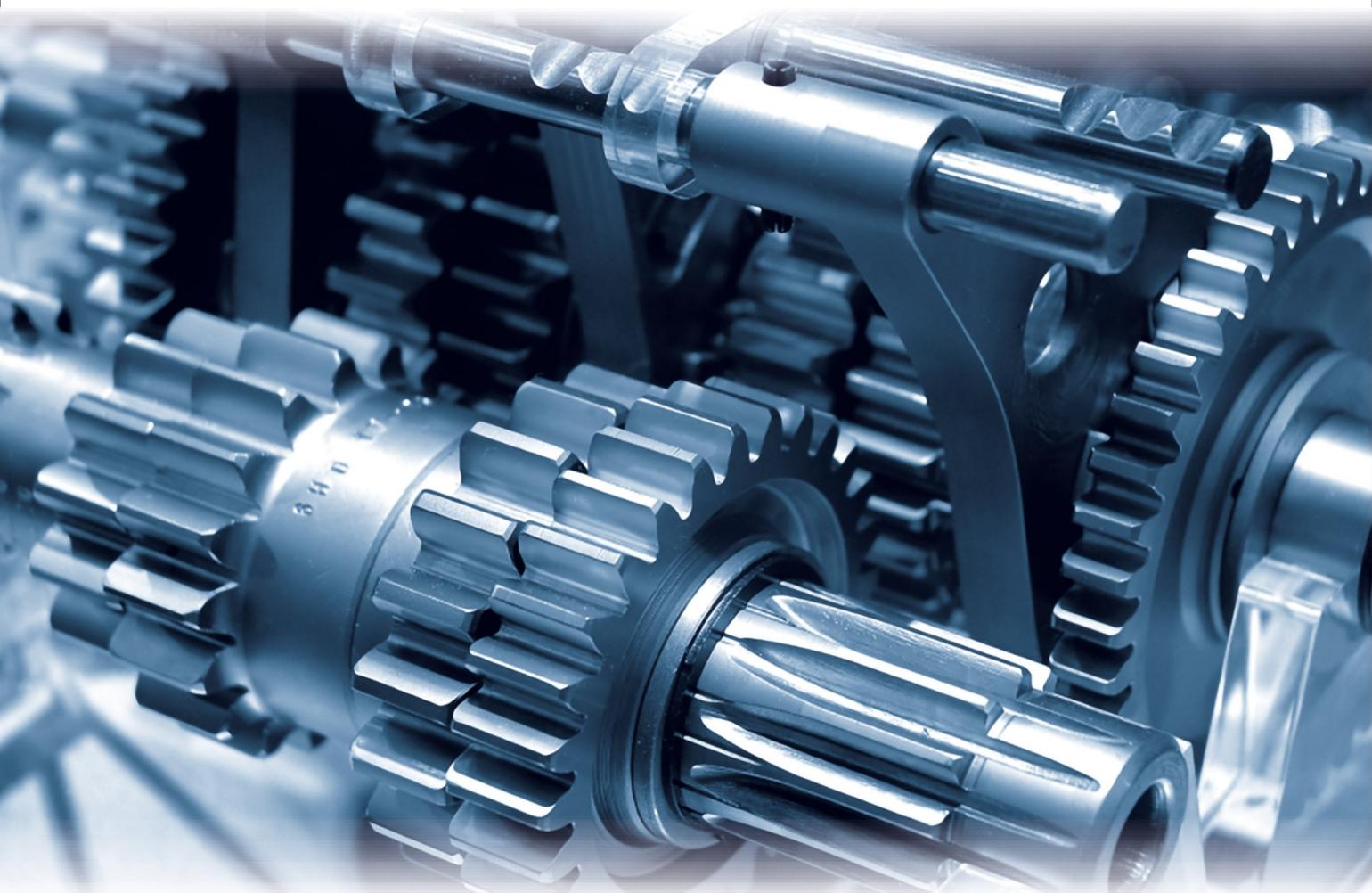


Выставка оборудования  
для металлообработки  
и сварки

**28–31 марта 2017**

Место проведения: МВК «Новосибирск Экспоцентр»

Получите электронный билет  
**[mashex-siberia.ru](http://mashex-siberia.ru)**



Организатор  
ITE Сибирь

Россия, Новосибирск  
ул. Станционная, 104

Тел.: (383) 363-00-36  
[www.ite-siberia.ru](http://www.ite-siberia.ru)

Генеральный  
информационный партнер

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ ЖУРНАЛ  
**СТАНОЧНЫЙ  
ПАРК**

# АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ

ISSN 2313-1020

Том 4 №2 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](mailto:machine-building@mail.ru)

# ACTUAL PROBLEMS IN MACHINE BUILDING

ISSN 2313-1020

Volume 4 Number 2 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](mailto: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

- Буров В.Г., Веселов С.В., Никулина А.А., Терентьев Д.С., Смирнов А.Б., Хохлов А.Д.** Способ получения наноразмерных волокон оксида вольфрама 9
- Сапрыкин А.А., Кузьмин В.И., Сергачев Д.В., Дудихин Д.В.** Применение плазменной обработки для сфероидизации металлических порошков 16
- Гурьев А.М., Иванов С.Г., Гурьев М.А., Собачкин А.В., Иванова Т.Г.** Изменение размеров и шероховатости поверхности образцов из стали Ст3 при диффузионном насыщении бором, хромом и титаном 21
- Янпольский В.В., Иванова М.В.** Электрохимическое растворение быстрорежущих сталей P6M5 и P9K5 в водном растворе нейтральной соли  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  25
- Романенко В.П., Манько А.И., Степанов П.П., Перминова О.В., Крикович С.М.** Перспективная технология получения полых вагонных осей на основе винтовой прошивки 28
- Иванцовский В.В., Зверев Е.А., Вахрушев Н.В., Бредихина А.Н.** Исследование химического состава плазменных покрытий из никель-керамической порошковой смеси 35
- Лагерева Д.И., Михайлов Д.А., Провоторов В.В., Шевцова К.Е.** Проблемы штампования сверхвысокомолекулярного полиэтилена высокой плотности 40

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ОСНАСТКА И ИНСТРУМЕНТЫ

- Хлебова И.В., Рубцова Н.С., Скиба П.Ю., Скиба В.Ю.** Структурно-кинематический анализ гибридного металлорежущего оборудования 43
- Рубцова Н.С., Хлебова И.В., Скиба П.Ю., Скиба В.Ю.** Исследование прямолинейных стрелочных переводов 54
- Мартынова Т.Г., Птицын С.В., Скиба В.Ю., Чернышева А.А., Скиба П.Ю.** Проблемы проектно-конструкторского обеспечения производства технологических машин 60
- Ча Г.О., Скиба П.Ю., Вшивкова Ю.В., Лобко А.Н.** Выбор наиболее рациональных методов обработки на гибридном металлорежущем оборудовании на примере цилиндрической поверхности 66
- Подгорный Ю.И., Печоркина Н.С., Скиба П.Ю., Вшивкова Ю.В., Лобко А.Н.** Исследование механизма смены уточных нитей для бесчелночных ткацких станков 72
- Керженцев В.А., Мартынова Т.Г., Тертова А.И., Дюбанова И.Д.** Анализ процесса измельчения сыпучего продукта в молотковой дробилке 78
- Керженцев В.А., Перова Н.В., Наливайченко Г.М., Твердохлебов С.Н.** Новые перспективные возможности расчета шнековых конвейеров 85
- Керженцев В.А., Перова Н.В., Мазко Т.И., Теплов А.С.** Разработка в табличной форме новых возможностей расчета шнековых конвейеров 92

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

<b>Осетковский И.В., Козырев Н.А., Кибко Н.В., Попова М.В., Крюков Р.Е.</b>	<b>100</b>
Изучение влияния кобальта на структуру и свойства наплавленного порошковой проволокой системы Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V металла	
<b>Рашковец М.В., Никулина А.А.</b>	<b>107</b>
Особенности фазового состава материала, полученного методом гетерофазной порошковой металлургии сплава на основе Ni	
<b>Гусев А.И., Козырев Н.А., Кибко Н.В., Попова М.В., Крюков Р.Е.</b>	<b>113</b>
Изучение структуры и свойств металла, наплавленного порошковой проволокой системы Fe-C-Si-Mn-Cr-Mo-Ni-V-Co	
<b>Балашов А.В., Белоплов С.В., Малышев С.О., Новиковский Е.А., Фёдоров В.А.</b>	<b>120</b>
Исследование свойств изделий, полученных 3D-печатью	
<b>Алфёрова Е.А.</b>	<b>127</b>
Количественная оценка деформационных структур на примере монокристаллов никеля	
<b>Кукареко В.А.</b>	<b>132</b>
Структура и физико-механические свойства обработанной ионами азота аустенитной стали 10X17H13M2T	
<b>Рекомендации по написанию научной статьи</b>	<b>138</b>
<b>Подготовка аннотации</b>	<b>140</b>
<b>Правила для авторов</b>	<b>142</b>

## CONTENTS

**Innovative Technologies in Mechanical Engineering**

<b>Burov V.G., Veselov S.V., Nikulina A.A., Terentyev D.S., Smirnov A.B., Khokhlov A.D.</b> Process for the preparation of nanoscale fiber tungsten oxide	9
<b>Saprykin A.A., Kuzmin V.I., Sergachev D.V., Dudihin D.V.</b> Application plasma treatment spheroidization for metal powder	16
<b>Guriev A.M., Ivanov S.G., Guriev M.A., Sobachkin A.V., Ivanova T.G.</b> Change the size and surface roughness samples of steel St3 in diffusion saturation of boron, chromium and titanium	21
<b>Yanpolskiy V.V., Ivanova M.V.</b> Electrochemical dissolution of the quick cutting steels R6M5 and R9K5 in water solution of neutral Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	25
<b>Romanenko V.P., Manko A.I., Stepanov P.P., Perminova O.V., Kriskovich S.M.</b> Perspective technology for producing hollow railway axles based on screw rolling	28
<b>Ivancivsky V.V., Zverev E.A., Vakhrushev N.V., Bredikhina A.N.</b> Chemical composition research of plasma coatings of nickel-ceramic powder mixture	35
<b>Lagereva D.I., Mikhaylov D.A., Provotorov V.V., Shevtsova K.E.</b> Problems stamping ultra-high molecular weight polyethylene	40

**Technological Equipment, Machining Attachments and Instruments**

<b>Khlebova I.V., Rubtsova N.S., Skeebe P.Yu., Skeebe V.Yu.</b> Structural-kinematic analysis of hybrid metal-cutting equipment	43
<b>Rubtsova N.S., Khlebova I.V., Skeebe P.Yu., Skeebe V.Yu.</b> Research of rectilinear turnouts	54
<b>Martynova T.G., Ptitsyn S.V., Skeebe V.Yu., Chernysheva A.A., Skeebe P. Yu.</b> Problems of engineering ensuring of technological machines production	60
<b>Cha G.O., Skeebe P.Yu., Vshivkova Yu.V., Lobko A.N.</b> Selecting the most appropriate cylindrical surface hybrid treatment methods	66
<b>Podgornyj Yu.I., Pechorkina N.S., Skeebe P.Yu., Vshivkova Yu.V., Lobko A.N.</b> Investigation of the mechanism of the weft yarn changer for shuttleless looms	72
<b>Kerzhencev V.A., Martynova T.G., Tertova A.I., Dyubanova I.D.</b> Analysis of the grinding process of friable product at the hammer crusher	78
<b>Kerzhencev V.A., Perova N.V., Nalivajchenko G.M., Tverdohlebov S.N.</b> New advanced features of calculation screw conveyors	85
<b>Kerzhencev V.A., Perova N.V., Mazko T.I., Teplov A.S.</b> Development of new abilities to calculate the screw conveyors in tabular form	92

**Materials Science in Machine Building**

<b>Osetkovskii I.V., Kozyrev N.A., Kibko N.V., Popova M.V., Kryukov R.E.</b> Studying the effect of cobalt additive in to the flux cored wire system Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V on the structure and properties of the deposited metal	100
<b>Rashkovets M.V., Nikulina A.A.</b> Features of the phase composition of the material, obtained by heterophase powder metallurgy of Ni-based alloy	107
<b>Gusev A.I., Kozyrev N.A., Kibko N.V., Popova M.V., Kryukov R.E.</b> The study of the structure and properties of metal, deposited by weld flux-cored wire of the system Fe-C-Si-Mn-Cr-Mo-Ni-V-Co	113
<b>Balashov A.V., Beloplotov S.V., Malushev S.O., Novikovskiy E.A., Fedorov V.A.</b> Research of properties of the products received 3D - printing	120
<b>Alfyorova E.A.</b> Quantitative evaluation of deformation structures on the example nickel single crystals	127
<b>Kukareko V.A.</b> Structure, physical and mechanical properties of austenitic steel 10X17H13M2T processed by nitrogen ions	132
<b>Guidelines for Writing a Scientific Paper</b>	138
<b>Abstract requirements</b>	140
<b>Rules for authors</b>	142

УДК 544.015.4: 544.016.2: 544.016.5

**СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОРАЗМЕРНЫХ ВОЛОКОН ОКСИДА ВОЛЬФРАМА**

*В.Г. БУРОВ, доктор техн. наук, профессор  
С. В. ВЕСЕЛОВ, канд. техн. наук  
А.А. НИКУЛИНА, канд. техн. наук, доцент  
Д.С. ТЕРЕНТЬЕВ, канд. техн. наук  
А.Б. СМИРНОВ, студент  
А.Д. ХОХЛОВ, студент  
(НГТУ, г. Новосибирск)*

**Буров В.Г.** – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,  
Новосибирский государственный технический университет,  
e-mail: v.burov@corp.nstu.ru

Методами рентгеновской дифракции и электронной микроскопии изучено влияние условий синтеза наноразмерных волокон и трубок из оксида вольфрама на их фазовый состав и структуру. Установлено, что формирование в вакууме волокон оксида вольфрама происходит путем эпитаксиального роста в температурном диапазоне 900 – 1100 °С в результате взаимодействия компонентов порошковой смеси, состоящей из крупных частиц карбида вольфрама размером 8,5...13 мкм и наночастиц меди размером 50...90 нм, имеющих тонкий слой оксидный слой на поверхности. Использование наноразмерных частиц вольфрама, или крупных частиц меди не приводит к образованию наноразмерных волокон и трубок. Зарождение наноразмерных стержней и трубок оксида вольфрама начинается в момент расплавления наночастиц меди. Найдена зависимость структуры наноразмерных волокон оксида вольфрама от условий синтеза.

**Ключевые слова:** наноразмерные волокна, оксид вольфрама, наночастицы, фазовый состав, синтез

**Введение**

По данным маркетинговых отчетов исследовательской компании Abercade [1] доля наноразмерных частиц оксидов металлов в общем количестве производимых мировой промышленностью наноматериалов составляла к 2009 году 80 %, из которых более половины объёма составляли порошки наноразмерного оксида алюминия. Большая доля производства нанопорошков оксидов связана с их относительно невысокой стоимостью в сочетании с уникальными оптическими и адсорбционными свойствами. Наноразмерные частицы оксидов металлов также могут быть использованы в качестве прекурсоров для создания наноразмерных частиц карбидов стехиометрического состава. Одним из перспективных материалов, который может быть использован для получения наноразмерных частиц монокарбида вольфрама, является наноразмерный оксид вольфрама [2 – 4].

За последние десятилетия появились публикации, посвященные разработке технологий получения оксида вольфрама в форме трубок и волокон [2, 3]. Ряд работ посвящен изучению методов синтеза наноразмерных трубок и волокон оксида вольфрама и моделированию возможных структур [3, 4]. В то же время в литературе ограничены сведения о влиянии условий синтеза на структуру и химический состав получаемых наночастиц. При исследовании влияния размера частиц меди на процесс их взаимодействия с частицами карбида вольфрама был обнаружен эффект эпитаксиального роста наноразмерных трубок и стержней оксида вольфрама. Синтезированные наноразмерные кристаллы оксида вольфрама

могут быть использованы для получения наноразмерных частиц монокарбида вольфрама, имеющих стехиометрический состав.

### Экспериментальная часть

Для проведения исследований использовались порошки карбида вольфрама разной зернистости и наноразмерные частицы меди. Частицы карбида вольфрама производства Кировоградского завода твердых сплавов имели размер от 8,5 до 13 мкм. Порошки меди размером от 50 до 90 нм получены методом электрического взрыва медного проводника в Национальном исследовательском Томском политехническом университете.

Приготовление порошковых смесей осуществлялось с использованием планетарной мельницы Fritsch pulverisette 6. Содержание меди варьировалось от 5 до 50 % от массы порошковой смеси. Режимы перемешивания оптимизировали по равномерности распределения наночастиц меди в объеме порошковой смеси.

Микроструктуру исходных порошковых смесей и синтезированных наноразмерных волокон оксида вольфрама изучали на растровом электронном микроскопе Carl Zeiss EVO 50 XVP. Тонкую структуру наноразмерных волокон оксида вольфрама изучали на просвечивающем электронном микроскопе Теснаі G2.

Фазовый состав исходных порошковых смесей исследовали с использованием рентгеновского дифрактометра ARL-X'TRA. Дифракционные картины записывались при фокусировке лучей по схеме Брегга-Брентано в интервале углов  $2\Theta = 20-90^\circ$  с шагом  $\Delta 2\Theta = 0,05^\circ$ . Съемку дифракционных картин выполняли в вакуумной камере Anton Paar НТК 2000N с рабочим давлением  $133,32 \times 10^{-4}$  Па при фиксированных значениях температуры: 400, 600, 800, 900, 1000 и 1100 °С. Скорость нагрева порошковых смесей составляла 10 °С/мин.

### Результаты и их обсуждение

Основным преимуществом волокон оксида вольфрама, синтезированных посредством эпитаксиального роста в присутствии пассивированных наноразмерных частиц меди, является малое количество дефектов кристаллической структуры. Заключение о малой степени дефектности наноразмерных волокон оксида вольфрама сделано по результатам просвечивающей электронной микроскопии. На рис. 1 представлен снимок наноразмерного волокна оксида вольфрама, полученный в просвечивающем электронном микроскопе Теснаі G2. Дифрактограммы, снятые с порошковой смеси при различных температурах и дифференциальная сканирующая калориметрия позволили определить температурную область формирования наноразмерных трубок и стержней оксида вольфрама [4 – 6].

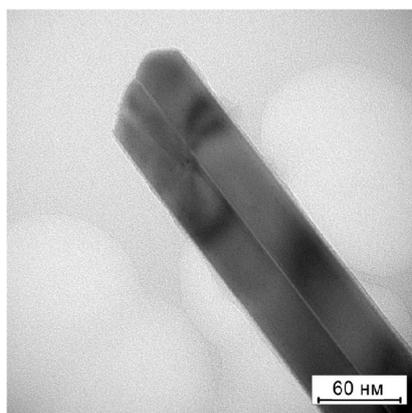


Рис. 1. Структура волокна оксида вольфрама

На рис. 2 представлена микрофотография исходной порошковой смеси, содержащей наноразмерные частицы меди в количестве 5 % от массы смеси. На снимке наглядно представлено равномерное распределение наноразмерных частиц среди крупных частиц карбида вольфрама. При этом следует отметить, что наноразмерные частицы меди имеют на своей поверхности тонкую пленку оксида меди, образовавшуюся в контакте с воздухом после синтеза исходного нанопорошка.

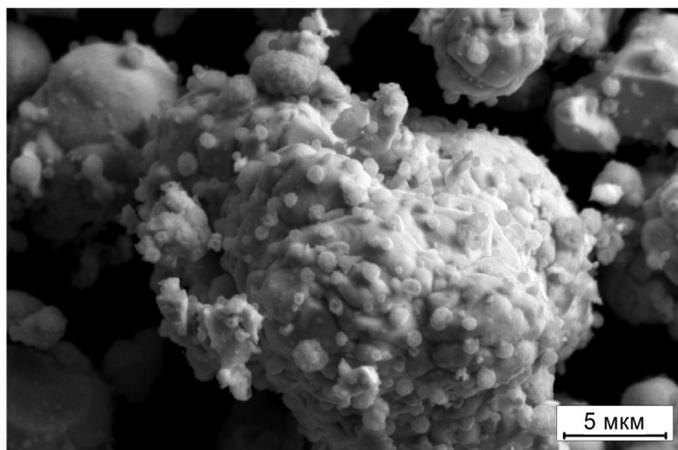


Рис. 2. Сканограмма исходной порошковой смеси WC–5 мас. % n-Cu

На рис. 3 представлены дифрактограммы, полученные при рентгеноструктурном анализе порошковой смеси, содержащей наноразмерные частицы меди в количестве 5 % от массы, при температурах 25, 400, 600, 800, 1000 и 1100 °С. Исходная порошковая смесь содержит три фазы: гексагональный высший карбид вольфрама (WC), гексагональный низший карбид вольфрама (W<sub>2</sub>C) и медь (Cu) с гранцентрированной решеткой. Отсутствие рефлексов, соответствующих оксиду меди объясняется малой толщиной оксидной пленки на наночастицах. Малая объемная доля карбида вольфрама W<sub>2</sub>C в исходном порошке карбида вольфрама отражается в виде рефлексов малой интенсивности. Анализ дифрактограмм свидетельствует об отсутствии фазовых переходов в порошковой смеси при нагреве от комнатной температуры до 800 °С. При нагреве порошковой смеси до температуры 900 °С и выше (Рис. 3) происходит взаимодействие карбида вольфрама с частицами меди с образованием фазы кубического вольфрама (W). При температуре 1100 °С на дифрактограмме полностью исчезает фаза W и появляется фаза оксид вольфрама WO<sub>2</sub>.

Микрофотографии порошковой смеси, содержащей 5 % наноразмерного порошка меди, после нагрева в вакуумной камере рентгеновского дифрактометра представлены на рис. 4 – 8. При температуре 400 °С не наблюдается видимых изменений в морфологии и размерах частиц (рис. 4). Нагрев порошковой смеси до 600 °С (рис. 5) сопровождается локальным сплавлением наноразмерных частиц меди с образованием крупных каплевидных агрегатов на частицах карбида вольфрама. Дальнейшее сплавление частиц меди с образованием жидкой фазы происходит в температурном интервале 600...800 °С (рис. 6) и вызывает появление зародышей нановолокон оксида вольфрама на крупных частицах карбида вольфрама. Эпитаксиальный рост волокон оксида вольфрама осуществляется при нагреве порошковой смеси свыше 900 °С (рис. 7). Увеличение размеров поперечного сечения и образование колоний волокон оксида вольфрама происходит при нагреве в диапазоне температур 900...1100 °С (рис. 3) и совпадает с плавлением крупных частиц меди.

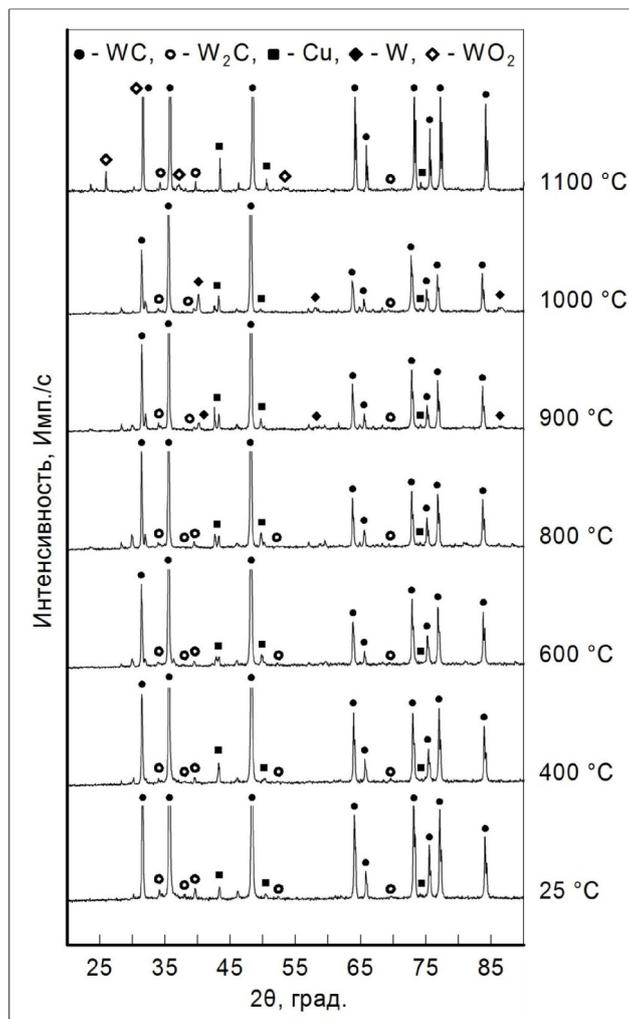


Рис. 3. Дифрактограммы, снятые с порошковой смеси, содержащей WC – 5 мас. % p-Cu при разных температурах

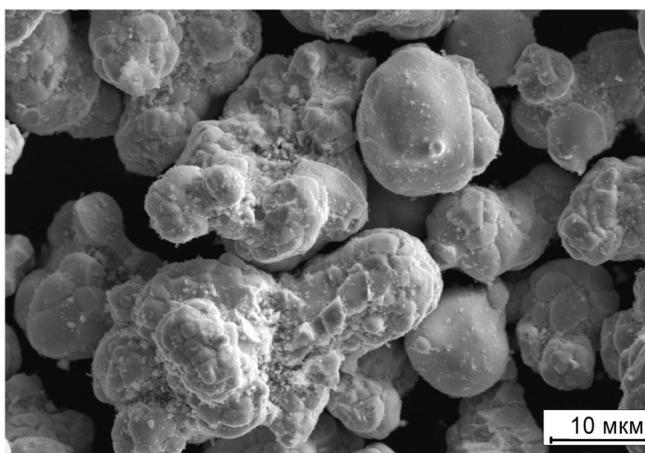


Рис. 4. Микрофотография порошковой смеси, содержащей WC–5 мас. % p-Cu, после нагрева в вакуумной камере

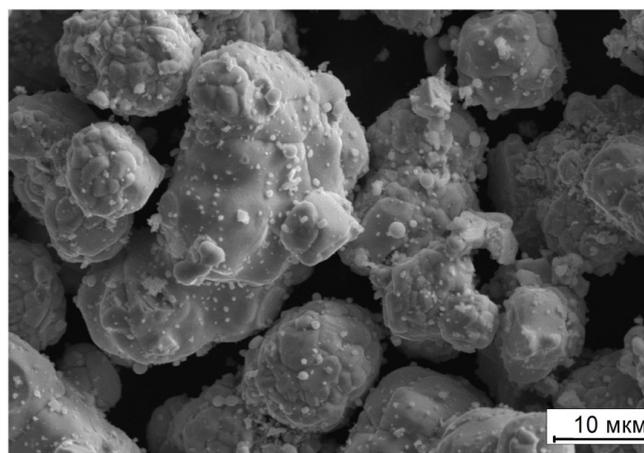


Рис. 5. Микрофотография порошковой смеси, содержащей WC–5 мас. % p-Cu, после нагрева в вакуумной камере до температуры 600 °C

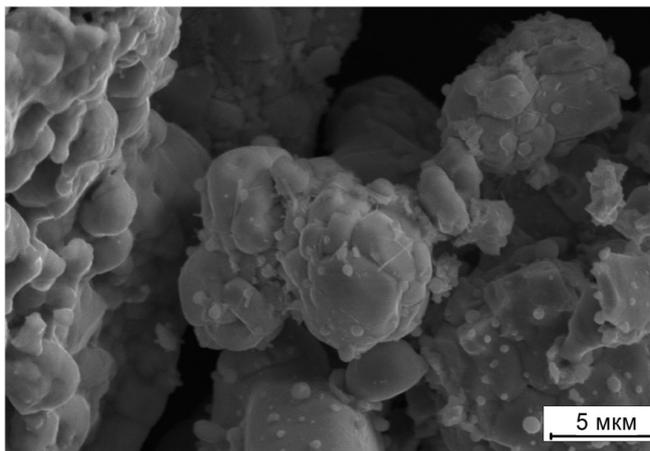


Рис. 6. Сканограмма порошковой смеси, содержащей WC-5 мас. % n-Cu, после нагрева в вакуумной камере до температуры 800 °C

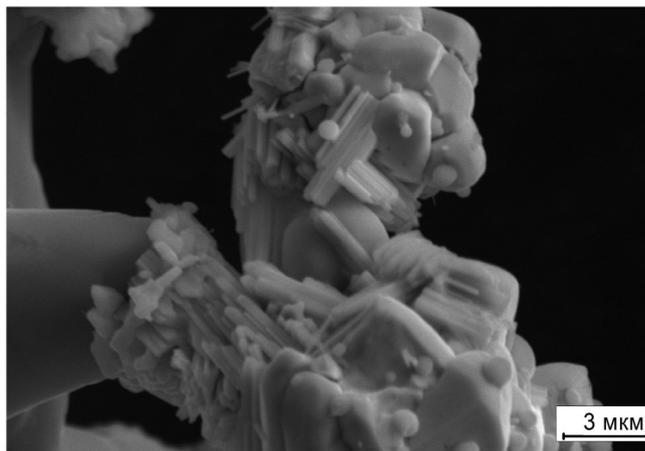


Рис. 7. Микрофотография порошковой смеси, содержащей WC-5 мас. % n-Cu, после нагрева в вакуумной камере до температуры 900 °C

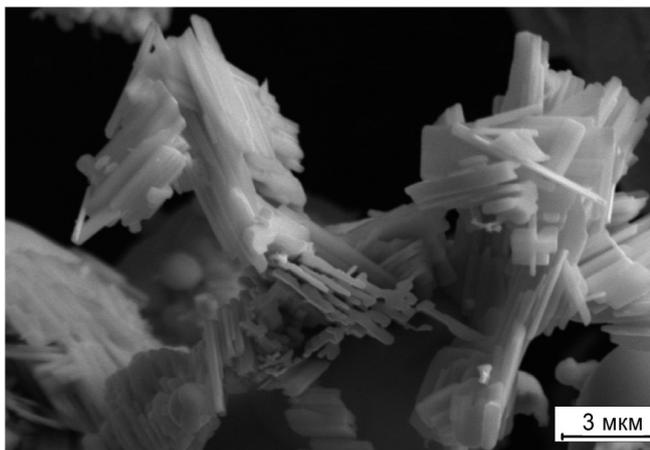


Рис. 8. Микрофотография порошковой смеси, содержащей WC-5 мас. % n-Cu, после нагрева в вакуумной камере до температуры 1000 °C

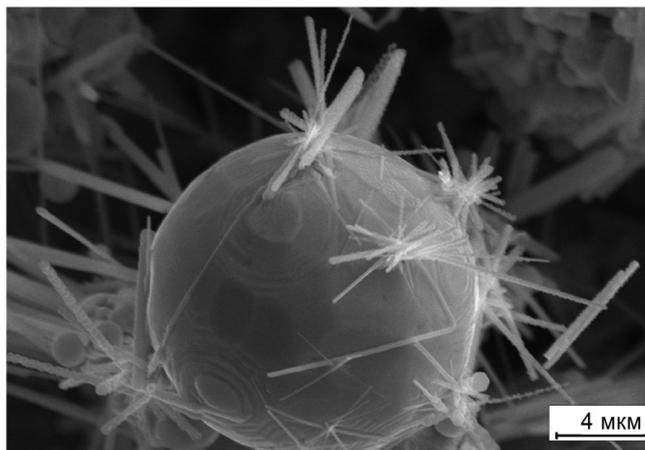


Рис. 9. Микрофотография порошковой смеси, содержащей WC-10 мас. % n-Cu, после нагрева в вакуумной печи до температуры 1100 °C

Количество наночастиц и режимы нагрева оказывают существенное влияние на размеры волокон в поперечном сечении. На рис. 9, 10 представлены микрофотографии порошковой смеси, содержащей 10 % наноразмерных частиц меди, при нагреве до 1100 °C. На микрофотографии (рис. 9) наглядно видно, что рост наноразмерных стержней оксида меди происходит на поверхности сплавленных медных частиц. При этом следует отметить, что при использовании крупных частиц меди стержни оксида вольфрама не образуются. Увеличение скорости нагрева до температуры плавления меди приводит к уменьшению поперечного сечения стержней оксида вольфрама.

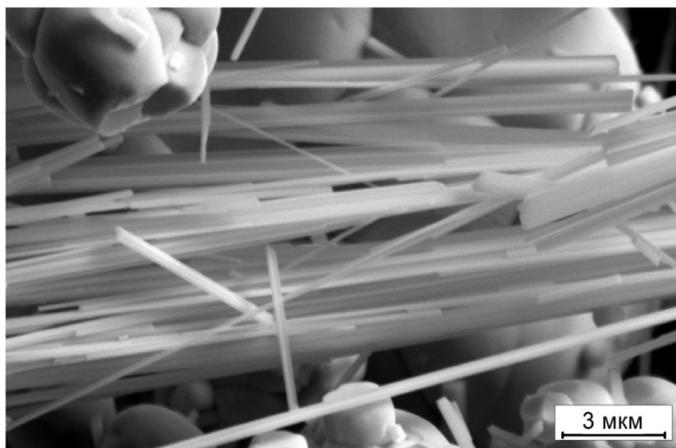


Рис. 10. Микрофотография порошковой смеси, содержащей WC – 10 мас. % n-Cu, после нагрева в вакуумной печи до температуры 1100 °С

Из экспериментальных данных следует, что высокая однородность по размерам и наибольший процентный выход наноразмерных волокон оксида вольфрама обеспечивается нагревом исходной порошковой смеси, содержащей WC – 5 мас. % n-Cu, до температуры 1100 °С. Формирование наноразмерных волокон оксида вольфрама происходит в температурном диапазоне 900 – 1100 °С. В результате взаимодействия компонентов порошковой смеси, содержащей WC, W<sub>2</sub>C и пассивированные наночастицы Cu, происходит образование фазы WO<sub>2</sub>. Геометрия наноразмерных волокон оксида вольфрама зависит от температурно-временных условий синтеза, химического и гранулометрического состава исходной порошковой смеси. В процессе синтеза формируются волокна оксида вольфрама, имеющие размеры в поперечном сечении менее 100 нм. Количество кислорода, содержащегося на поверхности наноразмерных частиц меди, также влияет на характер эпитаксиального роста, форму, размеры и количество синтезируемых волокон оксида вольфрама.

### Список литературы

1. Мировой рынок нанопорошков в 2003–2009 годах [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.abercade.ru/research/reports/3831.html> (дата обращения: 28.02.2017).
2. Zhao Z.-G., Miyauchi M. Nanoporous-walled tungsten oxide nanotubes as highly active visible-light-driven photocatalysts // *Angewandte Chemie (International ed. in English)*. – 2008. – Vol. 120, iss. 37. – P. 7159–7163.
3. Покропивный В.В. Неуглеродные нанотрубки (обзор). I. Методы синтеза // *Порошковая металлургия*. – 2001. – № 9/10. – С. 50–63.
4. Нанотрубки и родственные наноструктуры оксидов d-металлов: синтез и моделирование / Г.С. Захарова, В.Л. Волков, В.В. Ивановская, А.Л. Ивановский // *Успехи химии*. – 2005. – Т. 74, № 7. – С. 651–685.
5. Терентьев Д.С. Технологические условия формирования нанотрубок оксида вольфрама // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2011. – № 3. – С. 88–90.

6. The formation of nanosized tubes and lamellar structures of tungsten oxide / D. Terentyev, A. Bataev, I. Bataev, V. Burov, A. Nikulina, A. Bannov // *Advanced Science Letter*. – 2013. – Vol. 19, N 12. – P. 3695–3696.

7. Патент 2451577 Российская Федерация, МПК В 22 F 9/16, В 82 В 3/00, С 01 G 41/02. Способ получения нанотрубок оксида вольфрама / А.А. Батаев, В.А. Батаев, В.Г. Буров, Н.Ф. Уваров, А.А. Дробяз, Д.С. Терентьев, А.Ю. Огнев, Е.А. Дробяз, А.М. Теплых, И.А. Батаев, Е.Д. Головин, А.А. Никулина; патентообладатель Новосибирский государственный технический университет. – № 2010132611/02; заявл. 03.08.2010; опубл. 27.05.2012, Бюл. № 15. – 4 с.

## PROCESS FOR THE PREPARATION OF NANOSCALE FIBER TUNGSTEN OXIDE

**Burov V. G.**, D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: v.burov@corp.nstu.ru

**Veselov S. V.**, Ph.D. (Engineering), Assistant professor, e-mail: veselov@corp.nstu.ru

**Nikulina A. A.**, Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: a.nikulina@corp.nstu.ru

**Terentyev D. S.**, Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: Terentiev240485@mail.ru

**Smirnov A. B.**, Student, e-mail: andrei\_smirnov\_1996@mail.ru

**Khokhlov A. D.**, Student, e-mail: hohlov\_alesha@mail.ru

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

### Abstract

The influence of tungsten oxide nano-sized fibers and tubes synthesis conditions on their phase composition and microstructure was studied with XRD and SEM methods. It was stated that tungsten oxide fibers formation results from the interaction in the powder blend consisted of 8,5...13  $\mu\text{m}$  large-scale tungsten particles and 50...90 nm nano-scale copper particles which have a thin oxide layer on the surfaces. The epitaxial growth of the fibers happens in vacuum at the temperature between 900 – 1100 °C. Application of nano-scale tungsten particles and large-scale copper particles don't allow producing nano-sized fibers and tubes. Tungsten oxide nano-sized fibers and tubes nucleation starts at the moment of copper nanoparticles melting. The dependence between tungsten oxide nano-sized fibers microstructure and synthesis conditions is revealed.

### Keywords

nano-sized fibers, tungsten oxide, nanoparticles, phase composition, synthesis

УДК 67.02

**ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ СФЕРОИДИЗАЦИИ  
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ**

*А.А. САПРЫКИН<sup>1</sup>, канд. техн. наук  
В.И. КУЗЬМИН<sup>2</sup>, канд. техн. наук  
Д.В. СЕРГАЧЕВ<sup>2</sup>, аспирант  
Д.В. ДУДИХИН<sup>3</sup>, магистрант  
(<sup>1</sup>ЮТИ ТПУ, г. Юрга,  
<sup>2</sup>ИТПМ СО РАН, г. Новосибирск,  
<sup>3</sup>ТПУ, г. Томск)*

**Сапрыкин А.А.** - 652055, г. Юрга, ул. Ленинградская д.26,  
Юргинский технологический институт  
Национального исследовательского Томского политехнического университета,  
e-mail: sapraa@tpu.ru

В данной статье рассмотрены основные методы производства специализированных металлических порошков для аддитивных лазерных технологий. Проведен краткий обзор принципов работы атомизаторов, с выделением основных недостатков. Был предложен альтернативный метод производства специализированных металлических порошков для аддитивных лазерных технологий – плазменная обработка. Описана методика проведения эксперимента плазменной обработки медного порошка марки ПМС-1. По результатам проведенного исследования были сделаны выводы о возможности применения плазменной обработки для оптимизации формы частиц порошков.

**Ключевые слова:** аддитивные лазерные технологии, атомизация, специализированный металлический порошок, сферическая форма частиц, плазменная обработка, сфероидизация

**Введение**

В настоящее время в России началось активное развитие аддитивных лазерных технологий. Многие исследовательские институты занимаются решением задач по построению изделий методами аддитивных лазерных технологий. Такой производственный процесс значительно сокращает количество расходного материала и время на изготовление деталей, снижая себестоимость сложнопрофильных изделий.

Российские инженеры уже конструируют установки, которые производят детали методами аддитивных лазерных технологий. Но для их полноценной работы требуются специализированные металлические порошки со сферической формой частиц определенного химического состава, основная часть которых приобретается за границей. Сферический порошок хорошо наносится в виде рабочего слоя, компактно укладывается в заданный объем и облегчает работу лазера по спеканию частиц между собой [1, 2]. Несмотря на то, что спектр выбора материалов весьма ограничен, стоимость импортных порошков значительно завышена.

## Обзор методов получения сферических порошков

Основными методами производства специализированных металлических порошков являются различные способы атомизации расплава. Наиболее распространен метод газовой атомизации (Рис. 1а), где поток расплавленного металла разрушается струей инертного газа, образуя таким образом поток расплавленных частиц, которые, благодаря силам поверхностного натяжения, приобретают сферическую форму. Также применяют метод вакуумной атомизации (Рис. 1б), в котором для генерации потока частиц используется перепад давления между плавильной и вакуумной камерами. Еще одним способом производства сферических порошков является метод центробежной атомизации (Рис. 1в), при котором происходит оплавление поверхности электрода, который вращаясь, разбрызгивает расплавленный металл в виде капель сферической формы [3].

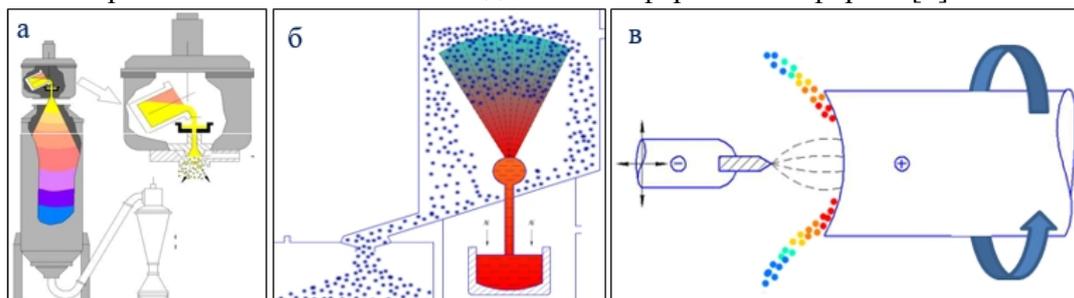


Рис. 1. Принципиальные схемы основных методов атомизации: а – газовая атомизация; б – вакуумная атомизация; в – центробежная атомизация [3]

Приведенные методы атомизации являются основными источниками получения металлических порошков для аддитивных лазерных технологий, но они имеют ряд существенных недостатков. Любой метод атомизации требует значительных затрат, что существенно добавляет цену производимым порошкам. Например, в России стоимость стандартного медного порошка марки ПМС-1 составляет около 1200 рублей за кг, при этом сферический порошок сходного по химическому составу и фракции стоит от 20000 рублей за кг.

В тоже время существенными недостатками производства сферических порошков известными методами атомизации являются отсутствие возможности получения порошков тугоплавких металлов и наличие дефектов в структуре частиц.

Альтернативным методом производства специализированных металлических порошков для аддитивных лазерных технологий является процесс плазменной обработки (сфероидизации) (Рис. 2) [4, 5].

Плазменная обработка позволит снизить производственные затраты в несколько раз, что является большим преимуществом. Также предложенный метод сфероидизации металлических частиц не имеет ограничений по виду материала, возможно производство не только легкоплавких, но и тугоплавких металлических порошков. Данная технология позволяет сглаживать любые геометрические недостатки металлических частиц.

## Методика экспериментального исследования

Для проведения эксперимента использовался электродуговой плазмотрон постоянного тока с секционированной межэлектродной вставкой марки «ПНК – 50», разработанный в ИТПМ СО РАН. Номинальная мощность плазмотрона – 50 кВт, производительность обработки металлических порошков – до 30 кг/час, керамических – до 10 кг/час.

Среднемассовая температура потока воздушной, или азотной плазмы на срезе сопла плазмотрона – до 7000 К, аргоновой плазмы – до 11000 К, что позволяет обрабатывать не только легкоплавкие, но и тугоплавкие металлы и керамику.

Плазмотрон укомплектован узлом кольцевого ввода порошка с его газодинамической фокусировкой (Рис. 2). На конструкцию узла получен патент РФ [6]. Узел кольцевого ввода обеспечивает равномерный, распределённый ввод порошка в поток термической плазмы, что существенно повышает производительность и эффективность обработки порошков (по сравнению с точечным вводом производительность обработки выросла почти на порядок).

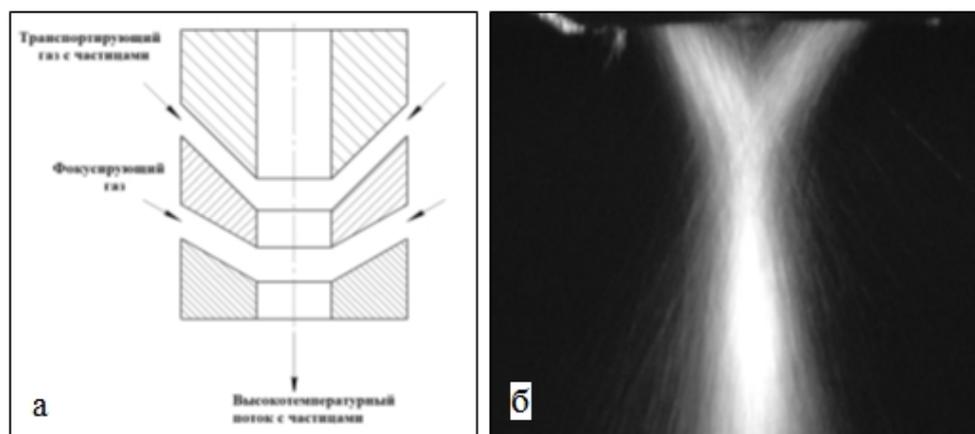


Рис. 2. Узел кольцевого ввода:

а – принципиальная схема кольцевого ввода порошка; б – фотография треков частиц порошка истекающих из радиально-кольцевой щели узла ввода при холодной продувке [7]

Эксперимент был проведен на медном порошке марки ПМС-1. Порошок был предварительно просушен для достижения максимальной сыпучести и наименьшей степени прилипания к стенкам бункера дозатора и каналам узла кольцевого ввода.

После проведения подготовительных работ просушенный порошок засыпался в бункер дозатора. После чего производился запуск плазмотрона и порошок при помощи транспортирующего газа, через узел кольцевого ввода, вводился в поток термической плазмы. Поток фокусирующего газа обеспечивал максимальную концентрацию частиц порошка на оси потока плазмы.

В качестве плазмообразующего газа использовался воздух, в качестве защитного газа (завеса анода) – смесь воздуха и небольшого количества пропан-бутана. Пропан-бутан, распределяясь преимущественно в пограничном слое потока плазмы в канале анода плазмотрона, связывал кислород воздуха и обеспечивал, таким образом, минимальную эрозию материала анода. Добавка пропан-бутана в транспортирующий и фокусирующий газы (основной газ – воздух) обеспечивала минимальное окисление частиц обрабатываемого порошкового материала.

Таким образом формировался высокотемпературный гетерогенный поток, где и проходила обработка частиц исходного порошка. При этом на перемещающиеся частицы воздействовал ряд основных сил, таких как сила тяжести, сила поверхностного натяжения, сила динамического давления потока плазмы [8]. Сфероидизацию исходного порошка обеспечивает сила поверхностного натяжения частиц, находящихся в жидкой фазе.

Обработанный порошок собирался в емкость с водой, которая находилась на расстоянии ~ 1м от среза сопла плазмотрона, где он охлаждался, сохраняя при этом полученную форму.

## Результаты и обсуждения

После проведения экспериментов порошок был просушен и исследован при помощи методов оптической микроскопии (рис. 4).

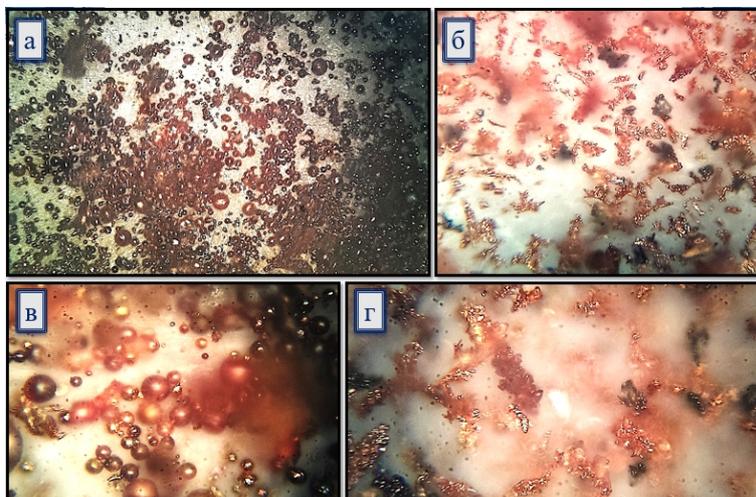


Рис. 3. Форма частиц медного порошка марки ПМС-1 до и после плазменной обработки: а – после обработки, б – до обработки (увеличение в 100 раз); в – после обработки, г – до обработки (увеличение в 400 раз)

Таким образом, экспериментально доказана высокая эффективность плазменной сфероидизации частиц порошковых материалов. Сферическая форма обеспечивает их необходимую сыпучесть, которая необходима для производства изделий аддитивными технологиями.

## Выводы

Нагрев и плавление частиц в потоке плазмы обеспечивает им сферическую форму, которая является основным требованием к порошкам для трехмерной печати.

Следовательно, данный способ получения сферических частиц имеет большие перспективы как метод производства специализированных металлических порошков для аддитивных технологий.

## Список литературы

1. Довбыш В.М., Забеднов П.В., Зленко М.А. Аддитивные технологии и изделия из металла // Библиотечка литейщика. – 2014. – № 9. – С. 29–30.
2. Зленко М.А., Попович А.А., Мутьлина И.Н. Аддитивные технологии в машиностроении. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. – С. 116–119.
3. Зленко М.А., Нагайцев М.В., Довбыш В.М. Аддитивные технологии в машиностроении: пособие для инженеров. – М.: НАМИ, 2015. – С. 160–171.
4. Tsantrizos P.G., Allaire F., Entezarian M. Method of production of metal and ceramic powders by plasma atomization: patent US 5707419. – Appl. date 15.08.1997; publ. date 13.01.1998.

5. *Boulos M.* Plasma power can make better powders // *Metal Powder Report.* – 2004. – Vol. 59, iss. 5. – P. 16–21.

6. Патент 2474983 Российская Федерация. Узел кольцевого ввода порошкового материала электродугового плазмотрона / В.И. Кузьмин А.А. Михальченко, Е.В. Картаев. – № 2011128160/07; заявл. 07.07.2011; опубл. 10.02.2013.

7. Регулирование размера частиц порошков при плазменном распылении пруткового материала / Н.Н. Струков, Д.С. Белинин, П.С. Кучев, Ю.Д. Щицын // *Вестник Пермского государственного технического университета. Машиностроение, материаловедение.* – 2011. – Т. 13, № 3. – С. 117–121.

8. Плазменное напыление порошковых покрытий при газодинамической фокусировке дисперсной фазы / В.И. Кузьмин, Е.В. Картаев, Д.В. Сергачев, Е.Е. Корниенко, Е.Ю. Лапушкина, А.О. Токарев // *Актуальные проблемы в машиностроении.* – 2014. – № 1. – С. 482–488.

## APPLICATION PLASMA TREATMENT SPHEROIDIZATION FOR METAL POWDER

**Saprykin A.A.**<sup>1</sup>, Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: sapraa@tpu.ru

**Kuzmin V.I.**<sup>2</sup>, Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: vikuzmin57@mail.ru

**Sergachev D.V.**<sup>2</sup>, Ph.D. student, e-mail: sergachev@mail.ru

**Dudihin D.V.**<sup>3</sup>, Master's Degree student, e-mail: dudihin@tpu.ru

<sup>1</sup> Yurga Institute of Technology, TPU Affiliate, 26 Leningradskaya st., Yurga, 652055, Russian Federation

<sup>2</sup> Khristianovich Institute of Theoretical and Applied Mechanics SB RAS, 4/1 Institutskaya str., Novosibirsk, 630090, Russian Federation

<sup>3</sup> National Research Tomsk Polytechnic University, 30 Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russian Federation

### Abstract

This article describes the basic methods of production of specialized metal powders for laser additive manufacturing. The brief overview of the principles of the atomizers, highlighting major shortcomings. an alternative method of production of specialized metal powder have been proposed for addition of laser technology - plasma treatment. The technique of the experiment the plasma treatment of the brand PMS-1 metal powder. According to the results of the research conclusions were drawn about the possibility of applying plasma processing to optimize the shape of the powder particles.

### Keywords

Laser additive manufacturing, atomization, specialty metal powder, spherical particle shape, plasma treatment, spheroidization

УДК 621.785

**ИЗМЕНЕНИЕ РАЗМЕРОВ И ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ  
ОБРАЗЦОВ ИЗ СТАЛИ Ст3 ПРИ ДИФФУЗИОННОМ НАСЫЩЕНИИ  
БОРОМ, ХРОМОМ И ТИТАНОМ**

*А.М. ГУРЬЕВ, доктор техн. наук, профессор*  
*С.Г. ИВАНОВ, канд. техн. наук, инженер*  
*М.А. ГУРЬЕВ, канд. техн. наук, докторант*  
*А.В. СОБАЧКИН, канд. техн. наук, с.н.с*  
*Т.Г. ИВАНОВА, аспирантка*  
*(АлтГТУ, г. Барнаул)*

**Гурьев А.М.** - – 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,  
e-mail: gurievam@mail.ru

В работе проведены исследования эволюции размеров и массы образцов из стали Ст3 в зависимости от параметров технологического процесса нанесения многокомпонентного диффузионного покрытия на основе бора, хрома и титана. Установлено, что прирост размеров образцов из стали Ст3 практически не зависит от состава насыщающей среды, метода насыщения и толщины боридного диффузионного слоя и составляет в среднем 0,12 мм на 100 мкм толщины диффузионного слоя. Шероховатость поверхности образцов из стали Ст3 имеет существенную зависимость от состава насыщающей среды и метода насыщения: при одновременном многокомпонентном насыщении бором, хромом и титаном шероховатость растет в меньшей степени, чем при однокомпонентном борировании.

**Ключевые слова:** бор, хром, титан, борирование, сталь, покрытие, диффузия

**Введение**

Повышение ресурса работы рабочих органов и деталей машин является как актуальной научной проблемой современного материаловедения, так и задачей машиностроительной отрасли. Среди множества способов поверхностного упрочнения большое внимание привлекают способы химико-термической обработки (ХТО). Перспективными способами ХТО являются борирование, а также совмещенные процессы – борохромирование, боротитанирование, бороалитирование и т.д. В литературе, как отечественной, так и в зарубежной данных по эволюции шероховатости и приросту размеров в результате химико-термической обработки крайне мало. Цель данной работы – сравнение таких параметров как шероховатость и увеличение размеров при насыщении из смеси для борирования и смеси для одновременного насыщения бором, хромом и титаном на основе карбида бора.

**Методика экспериментального исследования**

Процесс насыщения вели в камерной печи типа СНОЛ, оснащенной ПИД-контроллером «Термодат 16Е-3». Температуру насыщения выбрали равной 950°C, так как при более высокой температуре, во-первых, происходит значительный угар насыщающей

среды, что может привести к оплавлению поверхности образца в результате образования легкоплавкой боридной эвтектики [1–7]. Во-вторых, меньшая температура насыщения существенно замедляют процессы диффузии и скорость роста диффузионного слоя [8–12]. Время насыщения было выбрано равным 150 минутам, так как за это время формируется диффузионный слой оптимальной толщины с наилучшими эксплуатационными свойствами [13–18].

В качестве образцов использовались параллелепипеды из стали Ст3 с размерами 15x10x50 мм. Две поверхности параллелепипедов были отшлифованы. На каждую из шлифованных сторон наносили насыщающие среды в виде обмазки разного состава: на одну сторону наносили состав для комплексного бор-хром-титанирования [17, 18], а на вторую – состав для борирования [18]. Размеры до и после борирования контролировали микрометром МК 25-1. Шероховатость шлифованных поверхностей до и после борирования замеряли в двенадцати местах (по шесть измерений на сторону) при помощи лазерного профилографа-профилометра Veeco. Микроструктуру и толщину диффузионного слоя исследовали при помощи программно-аппаратного комплекса «Thixomet Pro», включающего программный комплекс «Thixomet» и оптический микроскоп Carl Zeiss Axio Observer Z1m.

## Результаты и обсуждение

Результаты замеров шероховатости и размеров приведены в таблице.

Таблица

Размер до насыщения, мм		Размер после насыщения, мм		Шероховатость до насыщения $R_A$ , нм		Шероховатость после насыщения $R_A$ , нм	
Сторона 1	Сторона 2	Сторона 1	Сторона 2	Сторона 1	Сторона 2	Сторона 1	Сторона 2
9,64	9,60	9,76	9,75	330,87	364,25	774,55	1390,00
				405,57	306,40	609,93	1030,00
9,53	9,56	9,74	9,74	302,23	355,40	782,77	1060,00
				408,04	400,99	852,87	808,97
9,53	9,56	9,74	9,74	295,36	398,38	1007,00	695,57
				278,19	394,93	670,29	896,88
Средние значения							
9,57	9,57	9,75	9,74	336,71	370,06	782,90	980,24

Как видно из таблицы, толщина образцов выросла в среднем на 0,18 мм в случае комплексного насыщения бором, хромом и титаном и на 0,17 мм в случае однокомпонентного борирования. Толщина диффузионных слоев при этом составила 163,3 и 145,5 мкм для комплексного бор-хром-титанирования и борирования соответственно.

Шероховатость при этом изменилась более кардинально: при комплексном насыщении бором, хромом и титаном шероховатость  $R_A$  выросла на 130% или в 2,32 раза (с 336,71 нм до 782,90 нм), при однокомпонентном борировании рост шероховатости произошел на 165% или в 2,65 раз (с 370,06 нм до 980,24 нм).

## Выводы

1. Прирост размеров стальных образцов практически не зависит от состава насыщающей среды, метода насыщения и толщины боридного диффузионного слоя и составляет в среднем 0,12 мм на 100 мкм толщины диффузионного слоя.

2. Шероховатость поверхности образцов из стали Ст3 имеет существенную зависимость от состава насыщающей среды и метода насыщения: при одновременном многокомпонентном насыщении бором, хромом и титаном шероховатость растет в меньшей степени, чем при однокомпонентном борировании – 2,32 и 2,65 раз соответственно. Данное явление можно объяснить более равномерным распределением диффундирующих элементов по насыщаемой поверхности в случае одновременного комплексного насыщения металлами и неметаллом.

### Список литературы

1. Комплексное насыщение сталей бором и хромом – борохромирование / С.Г. Иванов, А.М. Гурьев, Е.А. Кошелева, О.А. Власова, М.А. Гурьев // Ползуновский альманах. – 2008. – № 3. – С. 53.
2. Распределение атомов бора и углерода в диффузионном слое после борирования стали 08кп / А.М. Гурьев, Б.Д. Лыгденов, В.И. Мосоров, Б.С. Инхеев // Современные наукоемкие технологии. – 2006. – № 5. – С. 35–36.
3. Лыгденов Б.Д., Гурьев А.М. Влияние состава насыщающей среды на структуру и свойства диффузионного слоя при титанировании сталей // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2000. – Т. 43, № 11. – С. 269.
4. Kazakov A.A., Kiselev D. Industrial application of Thixomet image analyzer for quantitative description of steel and alloy's microstructure // *Metallography, Microstructure, and Analysis*. – 2016. – Vol. 5, iss. 4. – P. 294–301. – doi: 10.1007/s13632-016-0289-6.
5. Research on the origin of nonmetallic inclusions in high-strength low-alloy steel using automated feature analysis / A.A. Kazakov, S. Ryaboshuk, D. Lyubochko, L. Chigintsev // *Microscopy and Microanalysis*. – 2015. – Vol. 21 (S3). – P. 1755–1756. – doi: 10.1017/S1431927615009551.
6. Kazakov A.A., Kiselev D. Industrial application of Thixomet image analyzer for quantitative description of steel and alloy's microstructure // *Microscopy and Microanalysis*. – 2015. – Vol. 21 (S3). – P. 457–458. – doi: 10.1017/S1431927615003086.
7. Thixomet image analyzer for characterization of 2D and 3D materials structure / A.A. Kazakov, N.H. Luong, E.I. Kasakova, E.M. Zorina // *Understanding processing, structure, property and behavior correlations: proceedings of the 32nd annual Convention of the International Metallographic Society, Cincinnati, Ohio, 31 October – 3 November 1999*. – Materials Park, Ohio: ASM International, 2000. – P. 133–142. – (Microstructural Science; vol. 27).
8. Неметаллические включения и природа дефектов холоднокатаного листа. Ч. 1. Дефект «плена» / А.А. Казаков, П.В. Ковалев, А.Л. Мясников, А.А. Дробинин, С.Д. Зинченко // *Черные металлы*. – 2006. – № 2. – С. 32–37.
9. Effect of boronizing medium on dispersion layer of austenitic stainless steel / S. Yunus, S.K. Alias, F.R. Wong, A.A. Rashid, N.R. Abdullah // *Journal of Engineering and Applied Sciences*. – 2015. – Vol. 10, iss. 17.
10. Features of multicomponent saturation alloyed by steels / S.G. Ivanov, I.A. Garmaeva, M.A. Guriev, A.M. Guriev, M.D. Starostenkov // *Lecture Notes in Control and Information Sciences*. – 2015. – Vol. 22. – P. 49–53.
11. Special features of preparation of saturating mixtures for diffusion chromoborating / S.G. Ivanov, A.M. Guriev, M.D. Starostenkov, T.G. Ivanova, A.A. Levchenko // *Russian Physics Journal*. – 2014. – Vol. 57, iss. 2. – P. 266–269.
12. FeB/Fe2B phase transformation during SPS pack-boriding: Boride layer growth kinetics / L.G. Yu, X.J. Chen, K.A. Khor, G. Sundararajan // *Acta Materialia*. – 2005. – Vol. 53, iss. 8. – P. 2361–2368.

13. Boriding kinetics of Fe<sub>2</sub>B layers formed on AISI 1045 steel / J. Zuno-Silva, M. Ortiz-Domínguez, M. Keddám, M. Elias-Espinosa, O. Damián-Mejía, E. Cardoso-Legorreta, M. Abreu-Quijano // *Journal of Mining and Metallurgy, Section B: Metallurgy*. – 2014. – Vol. 50, iss. 2. – P. 101–107.
14. Boriding of Equiatomic Fe-Mn Binary Alloy / A. Calika, Y. Gencerb, M. Tarakcib, K.O. Gunduzb, A.E. Gulecb // *Acta Physica Polonica A*. – 2013. – Vol. 123, N 2. – P. 449–452. – doi: 10.12693/APhysPolA.123.449.
15. Gunes I., Kayali Yu., Ulu S. Investigation of surface properties and wear resistance of borided steels with different B<sub>4</sub>C mixtures // *Indian Journal of Engineering & Material Sciences*. – 2012. – Vol. 19 (6). – P. 397–402.
16. Campos-Silva I. The boriding process: growth kinetics and mechanical characterization of boride layers // *JESTECH*. – 2012. – Vol. 15 (2). – P. 53–61.
17. Milinović A., Krumes D., Marković R. An investigation of boride layers growth kinetics on carbon steels // *Technical Gazette*. – 2012. – Vol. 19 (1). – P. 27–31.
18. Krzyminski H. Process for boriding steel: patent US 3806374. – Publ. date 23.04.1974.
19. Sutrisno S.B., Hikam M. Surface hardening of St41 low carbon steel by using the boronizing powder and pressured-heating technique // *Research Journal of Material Sciences*. – 2013. – Vol. 1 (10). – P. 1–5.
20. Gunes I., Ozcatal M. Diffusion kinetics and characterization of borided AISI H10 steel // *Materials and Technology*. – 2015. – Vol. 49 (5). – P. 759–763.

### CHANGE THE SIZE AND SURFACE ROUGHNESS SAMPLES OF STEEL St3 IN DIFFUSION SATURATION OF BORON, CHROMIUM AND TITANIUM

**Guriev A.M.**, D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: gurievam@mail.ru

**Ivanov S.G.**, Ph.D. (Engineering), Engineer, e-mail: serg225582@mail.ru

**Guriev M.A.**, Ph.D. (Engineering), Doctoral candidate, e-mail: gurievma@mail.ru

**Sobachkin A.V.**, Ph.D. (Engineering), Senior researcher, e-mail: pr\_mech@mail.ru

**Ivanova T.G.**, Ph.D. student, e-mail: tatiana-8989@mail.ru

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

#### Abstract

The evolution of the studied sample sizes and masses of steel St3 depending on deposition process parameters of multicomponent of diffusion coatings based on boron, chromium and titanium. Growth steel specimen dimensions substantially independent of the composition of the saturating medium and the method saturation. The size increase an average of 0.12 mm for every 100 microns thickness of the diffusion layer. The surface roughness of the samples of steel St3 depends on the composition of saturating medium and the saturation method.

#### Keywords

boron, chromium, titanium, boriding, steel, coating, diffusion

УДК 621.9.047

**ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ РАСТВОРЕНИЕ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ Р6М5  
И Р9К5 В ВОДНОМ РАСТВОРЕ НЕЙТРАЛЬНОЙ СОЛИ Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>**

**В.В. ЯНПОЛЬСКИЙ**, канд. техн. наук, доцент  
**М.В. ИВАНОВА**, аспирант  
(НГТУ, г. Новосибирск)

**Иванова М.В.** - 630073, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20,  
Новосибирский государственный технический университет,  
e-mail: ivanova777888@yandex.ru

Проведены экспериментальные исследования электрохимического растворения быстрорежущих сталей Р6М5 и Р9К5 в водном 10% растворе нейтральной соли Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Установлено, что электрохимическое растворение быстрорежущей стали Р6М5 в водном растворе сульфата натрия происходит в активном состоянии в диапазоне потенциалов от 0 до 7,5 В, о чем свидетельствует непрерывное увеличение плотности тока. В диапазоне потенциалов 7,5 до 8 В плотность тока не возрастает. Электрохимическое растворение стали Р9К5 в водном растворе 10 % нейтральной соли Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> происходит в активном состоянии в диапазоне потенциалов от 1 до 8 В. Наибольшее значение плотности тока  $i=11,937\text{A}/\text{cm}^2$  было достигнуто при  $\varphi = 8\text{ В}$  в водном растворе 10% Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

**Ключевые слова:** электрохимическое растворение, быстрорежущие стали, пассивация, поляризационные исследования, электролиты.

**Введение**

Быстрорежущие стали нашли широкое применение в промышленности, благодаря составу легирующих элементов, которые придают стали определенные физические, химические и механические свойства. Они имеют высокую прочность, износостойкость. Такие свойства достигаются путем легирования вольфрамом, молибденом, ванадием и хромом. Применение традиционных методов обработки изделий из быстрорежущих сталей в закаленном состоянии зачастую приводит к появлению дефектов, снижающих их работоспособность. К таким дефектам следует отнести прижоги и микротрещины. Для того чтобы исключить возможность образования таких дефектов необходимо использовать для формообразования быстрорежущих сталей электрохимическую обработку [1]. Главными достоинствами электрохимической обработки являются высокая производительность, отсутствие износа электрод - инструмента. Именно эти достоинства определили перспективность ее применения в промышленности при формообразовании сложнопрофильных деталей и инструментов из быстрорежущей стали. Выявление особенностей электрохимического растворения металлов и сплавов в электролитах различного состава возможно при изучении анодных поляризационных характеристик, устанавливающих зависимость величины плотности тока от потенциала анода. Для их определения используется потенциодинамический метод исследования [2].

**Методика экспериментального исследования**

Для проведения поляризационных исследований использовали образцы из сталей Р6М5 и Р9К5 ГОСТ 19265-73. Исследование электрохимического растворения быстрорежущих сталей Р9К5 и Р6М5 проводилось на потенциостате Elins Р-20Х. Потенциал анода изменялся в диапазоне от 0 до 8 В. В качестве электролита для поляризационных

исследований был выбран 10% раствор нейтральной соли  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  в воде [3]. Эксперименты проводились в трехэлектродной электрохимической ячейке. Зазор между исследуемым образцом (анодом) и электродом сравнения составлял 0,1 мм. При подготовке рабочего электрода его боковые поверхности изолировались эпоксидной смолой в специальную эбонитовую оправку таким образом, чтобы происходило растворение только торцевой поверхности образца.

### Результаты и обсуждение эксперимента

В результате проведенных экспериментальных исследований были получены поляризационные характеристики электрохимического растворения быстрорежущих сталей Р6М5 и Р9К5 в водном растворе  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (рисунок 1).

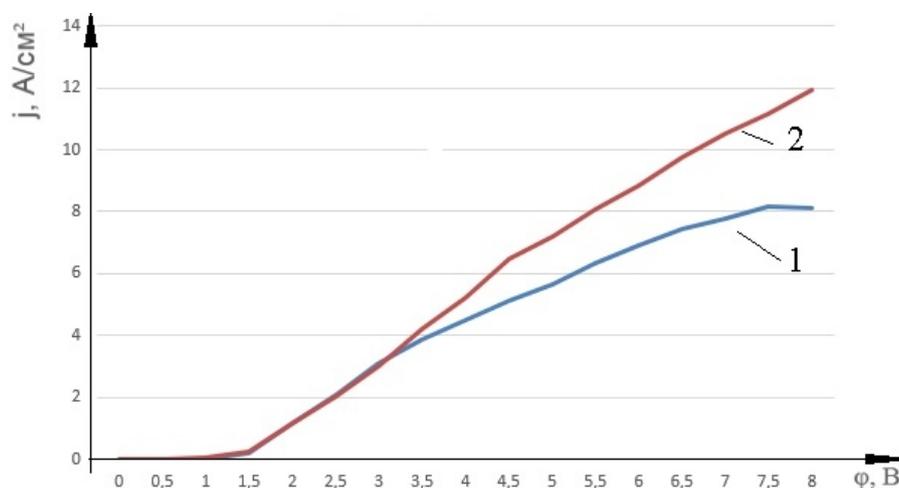


Рис. 1. Потенциодинамические поляризационные кривые анодного растворения в водном растворе нейтральной соли 10%  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  быстрорежущих сталей: 1- Р6М5; 2 – Р9К5.

Анализ полученных поляризационных зависимостей позволил установить области потенциалов активного и пассивного растворения исследуемых сталей. Из рисунка видно, что электрохимическое растворение исследуемой стали Р6М5 (рисунок 1, кривая 1) происходит в активном состоянии в диапазоне потенциалов от 0 до 7,5 В, о чем свидетельствует непрерывное увеличение плотности тока. В диапазоне потенциалов 7,5 до 8 В плотность тока не возрастает. Из рисунка 1 видно, что растворение исследуемой стали Р9К5 (рисунок 1, кривая 2) в водном растворе 10 %  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  происходит в активном состоянии в диапазоне потенциалов от 1 до 8 В., о чем свидетельствует непрерывное увеличение плотности тока с повышением потенциала анода. Вероятно, анион  $\text{SO}_4^-$  препятствует образованию окисной пленки на поверхности стали, вытесняя кислород.

Исследуемые быстрорежущие стали Р9К5, Р6М5 являются аналогами. Характер электрохимического растворения при потенциодинамическом методе у выбранных материалов одинаков и отличается только значениями плотности тока. Вероятно, это связано с тем, что у каждой выбранной стали количество вольфрама разное, и с повышением концентрации вольфрама 6 % (Р6М5), 9 % (Р9К5) размеры карбидных частиц и зерен увеличиваются. Наибольшее значение плотности тока  $i=11,937\text{А/см}^2$  было достигнуто при  $\phi = 8\text{ В}$  в водном растворе 10%  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

## Выводы

Таким образом, проведенные исследования позволили установить, что электрохимическое растворение быстрорежущих сталей Р6М5 и Р9К5 в 10 % водном растворе  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  имеет схожий характер активного растворения в диапазоне потенциалов от 0 до 7,5 В, о чем свидетельствует непрерывное увеличение плотности тока. Электрохимическое растворение при потенциалах от 7,5 до 8 В у стали Р6М5 наблюдается стабилизация процесса, а у стали Р9К5 непрерывное увеличение тока на всем диапазоне потенциалов. Вероятно, активизация процесса у быстрорежущей стали Р9К5 на всем диапазоне потенциалов связано с тем, что анион  $\text{SO}_4^-$  препятствует образованию окисной пленки на поверхности стали, вытесняя кислород. Наибольшее значение плотности тока  $i=11,937\text{A}/\text{cm}^2$  было достигнуто при  $\varphi = 8\text{ В}$  в водном растворе 10%  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

## Список литературы

1. 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.
2. Рахимьянов Х.М., Красильников Б.А., Василевская С.И. Исследование электролитов, обеспечивающих точность электрохимической обработки меди М1 // Инновации в машиностроении – основа технического развития России: материалы 6 международной научно-технической конференции, Барнаул, 23–26 сент. 2014 г. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2014. – Ч. 2. – С. 100–104.
3. Рахимьянов Х.М., Красильников Б.А., Янпольский В.В. Повышение производительности процесса электроалмазного шлифования быстрорежущих сталей // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2006. – № 4. – С. 7–8.

## ELECTROCHEMICAL DISSOLUTION OF THE QUICK CUTTING STEELS R6M5 AND R9K5 IN WATER SOLUTION OF NEUTRAL $\text{Na}_2\text{SO}_4$

Yanpolskiy V.V., D.Sc. (Engineering), Associate Professor, e-mail: yanpolskiyv@mail.ru  
Ivanova M.V., Post-graduate Student, e-mail: ivanova777888@yandex.ru

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

### Abstract

Experimental researches of electrochemical dissolution are conducted the quick cutting steels R6M5 and R9K5 in water solution of neutral  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . It was established that electrochemical dissolution of quick cutting steel in water solution of neutral  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  salts happened in an active state in the range of potentials from 0 to 7,5 V and was followed by the braking plot  $\varphi = 8\text{ V}$ , connected with the formation of an oxide film on the surface of the sample. Electrochemical dissolution of the steels R9K5 in water solution of neutral  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  salts happened in an active state in the range of potentials from 0 to 8 V. The greatest value of current density of  $i=11,937\text{ A}/\text{cm}^2$  was reached at dissolution of P9K5 quick cutting steel in water solution of 10% of  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  of potentials from 8 V.

### Keywords

electrochemical dissolution, quick cutting steel, passivation, polarizing researches, electrolytes

УДК 629.4.027.11

**ПЕРСПЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛЫХ ВАГОННЫХ ОСЕЙ  
НА ОСНОВЕ ВИНТОВОЙ ПРОШИВКИ**

*В.П. РОМАНЕНКО*<sup>1</sup>, канд. техн. наук, профессор  
*А.И. МАНЬКО*<sup>2</sup>, канд. техн. наук,  
начальник бюро НИОКР и военной техники  
*П.П. СТЕПАНОВ*<sup>3</sup>, канд. техн. наук, директор ИТЦ  
*О.В. ПЕРМИНОВА*<sup>2</sup>, начальник бюро ОМД ДГМет  
*С.М. КРИСКОВИЧ*<sup>1</sup>, аспирант  
(<sup>1</sup> НИТУ МИСиС, г. Москва,  
<sup>2</sup> ПАО «Мотовилихинские заводы», г. Пермь,  
<sup>3</sup> АО «ВМЗ», г. Выкса)

**Романенко В.П.** – 119991, г. Москва, Ленинский пр-т, 4,  
Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,  
e-mail: romanenko-misis@yandex.ru

В статье рассмотрен вопрос производства полых осей для железнодорожного транспорта, приведены преимущества таких осей в сравнении со сплошными осями. Описана разрабатываемая технология изготовления полых вагонных осей на основе операций прошивки и радиальнойковки с основными этапами производства. Представлены результаты изготовления экспериментальных осей на ПАО «Мотовилихинские заводы» из полых заготовок, полученных методом винтовой прошивки на АО «ВМЗ». Проведены механические испытания образцов на растяжение и ударную вязкость. Представлены сравнительные результаты механических испытаний с существующими требованиями для сплошных осей.

**Ключевые слова:** полая вагонная ось, винтовая прокатка, прошивка, радиальнаяковка, осевая нагрузка, особотолстенная заготовка.

**Введение**

Развитие грузоперевозок железнодорожным транспортом связано с повышением грузоподъемности железнодорожного состава [1]. Существует ряд способов достижения повышенной грузоподъемности, одним из которых являются увеличение осевой нагрузки.

Решением, позволяющим увеличить осевую нагрузку является использование полых вагонных осей. Полые вагонные оси обладают меньшей массой по сравнению со сплошными осями. Уменьшение массы связано с наличием отверстия постоянного или переменного сечения по всей длине оси. В зависимости от конструкции железнодорожной оси уменьшение массы может достигать 25%. [2, 3] Допустимая осевая нагрузка полых осей будет также выше, чем у сплошных осей. Это связано с методами поверхностного упрочнения, эффективность которых для полых изделий выше, чем для сплошных [4]. Кроме указанных преимуществ эксплуатация полых вагонных осей ведет к меньшей неподдрессированной массе вагона [5], а также меньшим энергетическим расходам при транспортировке [6].

Основным вопросом изготовления полых вагонной оси является способ формирования внутреннего отверстия. Существующие способы можно разделить на две категории – получение изначально полых заготовок и формирование полости в процессе изготовления

оси. К первой категории относятся такие способы как центробежное литье, литье намораживанием, непрерывное литье с использованием дорнов [7]. Во вторую категорию включены способы прессовой прошивки, сверления, и винтовой прокатки сплошной заготовки [8].

В настоящее время в качестве основного способа получения осевого отверстия применяется глубокое сверление чистовой сплошной оси. Сверление позволяет изготовить качественное внутреннее отверстие постоянного диаметра, используемое для точного ультразвукового контроля вагонной оси с возможностью проведения УЗК без демонтажа колесной пары с вагона [9]. Оси, изготовленные с использованием сверления, находят широкое применение в высокоскоростных поездах [10, 11]. Однако из-за своей высокой стоимости на пассажирских и грузовых поездах такие оси не применяются.

### Методика

НИТУ «МИСиС» совместно с АО «ВМЗ» и ПАО «Мотовилихинские заводы» в настоящее время разрабатывает перспективную технологию производства полых вагонных осей. В основе данной технологии лежит совмещение процессов винтовой прошивки для получения отверстия в заготовке и радиальной ковки для изготовления черновой оси.

Винтовая прошивка характеризуется высокой проработкой макроструктуры за счет активного тангенциального сдвигового смещения, формированием ориентации волокнистой структуры, которая в условиях циклических нагрузок благоприятно влияет на эксплуатационные свойства изделий, большей производительностью по сравнению с другими способами формирования внутреннего отверстия [12].

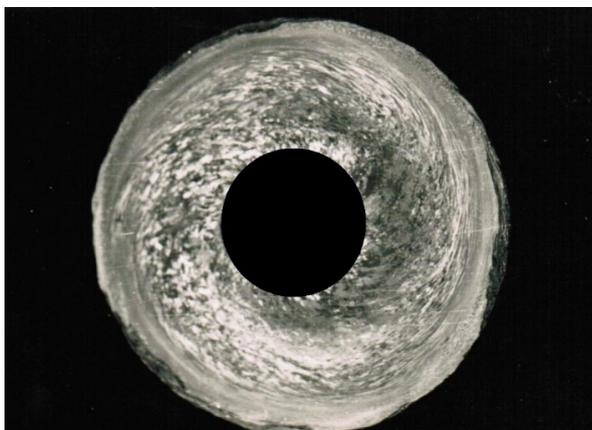


Рис. 1. Макроструктура поперечного сечения толстостенной трубы

Использование прошивки является более предпочтительным в сравнении с производством полых осей методом сверления. При сверлении разрезается сформированная ковкой структура металла, что ведёт к уменьшению допускаемой осевой нагрузки. В то же время прошивка позволяет получить внутреннее отверстие без разрушения волокнистой структуры. Положительное влияние винтовой прошивки отмечено при изготовлении экспериментальных железнодорожных колес из прошитых заготовок [13].

По разрабатываемой технологии в качестве исходной заготовки используется сплошная заготовка квадратного или круглого сечения, полученная методом непрерывного литья. Непрерывнолитую заготовку передают на радиально-ковочную машину и куют с минимальной степенью укова 3 для достижения необходимых механических свойств, макро- и микроструктуры [14]. Полученную поковку круглого сечения прошивают на стане винтовой прокатки в особотолстостенную гильзу и калибруют, а затем профилируют на РКМ

с использованием оправки. Полученная черновая ось подвергается нормализации и механической обработке для достижения чистовых размеров.

Общая схема изготовления полых вагонных осей по разрабатываемой технологии представлена на рисунке 2.

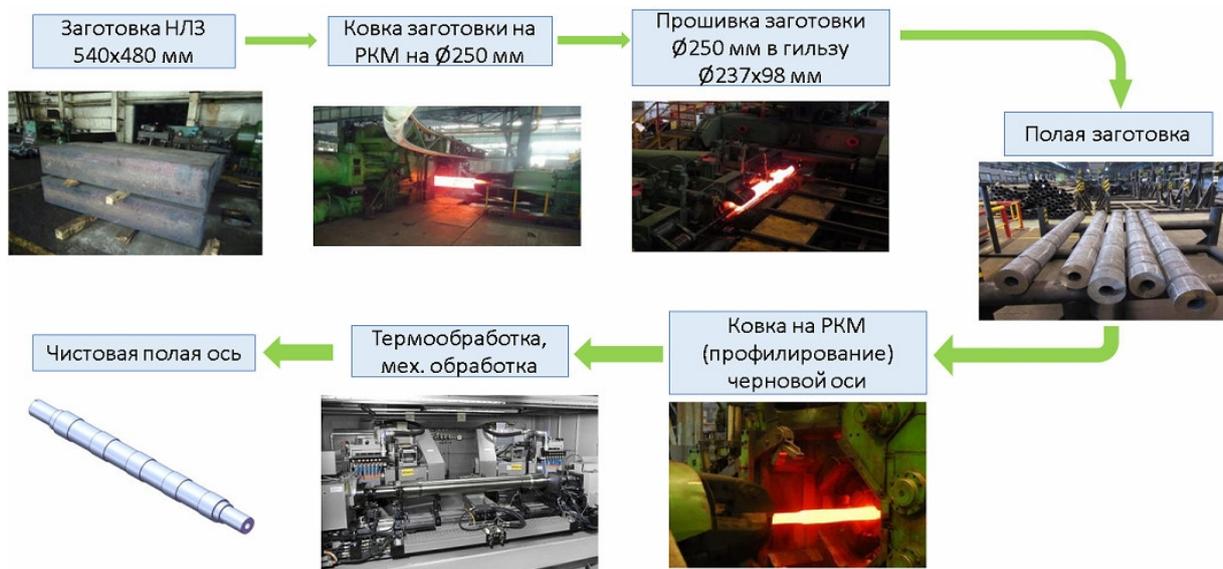


Рис. 2. Технологическая схема производства полых вагонных осей

По данной технологии существует возможность изготавливать широкий спектр конструкций вагонных осей с внутренним отверстием постоянного и переменного диаметров для колеи разной ширины.

### Результаты и обсуждение

На основе разработанной технологии было осуществлено производство экспериментальных полых вагонных осей.

Предварительно были разработаны чертежи конструкции полой вагонной оси (рисунок 3) с внутренним отверстием переменного диаметра на основе сплошной оси РУ1Ш. Внешние размеры были полностью сохранены, что даёт возможность замены сплошных осей РУ1Ш на полые без изменения конструкции ходовой части вагонов.

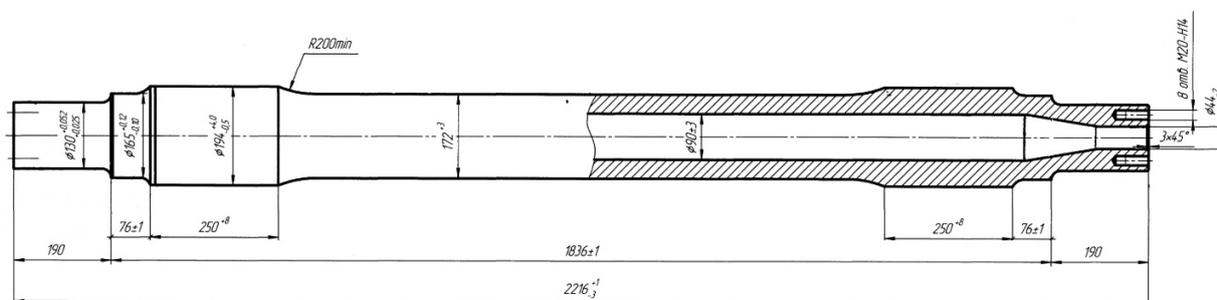


Рис. 3. Конструкция полой вагонной оси

Исходная заготовка - НЛЗ квадратного сечения 540x480 мм производства «Камасталь» с химическим составом, приведенным в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав стали ОС

Марка	C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	Cu	Mo	Ni
ОС	0,42	0,15	0,60	0,035	0,035	0,015	≤0,30	≤0,25	—	≤0,30

Ковка НЛЗ до диаметра 250 мм осуществлялась на радиально-ковочной машине SXP-55 ПАО «Мотовилихинские заводы». Общий уков составил 5,3. Режим термообработки - отжиг при 860-880 °С.

Прошивка осуществлялась на ТПА 70-270 АО «ВМЗ», предназначенном для изготовления труб широкого сортамента. На данном агрегате были проведены исследования для получения осеботостенных труб и показана возможность их изготовления с соотношением внешнего диаметра к толщине стенки D/S от 2,8 до 5. Такие осеботолстенные трубы можно использовать в качестве полой заготовки для вагонных осей [15]. На рисунке 4 представлен внешний вид полученных заготовок.



Рис. 4. Прошитые осевые заготовки

При прошивке в качестве рабочего инструмента использованы валки диаметром 750 мм со входным углом конусности 3,5° и выходным углом конусности 4°, оправка диаметром 96 мм. Прошивка проводилась при угле подачи 12°. Полученные осевые заготовки подверглись калибровке и охлаждению. Геометрические параметры полученных осевых заготовок составляли: длина L = 3100 мм, внешний диаметр D = 237 мм, внутренний диаметр d = 98 мм, соотношение внешнего диаметра к толщине стенки D/S=3.2.

Профилирование полых осевых заготовок проводилось на РКМ SXP-55. С учетом особенностей конструкции РКМ изготовление черновой полой оси выполняли в два прохода. В первом проходе проводилась посадка полой гильзы на оправку диаметром 90 мм с формированием центральной части оси меньшего диаметра. Во втором проходе выполнялось профилирование участков шеек полой вагонной оси на оправке диаметром 36 мм. Черновая полая ось представлена на рисунке 5.

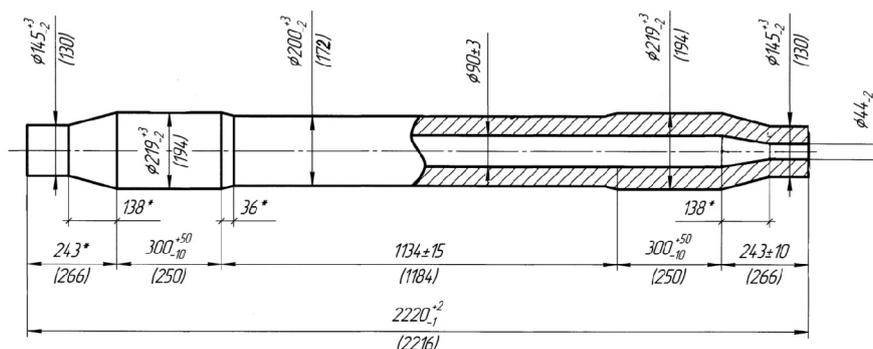


Рис. 5. Черновая полая вагонная ось

После изготовления полых вагонных осей были проведены механические испытания образцов, изготовленных из технологического припуска [16]. Полученные результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2

Требования к механическим свойствам стали черновых осей и результаты мехиспытаний полученных полых осей

	Временное сопротивление разрыву $\sigma_b$ , Н/мм <sup>2</sup>	Предел текучести $\sigma_t$ , Н/мм <sup>2</sup>	Относительное удлинение $\delta$ , %	Ударная вязкость КСЧ при 20 °С, Дж/см <sup>2</sup>	
				Среднее значение	Минимальное значение
ГОСТ	630 и более	>330	>19,0	>44	>34
Результаты испытаний	650	380	26,0	58,8	56,0

### Выводы

Предложена перспективная технология получения полых вагонных осей на основе винтовой прошивки осевого отверстия взамен сверления.

Проведены экспериментальные исследования и получены особотолстостенные полые заготовки для вагонных осей с D/S=3,2.

По предлагаемой технологии в промышленных условиях на ТПА 70-270 АО «ВМЗ» и оборудовании ПАО «Мотовилихинские заводы» изготовлены экспериментальные полые черновые и чистовые оси с внутренним отверстием 90 мм, унифицированные со сплошными осями РУ1Ш. По результатам испытаний механические свойства полученных осей превысили требования ГОСТ. В частности, среднее значение ударной вязкости превышает требование ГОСТ на 33%, а минимальное значение ударной вязкости - на 65%.

По разрабатываемой технологии существует возможность изготовления полых вагонных осей различных конструкций, отличающихся как внешними геометрическими параметрами, так и диаметром внутреннего отверстия.

### Список литературы

1. Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года. Распоряжение Правительства РФ от 17.06.2008 № 877-р.
2. Ware D.K., Gay M. Hollow axle development by London Regional Transport and British Steel // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering. – 1985. – Vol. 199 (D4). – P. 265–274.
3. Kolesnikov S.R., Romaniukha M.R., Kebab I.Yu. Wheelset axle with the cavity of uniform cross section // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – 2014. – № 5 (53). – P. 119–125.
4. Полые оси и валы / Л.М. Школьник, Ю.Е. Коваленко, Н.И. Мартынов, Л.А. Усова. – М.: Машиностроение, 1968.
5. Новиков В.В. Полая вагонная ось для нагрузки 25 тс // Вестник ВНИИЖТ. – 2002. – № 4. – С. 36–41.

6. *Antunes R., Fonseca A., Júnior C.* Railcar hollow axle. – Warrendale, PA: SAE International, 2007. – (SAE Technical Paper; 2007-01-2720). – doi: 10.4271/2007-01-2720.
7. Технологический вариант изготовления полой заготовки / С.П. Буркин, Е.А. Коршунов, Н.А. Бабайлов, Р.Ф. Исхаков] // Инновационные технологии в металлургии и машиностроении: материалы 6-й международной молодежной научно-практической конференции «Инновационные технологии в металлургии и машиностроении. Уральская научно-педагогическая школа имени профессора А.Ф. Головина». – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2012. – С. 781–789.
8. *Богатов А.А.* Разработка технического предложения по изготовлению полой оси вагонной тележки // Инновационные технологии в металлургии и машиностроении: материалы 6-й международной молодежной научно-практической конференции «Инновационные технологии в металлургии и машиностроении. Уральская научно-педагогическая школа имени профессора А.Ф. Головина». – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2012. – С. 638–641.
9. Development of components for an industry approved hollow-axle testing system / С. Richer, M. Froehlich, H. Scholz, N. Meyendorf // Proceedings 18th World Conference on Nondestructive Testing, 16–20 April 2012, Durban, South Africa. – Durban, 2012.
10. *Филиппов В.Н., Козлов И.В., Курыкина Т.Г.* Тележки пассажирских вагонов. Этапы развития конструкции: методические указания. – М.: МИИТ, 2013 – 64 с.
11. *Bracciali A.* Railway wheelsets: history, research and developments // International Journal of Railway Technology. – 2016. – Vol. 5, iss. 1. – P. 23–52.
12. Перспективная технология производства полых вагонных осей из полой заготовки / В.П. Романенко, П.П. Степанов, А.В. Гончарук, С.М. Крискович, Г.П. Илларионов, А.Н. Никулин, Г.А. Филиппов // Проблемы черной металлургии и материаловедения. – 2016. – № 2. – С. 27–34.
13. *Фомин А.В.* Исследование формоизменения заготовки, полученной винтовой прошивкой, для производства железнодорожных колес: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 2015. – 23 с.
14. ГОСТ 4728–2010. Заготовки осевые для железнодорожного подвижного состава. Технические условия. – Взамен ГОСТ 4728-96; введ. 2011–09–01. – М.: Стандартинформ, 2011.
15. Способ получения заготовки для производства полой вагонной оси / В.П. Романенко, Б.А. Романцев, Г.П. Илларионов, А.В. Фомин, В.Я. Зимин, П.П. Степанов // Металлург. – 2014. – № 8. – С. 78–82.
16. ГОСТ 33200–2014. Оси колесных пар железнодорожного подвижного состава. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2015.

## PERSPECTIVE TECHNOLOGY FOR PRODUCING HOLLOW RAILWAY AXLES BASED ON SCREW ROLLING

**Romanenko V.P.**<sup>1</sup>, Ph.D. (Engineering), Professor, e-mail: romanenko-misis@yandex.ru

**Manko A.I.**<sup>2</sup>, Ph.D. (Engineering), Head of R & D and military equipment bureau, e-mail: manko\_ai@mz.perm.ru

**Stepanov P.P.**<sup>3</sup>, Ph.D. (Engineering), Director of Research and Development Center, e-mail: Stepanov\_PP@vsw.ru

**Perminova O.V.**<sup>2</sup>, Head of metal forming bureau, e-mail: perminova\_ov@mz.perm.ru

**Kriskovich S.M.**<sup>1</sup>, Post-graduate Student, e-mail: serg.kriskovich@gmail.com

<sup>1</sup>The National University of Science and Technology MISiS, 4 Leninsky Prospekt, 119049, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup>Public Joint-Stock Company for Special Mechanical Engineering and Metallurgy Motovilikha Plants (PJSC Motovilikha Plants), 35, 1905 goda str., 614014, Perm, Russian Federation

<sup>3</sup>JSC “Vyksa Steel Works”, 45 Bratiev Batashevyykh Str., 607060, Vyksa, Nizhny Novgorod region, Russian Federation

### Abstract

The paper considers the issue of the production of hollow axles for railway transport; it adduces the advantages of such axles in comparison to solid axles. The article describes the elaborating technology of manufacturing the hollow axes on the basis of the screw rolling and radial forging operations with the main stages of production. There also presented the results of experimental axes manufacturing at PJSC “Motovilikha Plants” from the hollow blanks obtained by the method screw rolling at JSC “Vyksa Steel Works”. There were conducted the mechanical tests of samples for tensile and impact strength. The comparative results of mechanical tests with the existing requirements for solid axles are presented.

### Keywords

Hollow railway axle, screw rolling, piercing, radial forging, axial load, heavy-gauge tube

УДК 621.793.74

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ  
ИЗ НИКЕЛЬ-КЕРАМИЧЕСКОЙ ПОРОШКОВОЙ СМЕСИ\****В.В. ИВАНЦИВСКИЙ, доктор техн. наук, доцент**Е.А. ЗВЕРЕВ, канд. техн. наук, доцент**Н.В. ВАХРУШЕВ, аспирант**А.Н. БРЕДИХИНА, магистрант**(НГТУ, г. Новосибирск)*

**Зверев Е.А.** – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,  
Новосибирский государственный технический университет,  
e-mail: zverev@corp.nstu.ru

Рассмотрено перспективное направление по формированию износостойких покрытий из металлокерамической порошковой смеси. Приведены результаты исследований химического состава компонентов никель-керамической порошковой смеси и напыленного покрытия. Установлено, что в покрытии происходит увеличение содержания кислорода за счет интенсивного окисления в процессе плазменного напыления. Наблюдается снижение процентного содержания основных элементов порошковой смеси, а именно алюминия и никеля. Выявлено незначительное изменение доли остальных химических элементов.

**Ключевые слова:** плазменное напыление, механические смеси, металлокерамическое покрытие, оксидная керамика, никелевый порошок, химический состав.

**Введение**

Проведенные ранее исследования по формированию структур плазменных покрытий из никель-керамической механической смеси позволили определить специфику их формирования [1, 2]. Напыление покрытий из механических смесей по своей природе подобно механизму формирования однокомпонентных плазменных покрытий. Покрытие образуется путем наслоения расплавленных частиц порошков, деформирующихся при соударении с основой или деформированными ранее частицами [3 - 9]. Также в покрытиях наблюдается достаточно равномерное распределение компонентов, как в структуре покрытия, так и на переходной границе. Кроме того, в структуре выражены границы между отдельными компонентами смеси и наблюдается взаимное обволакивание частиц порошков.

Очевидно, что структура покрытий напрямую определяется энергетическим состоянием частиц порошковой смеси в момент соударения с поверхностью основы. В зависимости от режима напыления разнородные частицы порошков обладают различными значениями температуры, скорости и длительности нахождения в полете. В выбранной области режимов плазменного напыления [10, 11] ориентировочные величины средних значений температуры и скорости плазменной струи составляют порядка 6000...7500 К и 630...750 м/с соответственно. При таком высоком уровне энергетического воздействия плазменной струи на частицы порошковых материалов возникает потребность в оценке изменения химического состава.

Целью настоящей работы является проведение химического анализа исходной никель-керамической порошковой смеси и напыленного покрытия.

---

\* Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках Тематического плана НИР НГТУ по проекту ТП-ПТМ-2\_17.

### Методика проведения экспериментов

Компонентами для механической смеси служили оксидная керамика на основе  $Al_2O_3$  зернистостью 20...28 мкм, соответствующая по составу электрокорунду нормальному марки 15А [12, 13] и порошок на основе никеля марки ПГ-12Н-01 зернистостью 50...100 мкм.

Приготовление механической смеси из порошков, с целью обеспечения однородности, реализовано путем механического перемешивания в специальной мельнице. Объемное соотношение компонентов исходной смеси (керамика – 80%, никелевый порошок – 20%) было принято на основании проведенных исследований [14].

Исследования компонентов механической смеси и напыленного покрытий проводились с помощью растрового электронного микроскопа *Carl Zeiss EVO50 XVP*, оснащенного микроанализатором химических элементов *EDS X-Act (Oxford Instruments)*.

Поскольку при напылении поверхность образцов интенсивно окисляется, перед проведением химического анализа покрытий, образцы подвергались шлифованию.

### Результаты исследований

На рисунке 1 изображен снимок исходной никель-керамической порошковой смеси, полученной при помощи растрового микроскопа. Из рисунка видно, что частицы никелевого порошка имеют форму, близкую к сферической и обладают большим фракционным размером. Частицы оксидной керамики близки к острогранной форме. В целом наблюдается равномерное распределение порошковых частиц. Спектральный анализ, позволяющий определить состав и соотношение химических элементов, проводился отдельно для каждого компонента механической смеси. Области 1, 2 соответствуют никелевым частицам, а 3, 4 – оксидной керамике.

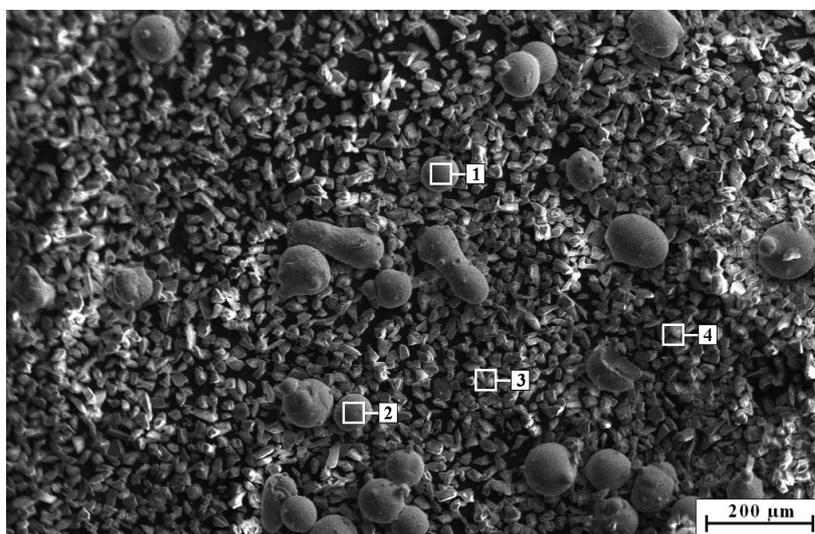


Рис. 1. Частицы исходной порошковой смеси

Результаты исследований химического состава для компонентов порошковой смеси представлены в таблице 1. Наблюдается незначительное, в пределах нормы, колебание процентного содержания химических элементов в исследуемых локальных областях порошковой смеси.

Таблица 1

## Результаты исследований химического состава порошковой смеси

№ спектра	Химический состав (вес. %)						
	O	Al	Si	Ti	Cr	Fe	Ni
1	1,54	-	2,90	-	11,52	3,43	80,60
2	3,34	-	2,88	-	10,66	3,29	79,84
3	53,87	43,38	0,28	1,41	1,06	-	-
4	52,86	43,26	0,56	2,10	1,23	-	-

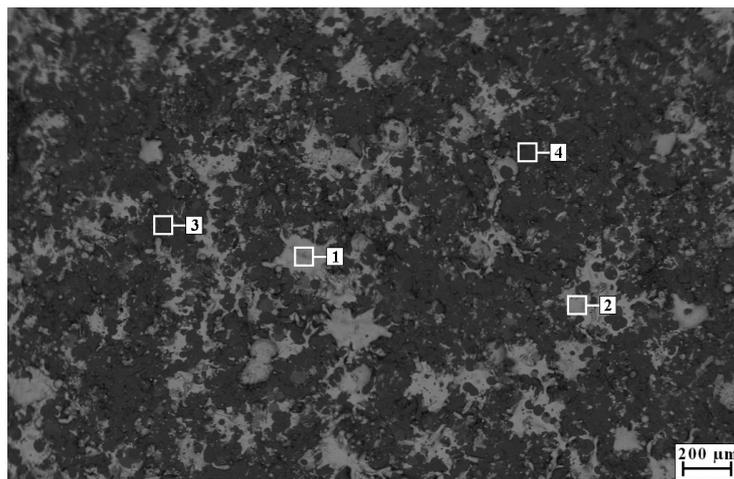


Рис. 2. Поверхность напыленного покрытия

На рисунке 2 приведен снимок поверхности покрытия после плазменного напыления.

Анализируя полученное изображение, можно отметить, что в структуре покрытия светлые частицы являются составляющими никелевого порошка, а серые частицы – оксидной керамики. В целом наблюдается существенное изменение формы частиц после напыления и их равномерное распределение в покрытии.

Для того чтобы оценить воздействие высокотемпературной плазменной струи на качество сформированного покрытия, было проведено локальное исследование химического состава поверхностного слоя композиции. Аналогично исследованию исходной смеси области 1, 2 соответствуют никелевым частицам, а 3, 4 – оксидной керамике.

Результаты анализа химического состава напыленного покрытия приведены в табл. 2.

Таблица 2

## Результаты исследований химического состава напыленного покрытия

№ спектра	Химический состав (вес. %)						
	O	Al	Si	Ti	Cr	Fe	Ni
1	6,16	-	2,87	-	11,33	3,41	76,23
2	7,43	-	2,40	-	10,80	1,98	75,40
3	55,01	34,97	3,81	4,11	2,10	-	-
4	54,19	33,91	2,76	7,38	1,77	-	-

При сравнении данных по химическому составу (табл. 1 и 2) установлено, что в покрытии происходит увеличение содержания кислорода за счет интенсивного окисления в процессе плазменного напыления. При этом происходит снижение процентного содержания

основных элементов порошковой смеси, а именно алюминия и никеля. Изменение доли остальных химических элементов незначительное.

### Выводы

Сохранение химического состава является одной из основных приоритетных задач по обеспечению эксплуатационных свойств покрытий.

Проведенные исследования показали, что при плазменном напылении никель-керамической порошковой смеси при выбранных режимах в покрытиях наблюдается сохранение состава химических элементов с определенным изменением их процентного содержания. Характерным является увеличение процентного содержания кислорода при уменьшении алюминия и никеля, что объясняется высоким уровнем энергетического воздействия плазменной струи на находящиеся в ней разнородные частицы порошковой смеси.

Таким образом избежать изменения химического состава при напылении данных покрытий не представляется возможным. Поэтому требуется проведение дальнейших экспериментальных исследований по минимизации изменения химического состава.

### Список литературы

1. Структура износостойких плазменных покрытий из никель-керамической смеси / Ю.С. Чёсов, Е.А. Зверев, Н.В. Плотникова, Н.В. Вахрушев, А.С. Ваганов, И.В. Бандюров // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2015. – № 2. – С. 405–409.
2. Специфика структуры износостойких плазменных покрытий из механических смесей на основе керамики / Ю.С. Чёсов, Е.А. Зверев, А.А. Никулина, Н.В. Вахрушев, А.С. Ваганов, И.В. Бандюров // Инновации в машиностроении (ИнМаш-2015): сборник трудов 7 международной научно-практической конференции. – Кемерово: КузГТУ, 2015. – С. 421–423.
3. Скиба В.Ю. Актуальные проблемы в машиностроении: сборник материалов первой международной научно-практической конференции // Хроники объединенного фонда электронных ресурсов Наука и образование. – 2014. – № 11 (66). – С. 83.
4. Dolata A.J. Fabrication and structure characterization of alumina-aluminum interpenetrating phase composites // Journal of Materials Engineering and Performance. – 2016. – Vol. 25, iss. 8. – P. 3098–3106. – doi: 10.1007/s11665-016-1901-2.
5. Actual Problems and Decisions in Machine Building / ed. by V.Yu. Skeebea. – Pfaffikon: Trans Tech Publ., 2015. – 344 p. – (Applied mechanics and materials; vol. 788). – doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.788. – ISBN 978-3-03835-551-9.
6. Структура износостойких плазменных покрытий после высокоэнергетического воздействия ТВЧ / Ю.С. Чёсов, Е.А. Зверев, В.В. Иванцовский, В.Ю. Скиба, Н.В. Плотникова, Д.В. Лобанов // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2014. – № 4 (65). – С. 11-18.
7. Актуальные проблемы в машиностроении / под ред. В.Ю. Скибы. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2014. – 588 с. – ISBN 978-5-7782-2410-0.
8. Пузряков А.Ф. Теоретические основы технологии плазменного напыления. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 357 с.
9. Skeebea V., Pushnin V., Kornev D. Quality improvement of wear-resistant coatings in plasma spraying integrated with high-energy heating by high frequency currents // Applied

Mechanics and Materials. – 2015. – Vol. 788. – P. 88–94. – doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.788.88.

10. Исследование адгезионной прочности плазменных металлокерамических износостойких покрытий / В.В. Иванцовский, Е.А. Зверев, Н.В. Вахрушев, И.В. Бандюров // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2016. – № 3. – С. 77–81.

11. Особенности микроструктуры износостойких плазменных покрытий / С.В. Веселов, Ю.С. Чёсов, Е.А. Зверев, П.В. Трегубчак, В.С. Ложкин, В.В. Базаркина // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2010. – № 4 (49). – С. 35–37.

12. Технология получения композиционного материала на основе многофункциональной оксидной керамики / В.А. Оковитый, Ф.И. Пантелеенко, Т.Л. Талако, А.Ф. Пантелеенко // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2015. – № 2 (67). – С. 39–45.

13. Разработка технологических процессов получения оксидных покрытий с улучшенным комплексом свойств / М.А. Кардаполова и др. // Вестник БГТУ. – Машиностроение. – 2006. – № 4 – С. 31–35.

14. Чёсов Ю.С., Зверев Е.А., Вахрушев Н.В. Исследование структуры износостойких плазменных покрытий из механических смесей // Сборник научных трудов НГТУ. – 2015. – № 2 (80). – С. 96–105. – doi: 10.17212/2307-6879-2015-2-96-105.

## CHEMICAL COMPOSITION RESEARCH OF PLASMA COATINGS OF NICKEL-CERAMIC POWDER MIXTURE

**Ivancivsky V.V.**, D.Sc. (Engineering), Associate Professor, e-mail: ivancivskij@corp.nstu.ru

**Zverev E.A.**, Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: egor\_z@ngs.ru

**Vakhrushev N.V.**, Ph.D. student, e-mail: vah\_nikit@mail.ru

**Bredikhina A.N.**, Master's Degree student, e-mail: nyara.bredihina@yandex.ru

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

### Abstract

The perspective direction to form a wear-resistant coating of the ceramic-metal powder mixture is considered. Chemical composition research results of the nickel-ceramic powder mixture components and sprayed coating are presented. It is established that the increase the oxygen content in the coating occurs due to intensive oxidation during the plasma spraying. Decrease in the percentage of basic elements of the powder mixture, namely aluminum and nickel, is observed. Insignificant change the share of other chemical elements is revealed.

### Keywords

plasma spraying, mechanical mixtures, ceramic-metal coating, oxide ceramic, nickel powder, chemical composition

УДК 678.027.93

**ПРОБЛЕМЫ ШТАМПОВАНИЯ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО  
ПОЛИЭТИЛЕНА ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТИ**

*Д.И. ЛАГЕРЕВА, магистрант  
Д.А. МИХАЙЛОВ, магистрант  
В.В. ПРОВОТОРОВ, магистрант  
К.Е. ШЕВЦОВА, магистрант  
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Лагерев Д.И. – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,  
Новосибирский государственный технический университет,  
e-mail: lagerenok@mail.ru

В данной работе рассмотрены способы формования объемных изделий и методика объемной штамповки сверхвысокомолекулярного полиэтилена. Проведен литературный обзор структурных особенностей сверхвысокомолекулярного полиэтилена и его превращений. Проанализированы температурные диапазоны и связанные с этим особенности. Также рассмотрены методы исследования структуры СВМПЭ.

**Ключевые слова:** сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ), деформирование, объемная штамповка, кристаллическая фаза, аморфная фаза, ламели, ламелярная структура.

**Введение**

В эндопротезировании большое распространение приобрел сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ). Данный полимер имеет требуемые показатели биосовместимости и при этом высокие показатели износостойкости, именно поэтому он находит применение в протезах суставов.

Однако актуальным остается задача его формообразования, наиболее применяемым способом является механическая обработка заготовки (сортовой прокат). Существуют ограничения литья СВМПЭ ввиду высокой вязкости расплава, также материал подвержен шаржированию и склонен к окислению на воздухе. Все эти ограничения связаны с молекулярным строением и фазовым составом полимера [1, 2].

**Теория**

Для изучения процессов термопрессования необходимо рассмотреть структуру полимера. Полимер представляет собой множество (поли) частиц (мер) связанных друг с другом, они могут быть линейными либо разветвленными. Полимер может присоединять новые ветвления, это определяется условиями его синтеза.

Полиэтилен - это полимер, образованный из этилена ( $C_2H_4$ ) (на рис. 1) условно показано два соединенных мономера), характеризуется показателем степени полимеризации и молекулярной массой. Однако он также может присоединять в свои цепочки и другие полимеры (которые будут являться сополимерами), что часто используется и в СВМПЭ. Например, в соответствии с ISO 11524 - который является промышленным стандартом для СВМПЭ, полимер может содержать до 50% сополимера и будет по-прежнему называться СВМПЭ. Цепь полимера может располагаться как аморфно так и упорядоченно. Она

складывается в ламели или кристаллическую фазу (рис.1), температура плавления ( $T_{пл}^k$ ) которой  $\sim 134$  °C [2-4].

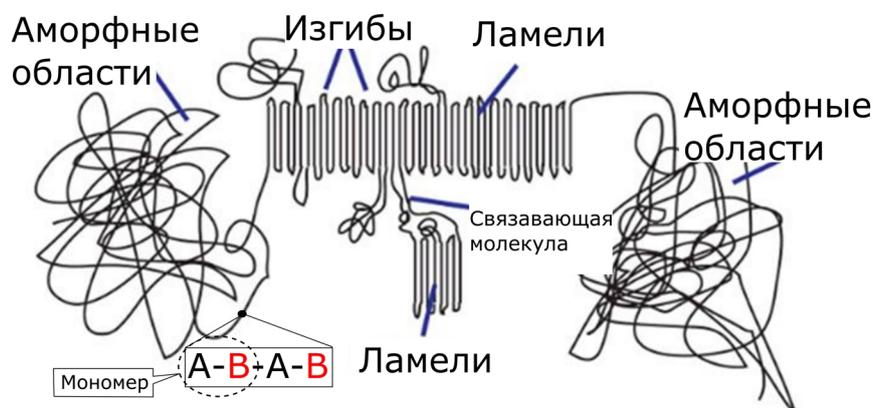


Рис. 1. Условное изображение фазового наполнения состава полимеров [2]

СВМПЭ обладает высокой вязкостью расплава, так как при нагревании выше  $T_{пл}^k$  не происходит перехода в вязкотекучее состояние, как у термопластов, а лишь в вязкоэластичное. Такой полимер для литья не подходит (имеет существенные ограничения), поэтому его формообразование возможно с помощью метода объемной штамповки из готового сортового проката. Однако при этом возникает вопрос, каким образом изменяются свойства после штампования. Ответ дает работа Катова М.М. [1], в которой сказано, что при объемной штамповке СВМПЭ в структуре полимера происходят изменения, затрагивающие как кристаллическую, так и аморфную фазу. Происходит разрушение исходной ламеллярной структуры. И после этого образуется фактически такая же структура, за исключением наличия небольшой текстуры (неравномерности свойств в разных направлениях в объеме изделия). Параметры этой текстуры, определяются условиями деформирования [1, 5].

Поэтому можем сделать вывод, о том что нужно провести работу направленную на обработку режимов штампования.

### Методики исследований

Из вышеперечисленного вытекает еще один вопрос - как определить разницу в фазовом составе. И здесь ответ может разойтись на несколько вариаций.

1 Измерение характеристической вязкости. В данном методе измеряются и сравниваются относительные вязкости составов. Необходимо наличие специальных растворителей (весьма токсичных), вязкозиметр, лабораторные колбы и вытяжной шкаф. Методика достаточно точна, но необходима работа с токсичными растворителями [1, 6].

2 Рентгено-фазовый анализ. Кристаллическая фаза СВМПЭ имеет орторомбическую решетку с периодами решетки:  $a = 0,74$  нм,  $b = 0,493$  нм,  $c = 0,2534$  нм, этой фазе соответствуют два интенсивных дифракционных максимума с индексами 110 и 200. Центр тяжести рефлекса 110 находится при  $2\theta = 24,95^\circ$ , центр тяжести для рефлекса 200 находится  $2\theta = 27,71^\circ$ . Метод будет достаточно точен (в сравнении с характеристической вязкостью), но образцы после штамповки с большой вероятностью придется подвергать механической обработке [1, 4].

### Вывод

Установлено, что проведение процесса объемной штамповки СВМПЭ возможно и есть основания полагать что результаты будут успешны. Однако существует проблема

определения качества структуры полученных изделий. Эта проблема связана невозможностью рассмотрения структуры стандартными методиками (оптическим анализом).

Можно заключить, что необходимо провести работу направленную на отработку режимов штампования. А методом анализа образцов принято использовать рентгено-фазовый анализ для исследований.

### Список литературы

1. *Катов М.М.* Регулирование структуры и свойств сверхвысокомолекулярного полиэтилена в процессе переработки: дис. ... канд. техн. наук: 05.17.06: защищена 22.06.96: утв. 20.12.96. – М., 1998. – 152 с.
2. *Kurtz S.M.* The UHMWPE handbook: ultra-high molecular weight polyethylene in total joint replacement. – Amsterdam; Boston: Academic Press, 2004. – 568 p.
3. ГОСТ Р ИСО 5834-2–2014. Имплантаты для хирургии. Полиэтилен сверхвысокой молекулярной массы. Ч. 2. Литейные формы = ISO 5834-2:2011. Implants for surgery. Ultra-high-molecular-weight polyethylene. Part 2: Moulded forms (IDT). – Введ. 2016–01–01. – М.: Стандартинформ, 2015.
4. Исследование структурных свойств высокоэффективных радиационнозащитных материалов / А.А. Лунькова, С.Д. Калошкин, М.В. Горшенков, В.В. Чердынцев // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2012. – № 10.
5. Сверхвысокомолекулярный полиэтилен высокой плотности / Е.В. Андреева, Е.А. Веселовская, Е.И. Наливайко и др. – Л.: Химия, 1982. – 80 с.
6. *Гвоздова Г.В., Смирнова Т.Н.* Высокомолекулярный и сверхвысокомолекулярный полиэтилен за рубежом. – М., 1987. – С. 17.

### PROBLEMS STAMPING ULTRA-HIGH MOLECULAR WEIGHT POLYETHYLENE

**Lagereva D.I.**, Master's Degree student, e-mail: lagerenok@mail.ru

**Mikhaylov D.A.**, Master's Degree student, e-mail: noodle\_man@mail.ru

**Provotorov V.V.**, Master's Degree student, e-mail: reason166@mail.ru

**Shevtsova K.E.**, Master's Degree student, e-mail: ksenia\_shevtsova@mail.ru

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

### Abstract

The main idea of this work is to die forging Ultra-high molecular weight polyethylene (UHMW PE). The article is divided into 4 sections: introduction, theory, techniques and research findings. The introduction discusses the goals and objectives. In the section - the theory deals with the structure and properties of polymers, their features and the molecular weight of the UHMWPE. Next section - methods and research deals with the problem of determining the properties and addresses two research methods.

In the conclusions the authors infer about the possibility of the application of forging. Also, we choose the most appropriate method of investigation.

### Keywords

Ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE), deformation, forging, crystalline phase, amorphous phase, lamellae, the lamellar structure

УДК 621.9

**СТРУКТУРНО-КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ГИБРИДНОГО  
МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ***И.В. ХЛЕБОВА, магистрант**Н.С. РУБЦОВА, магистрант**П.Ю. СКИБА, студент**В.Ю. СКИБА, канд. техн. наук, доцент  
(НГТУ, г. Новосибирск)*

**Хлебова И.В.** – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,  
Новосибирский государственный технический университет,  
e-mail: shleina.irina@mail.ru

Объектом исследований является стадия технологических процессов изготовления деталей машин, состоящая из операций: предварительная механическая обработка, поверхностная закалка концентрированным источником энергии и финишная механическая обработка.

Проведенный анализ научно-технической литературы позволил оценить современное состояние исследований в области интегрирования разнородных операций на одном технологическом оборудовании в России и за рубежом, оценить актуальность и научную значимость выполняемой работы. Было установлено, что на сегодняшний день в машиностроении отчетливо проявляется особый интерес к развитию нового типа технологического оборудования – многоцелевых обрабатывающих комплексов с полифункциональными возможностями.

В данной статье рассматриваются вопросы проектирования гибридного металлорежущего оборудования на стадии конструирования структурной компоновки, путем проведения структурно-кинематического анализа. Исследуется зависимость структурной формулы и структурной схемы компоновки интегрального металлорежущего оборудования.

**Ключевые слова:** гибридное оборудование, структурная формула, производственные процессы, интегральная структурная схема, металлообработка.

**Введение**

В современной машиностроительной отрасли производства в связи с повышением конкурентоспособности на отечественном и зарубежном рынке, появляются новейшие способы для обработки материалов. Разнообразие видов обработки и инструментов является основой для разработки нового оборудования, способного главным образом повысить эффективность производства [1 - 12].

С развитием металлообрабатывающей промышленности, станочная база пополнялась за счет формирования новых компоновок оборудования, в основе которых лежали универсальные технологические виды обработки: фрезерование, точение, сверление, шлифование и другие. Разработка компоновки технологического оборудования является одним из основных этапов проектирования, так как именно на данной стадии закладываются необходимые технические характеристики будущего станочного комплекса, определяющие в дальнейшем эффективность изготовления заготовки [13 - 17].



Рис. 1. Станок EMAG серии VSC DS

В настоящее время актуализировался процесс разработки так называемых гибридных станочных комплексов, позволяющих изготавливать продукцию на одном технологическом оборудовании, совмещающим различные (по физической природе) методы обработки. Данный процесс оказывает действие на изменение механических и структурных свойств материала детали, придавая им необходимые параметры и характеристики. Гибридное оборудование является новшеством в современной промышленности и на мировом рынке уже есть яркие примеры разработанных моделей, успешно применяющихся в производстве [18 - 21].

1. Гибридный станок EMAG серии VSC DS (рис. 1).

Данное оборудование широко используется для обработки деталей типа «диск», сочетающее точение и шлифование. Комбинация данных процессов является очень эффективным, за счет сниже-

ния продолжительности времени цикла обработки, как детали, так и партии деталей в целом, что повышает конкурентоспособность производства.

2. MONFORTS RNC 400 LaserTurn (рис. 2), гибридный станок с технологией токарно-лазерной обработки.



Рис. 2. MONFORTS RNC 400 LaserTurn

LaserTurn – гибридный станок сочетающий токарную и лазерную обработку, снижая затраты, возникающие вследствие обработки на различных оборудованьях.

3. Гибридный станок *HAMUEL HSTM 300* (рис. 3).Рис. 3. *HAMUEL HSTM 300*

Компания *Delcam Professional Services* совместно с компанией *Hamuel Maschinenbau* разработала гибридный станок с числовым программным управлением (ЧПУ) сочетающий в себе пять различных технологий обработки: фрезерование, лазерную направку, полировочную операцию, контроль лазерным измерительным инструментом и лазерную маркировку. На данном оборудовании может, как изготавливаться продукция, так и подвергаться восстановлению, что дает преимущество при высокой стоимости или сложной конфигурации.

Оборудованием для гибридной обработки могут выступать универсальные станки и станки с ЧПУ, дооснащенные термической обработкой. Станки с ЧПУ отличаются большим перечнем используемых инструментов и видами обработки, а также разнообразными перемещениями рабочих органов, позволяющие изготавливать детали многообразной по сложности конфигурации, что увеличивает номенклатуру выпускаемых деталей.

Станочная база гибридного металлорежущего оборудования состоит из различных комбинаций технологических процессов, реализуемых путем разнообразного расположения узлов и возможностями их перемещения, закладываемые на этапе проектирования компоновки станка.

Цель работы: Провести анализ разработки структурных компоновок металлорежущего оборудования, необходимых для реализации высокоэффективного производственного процесса, обеспечивающий необходимое качество продукции.

Для достижения поставленной цели выделяется ряд задач:

1. Определить количество элементарных движений и вариантов структурных компоновок;
2. Выполнить структурно-кинематический анализ;
3. Построить интегральную структурную схему оборудования.

## Теория

### Определение количества элементарных движений и вариантов структурных компоновок

Под обработкой детали на станке, подразумевается перемещение рабочих органов оборудования несущих заготовку и инструмент, определяющее форму поверхности с необходимыми размерами. При изготовлении детали выбираются наиболее эффективные виды обработки, позволяющие получить деталь желаемого качества. Располагая на начальном этапе только данными об обрабатываемой поверхности и режущем инструменте, можно определить количество и качество элементарных движений необходимых для реализации данной поверхности, определяющих структурную формулу компоновки.

В металлорежущих станках движения подразделяются на вращательные и поступательные. Количество элементарных движений должно быть оптимальным для обработки, чтобы не происходило нагромождение металлорежущего оборудования. Но при этом необходимо учитывать весь процесс обработки, который включает в себя черновую, получистовую, чистовую и отделочную обработку, реализуемые на одном металлорежущем оборудовании.

Структурная формула компоновки – это последовательность символов, которая раскрывает расположение и сопряжение блоков. По структурной формуле можно судить о дальнейшей компоновке металлорежущего оборудования. Количество узлов, представленных в структурной формуле влияет на количество вариантов структурных схем металлорежущего оборудования, зависимость представляется формулой [13]:

$$P = m!,$$

где  $P$  – варианты структурных компоновок;  $m$  – количество узлов, представленных в структурной формуле станка.

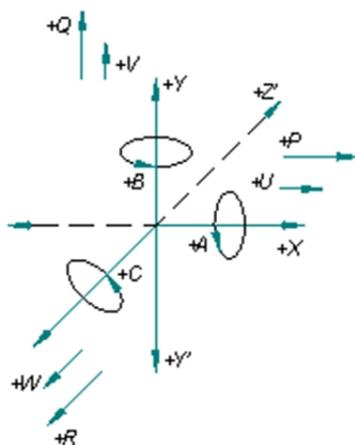


Рис. 4. Система координат

Компоновка – система станка, характеризуемая свойствами и расположением узлов и направляющих оборудования. На рис. 4 изображены координатные оси и обозначение движений по и вокруг этих осей, необходимых для описания структурной формулы. При построении структурной формулы компоновки станка необходимо определить направление каждой оси.

Определение направления осей начинается с определения положения координатной оси  $Z$ , её направление определяется расположением детали и инструмента, ось направлена от детали к инструменту. Положение ост  $X$ , определяет расположение оси  $Z$ . Если ось  $Z$  вертикальная, то положительное направление оси  $X$  будет вправо, если смотреть с лицевой стороны станка в сторону тыльной, если ось  $Z$  горизонтальная, то положительное направление оси  $X$  будет вправо, если смотреть в направлении от шпинделя к заготовке. Положение оси  $Y$  определяется по расположению двух других осей.

В структурной формуле обозначение крайнего правого блока характеризует возможность перемещения и вращения инструмента, а крайний левый блок перемещение и вращение заготовки. Знак  $O$  в структурной схеме описывает блок не имеющий возможности перемещения, станина станка.

**Структурно-кинематический анализ**

При построении компоновки металлорежущего оборудования, необходимо придерживаться следующей последовательности [22, 23]:

**1. Анализ формообразования детали и инструмента**

Для обеспечения изготовления обрабатываемой поверхности заготовки, необходимо реализовать какое-то относительное перемещения заготовки и инструмента. При этом обрабатываемая поверхность представляет собой результат перемещения одной линии (образующей) по другой (направляющей). Данные линии называются производящими.

При обработке заготовок резанием различают четыре метода формообразования поверхностей: копирования, следа, касания, обкатки. Выбор соответствующего метода для получения различных поверхностей сводится к установлению движений формообразования, которые воспроизводят образующие и направляющие линии этих поверхностей.

*Метод копирования* основан на том, что одна из производящих линий совпадает по форме с режущей кромкой инструмента.

*Метод обката (псевдокопирования)* основан на том, что образующая линия представляет собой огибающую ряда последовательных положений режущей кромки инструмента в результате его движения относительно заготовки. Движение резания и движение подачи при этом должны быть определенным образом согласованы между собой.

*Метод следа* заключается в том, что образующая линия является следом (траекторией) движения точки - вершины режущей кромки инструмента.

*Метод касания (псевдоследа)* заключается в том, что образующей линией служит режущая кромка инструмента, а направляющая линия является касательной к реальной траектории движения точек режущей кромки инструмента.

**2. Выявление исполнителей движений**

Исполнительные движения (ИД) образуются из элементарных движений, в зависимости от методов формообразования и формы обрабатываемой поверхности. Исполнительные движения характеризуются настраиваемыми параметрами, количество которых зависит от сложности движения и замкнутости траектории (таблица 1) [22, 23].

Исполнительные движения подразделяются на: Движение формообразования (*Ф*) – относительное согласованное движение заготовки и инструмента, создающее обрабатываемую поверхность; Установочные движения (*Уст*) – движения заготовки и инструмента, необходимые для получения требуемого размера; Движение деления (*Д*) – движение необходимое для повторения на заготовке требуемой поверхности; Вспомогательные движения (*Всп*); Движение управления (*Упр*).

Таблица 1

Характер движения и настраиваемые параметры

ИД	Траектория движения			
	Замкнутая		Незамкнутая	
	Настраиваемые параметры			
	Количество	Наименование	Количество	Наименование
Простое	2	V, N	4	V, N, L, K
Сложное	3	F, V, N	5	F, V, N, L, K

## Результаты и обсуждения

Рассмотрим принцип построения интегральной структурной схемы на примере обработки детали вращения.

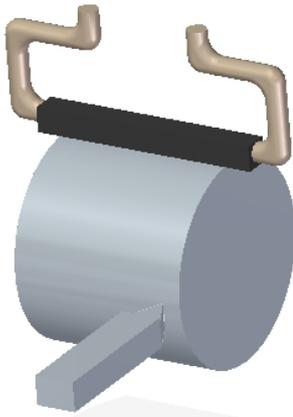


Рис. 5. Обработка детали вращения

Элементарные движения: В1 (Cv) - вращение заготовки; П2 (Z) – продольное перемещение резца; П3 (X) - поперечное перемещение резца; П4 (Y) – вертикальное перемещение индуктора; П5 (Z) – продольное перемещение индуктора; П6 (X) – поперечное перемещение индуктора.

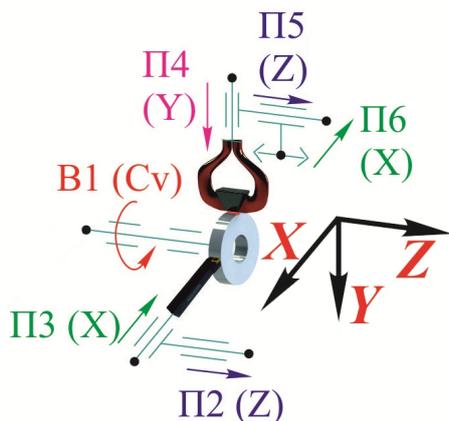


Рис. 6. Структурная схема компоновки станка

В общем случае процесс изготовления деталей машин на интегральном металлорежущем станке будет состоять из следующих технологических операций: предварительная механическая обработка (черновое точение) (рис. 5), поверхностная закалка (высокоэнергетический нагрев токами высокой частоты (ВЭН ТВЧ) []) и финишная механическая обработка (чистовое точение и алмазное выглаживание).

Для осуществления интегральной обработки детали вращения необходимо задаться четырьмя элементарными движениями (рис. 6): вращательным, продольным, поперечным и вертикальным перемещением.

Исходя, из структурной компоновки обработки сформируем структурную формулу оборудования, состоящего из структурной формулы токарного станка и обработки ВЭН ТВЧ, преобразуя обозначения элементарных движений в обозначение согласно системе координат (рис. 4) и её движений.

Структурная формула токарной обработки  $C_h OZ X$ , в которой  $C_h$  - главное движение резания, связанное с вращением заготовки в горизонтальной плоскости. Затем перемещаясь от заготовки к инструменту через станину  $O$  на инструмент, которые имеют возможность продольного  $Z$ , поперечного  $X$  перемещения.

Количество вариантов структурных компоновок имеет вид:

$$P = m! = 4! = 24.$$

Структурная формула термической обработки  $C_h OZ X Y$ , индуктор имеет аналогичные движения токарной обработке с добавлением вертикального перемещения, для обеспечения зазора между индуктором и деталью, влияющего на глубину закаливаемого слоя.

Так как за основой является обработка на гибридном оборудовании, то необходимо учитывать количество узлов представленных в структурной формуле термической обработки:

$$P = m! = 5! = 120.$$

Но, поскольку, инструмент и деталь могут иметь как горизонтальное, так и вертикальное расположение, это приводит к увеличению количества структурных компоновок.

При обработке цилиндрической детали точением формообразование инструмента не рассматривается, так как инструмент однолезвийный, а заготовка (рис. 7) получается перемещением образующей – окружности (получаемой методом следа) по направляющей – прямой (получаемой методом следа), из чего можно сделать вывод, что необходимо два формообразующих движения.

При термической обработке методы формообразования (рис. 8) заключается в копировании профиля магнитопровода индуктора, образующая – прямая (получаемой методом копирования) по направляющей – окружность (получаемой методом следа). При данном методе формообразование рассматривается вариант, когда ширина индуктора превышает ширину шейки вала, в ином случае формообразование будет иметь другой характер.

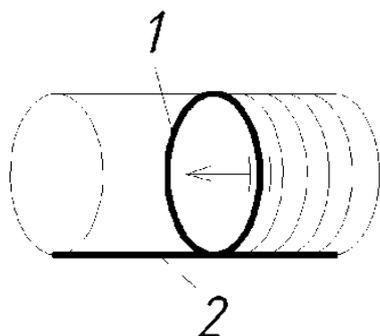


Рис. 7. Формообразование цилиндрической поверхности: 1 – образующая – окружность (метод следа); 2 – направляющая – прямая (метод следа).

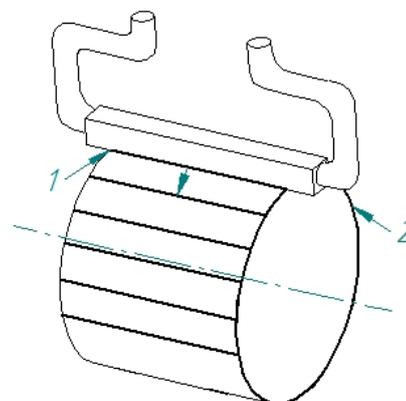


Рис. 8. Формообразование заготовки при ВЭН ТВЧ: 1 – образующая – прямая (метод копирования); 2 – направляющая – окружность (метод следа).

На основании проведенного анализа осуществляем построение интегральной структурно-кинематической схемы при токарной и термической обработке (рис. 9).

**Токарная обработка:**  $\Phi v (B1)$  – вращение заготовки, необходимое для получения образующей окружности. Движение простое, траектория замкнутая, следовательно, настраиваются  $V, N$ ;  $\Phi s (П2)$  – продольное перемещение инструмента, необходимое для получения направляющей линии – прямой. Движение простое, траектория не замкнутая, следовательно, настраиваются  $V, N, L, K$ ;  $Ucm (П3)$  – установочное движение, необходимое для обеспечения требуемого диаметра детали. Движение простое, траектория не замкнутая и осуществляется вручную оператором, следовательно, настраиваются  $L, K$ ;  $Vcn(П2)$  и  $Vcn(П3)$  – быстрый подвод и отвод инструмента.

**Термическая обработка:**  $\Phi v (B1)$  – вращение заготовки, необходимое для получения образующей окружности. Движение простое, траектория замкнутая, следовательно, настраиваются  $V, N$ ;  $Ucm(П4)$  – установочное движение, необходимое для обеспечения требуемого зазора между индуктором и заготовкой (обеспечение заданной глубины закаленного слоя). Движение простое, траектория не замкнутая и осуществляется вручную оператором, следовательно, настраиваются  $L, K$ ;  $Ucm(П5)$  – установочное движение, необходимое для обеспечения требуемой длины участка поверхностной закалки. Движение простое, траектория не замкнутая и осуществляется вручную оператором, следовательно, настраиваются  $L, K$ ;  $Ucm(П6)$  – установочное движение, необходимое для обеспечения соосности индуктора и заготовки. Движение простое, траектория не замкнутая и осуществляется вручную оператором, следовательно, настраиваются  $L, K$ ;  $Vcn(П4)$ ,  $Vcn(П5)$  и  $Vcn(П6)$  – быстрый подвод и отвод индуктора.

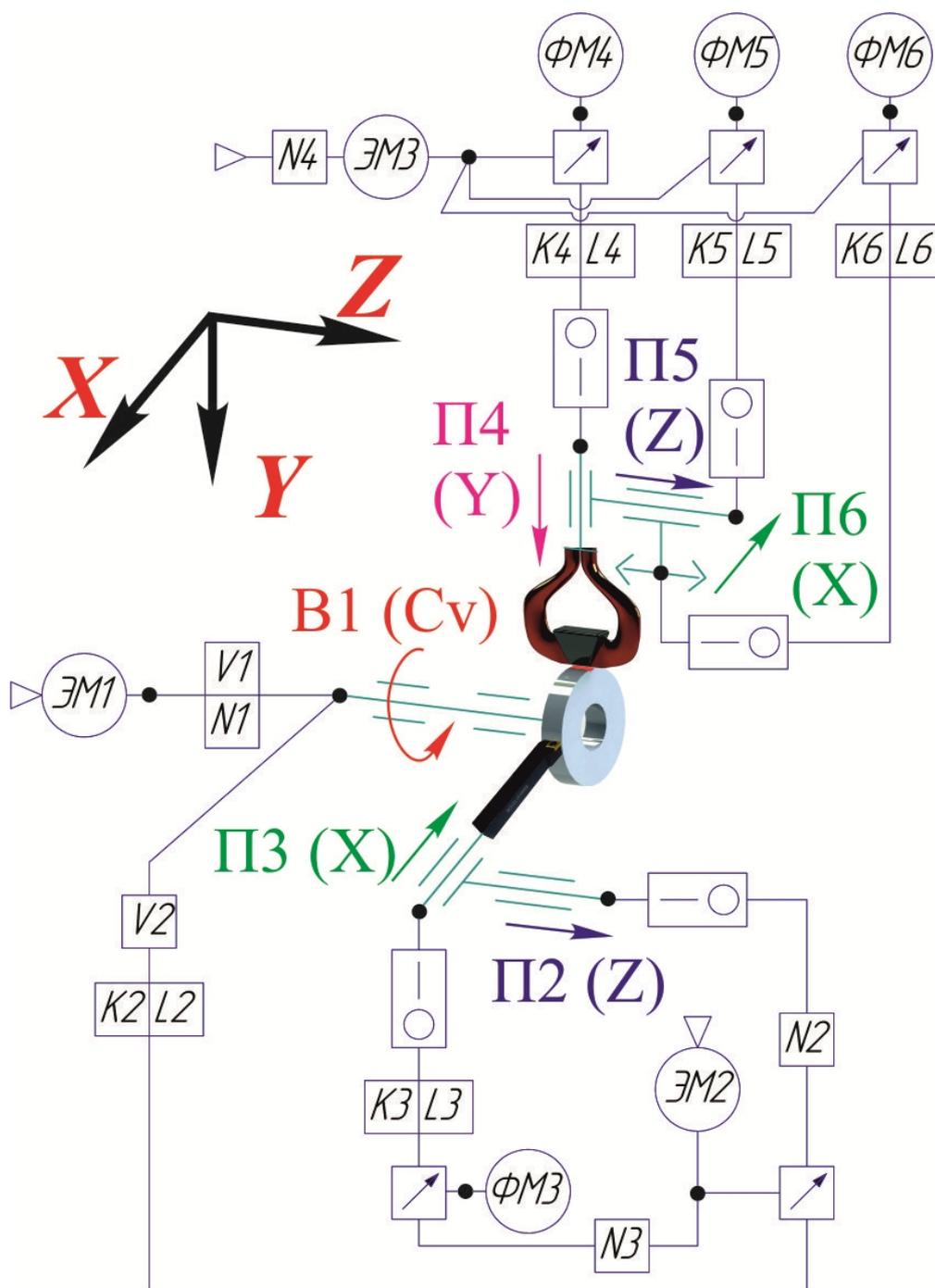


Рис. 9. Интегральная структурно-кинематическая схема гибридного оборудования

На рис. 11 представлено одно из компоновочных решений реализации гибридного оборудования на базе токарного станка модели УТ16ПМ. Модернизация заключалась во встраивании в существующую станочную систему выносного закалочного контура, реализующего высокоэнергетический нагрев токами высокой частоты.

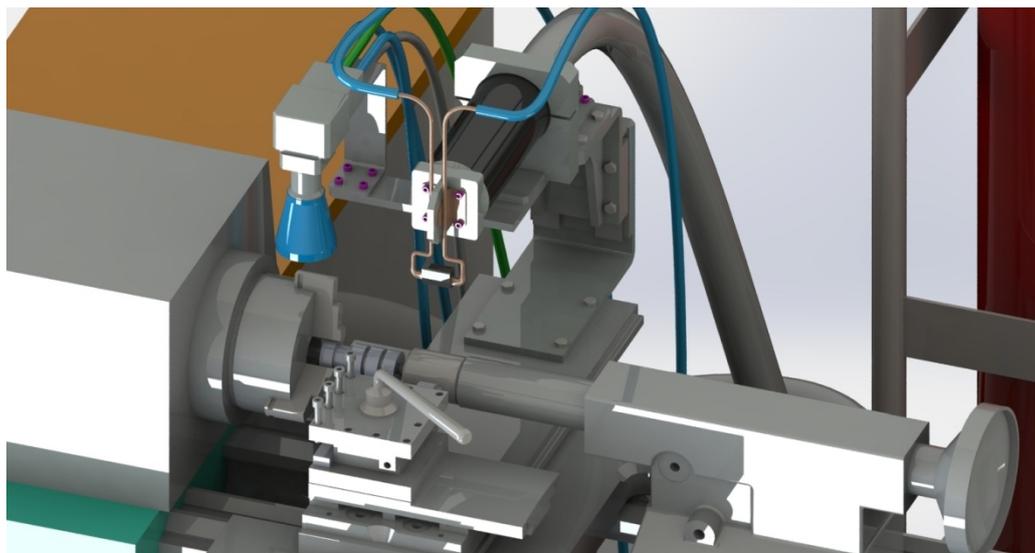


Рис. 11. Рабочая зона гибридного станочного комплекса на базе токарного станка

## Выводы

Гибридное оборудование имеет широкое распространения в различных отраслях производства. При этом оборудование может иметь комбинацию различных производственных процессов, увеличивающих производительность за счет снижения затрат на изготовление.

Важным этапом при конструировании гибридного оборудования является разработка компоновки, так как именно на данном этапе закладываются свойства, которые в дальнейшем повлияют на качество оборудования и обрабатываемой на нем детали.

Структурная формула позволяет прогнозировать дальнейшую компоновку металлорежущего оборудования, варианты которых определяются факториалом количества узлов оборудования и вариантом расположения шпинделя.

Основное внимание требует уделить разработке гибридного металлообрабатывающего оборудования, за счет перепрофилирования универсального станка на комбинированную обработку изделия, за счет применением операций термической обработки ВЭН ТВЧ.

## Список литературы

1. Макаров В.М. Комплексируемые технологические системы: перспективы и проблемы внедрения // РИТМ: Ремонт. Инновации. Технологии. Модернизация. – 2011. – № 6 (64). – С. 20–23.
2. Совершенствование технологических процессов машиностроительных производств / А.С. Янющкин, С.О. Сафонов, Д.В. Лобанов и др. – Братск: Изд-во БрГУ, 2006. – 302 с.
3. Архипов П.В., Лобанов Д.В., Янющкин А.С. Совершенствование оборудования под процессы комбинированной обработки // Вестник Таджикского технического университета. – 2013. – Т. 2, № 2. – С. 32–37.
4. Абрамсон С.И. Повышение производительности металлорежущих станков при применении групповых методов обработки. – М.: НИИмаш, 1981. – 56 с.
5. Дружинский И.А. Концепция конкурентоспособных станков. – Л.: Машиностроение, 1990. – 247 с.

6. *Moriwaki T.* Multi-functional machine tool // *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. – 2008. – Vol. 57, iss. 2. – P. 736–749. – doi: 10.1016/j.cirp.2008.09.004.
7. *Garro O., Martin P., Veron M.* Shiva a multiarms machine tool // *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. – 1993. – Vol. 42, iss. 1. – P. 433–436. – doi: 10.1016/S0007-8506(07)62479-2.
8. *Скиба В.Ю.* Актуальные проблемы в машиностроении: сборник материалов первой международной научно-практической конференции // *Хроники объединенного фонда электронных ресурсов Наука и образование*. – 2014. – № 11 (66). – С. 83.
9. *Actual problems and decisions in machine building* / ed. by V.Yu. Skeebea. – Pfaffikon: Trans Tech Publ., 2015. – 344 p. – (Applied mechanics and materials; vol. 788). – ISBN 978-3-03835-551-9. – doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.788.
10. *Nagae A.* Development trend of multi-tasking machines // *Proceedings of the 11th International Conference on Machine Tool Engineers, Tokyo, Japan, 3–5 November 2004*. – Tokyo, 2004. – P. 312–323.
11. *Integrated processing: quality assurance procedure of the surface layer of machine parts during the manufacturing step "Diamond Smoothing"* / V.Yu. Skeebea, V.V. Ivancivsky, D.V. Lobanov, A.K. Zhigulev, P.Yu. Skeebea // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2015. – Vol. 125. – P. 012031. – doi: 10.1088/1757-899X/125/1/012031.
12. *Hybrid processing: the impact of mechanical and surface thermal treatment integration onto the machine parts quality* / V.Yu. Skeebea, V.V. Ivancivsky, A.V. Kutyshkin, K.A. Parts // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2016. – Vol. 126. – P. 012016. – doi: 10.1088/1757-899X/126/1/012016.
13. *Врагов Ю.Д.* Анализ компоновок металлорежущих станков: (основы компонетики). – М.: Машиностроение, 1978. – 208 с.
14. *Evakhnenko A.G.* Conceptual designing of metal cutting systems: methodology and methods // *The technical progress problems of the Far East region: combined collection of scientific works*. – Khabarovsk: KSTU, 1997. – Vol. 3. – P. 78–82.
15. *Ивахненко А.Г.* Концептуальное проектирование металлорежущих систем. Структурный синтез. – Хабаровск: Изд-во ХГТУ, 1998. – 124 с.
16. *Иванцовский В.В., Скиба В.Ю.* Повышение поверхностной микротвердости стали при интеграции поверхностно-термической и финишной механической обработок // *Научный вестник НГТУ*. – 2006. – № 3. – С. 187–192.
17. *Скиба В.Ю.* Повышение эффективности технологического процесса обработки деталей машин, при интеграции абразивного шлифования и поверхностной закалки ТВЧ: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / Новосибирский государственный технический университет. – Новосибирск, 2008. – 257 с.
18. *A review of hybrid manufacturing processes – state of the art and future perspectives* / Z. Zhu, V.G. Dhokia, A. Nassehi, S.T. Newman // *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. – 2013. – Vol. 26, iss. 7. – P. 596–615. – doi: 10.1080/0951192X.2012.749530.
19. *Thermal Simulation of Laser-assisted Turning* / J.I. Arrizubieta, F. Klocke, S. Gräfe, K. Arntz, A. Lamikiz // *Procedia Engineering*. – 2015. – Vol. 132. – P. 639–646.
20. *Laser assisted turning of titanium metal matrix composite* / R. Bejjani, B. Shi, H. Attia, M. Balazinski // *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. – 2011. – Vol. 60. – P. 61–64. – doi: 10.1016/j.cirp.2011.03.086.
21. *Hybrid machining of Inconel 718* / Z.Y. Wang, K.P. Rajurkar, J. Fan, S. Lei, Y.C. Shin, G. Petrescu // *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. – 2003. – Vol. 43. – P. 1391–1396.
22. *Калмин Б.И., Корытов М.С.* Анализ кинематической схемы металлорежущего станка. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2008. – 16 с.

23. *Казанцев М.Е.* Построение структурных схем и настройка параметров исполнительных движений: учебное пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1997. – 54 с.
24. *Скиба В.Ю.* Обеспечение требуемого характера распределения остаточных напряжений при упрочнении высокоэнергетическим нагревом токами высокой частоты // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2007. – № 2 (35). – С. 25–27.
25. *Ivancivsky V., Parts K., Popov V.* Depth distribution of temperature in steel parts during surface hardening by high frequency currents // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Vol. 788. – P. 129–135. – doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.788.129.
26. The features of steel surface hardening with high energy heating by high frequency currents and shower cooling / V.V. Ivancivsky, V.Y. Skeebea, I.A. Bataev, D.V. Lobanov, N.V. Martyushev, O.V. Sakha, I.V. Khlebova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 156. – P. 012025. – doi: 10.1088/1757-899X/156/1/012025.
27. Formation of high-carbon abrasion-resistant surface layers when high-energy heating by high-frequency currents / N.V. Plotnikova, V.Y. Skeebea, N.V. Martyushev, R.A. Miller, N.S. Rubtsova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 156. – P. 012022.

## STRUCTURAL-KINEMATIC ANALYSIS OF HYBRID METAL-CUTTING EQUIPMENT

**Khlebova I. V.**, Master's Degree student, e-mail: shleina.irina@mail.ru

**Rubtsova N. S.**, Master's Degree student, e-mail: rubcova-nadezhda@mail.ru

**Skeebea P. Yu.**, Student, e-mail: skeebee@rambler.ru

**Skeebea V. Yu.**, Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: skeebee\_vadim@mail.ru

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

### Abstract

The main direction of modern engineering development is supporting the production of competitive and quality products.

In this regard, in the machine tool industry there is a tendency towards the development of an innovative type of technological equipment - hybrid (interconnected) metalworking systems.

Combining heterogenous processes in one machine: abrasive grinding with surface hardening, laser surface hardening coupled with machining, cutting - quenching, turning - quenching - grinding, is due to the desire of developers to expand the technological capabilities of machines and ensure its single unit operation in flexible machinery production.

This method makes it possible not only to achieve high levels of resource and energy saving, but also to ensure an appropriate processing performance level and parts quality.

The target of the research is the initial design stage of a hybrid technological equipment combining mechanical and thermal surface treatment.

The work objective: to increase the effectiveness of the initial stages of hybrid metalworking systems design on the basis of structural synthesis of the formative systems of machining facilities and its performance forecasting.

### Keywords

hybrid equipment, structural formula, production processes, integrated circuit structure, metalworking

УДК 625.1

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЯМОЛИНЕЙНЫХ СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ***Н.С. РУБЦОВА, магистрант**И.В. ХЛЕБОВА, магистрант**П.Ю. СКИБА, студент**В.Ю. СКИБА, канд. техн. наук, доцент  
(НГТУ, г. Новосибирск)*

**Рубцова Н.С.** – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,  
Новосибирский государственный технический университет,  
e-mail: rubcova-nadezhda@mail.ru

В статье проведено исследование прямолинейных стрелочных переводов и их гарнитур. По результатам, которых были выявлены основные достоинства и недостатки конструкции, которые позволят увеличить надежность работы и эксплуатационный ресурс, что в свою очередь обеспечит требуемую безопасность пассажиров, а также сохранность и быструю доставку грузов.

**Ключевые слова:** стрелочный перевод, электропривод, внешний замыкатель, крестовина, кляммера.

**Введение**

В настоящее время, российские железные дороги являются важнейшим элементом транспортной системы, так как выполняют 85% грузооборота и свыше 40% пассажирооборота. Железные дороги являются сложной системой, состоящей из различных технических устройств и средств. Основными из них являются подвижные составы, железнодорожные пути, узлы и станции. Для модернизации транспортной системы и создания конкурентоспособной продукции необходимо проводить мероприятия по повышению скоростей движения поездов, что в свою очередь предусматривает повышение требований к безопасности подвижного состава и бесперебойности перевозочного процесса при минимальных затратах на эксплуатацию, надежности работы и увеличение эксплуатационного ресурса. А также, необходимо провести оптимизацию конструкции по прочностным характеристикам стрелочного перевода, с учетом геометрии рельсов и профилей колес, демпфирование колебаний от подвижного состава [1 - 7].

А также, в связи с увеличением скорости движения, повышаются нагрузки на железнодорожный путь, особенно в местах разрыва рельсовых нитей. И самым слабым местом является гарнитура, которая соединяет электропривод с острьяками и воспринимает эти нагрузки. Она должна выдерживать высокие динамические нагрузки и иметь повышенную прочность, износостойкость и сопротивляемость ударам.

Целью данной работы является проведение анализа и выявление недостатков прямолинейных стрелочных переводов с целью повышения надежности его работы.

### Теория

Стрелочный перевод состоит из стрелки, крестовины с контррельсами, и соединительного пути между ними и комплекта переводных брусьев [8]. Схема стрелочного перевода показана на рисунке 1 [9].

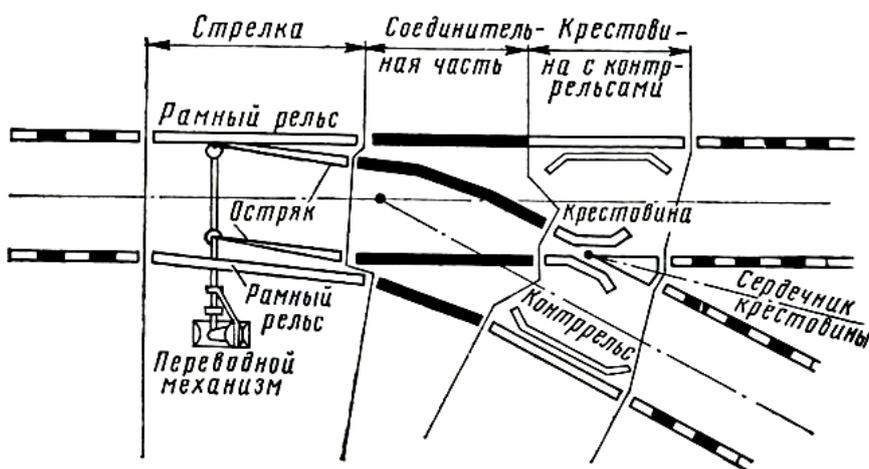


Рис. 1. Схема стрелочного перевода

Для обеспечения безопасности движения используют различные устройства и системы, одним из которых являются стрелочный электропривод. Стрелочный электропривод предназначен для перемещения острияков из одного положения в другое, запираания острияков в крайнем положении и получения непрерывного контроля фактического положения стрелки.

Стрелочные электроприводы подразделяются на взрезные и невзрезные. Взрезные используют для стрелок с раздельным ходом острияков, а невзрезные имеют один рабочий шиббер. Шиббер - это механизм, передающий необходимое переводное усилие на рабочую тягу и на контрольные линейки, которые выходят из корпуса электропривода и соединяются с контрольными тягами, каждая из которых сопряжена со своим острияком [1].

Электропривод устанавливается на специальную гарнитуру, которая соединяется с рельсами с правой или с левой стороны.

Гарнитура состоит из следующих основных узлов и деталей: внешний замыкатель; полосы связные; регулируемые контрольные тяги; рабочие тяги (рисунок 2).

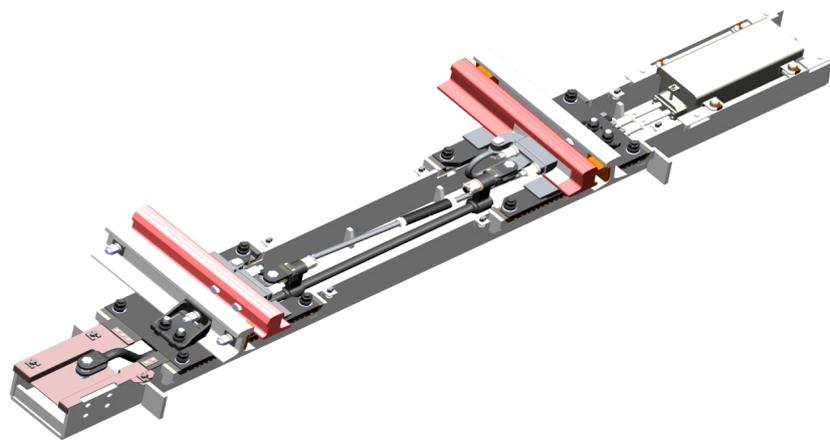


Рис. 2. Внешний вид гарнитуры

Замыкающее устройство позволяет блокировать стрелочный перевод с целью предотвращения самопроизвольного перевода острижков под действием внешней нагрузки и должен оставаться неизменным при отказе элементов привода. На полосы связные крепится электропривод, тяги рабочие соединяют внешний замыкатель с шибером электропривода. Недостаточная надежность данного устройства приводит к неправильному функционированию стрелочных переводов, что в свою очередь может привести к сходу поезда с рельсов [3].

Электропривод с гарнитурой выполняет важнейшие задачи:

- ✓ обеспечение надежного прилегания прижатого острижка к рамному рельсу, не допускать замыкания острижков при зазоре 4 мм и более;
- ✓ обеспечение отвода отжатого острижка от рельса на интервал не менее 125 мм;
- ✓ обеспечение необходимого усилия для перевода острижков стрелки из одного крайнего положения в другое;
- ✓ обеспечение исправного и работоспособного состояния, а также защита устройства от времени суток, погодных и других внешних дестабилизирующих факторов;
- ✓ обеспечение постоянного контроля положения острижков стрелки, механизма замыкания шибера;
- ✓ обеспечение постоянства силовых факторов замкнутого шибера в статическом режиме эксплуатации, а также при проходе неограниченного числа подвижного состава по стрелке с установленной скоростью до полной выработки своего ресурса.

### Результаты и обсуждение

Наибольшее распространение на российских железных дорогах получил прямолинейный стрелочный перевод типа Р65 марки 1/11 на железобетонных брусках (проект 2750.00.000 и 2726.00.000). Данные переводы применяются на железнодорожных линиях 1 и 2 классов со смешанным грузопассажирским движением поездов, и скорость движения пассажирских поездов по прямому пути составляет до 140 км/ч в проекте 2750.00.000 и до 200 км/ч в проекте 2726.00.000 [6, 7].

Рамные рельсы закреплены на подкладках с подушками и ребордами с помощью упругих клемм. Упругое рельсовое скрепление исключает угон рельса под действием нагрузки и температуры. Подкладки имеют высокие вертикальные реборды, что позволяет удерживать неизменную ширину рельсовой колеи, обеспечить надежное закрепление рельсовых элементов к основанию (рисунок 3) [5].

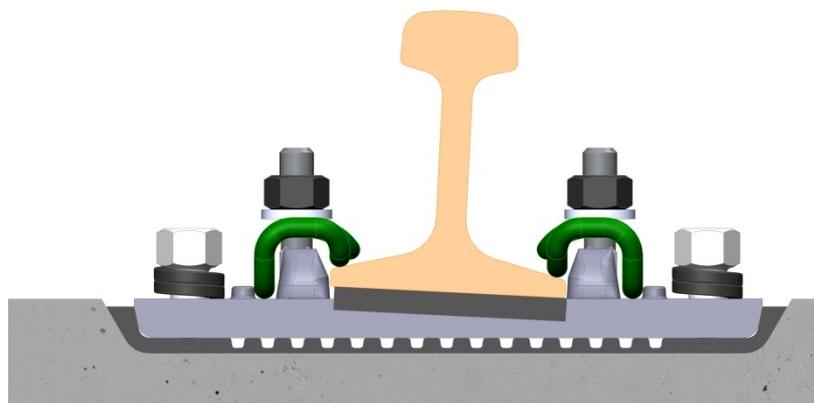


Рис. 3. Упругое рельсовое скрепление

Перевод 2750 включает в себя гарнитуру для электропривода СП 6 или гарнитуру с внешним замыкателем для электропривода СП 12. Но в основном для высокоскоростного движения применяют электропривод типа СП 12 [7].

Различие электропривода СП 12 от электропривода СП 6 является разный ход шибера и ход контрольных линеек. Ход шибера у СП-12 составляет  $220 \pm 2$  мм, ход контрольных линеек  $154 \pm 2$  мм или  $140 \pm 2$  мм. В то время как у СП-6М ход шибера  $154 \pm 2$  мм, ход контрольных линеек  $154 \pm 2$  мм. А также, запираение прижатого остряка совершается внешним замыкателем, а отведенный остряк удерживается за счет внутреннего замыкателя [4].

Стрелочный невзрезной электропривод СП-12 имеет ход шибера 220 мм и предназначен для перевода, запираения и контроля положения стрелки с нераздельным ходом остряков и подвижного сердечника крестовин в постоянном режиме работы. Данный электропривод обеспечивает при крайних положениях запираение прижатого остряка за счет внешнего замыкателя и удерживает отведенный остряк с помощью внутреннего замыкателя и устанавливается совместно с внешним замыкателем.

В переводе 2750 применяется вертикальный внешний замыкатель ВЗ-7, а в переводе 2726 – горизонтальный ВЗ-2.

Внешний замыкатель остряков с рамными рельсами представлен на рисунке 4.

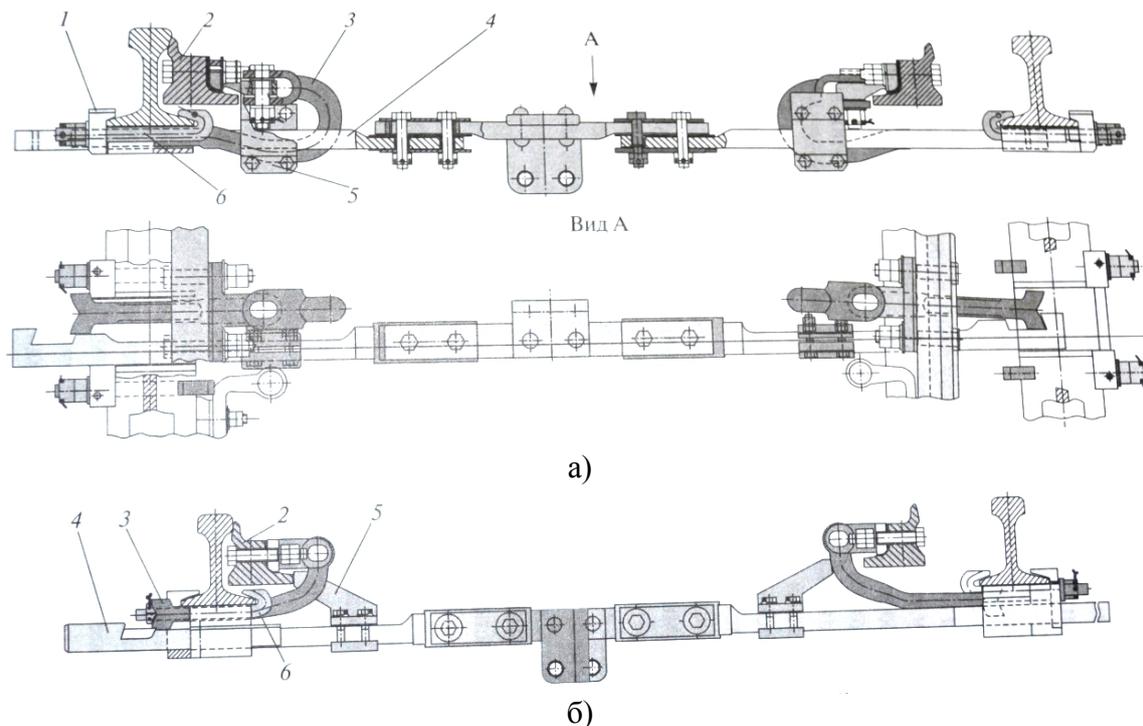


Рис. 4. Внешний замыкатель остряков с рамными рельсами:

а – горизонтальный; б – вертикальный;

1 - основание; 2 - остряк; 3 - кляммера; 4 – планка; 5 – комплект упоров; 6 – болт.

Преимущество внешнего замыкателя ВЗ-7 заключается в применении вертикальной схемы замыкания кляммеры, которая повышает надежность работы по сравнению с горизонтальным замыканием и обеспечивает безопасность движения подвижного состава, а также уменьшает габаритные размеры [5].

А также, в конструкции электропривода предусмотрена возможность внутреннего замыкания. Но существует недостаток данного механизма – замыкатель не обеспечивает замыкание остряка в прижатом к рамному рельсу положении. Следовательно, возможны случаи появления

зазора более 4 мм между рамным рельсом и прижатым к нему острым краем. Поэтому, в целях повышения безопасности движения применяют внешние механические замыкатели.

Перевод 2726 по геометрическим размерам является модернизированным аналогом перевода 2750. Поэтому увеличить конструкционную скорость движения по основному пути осуществили за счет применения крестовины с гибко-поворотным сердечником. А также, в данном переводе используется унифицированная конструкция гарнитуры, в результате чего можно устанавливать разные электроприводы СП и ВСП.

### Вывод

Таким образом, данное теоретическое исследование позволило выявить основные достоинства и недостатки двух стрелочных переводов, а именно 2750 и 2726. Основным недостатком перевода 2726 является внешний замыкатель, который обладает неудовлетворительной динамикой работы, а преимуществом является скорость движения, которая составляет 200 км/ч.

Но достоинством перевода 2750 является, наоборот, конструкция внешнего замыкателя, который повышает надежность и безопасность движения поездов.

### Список литературы

1. Железнодорожный путь: учебник / Е.С. Ашпиз, А.И. Гасанов, Б.Э. Глюзберг и др.; под ред. Е.С. Ашпиза. – М.: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2013. – 544 с.
2. Перевод стрелочный типа р65 марки 1/11 на железобетонных брусках / К.П. Плотников, В.Р. Глейм, А.Ю. Левчук, Г.О. Ча, П.В. Трегубчак, В.Ю. Скиба // Научно-исследовательские публикации. – 2015. – № 11 (31). – С. 102–107.
3. *Майоров В.С.* Динамический синтез и моделирование механизмов гарнитуры стрелочных электроприводов с внешними замыкателями // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2013. – № 1 (34). – С. 122–127.
4. *Матвеева О.Л., Селиверов Д.И.* Электроприводы для железнодорожных стрелочных переводов // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки: материалы VII студенческой международной заочной научно-практической конференции, 25 декабря 2012 г. – Новосибирск: СибАК, 2012. – С. 79–91.
5. *Майоров В.С.* Повышение надежности работы гарнитуры стрелочного перевода для железнодорожных путей: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – СПб., 2014. – 17 с.
6. 2726.00.000РЭ. Руководство по эксплуатации – Перевод стрелочный типа Р65 марки 1/11 на железобетонных брусках для скоростного движения / Министерство путей сообщения РФ. – М., 1997.
7. 2750.00.000РЭ. Руководство по эксплуатации – Перевод стрелочный типа Р65 марки 1/11 на железобетонных брусках / Министерство путей сообщения РФ. – М., 1998.
8. *Xin L., Markine V.L., Shevtsov I.Y.* Numerical analysis of the dynamic interaction between wheel set and turnout crossing using the explicit finite element method // Vehicle System Dynamics. – 2016. – Vol. 54, iss. 3. – P. 301–327. – doi: 10.1080/00423114.2015.1136424.
9. *Троицкий Л.Ф.* Горжусь профессией путейца. – М.: Транспорт, 1985. – 200 с.

## RESEARCH OF RECTILINEAR TURNOUTS

**Rubtsova N. S.**, Master's Degree student, e-mail: rubcova-nadezhda@mail.ru

**Khlebova I. V.**, Master's Degree student, e-mail: shleina.irina@mail.ru

**Skeeba P. Yu.**, Student, e-mail: skeeba@rambler.ru

**Skeeba V. Yu.**, Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: skeeba\_vadim@mail.ru

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

### Abstract

The article studied straight turnouts and their headsets. As a result, we identified the main advantages and disadvantages of the construction, which will increase the reliability and service life, which in turn will provide the required safety of the passengers, as well as safety and prompt delivery of goods.

### Keywords

Turnout, electric switch mechanism, external point bolt, frog, tingle

УДК 621.01

**ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
ПРОИЗВОДСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН***Т.Г. МАРТЫНОВА, канд. техн. наук, доцент**С.В. ПТИЦЫН, доцент**В.Ю. СКИБА, канд. техн. наук, доцент**А.А. ЧЕРНЫШЕВА, магистрант**П.Ю. СКИБА, студент**(НГТУ, г. Новосибирск)*

**Мартынова Т.Г.** – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,  
Новосибирский государственный технический университет,  
e-mail: tatyana martynova1511@gmail.com

Современное состояние промышленности в стране зависит от многих факторов. Значительный износ основных фондов, низкая производительность оборудования и высокое энергопотребление не позволяют российскому машиностроению успешно конкурировать с другими развитыми странами. Поэтому актуальной стала задача реиндустриализации страны. Решить задачу можно только за счет расширения импортозамещения, а это приводит к ряду проблем на всем протяжении жизненного цикла технологического оборудования. Проблемы, возникающие уже на стадии его создания, можно разделить на три группы: первая – необходимость сокращения времени проектирования и изготовления машины, вторая – повышение качества и конкурентоспособности разработок, третья – подготовка высококвалифицированных специалистов в области проектно-конструкторского обеспечения машиностроительных производств. В работе приводится анализ проблем, и предлагаются пути их решения.

**Ключевые слова:** реиндустриализация, импортозамещение, машиностроение, технологические машины, проектирование.

**Введение**

В настоящее время состояние промышленности в стране продолжает оставаться на низком уровне. Промышленное оборудование за годы перестройки морально и физически устарело. Износ основных фондов в машиностроении превышает 50%, а в некоторых случаях доходит до 70%. Станочный парк сократился в 90-е годы прошлого века более чем в 10 раз и продолжил сокращаться в 2000-е. Расходы на станкостроение составляют 0,2-0,3% от ВВП, в то время как, например, в Германии, Японии и других развитых странах этот показатель доходит до 9%. Затраты на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в машиностроении в России составляют 1,5-2 млрд. долларов в год, что в десятки раз ниже, чем во многих странах.

Чтобы успешно конкурировать с другими государствами, необходимо существенно повышать промышленный потенциал, т.к. развитие промышленности, в том числе и машиностроения, является основой для научно-технического прогресса. Поэтому актуальной стала задача реиндустриализации страны. Причем в современных условиях рассчитывать на участие в этом процессе зарубежных фирм не приходится. Решить задачу можно только за счет расширения импортозамещения.

## Теория

Современное промышленное производство в значительной мере зависит от его обеспечения высококачественным технологическим оборудованием, назначение которого состоит в преобразовании формы, свойств или положения обрабатываемых материалов или предметов [1 - 9].

Жизненный цикл технологических машин (рис. 1) на всех этапах от их создания до окончания эксплуатации сопровождается решением многочисленных проблем.

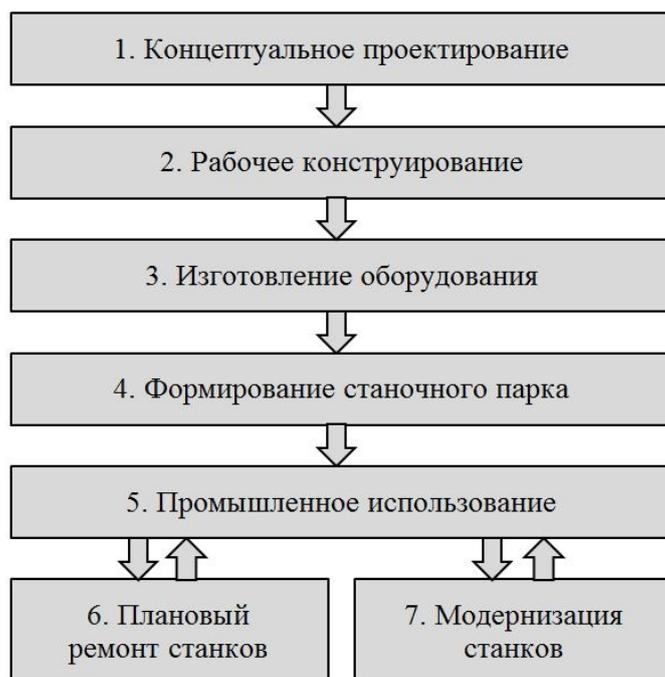


Рис. 1. Этапы жизненного цикла технологических машин

Большинство из них возникает еще на этапе проектно-конструкторского обеспечения при разработке такой техники [10 - 14]. Все возникающие проблемы условно можно разбить на три группы (рис. 2).

Первая группа проблем связана с необходимостью сокращения сроков разработки новой техники. Заказчики требуют поставки оборудования в течение 2-3 месяцев, но не более полугода. А технологический цикл проектирования и изготовления сложных машин обычно составляет от года до нескольких лет.

Во вторую группу входят проблемы обеспечения качества технологического оборудования, которое оценивается с помощью специальных показателей, состав которых зависит от назначения этих изделий. Интегральным показателем качества технологических машин, определяющим уровень их прогрессивности и совершенства, является эффективность. В соответствии с ГОСТ 15467-79 она определяется отношением суммарного полезного эффекта от эксплуатации машины к суммарным затратам на ее создание и эксплуатацию. К третьей группе относятся кадровые проблемы: нехватка специалистов в области проектирования и конструирования технологического оборудования, низкая квалификация кадров [15 - 24].



Рис. 2. Классификация показателей качества технологического оборудования

## Результаты

Сокращение сроков проектирования можно достичь за счет внедрения автоматизации проектирования, использования модульного принципа построения конструкций машин, широкого применения методов математического и 3D-моделирования и т.п.

Вторая группа проблем более сложная. Для оценки качества технологических машин используются специальные показатели. Они между собой не равнозначны и имеют свои особенности, которые необходимо учитывать при их применении. Эти показатели подразделяются на интегральные и дифференциальные, основные и второстепенные, постоянные и переменные, независимые и зависимые, сами оценки могут быть количественные или качественные, а первые, в свою очередь, абсолютными и относительными. Есть три группы показателей: функциональные, эксплуатационные и технические.

К первой группе относится эффективность – это комплексный (интегральный) показатель качества, который определяет, в какой мере реализуется главное назначение оборудования – обеспечить обработку с меньшими затратами при требуемой производительности.

Эффективность вычисляется по следующей формуле:

$$\mathcal{E} = \frac{N}{Z_{np}} \quad (1)$$

где  $N$  – годовой выпуск деталей,  $Z_{np}$  – приведенные затраты.

При проектировании оборудования следует стремиться к максимальной эффективности, поэтому показатель  $\mathcal{E}$  следует использовать как целевую функцию  $\mathcal{E} \rightarrow \max$ , а при за-

данной годовой программе выпуска деталей это условие сводится к  $Z_{np} \rightarrow \min$ . Т.е. в некоторых случаях оптимизацию выгоднее проводить по значению эффективности, в других по затратам.

Основным дифференциальным показателем качества, от которого зависит эффективность технологического оборудования, является производительность. В ближайшие годы ее надо увеличить на 5% в год, т.к. в настоящее время имеет место отставание по производительности от других стран более чем в 2 раза. Причем в первую очередь следует обратить внимание на автоматизацию оборудования и общее снижение затрат. В этом плане актуальной является задача энергосбережения, т.к. затраты на энергию составляют значительную часть общих затрат. Кроме того следует обратить внимание на вопросы надежности технологичности и ряд других проблем.

Исходя из этого, следует, что качество технологических машин не является детерминированным, т.е. определенным и неизменным. Причем, следует иметь в виду, что избыточное качество с экономической точки зрения, также невыгодно, как и недостаточное. Поэтому при оценке целесообразности повышения качества необходимо учитывать конкретные условия использования машин потребителями.

Третья группа проблем связана с тем, что конструктору при проектировании технологических машин приходится решать задачи выбора оптимальных вариантов из нескольких альтернативных, оценивать уровень совершенства самих машин и их конкурентоспособность, а при эксплуатации определять соответствие применяемого оборудования поставленным технологическим задачам и его прогрессивность. Чтобы успешно решать эти проблемы надо владеть определенными знаниями и навыками, а также определенными творческими способностями.

Для устранения дефицита кадров в машиностроении необходимо повышать популярность технических специальностей среди абитуриентов ВУЗов, совершенствовать учебные программы, а также тесно взаимодействовать с предприятиями при решении вопросов прохождения практики и трудоустройства выпускников.

## Выводы

Сокращение сроков проектирования и создания технологических машин, повышение уровня подготовки кадров и, как следствие, качества оборудования сделает продукцию отечественных машиностроительных предприятий конкурентоспособной на мировом рынке.

Именно комплексный подход к решению этих проблем позволит провести реиндустриализацию страны, широко используя импортозамещение в машиностроительной отрасли промышленности

## Список литературы

1. Совершенствование технологических процессов машиностроительных производств / А.С. Янюшкин, С.О. Сафонов, Д.В. Лобанов и др. – Братск: Изд-во БрГУ, 2006. – 302 с.
2. *Архипов П.В., Лобанов Д.В., Янюшкин А.С.* Совершенствование оборудования под процессы комбинированной обработки // Вестник Таджикского технического университета. – 2013. – Т. 2, № 2. – С. 32–37.
3. *Абрамсон С.И.* Повышение производительности металлорежущих станков при применении групповых методов обработки. – М., 1981. – 56 с.

4. *Дружинский И.А.* Концепция конкурентоспособных станков. – Л.: Машиностроение, 1990. – 247 с.
5. Actual problems and decisions in machine building / ed. by V.Yu. Skeebea. – Pfaffikon: Trans Tech Publ., 2015. – 344 p. – (Applied mechanics and materials; vol. 788). – doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.788. – ISBN 978-3-03835-551-9.
6. *Аверьянов О.И.* Модульный принцип построения станков с ЧПУ. – М.: Машиностроение, 1987. – 232 с.
7. *Скиба В.Ю.* Актуальные проблемы в машиностроении: сборник материалов первой международной научно-практической конференции // Хроники объединенного фонда электронных ресурсов Наука и образование. – 2014. – № 11 (66). – С. 83.
8. Надежность прогноза качества технологического оборудования / С.В. Птицын, В.Ю. Скиба, Ю.С. Чёсов, Е.В. Мережко // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2013. – № 2 (59). – С. 33–38.
9. Прогнозирование технических характеристик интегрального технологического оборудования / В.Н. Пушнин, Д.Ю. Корнев, Н.В. Вахрушев, В.Ю. Скиба, К.А. Парц // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. – 2014. – Т. 2. – С. 97–101.
10. Выбор конструктивных параметров несущих систем машин с учетом технологической нагрузки / Ю.И. Подгорный, В.Ю. Скиба, А.В. Кириллов, О.В. Максимчук, Д.В. Лобанов, В.Р. Глейм, А.К. Жигулев, О.В. Саха // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2015. – № 4 (69). – С. 51–60. – doi: 10.17212/1994-6309-2015-4-51-60.
11. Моделирование несущих систем технологических машин / Ю.И. Подгорный, В.Ю. Скиба, А.В. Кириллов, В.Н. Пушнин, И.А. Ерохин, Д.Ю. Корнев // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2014. – № 2 (63). – С. 91–99.
12. Определение жесткостных характеристик и энергии деформации несущих систем технологических машин / Ю.И. Подгорный, В.Ю. Скиба, А.В. Кириллов, О.В. Максимчук, Т.Г. Мартынова, Д.В. Лобанов, И.С. Филатов, П.Ю. Скиба // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2016. – № 4 (73). – С. 24–33. – doi: 10.17212/1994-6309-2016-4-24-33.
13. Методика уравнивания роторов технологических машин / Ю.И. Подгорный, Т.Г. Мартынова, В.Ю. Скиба, Д.В. Лобанов, А.А. Жирова, А.Н. Бредихина, А.С. Косилов, Н.С. Печоркина // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2016. – № 2 (71). – С. 41–50. – doi: 10.17212/1994-6309-2016-2-41-50.
14. Уравнивание роторов технологических машин / Ю.И. Подгорный, Т.Г. Мартынова, А.Н. Бредихина, А.С. Косилов, Н.С. Печоркина // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2015. – № 2. – С. 256–262.
15. *Бушуев В.В.* Направления конструирования станков // Вестник МГТУ «Станкин». – 2008. – № 1. – С. 8–13.
16. *Хомяков В.С., Давыдов И.И.* Автоматизированное проектирование компоновок металлообрабатывающих станков // Станки и инструмент. – 1990. – № 5. – С. 4–7.
17. *Evakhnenko A.G.* Conceptual designing of metal cutting systems: methodology and methods // The technical progress problems of the Far East region: combined collection of scientific works. – Khabarovsk: KSTU, 1997. – Vol. 3. – P. 78–82.
18. *Аверьянов О.И.* Научные основы формирования технических характеристик и компоновочных решений многооперационных станков: дис. ... д-ра техн. наук. – М., 1983. – 258 с.
19. *Тихонов М.И.* Концептуальное проектирование в интегрированных CAD/CAM/CAE системах // Труды конгресса «Конструкторско-технологическая информатика (КТИ-96)». – М.: МГТУ «СТАНКИН», 1996. – С. 137–138.

20. *Ивахненко А.Г.* Концептуальное проектирование металлорежущих систем. Структурный синтез. – Хабаровск: Изд-во ХГТУ, 1998. – 124 с.
21. *Птицын С.В., Левицкий Л.В.* Структурный анализ и синтез кинематики металлорежущих станков: учебное пособие. – Киев: УМК ВО, 1989. – 70 с.
22. Разработка экспертной системы структурного синтеза технологических комплексов для ГПС: отчет заключит., по г/б теме / Хабаровский государственный технический университет; рук. А.Г. Ивахненко. – № РСГ 01.99.0004776. – Хабаровск, 1999. – 56 с.
23. *Шнур Г., Краузе Ф.-Л.* Автоматизированное проектирование в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1990. – 224 с.
24. *Чёсов Ю.С., Птицын С.В.* Проектирование металлорежущего оборудования: учебное пособие. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2005. – 105 с.

## PROBLEMS OF ENGINEERING ENSURING OF TECHNOLOGICAL MACHINES PRODUCTION

**Martynova T.G.**, Ph.D. (Engineering), Associate Professor,  
e-mail: tatyana martynova1511@gmail.com

**Ptitsyn S.V.**, Associate Professor, e-mail: stanislav.pticzin@yandex.ru

**Skeeba V.Yu.**, Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: skeeba\_vadim@mail.ru

**Chernysheva A.A.**, Master's Degree student, e-mail: anna200@i.ua

**Skeeba P. Yu.**, Student, e-mail: skeeba@rambler.ru

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

### Abstract

The current state of the industry in the country depends on many factors. A significant depreciation of fixed assets, low productivity of equipment and high energy consumption do not allow the Russian mechanical engineering to compete with other developed countries successfully. Therefore, re-industrialization of the country became an urgent task. We can solve the problem only due to the expansion of import substitution, and it leads to a number of problems throughout the life cycle of technological equipment. The problems arising at the stage of its creation can be divided into three groups: the first problem is a need to reduce time of machine design and fabrication, the second is improving the quality and competitiveness developments, and the third is the training of highly qualified specialists in the field of design ensuring of mechanical engineering. The paper provides an analysis of the problems and suggests solutions.

### Keywords

re-industrialization, import substitution, mechanical engineering, technological machines, design

УДК 621.787

**ВЫБОР НАИБОЛЕЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ НА ГИБРИДНОМ  
МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕМ ОБОРУДОВАНИИ НА ПРИМЕРЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ  
ПОВЕРХНОСТИ**

*Г.О. ЧА, аспирант  
П.Ю. СКИБА, студент  
Ю.В. ВШИВКОВА, студент  
А.Н. ЛОБКО, студент  
(НГТУ, г. Новосибирск)*

**Ча Г.О.** – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,  
Новосибирский государственный технический университет,  
e-mail: Grigoriy\_olegovich@mail.ru

В работе рассматривается объединение механической и поверхностно-термической обработки на одном технологическом оборудовании.

Было установлено, что комплексирование механической и поверхностно-термической обработки высокоэнергетическими источниками является перспективным направлением в машиностроительной отрасли.

Приведен выбор наиболее рациональных методов обработки на гибридном металлорежущем оборудовании на примере цилиндрической поверхности.

**Ключевые слова:** гибридное металлорежущее оборудование, высокоэнергетический нагрев, механическая обработка, качество поверхностного слоя.

**Введение**

Анализ литературы по данной теме показал, что в условиях современного производства к основным направлениям повышения эффективности обработки можно отнести интеграцию нескольких операций на одном технологическом оборудовании [1...12]. В данной работе рассматривается объединение механической и поверхностно-термической обработки, что позволяет получить: геометрические размеры заданной точности, точность формы и расположения поверхностей, физико-механические свойства и необходимые параметры качества поверхностного слоя. Комплексирование механической и поверхностно-термической обработки приведёт к сокращению энергозатрат, повышению производительности обработки и качества деталей машин. Даст возможность уменьшить количество единиц оборудования, что приведёт к увеличению эффективности использования площади на производстве, сокращению рабочих мест, уменьшению технологического маршрута изготовления детали.

Назначение припусков на последующую чистовую обработку осуществляется с учетом погрешностей, получаемых вследствие смены технологического оборудования (погрешности, полученные на предыдущей операции, погрешности установки, смены технологических баз, деформации заготовки после термической обработки). Таким образом, на операции поверхностной закалки необходимо обеспечить большую глубину упрочнения.

Совмещение механической и термической обработок на одном оборудовании позволяет уменьшить припуски на термическую и финишную обработки. Уменьшение припусков сокращает энергозатраты на обеспечение глубины упрочнения поверхностного слоя и увеличивает производительность. А так же производительность увеличивается за счет уменьшения

вспомогательного и подготовительно-заключительного времени: время, затраченное на снятие, установку и закрепление заготовки, на перенос заготовки с одного рабочего места на другое, на обеспечение заданной с учетом припуска глубины упрочнения и соответственно уменьшение машинного времени финишной обработки [13 - 21].

### Выбор наиболее рациональных методов обработки

Типовой технологический процесс получения поверхностей с заданной точностью, физико-механическими свойствами и параметрами качества поверхностного слоя на гибридном оборудовании предусматривает следующие переходы:

- Обработка заготовки резанием. Получение основных геометрических параметров детали с учетом припусков на последующие финишные операции, а также подготовка поверхности к последующей термической обработке поверхности. На данном переходе необходимо убрать различного рода дефекты, грубые отклонения формы поверхности, для обеспечения равномерности глубины упрочняемого слоя;

- Поверхностная закалка, обеспечивает необходимую твердость и глубину упрочняемого слоя детали, формирует требуемый уровень и характер распределения остаточных напряжений;

- Финишная механическая обработка, формирует такие параметры как точность размеров, формы и расположения поверхностей, шероховатость, волнистость поверхности, характер остаточных напряжений поверхностного слоя.

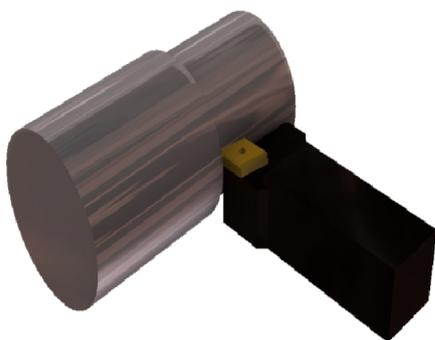


Рис. 1. Обработка поверхности точением

Для снятия основного объема металла наиболее распространенным и рациональным методом обработки наружных цилиндрических поверхностей является черновое точение (первый переход интегральной обработки) (рис. 1). Точение цилиндрической поверхности обеспечивает простоту кинематики движений заготовки и инструмента и относительно малую стоимость по сравнению с другими возможными методами формообразования цилиндрических поверхностей.

Для повышения эксплуатационных свойств деталей машин все большее распространения получают методы модифицирования поверхностных слоев деталей с использованием концентрированных источников энергии: лазер, плазма, электронный луч, токи высокой частоты. Каждый из этих источников обладает своими преимуществами и недостатками. Так с точки зрения максимального термического коэффициента полезного действия наиболее эффективными являются электронный луч и токи высокой частоты. Очередной виток в развитии закалки ТВЧ стал возможен с появлением нового способа обработки – высокоэнергетический нагрев токами высокой частоты (ВЭН ТВЧ). Этот способ позволяет реализовать удельную мощность нагрева до  $400 \text{ МВт/м}^2$ , что позволяет с успехом конкурировать с другими концентрированными источниками при закалке материала без оплавления [22 - 26].

Характерные особенности присущие ВЭНТВЧ заключаются в следующем. Для максимальной концентрации энергии в локальном объеме материала нагрев осуществляется при частоте тока  $440000 \text{ Гц}$ . Инструментом является индуктор петлевого типа, изготавливаемый плоским с минимальной шириной активного провода индуктора ( $R_{и} = 1,2 \text{ мм}$ ) и оснащенный ферритовым магнитопроводом с высокой магнитной проницаемостью. Обработка осуществляется с минимальными технологически возможными зазорами ( $\delta =$

0,1...0,5 мм). С целью устранения возможности перегорания активного провода и обеспечения надежного отвода теплоты толщина стенок индуктора составляет  $a = 0,12...0,15$  мм (рис. 2).

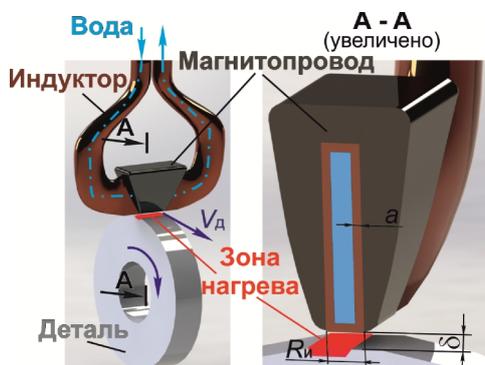


Рис. 2. Обработка ВЭН ТВЧ

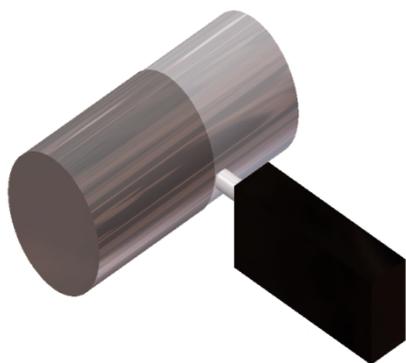


Рис. 3. Алмазное выглаживание

методов финишной обработки является то, что для осуществления этих переходов нужны те же самые исполнительные движения. Это позволяет не прибегать к усложнению кинематики оборудования и не выделять этот переход в отдельную операцию.

## Выводы

К настоящему моменту на кафедре проектирование технологических машин НГТУ было проведено множество исследований в данной области. Были предложены конструкции закалочного модуля, встраиваемого в существующую станочную систему, и инструмента, реализующего поверхностный нагрев ТВЧ сложных поверхностей, а так же технология обработки [11 – 14, 16, 20].

Было установлено, что комплексирование механической и поверхностно-термической обработки высокоэнергетическими источниками является перспективным направлением в машиностроительной отрасли. Это позволяет повысить производительность обработки по сравнению с существующей технологией в 2...4 раза, снизить энергозатраты на обработку в 4...6 раз и повысить микротвёрдость и уровень сжимающих напряжений поверхностного слоя на 10...15% исключить возможность появления брака; уменьшить вспомогательное и подготовительно-заключительное время [13, 14, 16 - 23].

На примере интегральной обработки наружной цилиндрической поверхности обоснован выбор методов обработки.

## Список литературы

1. Макаров В.М. Комплексированные технологические системы: перспективы и проблемы внедрения // РИТМ: Ремонт. Инновации. Технологии. Модернизация. – 2011. – № 6 (64). – С. 20–23.
2. Совершенствование технологических процессов машиностроительных производств / А.С. Янющкин, С.О. Сафонов, Д.В. Лобанов и др. – Братск: Изд-во БрГУ, 2006. – 302 с.
3. Архипов П.В., Лобанов Д.В., Янющкин А.С. Совершенствование оборудования под процессы комбинированной обработки // Вестник Таджикского технического университета. – 2013. – Т. 2, № 2. – С. 32–37.
4. Абрамсон С.И. Повышение производительности металлорежущих станков при применении групповых методов обработки. – М.: НИИмаш, 1981. – 56 с.
5. Дружинский И.А. Концепция конкурентоспособных станков. – Л.: Машиностроение, 1990. – 247 с.
6. Moriwaki T. Multi-functional machine tool // CIRP Annals – Manufacturing Technology. – 2008. – Vol. 57, iss. 2. – P. 736–749. – doi: 10.1016/j.cirp.2008.09.004.
7. Garro O., Martin P., Veron M. Shiva a multiarms machine tool // CIRP Annals – Manufacturing Technology. – 1993. – Vol. 42, iss. 1. – P. 433–436. – doi: 10.1016/S0007-8506(07)62479-2.
8. Скиба В.Ю. Актуальные проблемы в машиностроении: сборник материалов первой международной научно-практической конференции // Хроники объединенного фонда электронных ресурсов Наука и образование. – 2014. – № 11 (66). – С. 83.
9. Actual problems and decisions in machine building / ed. by V.Yu. Skeebea. – Pfaffikon: Trans Tech Publ., 2015. – 344 p. – (Applied mechanics and materials; vol. 788). – ISBN 978-3-03835-551-9. – doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.788.
10. Nagaе A. Development trend of multi-tasking machines // Proceedings of the 11th International Conference on Machine Tool Engineers, Tokyo, Japan, 3–5 November 2004. – Tokyo, 2004. – P. 312–323.
11. Integrated processing: quality assurance procedure of the surface layer of machine parts during the manufacturing step "Diamond Smoothing" / V.Yu. Skeebea, V.V. Ivancivsky, D.V. Lobanov, A.K. Zhigulev, P.Yu. Skeebea // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2015. – Vol. 125. – P. 012031. – doi: 10.1088/1757-899X/125/1/012031.
12. Hybrid processing: the impact of mechanical and surface thermal treatment integration onto the machine parts quality / V.Yu. Skeebea, V.V. Ivancivsky, A.V. Kutyshkin, K.A. Parts // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 126. – P. 012016. – doi: 10.1088/1757-899X/126/1/012016.
13. Методика назначения режимов обработки при интеграции абразивного шлифования и поверхностной закалки ТВЧ / В.В. Иванцовский, В.Ю. Скиба, Н.П. Зуб, С.В. Туревич // Современные проблемы в технологии машиностроения: Всероссийская научно-практическая конференция, посвященная 100-летию со дня рождения профессора Муханова И.И.: сборник трудов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2009. – С. 84–93.
14. Интегральная обработка как эффективное направление решения задачи перехода к ресурсосберегающим технологиям / В.Ю. Скиба, В.В. Иванцовский, Н.П. Зуб, С.В. Туревич // Инновационная деятельность. – 2010. – № 10-1. – С. 66–69.
15. Бушуев В.В. Направления конструирования станков // Вестник МГТУ «Станкин». – 2008. – № 1. – С. 8–13.
16. Технологические особенности формирования параметров качества поверхностного слоя при алмазном выглаживании в условиях интегрированной обработки / В.Ю. Скиба, В.Н. Пушнин, Д.Ю. Корнев, К.А. Парц // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2015. – № 3 (68). – С. 31–41. – doi: 10.17212/1994-6309-2015-3-31-41.

17. Повышение производительности металлообработки и эксплуатационных характеристик деталей машин при интегрировании финишной механической и поверхностно-термической операций на одном технологическом оборудовании / В.Ю. Скиба, Р.А. Гарин, Е.А. Гарин, В.Е. Воротников // Механики XXI века. – 2010. – № 9. – С. 81–84.
18. Структура износостойких плазменных покрытий после высокоэнергетического воздействия ТВЧ / Ю.С. Чёсов, Е.А. Зверев, В.В. Иванцовский, В.Ю. Скиба, Н.В. Плотникова, Д.В. Лобанов // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2014. – № 4 (65). – С. 11–18.
19. *Иванцовский В.В., Скиба В.Ю.* Повышение поверхностной микротвердости стали при интеграции поверхностно-термической и финишной механической обработок // Научный вестник НГТУ. – 2006. – № 3. – С. 187–192.
20. *Скиба В.Ю.* Повышение эффективности технологического процесса обработки деталей машин, при интеграции абразивного шлифования и поверхностной закалки ТВЧ: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / Новосибирский государственный технический университет. – Новосибирск, 2008. – 257 с.
21. Обеспечение качества поверхностного слоя при алмазном выглаживании в условиях интегрированной обработки / В.Н. Пушнин, Н.В. Вахрушев, П.В. Трегубчак, Д.Ю. Корнев, В.Ю. Скиба // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2015. – № 2. – С. 169–176.
22. *Скиба В.Ю.* Обеспечение требуемого характера распределения остаточных напряжений при упрочнении высокоэнергетическим нагревом токами высокой частоты // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2007. – № 2 (35). – С. 25–27.
23. Моделирование напряженно-деформированного состояния материала в программном комплексе SYSWELD при поверхностной закалке ТВЧ / В.Е. Воротников, Р.А. Гарин, Е.А. Гарин, В.Ю. Скиба // В мире научных открытий. – 2010. – № 2–3. – С. 16–19.
24. *Ivancivsky V., Parts K., Popov V.* Depth distribution of temperature in steel parts during surface hardening by high frequency currents // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Vol. 788. – P. 129–135. – doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.788.129.
25. The features of steel surface hardening with high energy heating by high frequency currents and shower cooling / V.V. Ivancivsky, V.Y. Skeebe, I.A. Bataev, D.V. Lobanov, N.V. Martyushev, O.V. Sakha, I.V. Khlebova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 156. – P. 012025. – doi: 10.1088/1757-899X/156/1/012025.
26. Formation of high-carbon abrasion-resistant surface layers when high-energy heating by high-frequency currents / N.V. Plotnikova, V.Y. Skeebe, N.V. Martyushev, R.A. Miller, N.S. Rubtsova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 156. – P. 012022.
27. Образование жидкой фазы в поверхностном слое стальных деталей в условиях закалки высокоэнергетическим нагревом токами высокой частоты / В.В. Иванцовский, И.А. Батаев, Т.Г. Мартынова, Н.В. Вахрушев, Г.О. Ча // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2014. – № 3 (72). – С. 41–51. – doi: 10.17212/1994-6309-2016-3-41-51.

## SELECTING THE MOST APPROPRIATE CYLINDRICAL SURFACE HYBRID TREATMENT METHODS

**Cha G.O.**, Ph.D. student, e-mail: Grigoriy\_olegovich@mail.ru

**Skeeba P. Yu.**, Student, e-mail: skeeba@rambler.ru

**Vshivkova Yu. V.**, Student

**Lobko A. N.**, Student

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

### Abstract

This article investigates integration of mechanical and heat treatment on single equipment.

It was found that integration of mechanical and surface heat treatment by high-energy source is a perspective direction in the machine building industry.

The most appropriate processing methods for hybrid metal-cutting equipment of a cylindrical surface were selected.

### Keywords

hybrid metal-cutting equipment, high-energy heating, machining, quality of the surface layer

УДК 67.05

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА СМЕНЫ УТОЧНЫХ НИТЕЙ  
ДЛЯ БЕСЧЕЛНОЧНЫХ ТКАЦКИХ СТАНКОВ**

**Ю.И. ПОДГОРНЫЙ**, доктор техн. наук, профессор  
**Н.С. ПЕЧОРКИНА**, магистрант  
**П.Ю. СКИБА**, студент  
**Ю.В. ВШИВКОВА**, студент  
**А.Н. ЛОБКО**, студент  
(НГТУ, г. Новосибирск)

**Печоркина Н.С.** – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,  
Новосибирский государственный технический университет,  
e-mail: pechorkina94@yandex.ru

В данной статье рассмотрены две конструкции привода механизма смены цвета ткацкого станка. Представлена схема введения уточной нити в зев и кинематическая схема механизма смены цвета станка типа СТБ с приводом от цепи картона, с помощью которой в дальнейшем будут производиться расчеты по улучшению кинематических характеристик зубчато-кулачково-мальтийского механизма.

**Ключевые слова:** ткачество, зев, бесчелночные станки, цветность уточных нитей, зубчато-кулачково-мальтийский механизм.

**Введение**

На отечественных предприятиях в различных отраслях промышленности насчитывается множество наименований технологического оборудования, среди которых немало машин высокой сложности [1-10].

Совершенствование существующего и создание нового высокопроизводительного оборудования является одной из основных задач развития современного машиностроения. К такому оборудованию относятся и бесчелночные ткацкие станки. Основными механизмами, ограничивающими производительность данного оборудования, являются: механизм прокладывания уточной нити, механизм прибора уточных нитей, механизм смены цвета уточных нитей [11 – 13].

Возрастание динамической напряженности при увеличении рабочих скоростей предъявляет повышенные требования к проектированию отдельных элементов и узлов, в том числе с приводом от механизмов сложной структуры [14 – 16].

Целью данной работы является проведение исследования конструкций механизмов смены цвета ткацких станков типа СТБ.

**Описание конструкций механизма смены цвета и принципа работы**

Непрерывное питание ткацких станков утком можно обеспечить двумя способами: челночным и бесчелночным.

В челночных станках нити утка вводятся в зев с уточной паковки, находящейся в челноке и движущейся вместе с ней. В бесчелночных ткацких станках (СТБ) нить утка сматывается с паковки, находящейся вне зева.

Ткацким станкам типа СТБ присущи высокая производительность и надежность в работе, возможность получения широкого ассортимента новых видов высококачественных тканей.

Один из основных механизмов, позволяющих расширить ассортиментные возможности ткацкого станка, является механизм смены уточных нитей, который предназначен для передачи прокладчику утка уточной нити определенного цвета или вида. В зависимости от количества цветов или видов уточных нитей могут быть двух- и четырехцветные механизмы.

На рисунке 1 представлена схема введения уточины в зев и образование кромки. При прокладывании уточной нити принято выделять десять операций.

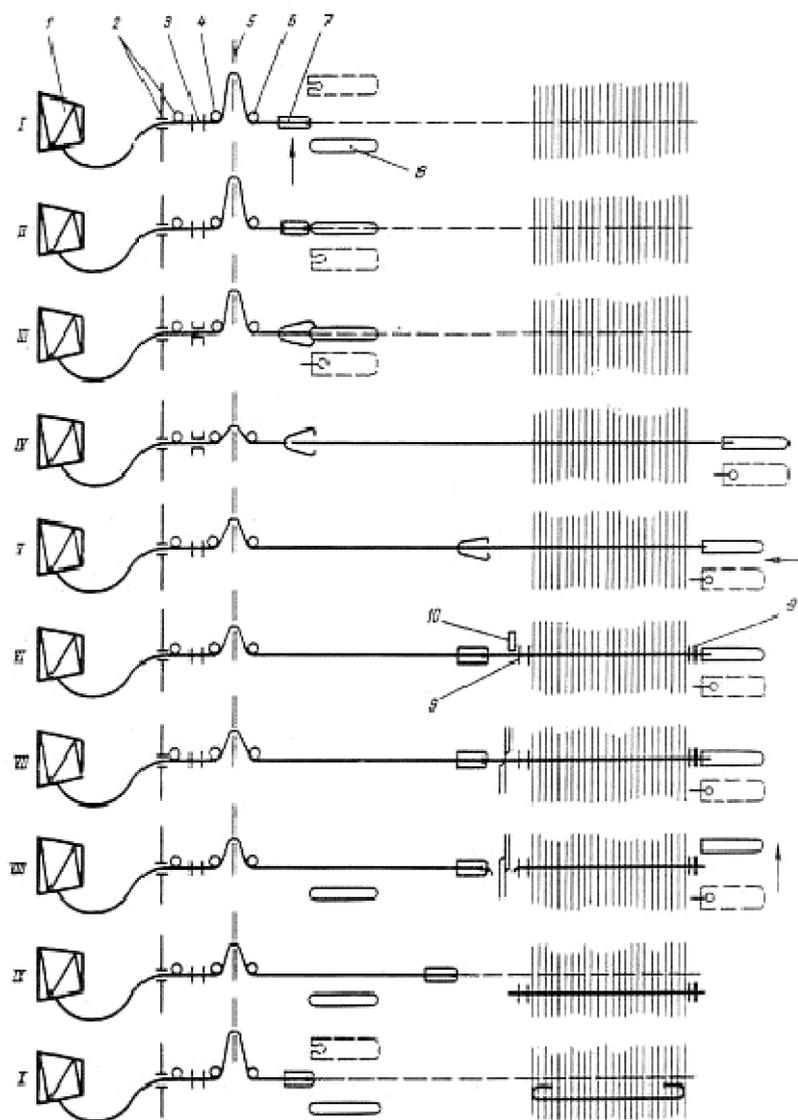


Рис. 1. Схема введения уточины в зев и образования кромки

Прокладывание уточины в зев происходит с неподвижной бобины 1 через глазки 2, уточный тормоз 3, глазок 4, глазок компенсатора 5, глазок 6 и захватывается губками возвратчика утка 7.

Положение 1 – момент, предшествующий установке прокладчика на линию полета.

Положение 2 – прокладчик с открытым захватом для нити подается к возвратчику утка, который держит уточную нитью.

Положение 3 – конец уточной нити передан прокладчику. Прокладчик заряжен нитью и подготовлен к пролету через зев. Уточный тормоз начинает приподниматься и освобождает нить. Компенсатор начинает опускаться.

Положение 4 – произошел бой. Прокладчик с захваченной уточной нитью пролетел через зев в приемную коробку, протаскивая за собой нить с бобины. Уточный тормоз в момент боя приподнят на максимальную величину.

Положение 5 – прокладчик, влетевший в правую коробку, выталкивается назад.

Положение 6 – губки пружины возвратчика утка сошлись и захватили нить.

Положение 7 – с левой стороны уточная нить обрезается ножницами, а с правой – освобождается путем открытия пружины прокладчика.

Положение 8 – освобожденный от уточной нити прокладчик выталкивается на транспортер обратной подачи.

Положение 9 – возвратчик утка начал движение в крайнее левое положение.

Положение 10 – концы уточной нити иглами кромкообразователя заложены в зев. Возвратчик угла с зажатым концом нити пришел в крайнее левое положение. Компенсатор находится в верхнем положении, а тормоз утка зажат.

Привод механизма смены цвета может осуществляться от цепи картона или от ремизоподъемной каретки.

Для описания конструкции механизма переключения уточных нитей с приводом от цепи картона рассмотрим кинематическую схему, приведенную на рисунке 2.

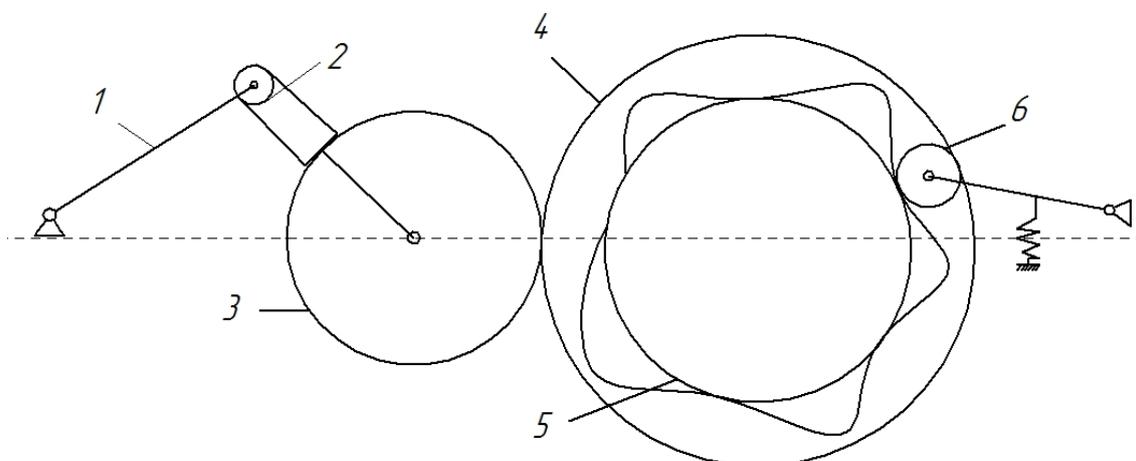


Рис. 2. Кинематическая схема механизма смены цвета ткацкого станка типа СТБ с приводом от цепи картона

Движение от кривошипа 1 передается мальтийскому кресту 2, на оси которого жестко закреплена шестерня 3, имеющая зацепление с другой шестерней 4, на которой закреплены кулачки 5, выполненные в виде секторов цепи. Они приводят в качательное движение коромысло 6, на оси которого расположен кронштейн нитедержателей, от угла его поворота зависит цветность уточных нитей.

На рисунке 3 изображен привод механизма от ремизоподъемной каретки.

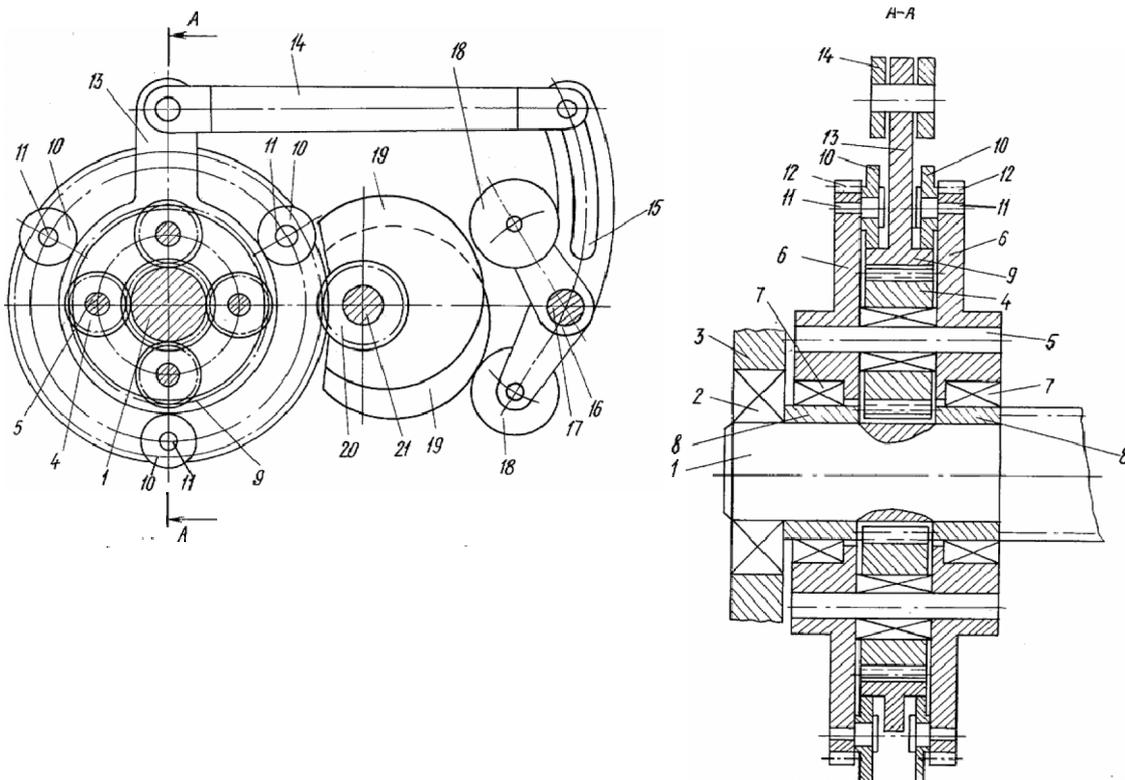


Рис. 3. Привод ремизоподъемной каретки

Привод содержит зубчатый центральный вал 1, установленный в подшипниках 2 в боковых стенках каретки 3 и находящийся в зацеплении с сателлитами 4, установленными на осях 5. Оси запрессованы в диски 6, установленного посредством подшипников 7 и втулок 8 на зубчатый центральный вал 1. Опорное колесо 9 установлено внешней цилиндрической поверхностью на роликовые опоры 10, закрепленные посредством осей 11 на дисках водила 6, которое зубчатыми венцами 12 соединено с главным валом ткацкого станка. Опорное колесо 9 имеет прилив 13, шарнирно соединенный с одним концом тяги 14. Другой конец тяги 14 шарнирно закреплен в криволинейном пазу 15 коромысла 16, установленного на оси 17 и несущего ролики 18, осуществляющие кинематическое замыкание с кулачками 19. Кулачки, жестко закрепленные на оси 21, с шестернями 20 получают вращение с постоянной скоростью. Коромысло 16, имеющее колебательное движение, под действием профилей кулачков 19 и роликов 18 посредством тяги 14, передает его опорному колесу 9, сателлитам 4 и зубчатому центральному валу 1.

Таким образом, движение зубчатого центрального вала 1 определяется сложением двух движений: от водила 6 и опорного колеса 9.

### Выводы

На работу механизма смены цвета выделяется 60 градусов из общего времени работы станка в соответствии с цикловой диаграммой. Для выполнения этого условия можно использовать мальтийский механизм. В настоящей работе проведено исследование конструкций и принципа работы механизма смены цвета бесчелночного станка с приводом от цепи картона и ремизоподъемной каретки.

Проведенный анализ конструкций показал, что для механизма смены цвета бесчелночного станка с раппортом до 72 уточных нитей, целесообразно использовать привод от це-

пи картона, который представляет собой набор кулачков, выполненных в виде цепи. Это обусловлено более простой конструкцией привода, а так же высокой производительностью. Недостатком механизма смены цвета с приводом от каретки является трудоемкость регулировки величины выстоя ремиз в цикле работы ткацкого станка.

### Список литературы

1. Моделирование несущих систем технологических машин / Ю.И. Подгорный, В.Ю. Скиба, А.В. Кириллов, В.Н. Пушнин, И.А. Ерохин, Д.Ю. Корнев // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2014. – № 2 (63). – С. 91–99.
2. Скиба В.Ю. Актуальные проблемы в машиностроении: сборник материалов первой международной научно-практической конференции // *Хроники объединенного фонда электронных ресурсов Наука и образование*. – 2014. – № 11 (66). – С. 83.
3. Выбор конструктивных параметров несущих систем машин с учетом технологической нагрузки / Ю.И. Подгорный, В.Ю. Скиба, А.В. Кириллов, О.В. Максимчук, Д.В. Лобанов, В.Р. Глейм, А.К. Жигулев, О.В. Саха // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2015. – № 4 (69). – С. 51–60. – doi: 10.17212/1994-6309-2015-4-51-60.
4. Прогнозирование технических характеристик интегрального технологического оборудования / В.Н. Пушнин, Д.Ю. Корнев, Н.В. Вахрушев, В.Ю. Скиба, К.А. Парц // *Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки*. – 2014. – Т. 2. – С. 97–101.
5. Integrated processing: quality assurance procedure of the surface layer of machine parts during the manufacturing step "Diamond Smoothing" / V.Yu. Skeebea, V.V. Ivancivsky, D.V. Lobanov, A.K. Zhigulev, P.Yu. Skeebea // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2015. – Vol. 125. – P. 012031. – doi: 10.1088/1757-899X/125/1/012031.
6. Методика уравнивания роторов технологических машин / Ю.И. Подгорный, Т.Г. Мартынова, В.Ю. Скиба, Д.В. Лобанов, А.А. Жирова, А.Н. Бредихина, А.С. Косилов, Н.С. Печоркина // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2016. – № 2 (71). – С. 41–50. – doi: 10.17212/1994-6309-2016-2-41-50.
7. Actual problems and decisions in machine building / ed. by V.Yu. Skeebea. – Pfaffikon: Trans Tech Publ., 2015. – 344 p. – (Applied mechanics and materials; vol. 788). – ISBN 978-3-03835-551-9. – doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.788.
8. Hybrid processing: the impact of mechanical and surface thermal treatment integration onto the machine parts quality / V.Yu. Skeebea, V.V. Ivancivsky, A.V. Kutyshkin, K.A. Parts // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2016. – Vol. 126. – P. 012016. – doi: 10.1088/1757-899X/126/1/012016.
9. Определение жесткостных характеристик и энергии деформации несущих систем технологических машин / Ю.И. Подгорный, В.Ю. Скиба, А.В. Кириллов, О.В. Максимчук, Т.Г. Мартынова, Д.В. Лобанов, И.С. Филатов, П.Ю. Скиба // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2016. – № 4 (73). – С. 24–33. – doi: 10.17212/1994-6309-2016-4-24-33ю
10. Разработка технологической установки для плазменно-механической обработки / П.В. Трегубчак, Д.Ю. Корнев, В.Н. Пушнин, В.Ю. Скиба // *Механики XXI века*. – 2015. – № 14. – С. 135–141.
11. Автоматическое питание ткацких машин основой и утком / В.А. Орнатская, М.А. Гендельман, А.А. Туваева, В.А. Пилипенко, И.Ш. Полоцкий, В.В. Петров. – М.: Легкая индустрия, 1975. – 190 с.

12. *Мальшев А.П., Воробьев П.А.* Механика и конструктивные расчеты ткацких станков. – М.: Машгиз, 1960. – 547 с.
13. *Арнаутов П.Н.* Ткацкие автоматические станки СТБ. – М.: Легкая индустрия, 1973. – 216 с.
14. *Ротбарт Г.А.* Кулачковые механизмы. – М.: Судпромгиз, 1960. – 335 с.
15. *Фишин М.Е.* Механизмы периодического поворота в полиграфических машинах. – М.: Книга, 1973. – 200 с.
16. Станки ткацкие бесчелночные СТБ: техническое описание и инструкция по эксплуатации. – М.: Внешторгиздат, 1993.

### INVESTIGATION OF THE MECHANISM OF THE WEFT YARN CHANGER FOR SHUTTLELESS LOOMS

**Podgornyj Yu. I.**, D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: pjui@mail.ru

**Pechorkina N. S.**, Master's Degree student, e-mail: pechorkina94@yandex.ru

**Skeeba P. Yu.**, Student, e-mail: skeeba@rambler.ru

**Vshivkova Yu. V.**, Student

**Lobko A. N.**, Student

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

#### Abstract

The article considers two the design of the drive mechanism for changing the color of the loom. Kinematic mechanism for changing the color of the type of STB machine driven by a circuit board was represented and scheme of introducing the weft yarn into the mouth. Later calculations to improve the kinematic characteristics of the toothed cam-Maltese mechanism will be made with the help of this scheme.

#### Keywords

weaving, shed, shuttlelesslooms, chroma weft yarn changer, a gear-cam-maltese mechanism

УДК 621. 927:664

**АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ СЫПУЧЕГО ПРОДУКТА В МОЛОТКОВОЙ ДРОБИЛКЕ**

*В.А. КЕРЖЕНЦЕВ, канд. техн. наук, доцент*  
*Т.Г. МАРТЫНОВА, канд. техн. наук, доцент*  
*А.И. ТЕРТОВА, студент*  
*И.Д. ДЮБАНОВА, студент*  
*(НГТУ, г. Новосибирск)*

**Мартынова Т.Г.** - 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20,  
Новосибирский государственный технический университет,  
e-mail: tatyanamartynova1511@gmail.com

Предложен анализ процесса измельчения сыпучего материала внутри рабочей камеры дробилки под воздействием движущихся молотков. Определены физико-механические характеристики смеси, оказывающие влияние на степень измельчения частиц. Выявлены зависимости между степенью измельчения и размерами частиц, уточнен фактор плотности в формуле вычисления производительности. Фактор плотности рассмотрен для смеси при условии непрерывности ее прохождения через рабочую камеру дробилки с заданной скоростью и производительностью.

**Ключевые слова:** Дробилка, сыпучая смесь, молоток, плотность, степень измельчения, размеры частиц, производительность.

**Введение**

В пищевой промышленности эксплуатируются машины, измельчающие частицы сыпучего материала (зерна, соли, сахарного песка и др.). Широко применяются для процесса измельчения молотковые дробилки. Измельчение в них является сложным малоизученным процессом, недостаточно полно освещенным в технической литературе [1 - 11]. Так, например, в источниках [12 - 14] приведены расчеты производительности процесса в зависимости от размеров ротора и его скорости вращения, в научной статье [15] приведены формулы и выполнен расчет конкретных размеров молотков дробилки для измельчения сахарного песка в пудру. В работах [16] и [17] предложено проектировать молотки, уменьшающие нагрузки на детали и увеличивающие срок службы молотков и всей дробилки.

Однако в этих работах не рассмотрено влияние на процесс дробления плотности продукта по зонам измельчения, влияния степени измельчения на плотность материала в объеме всего рабочего пространства, а также влияние этих факторов на производительность. Возникает необходимость исследования (аналитического) данных факторов.

Цель работы - определить параметры процесса дробления частиц и исследовать влияния степени измельчения на плотность смеси в камере дробилки.

**Теория. Анализ процесса измельчения**

Рассмотрим молотковую дробилку типа А2-ШИМ (рис. 1), в которой дробление сыпучего твердого продукта (например, сахарного песка) осуществляется восемью молотками 4, закрепленными шарнирно на диске ротора 3. Ротор, в свою очередь, вращается в корпусе 2, являющемся зоной измельчения. Нас интересует процесс дробления, осуществляемый молотками в этой зоне и плотность дробленой смеси.

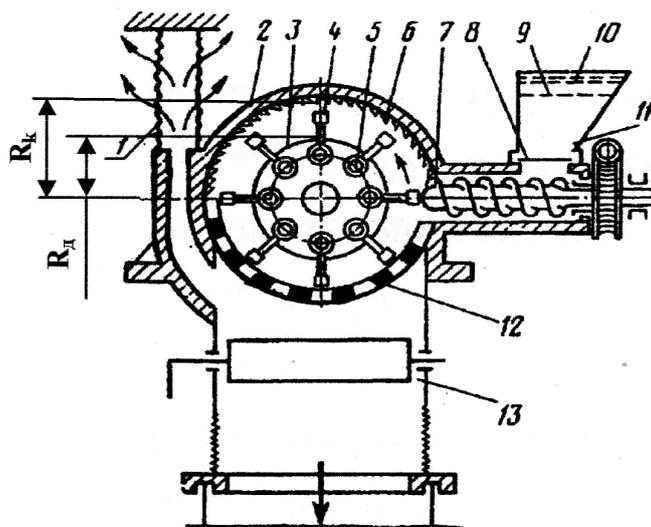


Рис. 1. Молотковая дробилка А2-ШИМ

1-тканый фильтр-рукав; 2-корпус; 3-диск ротора; 4-молотки; 5-ось подвеса молотков; 6-отбойная плита; 7-шнек; 8, 13-шибер; 9, 12-сетка; 10-решетка; 11-загрузочная воронка

Примем, что весь процесс дробления осуществляется с постоянной массовой производительностью  $Q$ , а зона измельчения характеризуется объемом камеры  $V$  и плотностью  $\rho$  смеси в ней. Вновь образуемая объемная плотность в зоне характеризуется отношением массы продукта в зоне к объему камеры, свободному от молотков.

Теоретически процесс измельчения можно описать следующим образом. Частицы смеси постоянно испытывают ударное воздействие от молотков. В результате этого все частицы в массе движутся с большими скоростями, наталкиваются на рифли отбойной доски (деки), теряют скорость, вновь получают механический импульс от молотков и еще больше измельчаются. Измельченные частицы определенного размера постоянно проходят через отверстия сита, а вместо них в камеру поступают новые частицы.

При непрерывном процессе измельчения устанавливается некое равновесие между уходом частиц из камеры через сито и поступлением новых частиц от шнекового питателя. Кроме того, часть очень мелких частиц уносится с воздухом через фильтр (ими пренебрегаем). Воздух затягивают вовнутрь камеры вращающимися молотками через воронку 11. Внутри ограниченного объема существуют взвешенные в воздухе частицы разных размеров, как мелко измельченные, так и предварительно измельченные.

В настоящее время расчет производительности дробилки  $Q$  (кг/ч) ведут по формуле [12, с. 429]:

$$Q = 3600k_1\rho D^2 L n/60 \tag{1}$$

где  $k_1$  – опытный коэффициент;  $\rho$  – насыпная плотность продукта кг/м<sup>3</sup>;  $D_p$  – диаметр ротора, м;  $L$  – длина ротора, м;  $n$  – частота вращения ротора об/мин;  $k_2$  – коэффициент, учитывающий степень измельчения.

В формуле (1) указана плотность продукта, которая по логике работы дробилки должна отличаться от насыпной плотности продукта  $\rho$ . Частицы в процессе работы разрушаются. Общепринято степень измельчения  $i_n$  определять отношением  $i = D/d$  (где  $D$  и  $d$  – средние размеры частиц до измельчения и после). Если, например, степень измельчения  $i_n=11$ , то имеется 10 градаций (фракций), исключая первую градацию, еще неизмельченную. Первая градация загружается в камеру, а последняя – уходит из камеры. Упрощенно каждая градация отличается по степени измельчения от соседней на величину  $i_k=0,1k$ . Тогда можно рас-

смотреть распределение размеров частиц по номерам  $k = 1, 2, 3, \dots, 10$ . Пусть это распределение будет характеризоваться каким-либо «законом распределения» размеров частиц по фракциям и каждую из них можно представить слоем, занимающим свой кольцевой объем  $V_k$ . Сумма объемов равна объему рабочей камеры дробилки. Если объемы кольцевых слоев равны друг другу, то плотности смесей в них имеют разные значения, зависящие от степени измельчения, частиц в этом слое. Например, для слоя  $k = 5$  можно записать:

$$\rho_5 = M_5 / V_5 \quad (1)$$

где  $M_5$  - масса частиц продукта, находящихся в слое 5;  $V_5$  – объем слоя.

Для другого слоя плотность будет иметь другое численное значение. Проведем анализ соотношений плотностей в слоях (фракциях).

Сделаем ряд допущений.

1. Примем, что пространство камеры, свободное от молотков, заполняют движущиеся частицы, имеющие форму шаров, разделенные по слоям. Размеры шаров двух соседних слоев различаются диаметрами: диаметры шаров  $D_{до}$  в предыдущем слое ( $k$ ) и диаметры  $d_{по}$  шаров в последующем слое ( $k+1$ ).

2. Будем считать, что шары находятся во взвешенном состоянии (взвеси шаров) и в своем движении распределены по кольцевым объемам камеры по заданному «закону распределения».

3. Допустим, что соседние слои в камере образуются из смесей, плотности которых рассматриваем как  $\rho_{до}$  и  $\rho_{по}$  и они не смешаны.

Введем обозначения следующих параметров:

$m_{до}, m_{по}$  – массы одной частицы до измельчения и после, кг;

$Z_{до}, z_{по}$  – число частиц в объеме слоя до и после измельчения, шт;

$D_{ш}, d_{ш}$  – диаметры частиц-шаров до и после измельчения, м;

$V_{об}$  – общий объем камеры дробилки (определяется расчетом), м<sup>3</sup>;

$\rho_{до}, \rho_{по}$  – плотности масс-смесей до и после измельчения, кг/м<sup>3</sup>;

$i = D_{ш} / d_{ш}$  – общепринятая степень измельчения части-шаров, м;

$\rho_{ш}$  – плотность материала самих частиц-шаров, кг/м<sup>3</sup>;

$V_{до} = (\pi/6) D_{ш}^3 Z_{до}$  – объем всех частиц-шаров до измельчения, м<sup>3</sup>

$V_{по} = 0,52 d_{ш}^3 z_{по}$  – объем всех частиц-шаров после измельчения, м<sup>3</sup>

Масса одного шара в соседних слоях определяется по выражениям:

$m_{до} = \rho_{ш} V_{до} = 0,52 \rho_{ш} D_{ш}^3$  – масса частицы-шара до измельчения, кг

$m_{по} = \rho_{ш} V_{по} = 0,52 \rho_{ш} d_{ш}^3$  – масса одной частицы после измельчения, кг

$M_{до} = \rho_{ш} V_{до} = 0,52 \rho_{ш} D_{ш}^3 Z_{до}$  – масса смеси всех частиц «до», кг

$M_{по} = \rho_{ш} V_{по} = 0,52 \rho_{ш} d_{ш}^3 z_{по}$  – масса смеси шаров «после», кг

Переходим от общих выражений, характеризующих процесс измельчения частиц, к выражениям по слоям, распределенных по объему камеры по определенному закону (нормальному, полиномиальному и пр.)

Плотности смесей частиц в объеме слоя  $V_k$  до и после измельчения можно определить через массу  $M_k$  и число шаров  $Z_k$  в этом слое:

$$M_{до} / M_{по} = (0,52 D_{ш}^3 \rho_{ш} Z_{до}) / (0,52 d_{ш}^3 z_{по} \rho_{ш}) = (D_{ш}^3 Z_{до}) / (d_{ш}^3 z_{по})$$

или

$$M_{до} / M_{по} = (D_{ш}^3 / d_{ш}^3) \cdot (Z_{до} / z_{по})$$

Выделим

$$Z_{до} / z_{по} = (D_{ш}^3 / d_{ш}^3) \cdot (M_{до} / M_{по}) \quad (2)$$

А плотности смесей в объеме слоя  $V_k$  определяются через параметры  $D, d, Z$  и  $z$  так:

$$\rho_{до} = (0,52 \rho_{ш} D_{ш}^3 Z_{до}) / V_k$$

$$\rho_{по} = (0,52 \rho_{ш} d_{ш}^3 z_{по}) / V_k$$

Плотности частиц «до и после» (взвешенных в воздухе) разделим друг на друга (при этом параметры  $V_k, 0,5, \rho_{ш}$  сокращаются), получим:

$$(\rho_{до} / \rho_{по}) = (Z_{до} D_{ш}^3) / (z_{по} d_{ш}^3) = (Z_{до} / z_{по}) \cdot (D_{ш}^3 / d_{ш}^3)$$

После группирования параметров и преобразований получим:

$$(Z_{до} / z_{по}) = (\rho_{до} / \rho_{по}) / (D_{ш}^3 / d_{ш}^3) \quad (3)$$

Приравниваем (2) и (3) друг другу, получим:

$$(M_{до} / M_{по}) = (\rho_{до} / \rho_{по}) / (D_{ш}^3 / d_{ш}^3)$$

И окончательно выразим соотношения плотностей по слоям  $k$ :

$$(\rho_{до} / \rho_{по})_{k+1} = (M_{до} / M_{по})_k (D_{ш}^3 / d_{ш}^3)_k = (M_{до} / M_{по})_k \cdot i_k^3 \quad (4)$$

Формула (4) устанавливает соотношения между плотностями, размерами частиц и их массами при переходе к соседнему слою. Степень измельчения  $i_k^3$  показывает, что при рассмотрении объемной плотности степень измельчения отличается от общепринятой по кубическому закону.

Возвращаясь к формуле (1), указанную в ней плотность  $\rho$  необходимо заменить, используя формулу (4) в применении её к рассматриваемому объему рабочей камеры. Массы частиц по слоям могут быть определены методом ситового анализа [18]. Если сложить массы всех частиц во всех слоях, то получится масса загруженного в одном обороте ротора продукта. Её можно определить так. Пусть, например, для дробилки непрерывного принципа действия производительность соответствует величине  $Q = 3600$  кг/ч (или 1 кг/с), а частота вращения ротора составляет  $n = 3600$  об/мин (60 об/с). Значит, за 1 оборот в камеру поступит 1/60 кг (столько же продукта уйдет из камеры через сито). Однако не все частицы сразу измельчаются и уходят из камеры. Поэтому при установившемся режиме работы в камере находится некоторое постоянное количество продукта. Его также необходимо учесть в расчетах. Проведя по предложенным формулам соответствующие вычисления, получим среднюю плотность частиц внутри камеры дробилки и её можно применить в формуле расчета производительности.

### Результаты и обсуждение

По результатам проведенного анализа и разработанных математических формул можно вычислить степени измельчения частиц продукта, плотности смесей и величины массы продукта по слоям внутри камеры. Данные вычисления позволят более точно определить

общее численное значение плотности для подстановки его в формулу производительности. Полученное объективное значение этого параметра приведет к уточнению конструктивно-технологических параметров устройства. В тоже время результаты теоретических вычислений, приведенных выше, необходимо подтвердить экспериментальными работами на действующей дробилке.

### Выводы

Выявлено, что в формуле производительности молотковой дробилки принята насыпная плотность продукта, но так как продукт в процессе работы измельчается, то должна изменяться и плотность частиц в рабочей камере. Проведенное аналитическое исследование (с упрощениями и допущениями) показало, что существует зависимость между размерами частиц, их массами и плотностью взвеси, образующейся в воздухе внутри рабочей камеры в результате процесса дробления. Математическое исследование процесса позволило разработать формулы в части вычисления плотности смеси для применения её в расчетах производительности, что повысит точность вычислений.

### Список литературы

1. Методика уравнивания роторов технологических машин / Ю.И. Подгорный, Т.Г. Мартынова, В.Ю. Скиба, Д.В. Лобанов, А.А. Жирова, А.Н. Бредихина, А.С. Косилов, Н.С. Печоркина // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2016. – № 2 (71). – С. 41–50. – doi: 10.17212/1994-6309-2016-2-41-50.
2. Определение жесткостных характеристик и энергии деформации несущих систем технологических машин / Ю.И. Подгорный, В.Ю. Скиба, А.В. Кириллов, О.В. Максимчук, Т.Г. Мартынова, Д.В. Лобанов, И.С. Филатов, П.Ю. Скиба // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2016. – № 4 (73). – С. 24–33. – doi: 10.17212/1994-6309-2016-4-24-33.
3. Моделирование несущих систем технологических машин / Ю.И. Подгорный, В.Ю. Скиба, А.В. Кириллов, В.Н. Пушнин, И.А. Ерохин, Д.Ю. Корнев // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2014. – № 2 (63). – С. 91–99.
4. *Afanasev Yu.A., Perova N.V.* Tasks of kinematic investigation of spatial cam mechanisms // *KORUS-99. Abstracts the 3rd Russian-Korean International Symposium on Science and Technology*. – Novosibirsk, 1999. – Vol. 1. – P. 367.
5. *Actual problems and decisions in machine building* / ed. by V.Yu. Skeebea. – Pfaffikon: Trans Tech Publ., 2015. – 344 p. – (Applied mechanics and materials; vol. 788). – ISBN 978-3-03835-551-9. – doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.788.
6. *Скиба В.Ю.* Актуальные проблемы в машиностроении: сборник материалов первой международной научно-практической конференции // *Хроники объединенного фонда электронных ресурсов Наука и образование*. – 2014. – № 11 (66). – С. 83.
7. Выбор конструктивных параметров несущих систем машин с учетом технологической нагрузки / Ю.И. Подгорный, В.Ю. Скиба, А.В. Кириллов, О.В. Максимчук, Д.В. Лобанов, В.Р. Глейм, А.К. Жигулев, О.В. Саха // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2015. – № 4 (69). – С. 51–60. – doi: 10.17212/1994-6309-2015-4-51-60.
8. Определение основных параметров технологического оборудования / Ю.И. Подгорный, Т.Г. Мартынова, В.Ю. Скиба, В.Н. Пушнин, Н.В. Вахрушев, Д.Ю. Корнев, Е.К.

Зайцев // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2013. – № 3 (60). – С. 68–73.

9. Уравновешивание роторов технологических машин / Ю.И. Подгорный, Т.Г. Мартынова, А.Н. Бредихина, А.С. Косилов, Н.С. Печоркина // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2015. – № 2. – С. 256–262.

10. *Мартынова Т.Г., Подгорный Ю.И.* Исследование уравновешенности рабочего вала мешалки непрерывного действия // Сборник научных трудов НГТУ. – 2008. – № 2 (52). – С. 41–46.

11. *Подгорный Ю.И., Птицын С.В., Мартынова Т.Г.* Исследование состояния автоматической линии по выборке макаронных изделий BRAIBANTI на ОАО «Новосибирская макаронная фабрика» // Сборник научных трудов НГТУ. – 2004. – № 1 (35). – С. 15–18.

12. Машины и аппараты пищевых производств. В 2 кн. Кн. 1: учебник для вузов / С.Т. Антипов, И.Т. Кретов, А.Н. Остриков и др.; под ред. В.А. Пафилова. – М.: Высшая школа, 2001. – 703 с.

13. *Драгилев А.И. Руб М.Д.* Сборник задач по расчету технологического оборудования кондитерского производства. – М.: ДеЛи Принт, 2005. – 244 с.

14. *Кошевой Е.П.* Практикум по расчетам технологического оборудования пищевых производств: уч. пособ. для вузов. – СПб.: ГИОРД, 2007. – 225 с.

15. *Керженцев В.А., Курсеитов С.И., Курсеитова Э.С.* Конструктивные параметры молотковой дробилки, гарантирующие разрушение частиц продукта // Сборник научных трудов Керченского государственного морского технологического университета и Днепродзержинского государственного технического университета. – Керчь; Днепродзержинск: Изд-во ДГТУ, 2012. – Вып. 13.

16. *Керженцев В.А., Томильцев А.А.* Влияние длины молотка молотковой дробилки на разрушение частиц продукта // Проблемы повышения эффективности металлообработки в промышленности на современном этапе: материалы 10-й Всероссийской научно-практической конференции (28 марта 2012 г.). – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2012. – С. 111–113.

17. *Керженцев В.А., Курсеитов С.И., Курсеитова Э.С.* Молотковая дробилка с двумя отверстиями на молотках для их подвеса // Сборник научных трудов Керченского государственного морского технологического университета и Днепродзержинского государственного технического университета. – Керчь, 2011. – Вып. 14. – С. 51–55.

18. *Керженцев В.А.* Технологическое оборудование пищевых производств. Ч. 1. Механическое оборудование: методические указания к выполнению лабораторно-практических работ. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. – 48 с.

**ANALYSIS OF THE GRINDING PROCESS OF FRIABLE PRODUCT  
AT THE HAMMER CRUSHER**

**Kerzhencev V. A.**, Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: kerjencev46@ngs.ru

**Martynova T.G.**, Ph.D. (Engineering), Associate Professor,  
e-mail: tatyana martynova1511@gmail.com

**Tertova A. I.**, Student, e-mail: anyashevchenko96@mail.ru

**Dyubanova I. D.**, Student, e-mail: ira\_dyubanova@mail.ru

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

**Abstract**

The article offers analysis of the grinding process of friable material at the hammer crusher. The process takes place at the working chamber of crusher using moving hammers. The article presents the definition of physical and mechanical properties of the mixture. The properties influence on the extent of grinding. Also the article presents the definition of the correlations between extent of grinding and sizes of particles. The factor of solidity specifies in the formula calculation of performance. The authors have considered this factor on condition of the continuous flow of the mixture at the working chamber of crusher with predetermined speed and performance.

**Keywords**

Crusher, friable mixture, hammer, solidity, extent of grinding, sizes of particles, performance

УДК 621.86.001

**НОВЫЕ ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ РАСЧЕТА ШНЕКОВЫХ  
КОНВЕЙЕРОВ**

*В.А. КЕРЖЕНЦЕВ, канд. техн. наук, доцент  
Н.В. ПЕРОВА, ст. преподаватель  
Г.М. НАЛИВАЙЧЕНКО, студент  
С.Н. ТВЕРДОХЛЕБОВ, студент  
(НГТУ, г. Новосибирск)*

**Перова Н.В.** – 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20,  
Новосибирский государственный технический университет,  
e-mail: perova@corp.nstu.ru

В статье приводятся новые расчетные возможности для использования их в проектных расчетах шнековых устройств. Предлагаемые расчеты обусловлены введением в формулы аргумента «производительность» и применения их для вычислений параметров внутренней геометрии шнека. Данные формулы, обладают свойствами «взаимно обратного соответствия», которые позволяют исследовать варианты расчетов, связанные с варьированием значений параметров шнеков. Показано применение данных формул для обеспечения объективности расчетов, направленных на: поверку паспортных характеристик шнеков, определение их способности к транспортированию разных грузов, вычисление массы продукта по виткам шнека как дозирующего устройства, повышение производительности по избыточной мощности электродвигателя действующего шнека.

**Ключевые слова:** геометрия шнека, взаимно обратное соответствие, производительность, линейная нагрузка, тяговое усилие, мощность.

**Введение**

Данная работа посвящена анализу расчетных формул, применяемых для определения параметров шнековых конвейерных устройств (шнеков). Шнеки применяются для продвижения грузов (пищевых продуктов) между машинами, но могут быть встроены в конструкции самих машин для выполнения технологических операций [1 - 12]. Однако проблема заключается в правильном выполнении шнеками своих операций (по скорости продвижения, по точности дозирования и др.). Тогда необходим точный расчет внутренней геометрии шнека. Именно расчетом этой геометрии можно обеспечить заданную производительность шнека, а также учесть влияние нагрузок на элементы шнека при транспортировании различных грузов (продуктов) и обеспечить расчетный выход массы продукта при дозировании. В научно-технической литературе такие вопросы освещены слабо, поэтому объективное решение таких задач актуально.

Наиболее обобщенно вопросы расчета даны в [13]. В работе [14] установлено, что параметры, вычисленные по формулам [13], дают значительные расхождения с паспортными величинами. Возможность исправить этот недостаток представлена в работе [15]. В ней получены новые, более точные формулы. Применение их к числовым расчетам трех моделей шнеков типов ФТГ и ФТГ-1 и ФТГ-2 показали, что точность вычислений становится выше.

Дальнейшим продолжением исследований явилась работа [16], в которой аргументом для вычислительных процессов выбрана «производительность». Это позволило расширить возможности расчета шнековых устройств.

Цель работы – разработать вычислительные процедуры для расчетов внутренней геометрии шнека и показать их применение для решения указанной проблемы.

## Теория

Задачами данной работы является определение новых расчетных возможностей шнеков при введении в рассмотрение математических зависимостей, разработанных в [15] и [16]. Их применение к проектным расчетам шнеков позволяет выделить четыре различных видов этих расчетов:

- расчет параметров шнека и проверка паспортных данных;
- расчет шнека по типу материала груза для расширения номенклатуры;
- расчет шнека по массе продукта в его витках;
- расчет мощности по внутренней геометрии шнека;
- расчет шнека для увеличения его производительности.

Ниже приведены формулы и обоснование расчетных возможностей.

### *Возможность поверочного расчета шнеков на точность вычислений*

В [16] получена формула для точного расчета наружного диаметра шнека по аргументу «производительность». Она применима для сверки результатов расчета с данными паспорта. Её видоизменения форма позволяет вести дальнейшие исследования, если её представить в виде функции обратной пропорциональности:

$$D = \left(\frac{Q}{n}\right)^{0.33} \left(\frac{4}{C_1}\right)^{0.33}, \quad (1)$$

где  $D$  – наружный диаметр витков шнека, м;  $Q$  – объемная производительность (паспортная, постоянная величина) шнекового устройства, м<sup>3</sup>/с;  $n$  – частота вращения шнека, с<sup>-1</sup>;  $C_1$  – постоянный безразмерный коэффициент.

При расчетах шнека величина  $D$  принимает значения, соответствующие значениям  $n$ . Проектировщику предоставляется следующий выбор: принять одно значение  $n$  и определить расчетом значение  $D$ , то есть иметь одну пару значений ( $D$  и  $n$ ) из множества пар. Но общая картина выбора представится иной, если будет иметься ряд значений параметра  $n$  и соответствующий ей ряд значений  $D$ . Тогда из них можно выбрать нужную пару. Говорят, что формула (1) устанавливает соответствие между множеством чисел  $n$  и множеством чисел  $D$ . В то же время формулу (1) можно преобразовать в формулу, обратную ей:

$$n = \left(\frac{Q}{D^3}\right) \left(\frac{4}{C_1}\right) \quad (2)$$

Тогда, вычисляемые по (2) числовые значения пар  $D$  и  $n$ , будут соответствовать значениям пар  $n$  и  $D$  по (1). Говорят, что между элементами множеств, описываемых формулами (1) и (2), существует «взаимно обратное соответствие» (ВОбС). Особенность заключается в том, что *определяющей* величиной для расчета  $D$  по (1) служит параметр  $n$ , а *определяющей* величиной для расчета  $n$  – параметр  $D$ . Соответствие чисел между  $D$  и  $n$  можно представить графиками. Так, рассчитанные для шнека ФТГ при производительности  $Q = 1,72 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/с, они имеют вид, показанный на рис. 1.

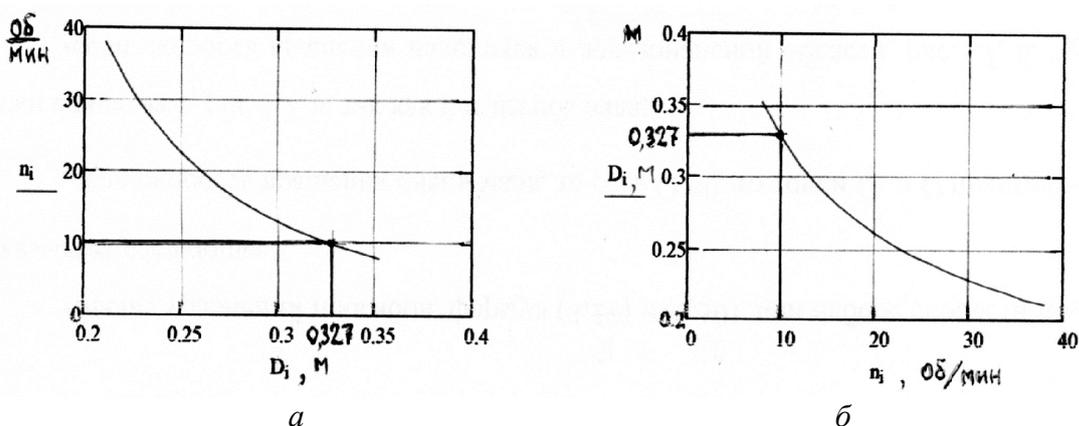


Рис. 1. Графики изменения значений пар  $D$  и  $n$ :  $a$  – изменения  $n$  по определяющей  $D$ ;  $б$  – изменения  $D$  по определяющей  $n$

На графиках пара значений  $D$  и  $n$  для любой точки кривых определяются опусканием перпендикуляров из этой точки на соответствующие оси, на которых и считываются метки числовые значения  $D$  и  $n$ . Легко заметить, что значения меток на абсциссе, рис. 1,  $a$ , соответствуют значениям меток на ординате, рис. 1,  $б$ , и наоборот. Перемещая точку по кривой, будем иметь наборы значений пар параметров  $D$  и  $n$ , поэтому графики дают возможность исследовать изменения одного параметра в зависимости от другого. Аналогичные кривые можно построить для шнека с новой производительностью, но пары  $n$  и  $D$  будут иметь другие значения.

Возможности формул, обладающих свойствами ВОБС, можно применить для исследования других факторов. Например, можно исследовать значение коэффициента  $C_1$ , если представить формулу (2) в таком виде:

$$C_1 = \left(\frac{Q}{n}\right)\left(\frac{4}{D^3}\right) \quad (3)$$

где  $C_1$  – коэффициент внутренней геометрии шнека, равный выражению [16]:

$$C_1 = k_b k_h (1 - k_d) K_{ш1} [\pi^2 (1 + k_d)^2 + 4k_h^2]^{0.5} \quad (4)$$

Тогда, например, можно исследовать из (4) значение коэффициента  $k_b$ :

$$k_b = C_1 / \{k_h (1 - k_d) K_{ш1} [\pi^2 (1 + k_d)^2 + 4k_h^2]^{0.5}\} \quad (5)$$

где  $k_b$ ,  $k_d$  и  $k_h$  – заданные безразмерные коэффициенты, характеризующие соответственно размеры межвиткового расстояния, внутреннего диаметра, шага витков по [17];  $K_{ш1}$  – коэффициент отставания продукта в шнеке по [16].

#### Возможность расчета шнеков по типу материала груза

В [13] получена формула расчета наружного диаметра шнека  $D$  (м) для транспортирования мясокостной муки, которую можно представить в следующем виде:

$$D = \left(\frac{Q}{A}\right)^{0.4} \left(\frac{4}{C_2}\right)^{0.4} \quad (6)$$

где  $C_2 = C_1 K_{ш2} / K_{ш1}$  – коэффициент внутренней геометрии для данного типа груза ( $K_{ш2}$  – мясокостная мука);  $A$  – коэффициент, обуславливающий значение частоты вращения шнека для этого груза, определяемый формулой, (об/мин):

$$n = A / (\sqrt{D}) \quad (7)$$

Численные значения коэффициента  $A$  для грузов даны в [13, табл.12.1].

### **Возможность расчета шнека как дозирочного устройства**

Проектирование такого шнека требует точного расчета размеров его внутренней геометрии. Так, например, массу продукта в одном витке шнека  $m_{1в}$  (кг) и во всех  $z$  его витках ( $m_z$ ) можно представить в виде уравнений:

$$m_{1в} = \rho Q_p t_{1в} \quad \text{и} \quad m_z = m_{1в} z \quad (8)$$

$$\text{или} \\ t_{1в} = m_{1в} / Q_p \quad \text{и} \quad z = m_z / m_{1в} \quad (9)$$

где  $t_{1в} = 1/n$  – время поворота шнека на 1 оборот, с;  $z$  – число витков шнека;  $\rho$  – плотность материала груза по [18], кг/м<sup>3</sup>.

Формулы (9) обладают свойствами ВОБС. По ним находят (по известной объемной производительности  $Q_p$  как аргументу) массу  $m_{1в}$  (кг), а затем, используя формулу (1), рассчитывают геометрические размеры шнека: диаметры  $D$  и  $d$ , шаг витков  $H$ , угол подъема  $\alpha$  витков, толщину витка  $b$ . Они определяют нужный объем межвиткового пространства шнека, который обеспечивает точность дозирования.

### **Возможность расчета мощности по внутренней геометрии шнека**

Для горизонтальных шнековых конвейеров мощность вычисляется по формулам [13]:

$$N = QL\rho gw \quad \text{и} \quad N = Wv, \quad (10)$$

$$W = gqLw, \quad Q = 3,6qv, \quad (11)$$

где  $W$  – тяговое усилие, действующее на продукт от спиральной поверхности шнека, Н;  $v$  – скорость движения продукта вдоль корпуса шнека, м/с;  $L$  – длина шнека, м;  $q$  – линейная нагрузка на витки, кг/м;  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>;  $w$  – коэффициент сопротивления движению шнека, выбирается по табл. 12.1 [13].

Формулы (9) и (10) также обладают свойствами ВОБС:

$$L = N / [Q(gw)] \quad \text{и} \quad W = N / v, \quad (12)$$

$$L = W / qgw \quad \text{и} \quad v = Q / 3,6q, \quad (13)$$

Формулы (12) и (13) могут быть представлены графиками, подобными рис. 1, что даёт возможность анализировать множество числовых значений пар параметров  $W$  и  $v$ ,  $L$  и  $q$  и  $v$  и  $q$  (относительно аргументов  $N$ ,  $W$  и  $Q$ ).

### **Возможность повышения производительности при наличии избыточной мощности электродвигателя**

Если величина мощности, рассчитанная по формулам (10), значительно меньше паспортной, то появляется возможность использовать мощность электродвигателя для повышения производительности. Рассчитывают новую  $Q_{пр}$ , преобразовав (10) в такой вид:

$$Q_{пр} = \frac{360N_{двп}}{Lw} \quad (14)$$

где  $N_{двп}$  – мощность электродвигателя (кВт), установленного на устройстве (скорректированная с учетом КПД и пусковых моментов).

Формула (14) обладает свойством ВОБС для пары параметров  $Q$  и  $L$  относительно мощности  $N_{двп}$  (как аргумента). Это значит, что можно рассчитать нужную длину шнека  $L$ , если преобразовать формулу (14) в формулу, обратную ей.

### Результаты и обсуждение

Представлены формулы, объединенные в вычислительный процесс. Формулы обладают свойством «взаимно обратного соответствия», согласно которому структура формул представлена уравнениями, в левой части которых записан рассчитываемый параметр, а правая часть является дробью, в числителе которой вписан известный параметр (аргумент), а знаменатель содержит *определяющий* параметр, величина которого может быть изменена разработчиком исходя из требуемых размеров внутренней структуры шнека. Разработчик может сформировать цепочку вычислений для заданной задачи, и так как параметры взаимосвязаны, то в результате вычислительных процедур он определяет все требуемые параметры шнека.

### Выводы

Выявлены новые возможности расчета шнековых конвейеров, которые позволяют: проводить точные поверочные расчеты для сравнения их с паспортными данными; определять возможности шнеков по транспортированию грузов разного материала; рассчитывать массу груза в межвитковом пространстве (чем обеспечивается точность дозировочных операций), а также рассчитывать увеличение производительности при использовании избыточной мощности электродвигателя устройства.

### Список литературы

1. Машины и аппараты пищевых производств. В 2 кн. Кн. 2: учебник для вузов / С.Т. Антипов, И.Т. Кретов, А.Н. Остриков и др.; под ред. В.А. Пафилова. – М.: Высшая школа, 2001. – 680 с.
2. Определение жесткостных характеристик и энергии деформации несущих систем технологических машин / Ю.И. Подгорный, В.Ю. Скиба, А.В. Кириллов, О.В. Максимчук, Т.Г. Мартынова, Д.В. Лобанов, И.С. Филатов, П.Ю. Скиба // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2016. – № 4 (73). – С. 24–33. – doi: 10.17212/1994-6309-2016-4-24-33.
3. *Afanasev Yu.A., Perova N.V.* Tasks of kinematic investigation of spatial cam mechanisms // KORUS-99. Abstracts the Third Russian-Korean International Symposium on Science and Technology. – Novosibirsk, 1999. – Vol. 1. – С. 367.
4. Actual problems and decisions in machine building / ed. by V.Yu. Skeebea. – Pfaffikon: Trans Tech Publ., 2015. – 344 p. – (Applied mechanics and materials; vol. 788). – ISBN 978-3-03835-551-9. – doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.788.
5. *Скиба В.Ю.* Актуальные проблемы в машиностроении: сборник материалов первой международной научно-практической конференции // Хроники объединенного фонда электронных ресурсов Наука и образование. – 2014. – № 11 (66). – С. 83.
6. Определение основных параметров технологического оборудования / Ю.И. Подгорный, Т.Г. Мартынова, В.Ю. Скиба, В.Н. Пушнин, Н.В. Вахрушев, Д.Ю. Корнев, Е.К.

Зайцев // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2013. – № 3 (60). – С. 68–73.

7. Выбор конструктивных параметров несущих систем машин с учетом технологической нагрузки / Ю.И. Подгорный, В.Ю. Скиба, А.В. Кириллов, О.В. Максимчук, Д.В. Лобанов, В.Р. Глейм, А.К. Жигулев, О.В. Саха // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2015. – № 4 (69). – С. 51–60. – doi: 10.17212/1994-6309-2015-4-51-60.

8. Моделирование несущих систем технологических машин / Ю.И. Подгорный, В.Ю. Скиба, А.В. Кириллов, В.Н. Пушнин, И.А. Ерохин, Д.Ю. Корнев // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2014. – № 2 (63). – С. 91–99.

9. Методика уравнивания роторов технологических машин / Ю.И. Подгорный, Т.Г. Мартынова, В.Ю. Скиба, Д.В. Лобанов, А.А. Жирова, А.Н. Бредихина, А.С. Косилов, Н.С. Печоркина // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2016. – № 2 (71). – С. 41–50. – doi: 10.17212/1994-6309-2016-2-41-50.

10. Уравнивание роторов технологических машин / Ю.И. Подгорный, Т.Г. Мартынова, А.Н. Бредихина, А.С. Косилов, Н.С. Печоркина // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2015. – № 2. – С. 256–262.

11. Мартынова Т.Г., Подгорный Ю.И. Исследование уравнишенности рабочего вала мешалки непрерывного действия // Сборник научных трудов НГТУ. – 2008. – № 2 (52). – С. 41–46.

12. Подгорный Ю.И., Птицын С.В., Мартынова Т.Г. Исследование состояния автоматической линии по выборке макаронных изделий BRAIBANTI на ОАО «Новосибирская макаронная фабрика» // Сборник научных трудов НГТУ. – 2004. – № 1 (35). – С. 15–18.

13. Сиваковский А.О., Дьячков В.К. Транспортирующие машин: учебное пособие для машиностроительных вузов. – 3-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1983. – 487 с.

14. Хлунова Ю.В., Фомина К.А. Исследование технических параметров шнековых конвейеров (сравнение расчетных величин с ТХ) / науч. рук. В.А. Керженцев // Наука. Технология. Инновации: материалы Всероссийской научной конференции молодых ученых, Новосибирск, 21–24 ноября 2013 г.: в 10 ч. – Новосибирск, 2013. – Ч. 4. – С. 7–11.

15. Численный расчет и анализ параметров шнековых конвейеров / В.А. Керженцев, Н.В. Перова, А.Н. Бредихина, Н.С. Печоркина // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2015. – № 2. – С. 232–238.

16. Керженцев В.А., Перова Н.В. Повышение точности расчетов шнековых конвейеров путем переопределения независимой переменной (аргумента) // Научный вестник НГТУ. – 2015. – № 4 (61). – С. 48–62.

17. Керженцев В.В. Проектирование оборудования пищевых производств. Ч. 2. Ациклически работающие машины: конспект лекций. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2012. – 78 с.

18. Структурно-механические характеристики пищевых продуктов / А.В. Горбатов, А.М. Маслов, Ю.А. Мачихин и др.; под ред. А.В. Горбатова. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 296 с.

## NEW ADVANCED FEATURES OF CALCULATION SCREW CONVEYORS

**Kerzhencev V. A.**, Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: kerjencev46@ngs.ru

**Perova N. V.**, Lecturer, e-mail: perova@corp.nstu.ru

**Nalivajchenko G. M.**, Student, e-mail: genanalivai@mail.ru

**Tverdohlebov S. N.**, Student, e-mail: s.tverd@ictemir.kz

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

### Abstract

The paper presents new possibilities for use in design calculations of screw devices. Proposed settlements due to the introduction in formula the argument "performance" and apply them to computing internal screw geometry. These formulas have the properties of "mutually inverse correspondence" options that allow you to explore the calculations associated with the variation of the parameter values screws. The application of these formulas ensures the objectivity of the calculations, aimed at verification of passport characteristics of screws, the determination their ability to various transportation cargo, the calculation of the product mass on coils of a screw metering device, the increasing performance on surplus power auger motor current.

### Keywords

geometry of screw, mutually opposite compliance, performance, linear load, force, power

УДК 637.5'6.024

**РАЗРАБОТКА В ТАБЛИЧНОЙ ФОРМЕ НОВЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РАСЧЕТА  
ШНЕКОВЫХ КОНВЕЙЕРОВ**

*В. А. КЕРЖЕНЦЕВ, канд. техн. наук, доцент  
Н. В. ПЕРОВА, ст. преподаватель  
Т.И. МАЗКО, студент  
А.С. ТЕПЛОВ, студент  
(НГТУ, г. Новосибирск)*

**Перова Н.В.** - 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20,  
Новосибирский государственный технический университет,  
e-mail: perova@corp.nstu.ru

Разработаны табличные формы численного расчета шнековых конвейеров (шнеков). Каждая расчетная таблица показывает возможность решения одной из задач, поставленных в работе: изменение внутренней геометрии шнека, определение способности шнеков транспортировать грузы различных материалов, вычисление массы груза в межвитковом пространстве (дозирование), увеличение производительности при наличии мощного электродвигателя. Показано применение формул для определения геометрических, кинематических и нагрузочных характеристик шнеков. Формульные выражения, представленные в каждой таблице, отражают совокупность взаимосвязанных вычислительных процессов и могут быть использованы в качестве образцов ведения расчетов при разработке подобных устройств, а также для проверки контрольных параметров действующих шнеков.

**Ключевые слова:** шнековый конвейер, геометрия шнека, производительность, частота вращения, линейная нагрузка, тяговое усилие, мощность

**Введение**

Шнековые конвейеры широко используются во многих отраслях промышленности и, в частности, пищевой [1 - 5]. Числовой расчет шнеков представляет сложную проблему; она включает в себя решения разных задач, связанных с вычислениями геометрических, кинематических и нагрузочных параметров шнеков [6 - 12]. К тому же, формулы для расчета самих параметров включают различные факторы, например, силы сопротивления продвижению продукта, характеристику типа груза и др., которые желательно учесть в расчетных процессах.

Известные среди технической литературы источники [13 - 15] не достаточно полно используют в расчетах указанные факторы, а численные значения параметров не всегда совпадают с паспортными данными по точности вычислений. В то же время, приведенные в [16] исследования расчетных формул показали более точные результаты и выявили необходимость их применения к анализу внутренней геометрии шнеков, что позволит расширить возможности расчета при проектировании таких устройств.

Цель работы: представить в табличных формах процессы числовых расчетов шнеков для решения указанных задач.

**Теория. Табличные формы представления расчетов**

Ниже приведены таблицы 1 - 5, которые раскрывают численными методами теоретическое обоснование возможности решения задач путем ведения расчетов по формулам, разработанным в [13 - 16]. Вычисления в таблицах проведены с использованием справочных

данных из [17] и [18] для однозаходных горизонтальных шнеков типа ФТГ с постоянными диаметрами по длине.

**Таблица 1** содержит сведения об исходных данных, задаваемых перед началом расчетного цикла (задача 1 – выбор числовых значений в пакете).

**Таблица 2** предназначена для расчета внутренней геометрии шнека, технологической мощности и проверки паспортных данных (задача 2).

**Таблица 3** предназначена для вычисления размеров внутренней геометрии шнека по типу материала груза (задача 3).

**Таблица 4** предназначена для вычисления массы груза (продукта) в межвитковом пространстве шнека как дозирующего устройства (задача 4).

**Таблица 5** предназначена для расчета производительности при наличии избыточной (излишней) мощности электродвигателя (задача 5).

Таблица 1

Таблица исходных данных

Данные паспортов шнеков, корректирующих коэффициентов и др. исходные данные, [15]			
п/п	Параметры по паспорту; обозначение; ед. измерения	К7-ФТГ	К7-ФТГ1
1	Заданная производительность массовая, $Q_{\text{пм}}$ , т/ч Заданная производительность объемная, $Q_{\text{по}}$ , м <sup>3</sup> /с	2,97 $1,719 \cdot 10^{-3}$	6,85 $3,964 \cdot 10^{-3}$
2	Длина шнека, паспортная, $L_{\text{п}}$ , м	4,5	9,5
3	Частота вращения, по паспорту, $n_{\text{пм}}$ , об/мин $n_{\text{пс}}$ , об/с	10 0,167	26 0,433
4	Мощность электродвигателя по паспорту, $N_{\text{дв}}$ , кВт	4	4
Общие коэффициенты, корректирующие заполнение шнека продуктом, [16]			
5	Коэффициент наполнения шнека продуктом	$K_{\text{п}}$	0,9
6	Коэффициент заполнения витков шнека	$K_3$	0,25 [13]
7	Коэффициент подачи продукта шнеком	$K_{\text{п}}$	0,77
8	Коэффициент сжатия продукта в шнеке	$K_{\text{сж}}$	0,75
9	Произведения коэффициентов по заполнению шнека продуктом для разных случаев расчета (см. в тексте)	$K_{\text{ш0}}=K_{\text{п}}K_{\text{сж}}$ $K_{\text{ш1}}=K_{\text{п}}K_{\text{ш0}}$ $K_{\text{ш2}}=K_3K_{\text{ш0}}$	0,578 0,520 0,144
Коэффициенты, характеризующие материал груза, [13] (для мясокостной муки)			
10	Коэффициент, характеризующий тип груза	$A$	45
11	Коэффициент сопротивления движению груза	$w$	2,5
Коэффициенты внутренней геометрии канала шнека, [17], (корректирующие)			
12	Коэффициент внутреннего диаметра (вала)	$k_d$	0,51
13	Коэффициент шага витков шнека	$k_h$	1,0
14	Угол подъема витков шнека $\alpha$ , выраженный через коэффициенты $k_d$ и $k_h$ , [16] как $\cos \alpha$ , рад	$\cos \alpha = \frac{\pi(1+k_d)}{\sqrt{\pi^2(1+k_d)^2 + 4k_h^2}}$	0,921
15	Коэффициент межвиткового расстояния, $k_b$	$k_b = \cos \alpha$	0,921
16	Коэффициент внутренней геометрии шнека, $C_1$	$C_1 = k_b k_h (1 - k_d) K_{\text{ш1}}$	0,235
17	Коэффициент внутренней геометрии шнека, $C_2$	$C_2 = [\pi^2(1+k_d)^2 + 4k_h^2]^{0,5}$	5,148
18	Коэффициент внутренней геометрии шнека, $C_3$	$C_3 = k_b k_h (1 - k_d) K_{\text{ш2}}$	0,065
19	Плотность мясокостной муки, [18] кг/м <sup>3</sup>	$\rho_{\text{кг}}$	480

Пояснения к таблице 1. Числовые значения – см. первоисточники [13 - 18].

Таблица 2

Расчет внутренней геометрии шнека (поверочный расчет) и расчет мощности

№ п/п	Параметр; источник; индекс «п...» - паспорт (см. табл. 1)	Расчетная формула; индекс «н» - новое значение	Числовые значения	
			К7-ФТГ	К7-ФТГ-1
1	Расчетный диаметр шнека, м	$D_n = \left(\frac{Q_{по}}{n_{пс}}\right)^{0.33} \left(\frac{4}{C_1 \cdot C_2}\right)^{0.33}$	0,328	0,315
2	Диаметр вала шнека, м	$d_n = k_d D_n$	0,167	0,161
3	Шаг витков шнека, м	$H_n = k_h D_n$	0,328	0,315
4	Площадь сечения шнека, м <sup>2</sup>	$F_n = \pi(D_n^2 - d_n^2)/4$	0,0626	0,0578
5	Скорость продукта, м/с	$v_n = H_n n_{пс} / 60$	0,055	0,137
6	Толщина витка $b$ , м	$b = H_n (k_b - k_b^2)$	0,0237	0,0228
7	Поверка расчетной производительности: - м <sup>3</sup> /с - т/ч	$Q_n = \frac{\pi(D_n^2 - d_n^2)}{4} \left(H_n - \frac{b}{\cos\alpha}\right) n_{пс} K_{ш1}$ $Q_{шп} = 3,6 Q_n \rho_{кр}$	1,638·10 <sup>-3</sup> 2,831	3,783·10 <sup>-3</sup> 6,537
8	Линейная нагрузка [13], кг/м	$q_n = F_n \rho_{кр} K_{ш1}$	15,61	14,42
9	Тяговое усилие [13] $W$ , Н	$W_n = g q_n L_n w$	1722	3359
10	Технологическая мощность, Вт	$N_n = Q_n L_n g \rho_{кр} w$	94,18	459,10

Пояснения к табл. 2. Новая расчетная производительность (строка 7), отличается от заданной в паспорте (строка 1, табл. 1) на 4,7%, что приемлемо; расчетная технологическая мощность имеет значительно меньшую величину (94 и 459 Вт для ФТГ и ФТГ1 соответственно), чем мощность электродвигателей, установленных на шнеках (4 кВт по паспорту, строка 4, табл. 1).

Таблица 3

Расчет размеров внутренней геометрии шнека по типу материала груза

Параметр	Расчетные формулы, с индексом «р...» - расчет	К7-ФТГ	К7-ФТГ-1
1. Расчетный диаметр $D_p$ , м	$D_p = \left(\frac{Q_{по}}{A}\right)^{0.4} \left(\frac{4}{C_2 \cdot C_3}\right)^{0.4}$	0,237	0,331
2. Диаметр вала шнека, $d_p$ , м	$d_p = k_d D_p$	0,121	0,169
3. Площадь сечения, $F_p$ , м <sup>2</sup>	$F_p = \pi(D_p^2 - d_p^2)/4$	0,0326	0,0636
4. Шаг витков шнека, $H_p$ , м	$H_p = k_h D_p$	0,237	0,331
5. Частота вращения шнека, -об/мин -об/с	$n_{рм} = A / (\sqrt{D_p})$ $n_{рс} = n_{рм} / 60$	92,456 1,541	78,225 1,304
6. Скорость продукта, м/с	$v_p = H_p n_{рм} / 60$	0,365	0,431
7. Толщина витка, м	$b_p = H_p (k_b - k_b^2)$	0,017	0,024
8. Расчетная производительность - м <sup>3</sup> /с, - т/ч	$Q_p = \frac{\pi(D_p^2 - d_p^2)}{4} \left(H_p - \frac{b_p}{\cos\alpha}\right) n_{рс} K_{ш2}$	1,584·10 <sup>-3</sup> 2,737	3,653·10 <sup>-3</sup> 6,312
9. Линейная нагрузка [13], кг/м	$q_p = F_p \rho_{кр} K_{ш2}$	2,26	4,41
10. Тяговое усилие [13], Н	$W_p = g q_p L_n w$	249,42	1028,0
11. Расчетная мощность, Вт	$N_p = W_p v_p$ или $N_p = q_p L_n v_p g$	91,05 91,049	443,32 443,323

Пояснения к табл. 3. Влияние материала груза на частоту вращения шнека и его диаметр зависит от коэффициента  $A$  (строка 10, табл. 1), [13].

При подстановке значения  $n_{pc}$  (строка 5, табл. 3) в формулу расчета диаметра  $D_n$  вместо параметра  $n_{nc}$  (табл. 2, строка 1) получают, после преобразований, новую формулу расчетного диаметра  $D_p$  (табл. 3, строка 1). Величина диаметра  $D_p$  изменяет элементы внутренней геометрии шнека на новые (через коэффициенты  $k_b$ ,  $k_d$  и  $k_h$ , табл. 1, строки 13-16). В результате значение новой производительности отличается от заданной не более, чем на 4,7% (строка 8, табл. 3). Причина отклонения – в низком коэффициенте заполнения шнека продуктом  $K_{ш2}$ , (рекомендовано в [13], строка 9, табл. 1). Однако технологические мощности, рассчитанные в таблицах 2 и 3, отличаются не более чем на 0,35%, хотя и рассчитаны по разным формулам.

Таблица 4

Расчет шнека по массе продукта в межвитковом пространстве  
(исходные данные по паспорту – см. табл. 1 и 2)

Параметр	Формула, индекс «m» - масса	ФТГ	ФТГ-1
1.Время одного оборота шнека (поворот на 1 виток), с	$t_{1в} = 1/n_{nc}$	6	2,308
2.Число витков шнека, ( $H_n$ – из табл. 2)	$z = L_n/H_n$	13,716	30,123
3.Время заполнения шнека, с	$t_z = zn_{nc}$	82,295	69,516
4.Масса продукта в одном витке, кг	$m_{1в} = Q_n \rho_{кр} t_{1в}$	4,718	4,190
5.Масса продукта во всех витках, кг	$m_z = m_{1в} z$	64,709	126,221
6.Линейная нагрузка по виткам, кг/м	$q_z = m_z / (L_n K_n)$	15,978	14,763
7.Тяговое усилие от массы продукта в шнеке, Н	$W_m = gm_z w / K_n$	1763	3440
8.Скорость выхода продукта, м/с	$v_m = L_n / t_z$	0,055	0,137
9.Технологическая мощность, Вт	$N_m = W_m v_m$	96,421	470,045

Пояснения к табл. 4. Расчет используется для проектирования шнеков с дозирочно-распределительными функциями при встраивании их в структуру технологической машины. По известной объемной производительности  $Q_{по}$  (строка 1, табл. 1) рассчитывают количество продукта в одном витке (и во всех витках шнека), используя время поворота шнека на 1 виток (и на все витки). В соответствии с массой продукта в витках вычисляют линейную нагрузку, тяговое усилие и технологическую мощность привода. Сравнение этих величин с расчетами, приведенными в табл. 2, показывает их незначительное различие. Далее можно продолжить расчет и вычислить наружный и внутренний диаметры шнеков, углы подъема витков, шаг их и другие параметры, используя последовательность расчетов в табл. 2 (строки 1 – 4).

Таблица 5

Расчет шнека для повышения производительности по избыточной мощности электродвигателя (проектный расчет)

Параметр	Формула, индекс «пр» - проектный	К7-ФТГ	К7-ФТГ-1
1.Новая проектная технологическая мощность эл.дв $N_{двп}$ , Вт	$N_{двп} = K_{пск} * N_{дв}$ , где $K_{пск}$ -снижение пусковой мощности по грузу	0,40 кВт 10	1,0 кВт 4
2.Новая производительность -т/ч -м <sup>3</sup> /с	$Q_{пр} = \frac{360N_{двп}}{L_n w}$	12,80 $7,407 \cdot 10^{-3}$	15,158 $8,772 \cdot 10^{-3}$
3.Вновь назначенная частота вращения шнека, -об/м -об/с	- $n_{прм}$ - $n_{прс}$	Принято 40 0,667	Принято 85 1,417
4.Новый диаметр шнека (при $n_{прс}$ ), м	$D_{пр} = \left(\frac{Q_{пр}}{n_{прс}}\right)^{0,33} \left(\frac{4}{C_1 \cdot C_2}\right)^{0,33}$	0,336	0,277
5.Новый диаметр вала шнека, м	$d_{пр} = k_d D_{пр}$	0,171	0,141
6.Новый шаг витков, м	$H_{пр} = k_h D_{пр}$	0,336	0,277
7.Число витков, шт	$z = L_n / H_{пр}$	13,382	34,264
8.Новая скорость движения, м/с	$v_{пр} = H_{пр} n_{прс}$	0,224	0,393
9.Новая толщина витка, м	$b_{пр} = H_{пр} (k_b - k_b^2)$	0,024	0,020
10.Проверка производительности - м <sup>3</sup> /с - т/ч	$Q_{про} = \frac{\pi(D_{пр}^2 - d_{пр}^2)}{4} \left(H_{пр} - \frac{b}{\cos \alpha}\right) n_{прс} K_{ш1}$ $Q_{прт} = 3,6 Q_{про} \rho_{кг}$	$7,052 \cdot 10^{-3}$ 12,185	$8,40 \cdot 10^{-3}$ 14,514
11.Увеличение производительности, $U$ раз	$U = Q_{про} / Q_{по}$	4,1	2,1

Пояснения к табл. 5. Сначала выясняют, имеется ли превышение действительной мощности электродвигателя над расчетной (4 кВт, табл. 1, превышает значение мощности в строке 10, табл. 2). Затем определяют новое значение проектной производительности (строка 2, табл. 5). После чего рассчитывают внутреннюю геометрию шнека (строки 5-9). Так, расчет величины производительности (строки 10, 11 табл. 5) показал, что имеется возможность увеличения производительности шнеков ФТГ и ФТГ-1 в 4,1 и 2, 1 раза соответственно, если задействовать их избыточную мощность.

### Результаты и обсуждение

Отметим свойство некоторых формул, представленных в таблицах. Оно характеризует «взаимно обратное соответствие» (ВОбС) значений двух пар параметров, рассчитываемых по аргументу. Согласно свойству ВОбС структура такой формулы представляется уравнением (как, например, в строке 1, табл. 2, – формула расчета  $D_n$  по аргументу  $Q_{по}$ ), в левой части которой записан рассчитываемый параметр, а правая часть является дробью, в числителе которой вписан аргумент ( $Q_{по}$ ), а знаменатель содержит *определяющий* параметр (в данном примере – частоту вращения шнека  $n_{пс}$ ). Величина *определяющего* параметра может быть назначена или изменена разработчиком исходя из требуемых задач. Соответственно изме-

нится и рассчитываемый параметр ( $D_n$ ). С другой стороны, рассматриваемую формулу можно преобразовать в уравнение, но уже для расчета параметра  $n_{пс}$ . Тогда новое уравнение и исходная формула (в строке 1, табл. 1) обладают свойством ВОБС, а пары чисел  $D_n$  и  $n_{пс}$  образуют множества. Из множества пар чисел разработчик может выбирать соответствующую пару, производить расчеты и анализировать результаты. Другие формулы также обладают свойством ВОБС: указанные в строках 1 и 5 (табл. 3), в строках 1, 2, 6, 8 (табл. 4) и в строках 2 и 4 (табл. 5). Формулами, обладающими свойствами ВОБС, можно связывать уравнения в единый расчетный процесс взаимосогласованных параметров. Однако неуказанные формулы, также можно преобразовать в уравнения *прямой* или *обратной пропорциональности* для дальнейшего исследования.

Результаты расчетов шнеков могут быть изменены, если использовать корректирующие коэффициенты (строки 12 – 15, табл. 1): при выборе проектировщиком их новых значений в соответствующих пределах [17] внутренняя геометрия шнека также меняется (но при этом сохраняется величина заданной производительности!).

Объективность расчетов подтверждена сравнением результатов: в табл. 2 расчетная производительность отличается от паспортной не более, чем на 4,7%; в табл. 3 – величина мощности близка к значению, полученному в табл. 2 (отклонение составляет 0,35%); в табл. 4 – линейная нагрузка и тяговое усилие на витки шнека сравнимы с аналогичными, рассчитанными в табл. 3.

## Выводы

Числовые расчеты, приведённые в таблицах 1 – 5, раскрывают новые возможности применения расчетных формул к шнекам для решения поставленных задач. Расширен понятийный аппарат, относящийся к расчетным характеристикам шнеков, представлены их численные величины. Приведена последовательность вычислений, представляющая единый вычислительный процесс на основе связей между геометрическими и кинематическими параметрами шнеков.

## Список литературы

1. Машины и аппараты пищевых производств. В 2 кн. Кн. 2: учебник для вузов / С.Т. Антипов, И.Т. Кретов, А.Н. Остриков и др.; под ред. В.А. Пафилова. – М.: Высшая школа, 2001. – 680 с.
2. Определение жесткостных характеристик и энергии деформации несущих систем технологических машин / Ю.И. Подгорный, В.Ю. Скиба, А.В. Кириллов, О.В. Максимчук, Т.Г. Мартынова, Д.В. Лобанов, И.С. Филатов, П.Ю. Скиба // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2016. – № 4 (73). – С. 24–33. – doi: 10.17212/1994-6309-2016-4-24-33.
3. Afanasev Yu.A., Perova N.V. Tasks of kinematic investigation of spatial cam mechanisms // *KORUS-99. Abstracts the Third Russian-Korean International Symposium on Science and Technology*. – Novosibirsk, 1999. – Vol. 1. – С. 367.
4. Actual problems and decisions in machine building / ed. by V.Yu. Skeebea. – Pfaffikon: Trans Tech Publ., 2015. – 344 p. – (Applied mechanics and materials; vol. 788). – ISBN 978-3-03835-551-9. – doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.788.
5. Скиба В.Ю. Актуальные проблемы в машиностроении: сборник материалов первой международной научно-практической конференции // *Хроники объединенного фонда электронных ресурсов Наука и образование*. – 2014. – № 11 (66). – С. 83.

6. Определение основных параметров технологического оборудования / Ю.И. Подгорный, Т.Г. Мартынова, В.Ю. Скиба, В.Н. Пушнин, Н.В. Вахрушев, Д.Ю. Корнев, Е.К. Зайцев // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2013. – № 3 (60). – С. 68–73.
7. Выбор конструктивных параметров несущих систем машин с учетом технологической нагрузки / Ю.И. Подгорный, В.Ю. Скиба, А.В. Кириллов, О.В. Максимчук, Д.В. Лобанов, В.Р. Глейм, А.К. Жигулев, О.В. Саха // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2015. – № 4 (69). – С. 51–60. – doi: 10.17212/1994-6309-2015-4-51-60.
8. Моделирование несущих систем технологических машин / Ю.И. Подгорный, В.Ю. Скиба, А.В. Кириллов, В.Н. Пушнин, И.А. Ерохин, Д.Ю. Корнев // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2014. – № 2 (63). – С. 91–99.
9. Методика уравнивания роторов технологических машин / Ю.И. Подгорный, Т.Г. Мартынова, В.Ю. Скиба, Д.В. Лобанов, А.А. Жирова, А.Н. Бредихина, А.С. Косилов, Н.С. Печоркина // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2016. – № 2 (71). – С. 41–50. – doi: 10.17212/1994-6309-2016-2-41-50.
10. Уравнивание роторов технологических машин / Ю.И. Подгорный, Т.Г. Мартынова, А.Н. Бредихина, А.С. Косилов, Н.С. Печоркина // *Актуальные проблемы в машиностроении*. – 2015. – № 2. – С. 256–262.
11. Мартынова Т.Г., Подгорный Ю.И. Исследование уравнишенности рабочего вала мешалки непрерывного действия // *Сборник научных трудов НГТУ*. – 2008. – № 2 (52). – С. 41–46.
12. Подгорный Ю.И., Птицын С.В., Мартынова Т.Г. Исследование состояния автоматической линии по выборке макаронных изделий BRAIBANTI на ОАО «Новосибирская макаронная фабрика» // *Сборник научных трудов НГТУ*. – 2004. – № 1 (35). – С. 15–18.
13. Спиваковский А.О., Дьячков В.К. *Транспортирующие машин: учебное пособие для машиностроительных вузов*. – 3-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1983. – 487 с.
14. Хлунова Ю.В., Фомина К.А. Исследование технических параметров шнековых конвейеров (сравнение расчетных величин с ТХ) / науч. рук. В.А. Керженцев // *Наука. Технология. Инновации: материалы Всероссийской научной конференции молодых ученых, Новосибирск, 21–24 ноября 2013 г.: в 10 ч.* – Новосибирск, 2013. – Ч. 4. – С. 7–11.
15. Численный расчет и анализ параметров шнековых конвейеров / В.А. Керженцев, Н.В. Перова, А.Н. Бредихина, Н.С. Печоркина // *Актуальные проблемы в машиностроении*. – 2015. – № 2. – С. 232–238.
16. Керженцев В.А, Перова Н.В. Повышение точности расчетов шнековых конвейеров путем переопределения независимой переменной (аргумента) // *Научный вестник НГТУ*. – 2015. – № 4 (61). – С. 48–62.
17. Керженцев В.В. *Проектирование оборудования пищевых производств. Ч. 2. Ациклически работающие машины: конспект лекций*. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2012. – 78 с.
18. Структурно-механические характеристики пищевых продуктов / А.В. Горбатов, А.М. Маслов, Ю.А. Мачихин и др.; под ред. А.В. Горбатова. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 296 с.

## DEVELOPMENT OF NEW ABILITIES TO CALCULATE THE SCREW CONVEYORS IN TABULAR FORM

**Kerzhencev V. A.**, Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: kerjencev46@ngs.ru

**Perova N. V.**, Lecturer, e-mail: perova@corp.nstu.ru

**Mazko T. I.**, Student, e-mail: mp301\_mazko@mail.ru

**Teplov A.S.**, Student, e-mail: teplo-sasha@yandex.ru

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

### Abstract

The authors of this article developed the tabular form of numerical calculation of the screw conveyors. The tables allow solving the next problems: the change of internal screw geometry, the definition of ability to transport the loads of different materials, the calculation the mass of the load in the interturn space, the increase of performance if we have got a powerful electric motor. In this article it shows the application of the formula for determining the geometric, kinematic and load characteristics of the screws. In each table formulas are the interrelationship of computing processes. These formulas can be used both the sample calculation for development of such devices, and for master benchmarking of existing screws.

### Keywords

screw conveyor, geometry of screw, performance, rotation speed, linear load, traction, power

УДК 621.791:624

**ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ КОБАЛЬТА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА  
НАПЛАВЛЕННОГО ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ СИСТЕМЫ  
Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V МЕТАЛЛА**

*И.В. ОСЕТКОВСКИЙ, магистрант  
Н.А. КОЗЫРЕВ, доктор техн. наук, профессор  
Н.В. КИБКО, канд. техн. наук, ст. преподаватель  
М.В. ПОПОВА, доктор техн. наук, профессор  
Р.Е. КРЮКОВ, канд. техн. наук  
(СибГИУ, г. Новокузнецк)*

**Козырев Н.А.** – 650007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42,  
Сибирский государственный индустриальный университет,  
e-mail: Kozyrev\_na@mail.ru

Исследовано влияние кобальта, введенного в шихту порошковой наплавочной проволоки системы Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V, на структуру, характер неметаллических включений, твердость и износостойкость наплавленного металла. В лабораторных условиях были изготовлены образцы порошковых проволок с использованием соответствующих порошкообразных материалов. В качестве углеродфторсодержащего материала использовали пыль газоочистки алюминиевого производства.

В ходе проведения исследования был определен химический состав наплавленного металла, проведен металлографический анализ, определены механические свойства. В результате металлографического анализа установлены размер бывшего зерна аустенита, дисперсность мартенсита в структуре наплавленного металла, уровень загрязненности его неметаллическими включениями. Показано, что измельчению игл мартенсита и уменьшению размера бывшего зерна аустенита способствует увеличение содержания никеля до 0,65% в составе наплавляемой стали, а также введение кобальта при одновременном уменьшении содержания углерода до 0,17-0,23%.

Изменение степени легированности порошковой проволоки системы Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V практически не оказывает влияние на уровень загрязненности неметаллическими включениями наплавленного ею слоя.

**Ключевые слова:** Проволока, ударно-абразивный износ, наплавка, восстановление, многофакторный анализ, износостойкость, твердость, неметаллические включения, структура

**Введение**

В настоящее время одной из наиболее эффективных технологий упрочнения и восстановления деталей является электродуговая наплавка порошковыми проволоками. Разработка материалов и использование инновационных технологий восстановления, значительно повышающих износостойкость изделий, является актуальной задачей [1]. В связи с этим производится разработка и изготовление специальных порошковых проволок, обеспечивающих наплавленные ими покрытия высокой твердостью, а также абразивной и ударно-абразивной износостойкостью [2-15]. Широкое распространение для наплавки

абразивно - изнашивающихся изделий получили наплавочные проволоки систем Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo типа А и В по классификации МИС [16].

Изучено влияние кобальта, введенного в шихту порошковой проволоки системы Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V при изготовлении опытных образцов проволоки, на структуру, твердость и износостойкость наплавленного слоя.

### Материалы и методы

В лабораторных условиях были изготовлены образцы порошковой проволоки системы Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V с добавлением кобальта.

Изготовление порошковой проволоки и ее наплавка для получения образцов проводилась согласно технологии приведенной в работах [17,18].

Изготовление проволоки проводилось на лабораторной машине. Диаметр изготовленной проволоки 5 мм, оболочка выполнена из ленты Ст3. В качестве наполнителя использовались соответствующие порошкообразные материалы порошок железа марки ПЖВ1 по ГОСТ 9849-86, порошок ферросилиция марки ФС 75 по ГОСТ1415-93, порошок высокоуглеродистого феррохрома марки ФХ900А по ГОСТ 4757-91, порошок углеродистого ферромарганца ФМн 78(А) по ГОСТ 4755-91, порошок никеля ПНК-1Л5 по ГОСТ 9722-97, порошок ферромolibдена марки ФМо60 по ГОСТ 4759-91, порошок феррованадия марки ФВ50У 0,6 по ГОСТ 27130-94, порошок кобальта ПК-1У по ГОСТ 9721-79, причем в качестве углеродсодержащего компонента использовали пыль газоочистки алюминиевого производства, со следующим составом компонентов, мас. %:  $Al_2O_3 = 21-46,23$ ;  $F = 18-27$ ;  $Na_2O = 8-15$ ;  $K_2O = 0,4-6$ ;  $CaO = 0,7-2,3$ ;  $Si_2O = 0,5-2,48$ ;  $Fe_2O_3 = 2,1-3,27$ ;  $C_{общ} = 12,5-30,2$ ;  $MnO = 0,07-0,9$ ;  $MgO = 0,06-0,9$ ;  $S = 0,09-0,19$ ;  $P = 0,1-0,18$ . Химический состав исследуемых образцов представлен в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав наплавленного металла

Номер образца	Массовая доля элементов %							
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	Co
1	0,24	0,19	0,93	1,83	0,69	0,14	0,60	-
2	0,25	0,27	0,96	1,65	0,68	0,33	0,60	-
3	0,25	0,28	0,93	1,67	0,57	0,54	0,58	-
4	0,29	0,15	0,92	1,65	0,60	0,65	0,59	-
5	0,23	0,12	0,85	1,45	0,53	0,51	0,68	0,08
6	0,21	0,23	0,89	1,45	0,54	0,55	0,54	0,03
7	0,17	0,18	0,85	1,40	0,52	0,54	0,63	0,05
8	0,17	0,28	0,91	1,32	0,45	0,46	0,59	0,06

Наплавку изготовленной проволокой производили на пластины из стали марки Ст3 в 6 слоев под флюсом АН-26С при помощи сварочного трактора АСАW-1250.

Твердость образцов измеряли с помощью твердомера МЕТ-УД. Испытания на износостойкость производили на машине 2070 СМТ – 1. Величина износа определялась исходя из уменьшения массы образца за один оборот диска.

Металлографический анализ образцов проводили с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-51 в светлом поле в диапазоне увеличений  $\times 100 - 1000$ . Исследование продольных образцов наплавленного слоя на наличие неметаллических включений осуществляли в соответствии с ГОСТ 1778-70 при увеличении  $\times 100$ . Величину бывшего

зерна аустенита определяли по ГОСТ 5639-82 при увеличении  $\times 100$ , размер игл мартенсита – по ГОСТ 8233-56 при увеличении  $\times 1000$ .

### Результаты и обсуждение

В результате металлографического анализа установлено, что микроструктура наплавленного слоя с содержанием углерода 0,24-0,29% (образцы № 1-4) представляет собой мелкоигльчатый и среднеигльчатый мартенсит (балл № 3-6) с размером игл от 2 до 10 мкм в бывших зернах аустенита, по границам которых располагаются тонкие прослойки  $\delta$ -феррита, и небольшое количество аустенита остаточного в виде отдельных островков (таблица 2, рисунок 1).

Таблица 2

Характеристики неметаллических включений и структуры исследуемых образцов

Номер образца	Загрязненность неметаллическими включениями, балл		Величина зерна аустенита, балл	Размер игл мартенсита, мкм	Твердость образцов HRC	Износ образцов г/об.*10 <sup>-4</sup>
	силикаты недеформирующиеся (хрупкие)	оксиды точеные				
1	2б, 2а, 3а	1а	5, 6	7-10	41	0,37
2	1б, 2б, 3а	1а	5, 6	4-8	40	0,358
3	2б, 3а	1 а	5, 6	5-8	40	0,359
4	2б, 3а (1б)	1 а	6, 5	2-5	41	0,449
5	1б, 2б, 3а	1 а	6, 5	2-5	25	1,65
6	1б, 2б, 2а	1 а, 2а	6	2-4	21	1,15
7	1б, 2б, 3а	1 а	6	2-5	21	1,11
8	1б, 2б, 3а	1 а	6	2-4	21	1,12

В микроструктуре образца №1 присутствует среднеигльчатый мартенсит (балл № 5, б) (рисунок 1 а). Величина первичного зерна аустенита по шкале зернистости соответствует №5 и 6.

Повышение содержания никеля до 0,33 - 0,54% не оказывает влияние на величину бывшего зерна аустенита, однако незначительно измельчает мартенсит. В микроструктуре образцов №2 и 3 кроме среднеигльчатого мартенсита (балл №5) в некоторых ее областях присутствует мелкоигльчатый мартенсит (балл №3) (рисунок 1б, в, таблица 2).

В результате увеличения содержания никеля до 0,65% (образец №4) в структуре наплавленного слоя наблюдается измельчение игл мартенсита и уменьшение величины бывшего зерна аустенита. В микроструктуре образца №4 внутри границ бывшего аустенитного зерна присутствует мелкоигльчатый мартенсит (балл №3). Величина первичного зерна аустенита соответствует №6 и №5 (рисунок 1г, таблица 2).

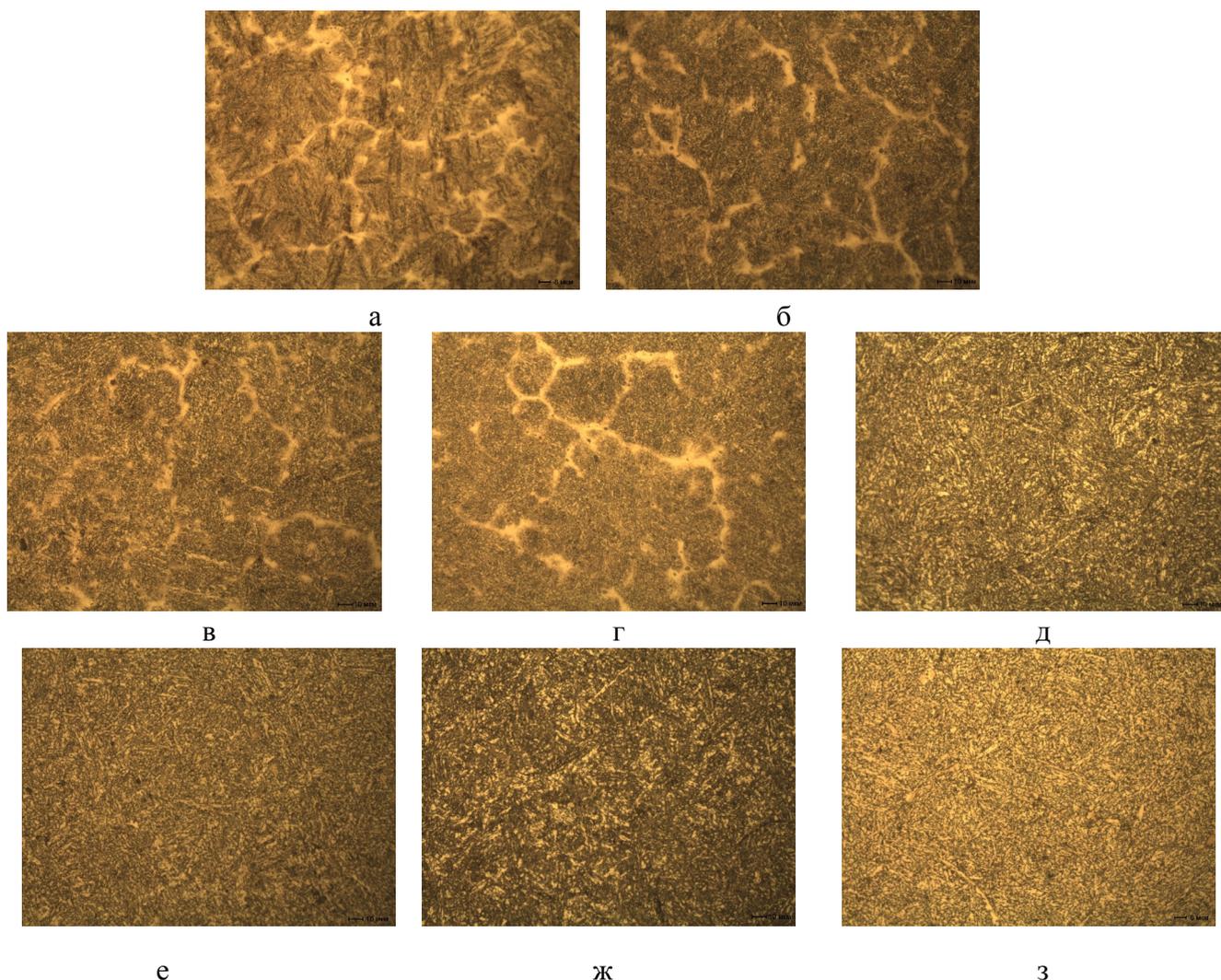


Рис. 1. Микроструктура наплавленного слоя порошковой проволокой системы Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V усовершенствованного состава,  $\times 500$   
 а – образец №1; б – образец №2; в – образец №3; г – образец №4; д – образец №5, е –  
 образец №6, ж – образец №7, з – образец №8

Введение в состав наплавляемой порошковой проволоки кобальта при одновременном уменьшении содержания углерода до 0,17-0,23% (образцы №5-8) способствует получению равномерной структуры с мелкоигльчатым мартенситом (балл №3) с размером игл 2-5 мкм в бывших зернах аустенита, остаточным аустенитом, присутствующим в небольшом количестве в виде отдельных островков, и  $\delta$ -ферритом в виде тонких прослоек по границам первичных зерен аустенита (рисунок 1 д-з). Величина бывшего зерна аустенита соответствует №6 (таблица 2).

Таким образом, установлено, что увеличение содержания никеля до 0,65% в составе наплавляемой стали, а также введение кобальта при одновременном уменьшении содержания углерода до 0,17-0,23% обеспечивает уменьшение величины бывшего зерна аустенита и размера игл мартенсита.

Твердость и износостойкость исследуемых образцов приведена в таблице 2.

При изучении характера неметаллических включений наплавленного слоя порошковой проволокой системы Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V установлена загрязненность его оксидными

неметаллическими включениями, в частности оксидами точечными и силикатами недеформирующимися (таблица 2).

Показано, что изменение химического состава исследуемой порошковой проволоки практически не оказывает влияние на уровень загрязненности неметаллическими включениями наплавленного ею слоя.

### Выводы

1. Увеличение содержания никеля от 0,14 до 0,65% в составе наплавленного слоя при содержании углерода 0,24–0,29% способствует уменьшению размеров бывших зерен аустенита, по границам которых располагаются тонкие прослойки  $\delta$ -феррита и небольшое количество аустенита остаточного в виде отдельных островков. Мартенсит меняется от среднеигольчатого до мелкоигольчатого. Отмеченные структурные изменения не влияют твердость и износостойкость наплавленного слоя, которые имеют стабильно высокие значения.

2. Введение никеля совместно с кобальтом (0,46–0,51% и 0,03–0,08% соответственно) при одновременном уменьшении содержания углерода до 0,17–0,23% обеспечивает получение тонкодисперсной равномерной структуры, характеризующейся мелкоигольчатым мартенситом, отсутствием прослоек  $\delta$ -феррита и остаточного аустенита. Однако вследствие уменьшения содержания углерода происходит снижение твердости и износостойкости наплавленного слоя.

### Список литературы

1. Малинов В.Л. Исследование методом регрессионного анализа зависимостей износостойкости в условиях абразивного и ударно-абразивного изнашивания от химического состава наплавленного металла на Fe-Cr-Mn-V-C основе // Вестник Приазовского державного технического университета. Серия: Технические науки. – 2011. – № 2. – С. 107–117.
2. Liu D., Liu R., Wei Y., Pan P. Influence of carbon content on shock hardening behavior of cobalt-base hardfacing deposits // Materials and Manufacturing Processes. – 2013. – Vol. 28. – P. 643–649.
3. Atamert S., Stekly J. Microstructure, wear resistance, and stability of cobalt based and alternative iron based hardfacing alloys // Surface Engineering. – 1993. – Vol. 9. – P. 231–240.
4. Comparative behavior of cobalt and iron base hardfacing alloys / D.S. Liu, R.P. Liu, Y.H. Wei, Y. Qiu, P. Pan, K. Zhu, W.L. Gao // Surface Engineering. – 2012. – Vol. 12. – P. 338–344.
5. Properties of cobalt based hardfacing deposits with various carbon contents / D.S. Liu, R.P. Liu, Y.H. Wei, P. Pan // Surface Engineering. – 2013. – Vol. 29. – P. 627–632.
6. Effect of experimental parameters on erosive abrasive wear behaviour of cobalt based (stellite) plasma transferred arc hardfaced surface / C.S. Ramachandran, V. Balasubramanian, R. Varahamoorthy, S. Babu // Surface Engineering. – 2009. – Vol. 25. – P. 458–469.
7. Foley R.T., Peterson M.B., Zapf C. Frictional characteristics of cobalt, nickel, and iron as influenced by their surface oxide films // A S L E Transactions. – 1963. – Vol. 6. – P. 29–39.
8. Rajiv E.P., Iyer A., Seshadri S.K. Tribomechanical properties of cobalt-silicon nitride composite coatings // Surface Engineering. – 1996. – Vol. 12. – P. 163–166.
9. Giusti R., Vezzù S., Lucchetta G. Wear-resistant cobalt-based coatings for injection moulds

by cold spray // *Surface Engineering*. – 2016. – Vol. 32. – P. 677–685.

10. *Exner H.E., Gurland J.* A Review of parameters influencing some mechanical properties of tungsten carbide–cobalt alloys // *Powder Metallurgy*. – 1970. – Vol. 13. – P. 13–31.

11. Abnormal grain growth of WC with small amount of cobalt / T. Li, Q. Li, L. Lu, J.Y.H. Fuh, P.C. Yu // *Philosophical Magazine*. – 2007. – Vol. 87. – P. 5657–5671.

12. *Yaedu A.E., D'Oliveira A.S.C.M.* Cobalt based alloy PTA hardfacing on different substrate steels // *Materials Science and Technology*. – 2005. – Vol. 21. – P. 459–466.

13. Codeposition of cerium oxide with nickel and cobalt: correlation between microstructure and microhardness / G. Cârâc, L. Benea, C. Iticescu, T. Lampke, S. Steinhäuser, B. Wielage // *Surface Engineering*. – 2004. – Vol. 20. – P. 353–359.

14. *Ma C., Wang S.C., Walsh F.C.* Electrodeposition of nanocrystalline nickel and cobalt coatings // *Transactions of the IMF*. – 2015. – Vol. 93. – P. 8–17.

15. *Edward Anand E., Natarajan S.* Preparation and characterisation of nanocrystalline cobalt–phosphorus coatings reinforced with carbon nanotubes // *Surface Engineering*. – 2014. – Vol. 30. – P. 716–721.

16. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / под ред. Б.Е. Патона. – М.: Металлургия, 1974. – 768 с.

17. *Гусев А.И., Осетковский И.В.* Изучение свойств металла наплавленного порошковой проволокой системы С-Mn-Si-Cr-V-Mo-Co // *Прогрессивные технологии и экономика в машиностроении: сборник трудов VII Всероссийской научно-практической конференции для студентов и учащейся молодежи: в 2 т. / Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 2016. – Т. 1. – С. 91–94.*

18. *Осетковский И.В., Гусев А.И.* Изучение свойств металла наплавленного порошковой проволокой системы С-Si-Mn-Cr-Mo-Ni-V // *Прогрессивные технологии и экономика в машиностроении: сборник трудов VII Всероссийской научно-практической конференции для студентов и учащейся молодежи: в 2 т. / Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 2016. – Т. 1. – С. 143–146.*

**STUDYING THE EFFECT OF COBALT ADDITIVE IN TO THE FLUX CORED WIRE SYSTEM Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF THE DEPOSITED METAL**

**Osetkovskii I.V.**, Master's Degree student, e-mail: dadlic@mail.ru

**Kozyrev N.A.**, D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: Kozyrev\_na@mail.ru

**Kibko N.V.**, Ph.D. (Engineering), Senior lecturer, e-mail: krivicheva\_nv@mail.ru

**Popova M.V.**, D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: m.popova@rdtc.ru

**Kryukov R.E.**, Ph.D. (Engineering), Senior lecturer, e-mail: rmk@nzmrmk.ru

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

**Abstract**

Researched cobalt additive in the charge of flux corder wire system Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V influence on structure, nature of nonmetallic inclusions, hardness and wear resistance of surfaced metal. In the laboratory conditions were manufactured flux corder wire samples with the use of corresponding powder materials. As a carboncontaine material were used the dust of aluminum production dry scrubbing.

In the course of the research were defined chemical composition and mechanical properties of deposited layer and metallographic analysis were made. After the metallographic analysis was established size of former austenite grain, martensite degree of dispersion and nonmetallic impurity rating of the deposited layer. It was shown that nickel contain raising up to 0,65% as well as raising cobalt contain while reducing carbon contain down to 0,17-0,23% promotes reducing size of martensite needles and size of former austenite grain.

Changing allowing rate of the flux cored wire system Fe-C-Mn-Si-Cr-Ni-Mo-V practically does not influence on nonmetallic impurity level of its deposited layer.

**Keywords**

Wire, shock-abrasive wear, welding, restoration, multivariate analysis, wear resistance, hardness, non-metallic inclusions, structure

УДК 620.18

**ОСОБЕННОСТИ ФАЗОВОГО СОСТАВА МАТЕРИАЛА,  
ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ГЕТЕРОФАЗНОЙ ПОРОШКОВОЙ  
МЕТАЛЛУРГИИ СПЛАВА НА ОСНОВЕ Ni**

*М.В. РАШКОВЕЦ, магистрант  
А. А. НИКУЛИНА, канд. техн. наук, доцент  
(НГТУ, г. Новосибирск)*

**Рашковец М.В.** – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,  
Новосибирский государственный технический университет,  
e-mail: lipa\_04@mail.ru

В статье рассмотрены структура и фазовый состав образцов из сплава на основе Ni, полученных методом гетерофазной порошковой металлургии. При формировании образцов использовались различные вариации мощности лазерной установки. Структура продольного сечения образцов – дендритная, бездефектная. Исключение составляют образцы, полученные при мощности 500 Вт, в материале которых выявлены не расплавившиеся частицы исходного порошка. Толщины стенок образцов и высота отдельно выращенного слоя имеют линейную зависимость от мощности лазерного излучения. Исследования, проведенные с использованием просвечивающей электронной микроскопии и рентгенофазового анализа, показали, что основными фазами материала выращенных образцов являются твердый раствор на основе Ni и карбидные частицы различной стехиометрии.

**Ключевые слова:** аддитивные технологии, гетерофазная порошковая металлургия, высокоскоростное прямое лазерное выращивание, никелевые сплавы, микроструктура, фазовый состав.

**Введение**

Метод гетерофазной порошковой металлургии или высокоскоростное прямое лазерное выращивание является разновидностью аддитивных технологий, набирающих значительный потенциал в машиностроении Российской Федерации. Отличительной особенностью данных технологий является послойное формирование детали, позволяющее обрабатывать большое разнообразие материалов, включая те, которые сложны в обработке стандартными технологиями. Процесс создания детали осуществляется по заданной компьютерной 3D модели, что обеспечивает высокую точность конструкции. Также к «плюсам» технологий относятся сокращение потерь материала при изготовлении и отходов при последующей механической обработке. Принцип технологии основан на расплавлении при помощи лазера исходного материала в виде порошка, который подается на подложку одновременно с лучом лазера, и дальнейшем затвердевании слоев, путем отвода тепла в подложку [1-3]. Технология является выгодной по расходу исходного материала в сравнении с другими видами аддитивных технологий, например, с силикативным лазерным сплавлением [4].

Жаропрочные сплавы на основе никеля имеют высокую коррозионную стойкость в широком диапазоне агрессивных сред, обеспечивающуюся легированием Cr, и высокую механическую прочность за счет упрочняющего эффекта Mo и Nb на никелевую матрицу [5-6]. Такое сочетание компонентов делает сплавы широко применяемыми в авиа- и

ракетостроении, нефтяной и газовой промышленности. Сочетание с аддитивным производством позволяет получать детали с высокой точностью, минимальным временем изготовления и экономией за счет отсутствия необходимости в дополнительной оснастке.

Целью данного исследования являлось определение фазового состава получаемых материалов при различных режимах обработки. Образцы были выращены из порошка сплава системы Ni-Cr-Mo.

### Методика проведения экспериментов

Образцы были сформированы при различных режимах на установке высокоскоростного прямого лазерного выращивания Erlaser Weld (кафедра «Сварка и лазерные технологии», Санкт-Петербургский государственный политехнический университет). При выращивании образцов использовалась коаксиальная подача порошка.

Микрорентгеноспектральный анализ исходного порошка был проведен на растровом электронном микроскопе с энергодисперсионным анализатором (табл. 1а, б). Средний размер частиц порошка системы Ni-Cr-Mo составлял 120 мкм, системы Ni-Co-Cr – 129 мкм. Подача порошка осуществлялась со скоростью 20 г/мин. Диаметр лазерного пятна составлял 1,2 мм; скорость лазерного сканирования – 45 мм/с. Мощность лазерного излучения изменяли в диапазоне от 250 до 1500 Вт.

Структурные исследования были проведены с использованием светового просвечивающего электронного микроскопа FEI Tecnai G2 TWIN. Фазовый состав образцов был изучен при помощи просвечивающей электронной микроскопии и рентгенофазового анализа. Дифракционные картины были получены на просвечивающем электронном микроскопе (FEI Tecnai G2 при ускоряющем напряжении 200 кВ). Регистрация рентгенограмм образцов производилась на  $\theta$ - $\theta$  дифрактометре ARL X'TRA, в качестве источника рентгеновского излучения применялась хромовая рентгеновская трубка. Излучение не монохроматизировалось и регистрировалось энергодисперсионным Si(Li) детектором, настроенным на регистрацию Cr K $\alpha$ 1/K $\alpha$ 2/K $\beta$  длин волн.

Таблица 1а [7]

Химический состав исходного порошка системы Ni-Cr-Mo

Хим. элемент	Ni	Cr	Mo	Nb	Si
Содержание, вес%	58,5	21,78	10,88	3,87	0,51

Таблица 1б

Химический состав исходного порошка системы Ni-Co-Cr

Хим. элемент	Ni	Co	Cr	W	Ti	Mo	Al	Nb
Содержание, вес%	51,8	13,8	9,96	8,58	3,14	3,9	3,9	2,6

### Результаты исследований

Исходный порошок имел сферичную морфологию и минимальные дефекты. Структура полученных материалов в продольном сечении (относительно лазерного сканирования) выращенной стенки имеет дендритное строение, сонаправленное лазерному сканированию. При изучении продольного сечения также наблюдались выращенные слои, толщины которых имели линейную зависимость от применяемой мощности лазерного

излучения. Аналогичная зависимость была проведена с толщиной стенок (табл. 2). В поперечном сечении образцы имели сетчатое строение. Образцы, полученные на минимальной мощности лазера в 250 Вт, содержат не полностью расплавленные частицы исходного порошка [7].

Таблица 2 [7]

Влияние мощности лазерного излучения на толщину стенки образцов

Мощность, Вт		250	450	500	600	750	900	1000	1200	1500
Средняя толщина, μ	Ni-Cr-Mo	860	-	970	-	1100	-	1640	-	1890
	Ni-Co-Cr	800	890	-	1160	-	1270	-	1530	-

При расшифровке рентгенограмм исходных материалов было установлено, что исходным порошком в обеих системах является твердый раствор на основе Ni, так как подавляющее большинство «ярких» отражений с небольшим расхождением положений и интегральной интенсивности экспериментальных и теоретических пиков соответствовало фазе Ni (рис. 1).

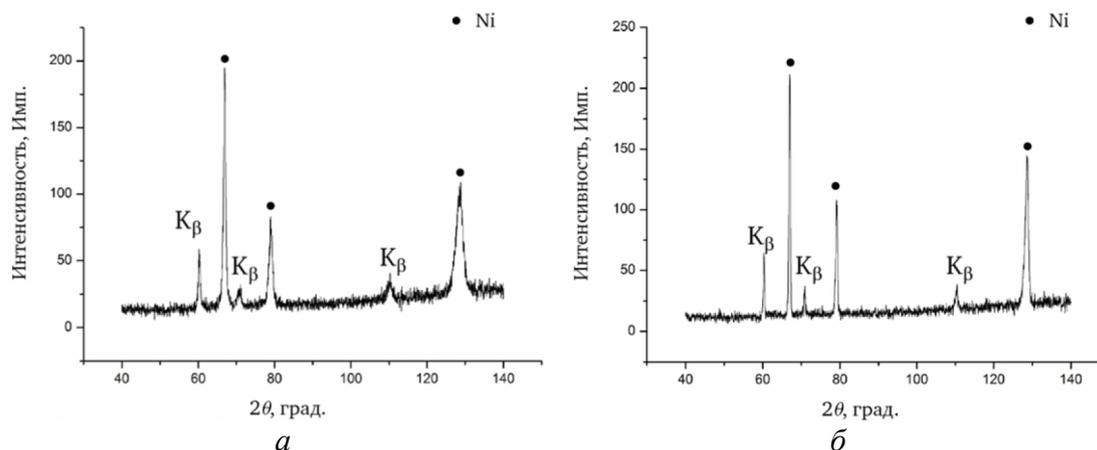


Рис. 1. Рентгенограммы исходных материалов: порошок системы Ni-Cr-Mo (а); порошок системы Ni-Co-Cr (б).

Так как съемка рентгенограмм проводилась с регистрацией  $\text{CrK}\alpha_1/\text{K}\alpha_2/\text{K}\beta$  длин волн, пики на углах  $2\theta = 60.2^\circ, 70.95^\circ$  и  $110.2^\circ$  соответствуют отражениям  $\text{K}\beta$  длин волн от семейства плоскостей на углах  $2\theta=66.9^\circ, 78.95^\circ$  и  $128.803^\circ$ . Анализ рентгенограмм выращенных образцов, сформированных при различных мощностях рабочей установки, показал присутствие аналогичной фазы (рис. 2). Изменения интенсивности отражений свидетельствует о наличие формирования текстуры в образце за счет ориентированного роста зерен сплава относительно направления лазерного сканирования.

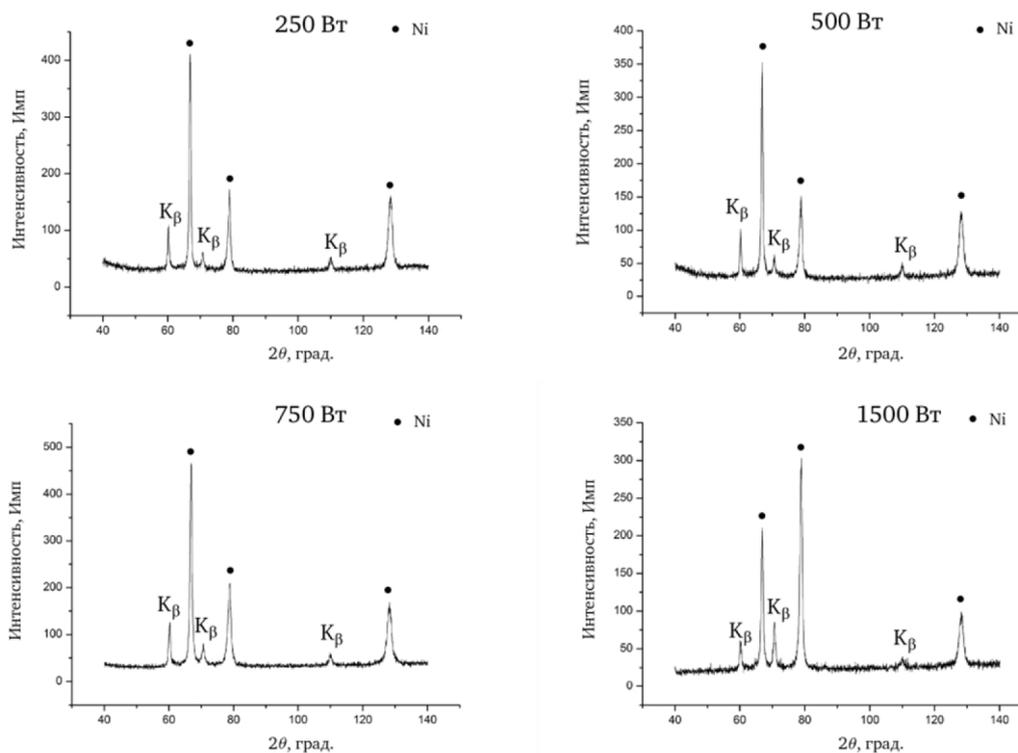


Рис. 2. Рентгенограмма образцов, выращенных при различных мощностях лазера.

Тонкая структура выращенных материалов, проанализированная с использованием метода просвечивающей электронной микроскопии, представлена на рисунках 3 – 5. Для всех образцов характерно зеренное строение внутри дендритов и наличие большого числа дислокаций (рис. 3а), а также двойников (рис. 3б). Средний размер зерен составляет 5 мкм. По границам и в теле зерен присутствуют частицы, которые, исходя из микрорентгеноспектрального анализа и полученных микродифракционных картин, идентифицируются как карбиды  $Nb_2C$ ,  $Nb_6C_5$  (рис. 4). Основа выращенных сплавов во всех образцах является твердым раствором на основе Ni (рис. 5).

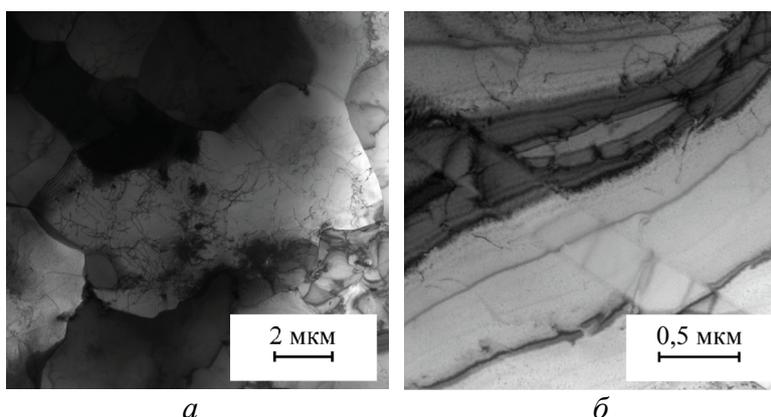


Рис. 3. Тонкая структура выращенного сплава системы Ni-Cr-Mo: зеренное строение дендритов (а); двойники (б).

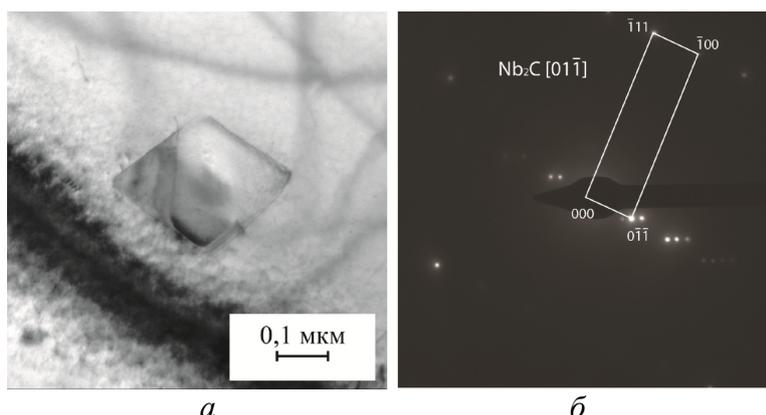


Рис. 4. Карбидная частица Nb<sub>2</sub>C в сплаве системы Ni-Co-Cr, полученном при мощности 450 Вт: светлое поле (а); микродифракционная картина (б).

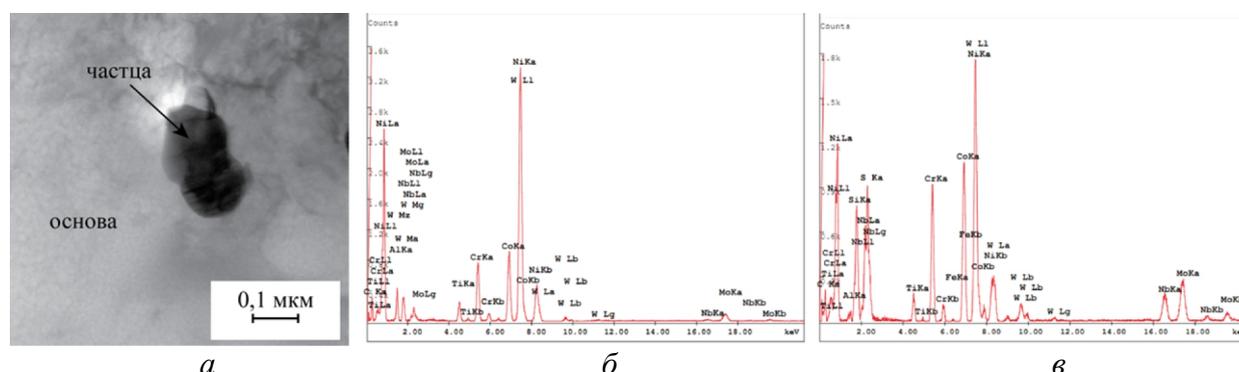


Рис. 5. Тонкая структура выращенного сплава системы Ni-Co-Cr: светлое поле (а); результаты микрорентгеноспектрального анализа основы (б); результаты микрорентгеноспектрального анализа частицы (в).

Микрорентгеноспектральный анализ частицы (рис. 5а) показал наличие 26,2 % Ni, 14,8 % Co, 8,4 % Mo (атм) (рис. 5 в). Опираясь на исследования R.G. Ding [8], можно предположить, что частица является когерентной δ-Ni<sub>3</sub>Mo фазой.

### Выводы

На данном этапе исследования можно сделать вывод, что толщина выращенной стенки образцов и отдельно взятого слоя имеет линейную зависимость от применяемого диапазона мощностей лазера. Однородная бездефектная структура может быть достигнута при использовании мощности выше 250 Вт. Основной фазой исходных порошков и сформированных образцов является твердый раствор хрома, кобальта, молибдена, ниобия в никеле. Согласно исследованиям, проведенным на просвечивающем электронном микроскопе, в состав материалов, полученных лазерным выращиванием, входят карбидные и нитридные частицы, а также δ-фаза.

### Список литературы

1. Khaing M.W., Fuh J.Y.H., Lu L. Direct metal laser sintering for rapid tooling: processing and characterisation of EOS parts // Journal of Materials Processing Technology. – 2001. – Vol. 113, N 1–3. – P. 269–272. – doi: 10.1016/S0924-0136(01)00584-2.

2. Dindaa G.P., Dasguptaa A.K., Mazumderb J. Laser aided direct metal deposition of Inconel 625 superalloy: microstructural evolution and thermal stability // *Materials Science and Engineering A*. – 2009. – Vol. 509. – P. 98–104. – doi: 10.1016/j.msea.2009.01.009.
3. Dwivedi R.; Zekovic S., Kovacevic R. A novel approach to fabricate unidirectional and branching slender structures using laser-based direct metal deposition // *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. – 2007. – Vol. 47, iss. 7–8. – P. 1246–1256. – doi: 10.1016/j.ijmachtools.2006.08.012.
4. Rapid manufacturing of metal components by laser forming / E.C. Santosa, M. Shiomi, K. Osakada, T. Laoui // *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. – 2006. – Vol. 46. Iss. 12–13. – P. 1459–1468. – doi: 10.1016/j.ijmachtools.2005.09.005.
5. Материаловедение и технология металлов: учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов / Г.П. Фетисов, М.Г. Карпман, В.М. Матюнин и др.; под ред. Г.П. Фетисова. – 5-е изд., стер. – М.: Высшая школа, 2007. – 862 с.
6. Microstructure evolution in a Ni–Mo–Cr superalloy subjected to simulated heat-affected zone thermal cycle with high peak temperature / J. Yang, Y. He, C. Qin, W. Zhao, S. Chen, Z. Gao // *Materials & Design*. – 2015. – Vol. 86. – P. 230–236. – doi: 10.1016/j.matdes.2015.07.085.
7. Особенности материала, полученного высокоскоростным прямым лазерным выращиванием сплава на основе никеля / М.В. Рашковец, А.А. Никулина, О.Г. Климова // *Актуальные проблемы в машиностроении*. – 2016. – № 3. – С. 384–388.
8. Electron microscopy study of direct laser deposition IN718 / R.G. Ding, Z.W. Huang, H.Y. Li, I. Mitchell, G. Baxter, P. Bowen // *Materials Characterization*. – 2015. – Vol. 106. – P. 324–337. – doi: 10.1016/j.matchar.2015.06.017.

#### FEATURES OF THE PHASE COMPOSITION OF THE MATERIAL, OBTAINED BY HETEROPHASE POWDER METALLURGY OF Ni-BASED ALLOY

Rashkovets M. V., Graduate students, e-mail: lipa\_04@mail.ru

Nikulina A. A., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: a.nikulina@corp.nstu.ru

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

#### Abstract

In this paper considers feature of structural and phase composition of initial powder and deposited samples which are Ni-based alloy in according with various operating parameters of device of heterophase powder metallurgy. The microstructure of the longitudinal section of the deposited samples is dendritic structure without defects. Almost combination of operating parameters selected in this study produced samples without defects, except only for samples obtained by 250 W of laser power with unmelted particles of initial materials. Layer thickness and laser power have a liner relation. The X-ray diffraction patterns and date of transmission electron microscopy of initial powder and deposited samples show the presence of Ni-matrix (fcc) solid solution. And, for now, particles of Nb<sub>2</sub>C and Nb<sub>6</sub>C<sub>5</sub> were identified by transmission electron microscopy.

#### Keywords

heterophase powder metallurgy, direct laser method deposition, Ni-based alloys, structure, phase composition

УДК 519.237: 669.018.25

**ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ МЕТАЛЛА, НАПЛАВЛЕННОГО  
ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ СИСТЕМЫ Fe-C-Si-Mn-Cr-Mo-Ni-V-Co**

*А.И. ГУСЕВ, аспирант*  
*Н.А. КОЗЫРЕВ, доктор техн. наук, профессор*  
*Н.В. КИБКО, канд. техн. наук*  
*М.В. ПОПОВА, доктор техн. наук, профессор*  
*Р.Е. КРЮКОВ, канд. техн. наук*  
*(СибГИУ, г. Новокузнецк)*

**Козырев Н.А.** – 650007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42  
Сибирский государственный индустриальный университет,  
e-mail: Kozurev\_na@mail.ru

Изучено влияние изменения химического состава порошковой наплавочной проволоки системы Fe-C-Si-Mn-Cr-Mo-Ni, используемой при наплавке узлов и деталей оборудования и механизмов, на структуру и свойства наплавленного слоя. В лабораторных условиях были изготовлены образцы порошковых проволок с использованием соответствующих порошкообразных материалов и пыли газоочистки алюминиевого производства в качестве углеродфторсодержащего материала. Использовали следующие методы исследования: определение химического состава наплавленного металла, измерение его твердости и скорости истирания, металлографический анализ, заключающийся в определении величины зерна, размера игл мартенсита, загрязненности неметаллическими включениями.

Металлографические исследования показали, что уменьшение содержания углерода в наплавленном слое до 0,19-0,2% при одновременном изменении содержания хрома, никеля, молибдена и других присутствующих в его составе элементов, способствует укрупнению игл мартенсита и увеличению размера бывшего зерна аустенита.

В результате оценки загрязненности наплавленного слоя неметаллическими включениями установлено присутствие оксидных неметаллических включений, в частности силикатов недеформирующихся и оксидов точечных.

**Ключевые слова:** сварка, флюс, шлак, порошковая проволока, наплавка, микроструктура, твердость, износостойкость.

**Введение**

Разработка материалов и использование технологии восстановления, значительно повышающих износостойкость рабочих поверхностей механизмов машин горного оборудования, испытывающих абразивное и ударное изнашивание при эксплуатации, является важной задачей. К наиболее перспективным методам восстановления относиться использование наплавки порошковой проволокой на изнашивающиеся поверхности деталей. В связи с этим в нашей стране и за рубежом ведётся разработка и изготовление специальных наплавочных порошковых проволок [1-14]. Широкое распространение для наплавки абразивно-изнашивающихся изделий получили наплавочные проволоки систем Fe-C-Si-Mn-

Cr-Ni-Mo типа А и В по классификации МИС [15]. В настоящее время порошковые проволоки такой системы фирмы DRATEC (Германия) марки DT-SG 600 F и порошковые проволоки фирмы ESAB марок ОК Tubrodur 15.52, ОК Tubrodur 58 O/G М широко используются в нашей стране.

Настоящая работа является продолжением исследований по разработке новых составов порошковых проволок используемых для наплавки изделий, работающих в условиях абразивного износа в горнорудной промышленности [16-18].

### Материалы и методы

В лабораторных условиях были изготовлены образцы порошковой проволоки системы Fe-C-Si-Mn-Cr-Mo-Ni-V-Co.

Изготовление проволоки проводилось на лабораторной машине. Диаметр изготовленной проволоки 5 мм, оболочка выполнена из ленты Ст3. В качестве наполнителя использовались соответствующие порошкообразные материалы порошок железа марки ПЖВ1 по ГОСТ 9849-86, порошок ферросилиция марки ФС 75 по ГОСТ1415-93, порошок высокоуглеродистого феррохрома марки ФХ900А по ГОСТ 4757-91, порошок углеродистого ферромарганца ФМн 78(А) по ГОСТ 4755-91, порошок никеля ПНК-1Л5 по ГОСТ 9722-97, порошок ферромolibдена марки ФМо60 по ГОСТ 4759-91, порошок феррованадия марки ФВ50У 0,6 по ГОСТ 27130-94, порошок кобальта ПК-1У по ГОСТ 9721-79, причем в качестве углеродсодержащего компонента использовали пыль газоочистки алюминиевого производства, со следующим составом компонентов, мас. %:  $Al_2O_3 = 21-46,23$ ; F = 18-27;  $Na_2O = 8-15$ ;  $K_2O = 0,4-6$ ;  $CaO = 0,7-2,3$ ;  $Si_2O = 0,5-2,48$ ;  $Fe_2O_3 = 2,1-3,27$ ;  $C_{общ} = 12,5-30,2$ ;  $MnO = 0,07-0,9$ ;  $MgO = 0,06-0,9$ ; S = 0,09-0,19; P = 0,1-0,18.

Наплавку изготовленной проволокой производили под флюсом АН-26С, на пластины из стали марки Ст3 в 6 слоев (для исключения перемешивания наплавляемого металла с подложкой), при помощи сварочного трактора АСАW-1250, с режимом наплавки: I=450 А, U=30 В, V=10см/мин. Далее пластины разрезались на соответствующие образцы для испытаний. Химический состав исследуемых наплавленных образцов определяли по ГОСТ 10543–98 рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре XRF-1800 и атомно-эмиссионным методом на спектрометре ДФС-71.

Химический состав наплавленных слоев с использованием порошковых проволок приведен в таблице 1.

Твёрдость изучаемых образцов измеряли с помощью твердомера МЕТ-ДУ. Испытания на износостойкость производили на машине 2070 СМТ–1. Испытания проводились на режимах: нагрузка 30 мА, частота 20 об/мин. Металлографический анализ проводили с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-51 в светлом поле в диапазоне увеличений  $\times 100-1000$ . Величину бывшего зерна аустенита определяли по ГОСТ 5639-82 при увеличении  $\times 100$ , размер игл мартенсита – по ГОСТ 8233-56 при увеличении  $\times 1000$ . Исследование продольных образцов наплавленного слоя на загрязненность неметаллическими включениями осуществляли в соответствии с ГОСТ 1778-70 при увеличении  $\times 100$ .

Таблица 1

## Химический состав, износ и твердость наплавленного металла

Номер образца	Массовая доля элементов %													
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	B	V	Co	Al	Cu	Ti	S	P
1	0,22	0,35	0,65	2,78	0,09	0,25	0	0,02	0,04	0,01	0,06	0,01	0,036	0,020
2	0,43	0,37	0,84	7,04	0,42	0,49	0,01	0,03	0,06	0,02	0,08	0,01	0,038	0,020
3	0,5	0,68	0,75	5,57	0,44	0,55	0,01	0,04	0,1	0,03	0,07	0,003	0,037	0,025
4	0,55	0,81	0,7	5,59	0,6	0,58	0,01	0,03	0,11	0,07	0,07	0,005	0,044	0,023
5	0,46	0,68	0,75	5,04	0,72	0,5	0,01	0,03	0,08	0,05	0,1	0,001	0,042	0,019
6	0,44	0,74	0,73	5,59	0,86	0,53	0,01	0,03	0,09	0,06	0,07	0,02	0,038	0,020
7	0,19	0,77	0,61	4,17	0,34	0,38	0,01	0,02	0,05	0,01	0,07	0,02	0,054	0,024
8	0,19	0,63	0,65	4,06	0,3	0,38	0,01	0,03	0,06	0,01	0,08	0,03	0,056	0,019
9	0,2	0,59	0,61	4,12	0,3	0,38	0,01	0,02	0,12	0,02	0,06	0,04	0,049	0,019
10	0,2	0,64	0,6	4,03	0,3	0,39	0,01	0,03	0,2	0,01	0,08	0,03	0,058	0,021

**Результаты и обсуждение**

Металлографический анализ показал, что микроструктура наплавленного слоя порошковой проволокой системы Fe-C-Si-Mn-Cr-Mo-Ni-V-Co представляет собой мартенсит, формирующийся внутри границ бывшего аустенитного зерна, небольшое количество аустенита остаточного в виде отдельных островков, и тонкие прослойки  $\delta$ -феррита, располагающиеся по границам бывших зерен аустенита. Структура равномерная, наблюдаются тонкие ветви дендритов.

В микроструктуре образцов с содержанием углерода 0,22 – 0,55% (образцы № 1-6) присутствует мелкоигльчатый мартенсит с размером игл до 6 мкм (балл №4). Величина бывшего зерна аустенита по шкале зернистости находится в пределах №6 – 7 (рисунок 1а-е, таблица 2).

Уменьшение содержания углерода в наплавленном слое до 0,19-0,2% при одновременном изменении содержания хрома, никеля, молибдена и других присутствующих в его составе элементов, способствует увеличению размера бывшего зерна аустенита и игл мартенсита (рисунок 1 ж-к, таблица 2). В микроструктуре образцов № 7-10 присутствует среднеигльчатый (балл № 5) и крупноигльчатый (балл №7) мартенсит с размером игл 8-13 мкм. Величина бывшего зерна аустенита соответствует №6.

В результате оценки загрязненности наплавленного слоя неметаллическими включениями установлено присутствие оксидных неметаллических включений, в частности силикатов недеформирующихся и оксидов точечных (таблица 2).

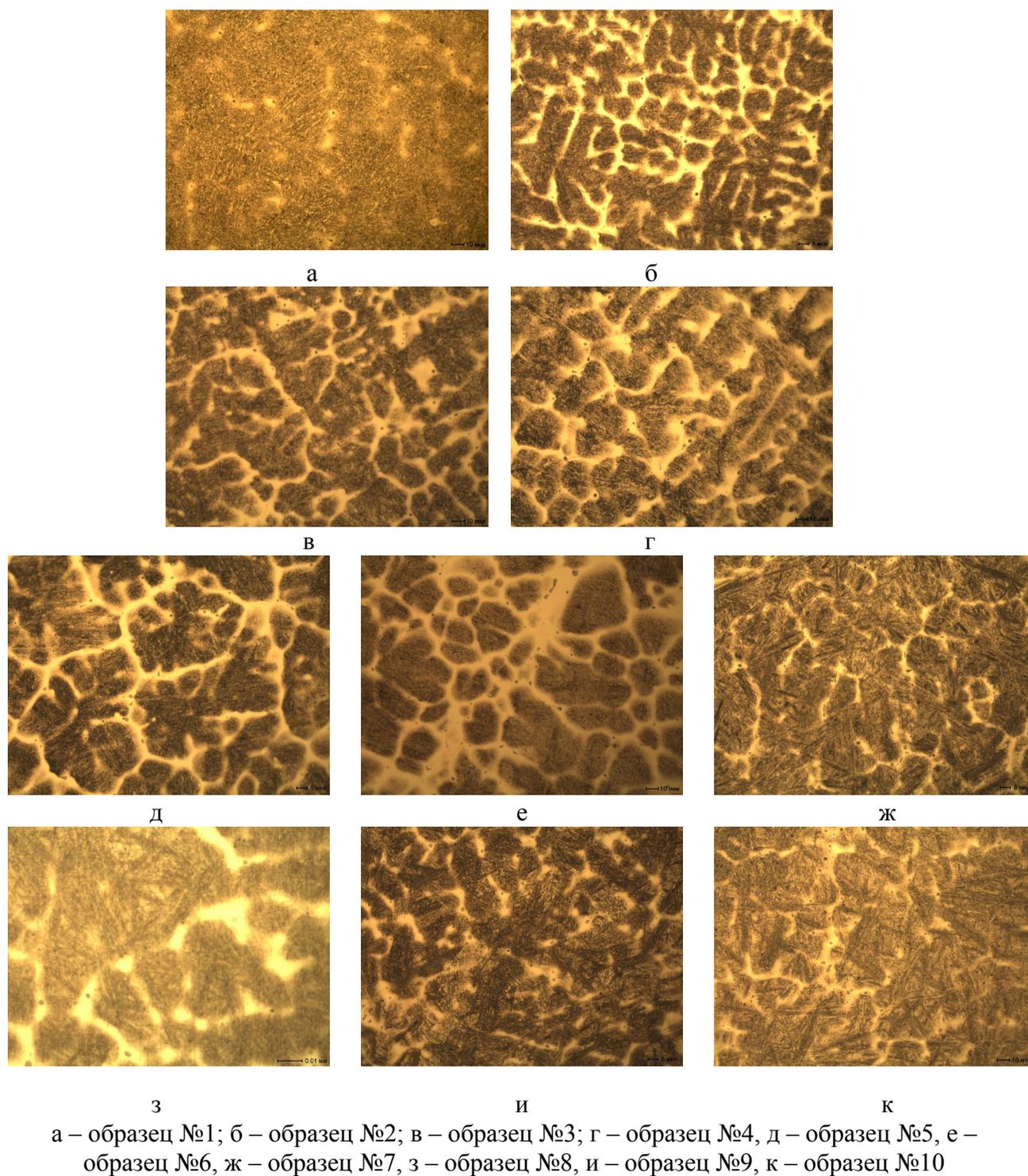


Рис. 1. Микроструктура исследуемых образцов,  $\times 500$

Твердость и износостойкость исследуемых образцов приведена в таблице 2.

Таблица 2

Характеристики неметаллических включений и структуры,  
износ и твердость наплавленных слоев

Номер образца	Загрязненность неметаллическими включениями, балл		Величина зерна аустенита, балл	Размер игл мартенсита, мкм	Твердость образцов, HRC	Износ образцов г/об.
	силикаты недеформирующиеся	оксиды точеные				
1	2б, 1б, 2а	1а	6, 7	3-6	36	0,000040
2	2б, 1б, 3а	1а	7	2-6	56	0,000020
3	1б, 2б, 3а	1 а	7	2-6	50	0,000015
4	2б, 1б, 2а, 3а	1 а	6, 7	4-6	53	0,000005
5	1б, 2б, 3а	1 а	6, 7	3-6	51	0,000071
6	1б, 2б, 3а	1 а	7, 6	2-6	52	0,000017
7	1б, 2а	1 а	6	8-13	44,5	0,000071
8	1б, 2б, 2а, 3а	1 а, 2а	6	8-10	43	0,000039
9	1б, 2б, 2а, 3а	1 а, 2а	6	8-12	46	0,000044
10	1б, 2б, 3а	1 а, 2а	6	8-11	30	0,000073

## Выводы

1. Исследование структуры и свойств наплавленных слоев, полученных при использовании многокомпонентных проволок системы Fe-C-Si-Mn-Cr-Mo-Ni позволило установить, что наилучшие параметры микроструктуры, а также лучшее сочетание твердости и износостойкости имеют образцы составов 3 и 4, характеризующиеся повышенным содержанием углерода, молибдена, никеля и кобальта. Их структура характеризуется малыми размерами бывших зерен аустенита, в которых располагается мелкоигльчатый мартенсит с размером игл до 6 мкм.

2. Уменьшение содержания углерода в наплавленном слое до 0,19-0,2% при одновременном уменьшении хрома, молибдена, никеля и кобальта, способствует укрупнению игл мартенсита до 8-13 мкм и увеличению размеров бывших зерен аустенита. Это сопровождается существенным снижением твердости (с 53-50 HRC до 43-46 HRC), а также износостойкости (с  $0,15 \cdot 10^{-4}$  г/об до  $0,71 \cdot 10^{-4}$  г/об).

## Список литературы

1. Kirchgaßner M, Badisch E, Franek F. Behaviour of iron-based hardfacing alloys under abrasion and impact // Wear Journal. – 2008. – Vol. 265. – P. 772–779.
2. Azzoni M. Directions and developments in the types of hard phases to be applied in abrase deposits against abrasion // Weld International. – 2009. – Vol. 23. – P. 706–716.
3. Abrasion resistance of GMA metal cored wires surfaced deposits / A. Klimpel, L.A. Dobrzanski, D. Janicki, A. Lisiecki // Materials Processing Technology. – 2005. – Vol. 164–165. – P. 1056–1061.

4. Wang Q., Li X. Effects of Nb, V, and W on microstructure and abrasion resistance of Fe–Cr–C hardfacing alloys // *Welding*. – 2010. – Vol. 89. – P. 133–139.
5. Metlitskii V.A. Flux-cored wires for arc welding and surfacing of cast iron // *Welding International*. – 2008. – Vol. 22. – P. 796–800.
6. Kejžar R., Grum J. Hardfacing of wear-resistant deposits by MAG welding with a flux-cored wire having graphite in its filling // *Welding International*. – 2005. – Vol. 20. – P. 961–976.
7. Wear and high temperature oxidation behavior of wire arc sprayed iron based coatings / R. Li, D.Y. He, Z. Zhou, Z.J. Wang, X.Y. Song // *Surface Engineering*. – 2014. – Vol. 30. – P. 784–790.
8. Fe-based amorphous coating with high corrosion and wear resistance / H.R. Ma, X.Y. Chen, J.W. Li, C.T. Chang, G. Wang, H. Li, X.M. Wang, R.W. Li // *Surface Engineering*. – 2016. – Vol. 46. – P. 1–7.
9. Structure and wear resistance of deposited alloys based on metastable chromium–carbon austenite / M.A. Filippov, V.I. Shumyakov, S.A. Balin, A.S. Zhilin, V.V. Lehchilo, G.A. Rimer // *Welding International*. – 2015. – Vol. 29. – P. 819–822.
10. Liu D.S., Liu R.P., Wei Y.H. Influence of tungsten on microstructure and wear resistance of iron base hardfacing alloy // *Materials Science and Technology*. – 2013. – Vol. 30. – P. 316–322.
11. Wear resistant WC–Co composite hard coatings / S.C. Lim, M. Gupta, Y.S. Goh, K.C. Seow // *Surface Engineering*. – 1997. – Vol. 13. – P. 247–250.
12. Zhuk Yu. Super-hard wear-resistant coating systems // *Materials Technology*. – 1999. – Vol. 14. – P. 126–129.
13. Abrasive wear behaviour of hardened high strength boron steel / J. Hardell, A. Yousfi, M. Lund, L. Pelcastre, B. Prakash // *Tribology – Materials, Surfaces & Interfaces*. – 2014. – Vol. 8. – P. 90–97.
14. Epsilon carbide precipitation and wear behaviour of low alloy wear resistant steels / X.T. Deng, T.L. Fu, Z.D. Wang, R.D.K. Misra, G.D. Wang // *Materials Science and Technology*. – 2016. – Vol. 32. – P. 320–327.
15. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / под ред. Б.Е. Патона. – М.: Металлургия, 1974. – 768 с.
16. Гусев А.И., Осетковский И.В. Изучение свойств металла наплавленного порошковой проволокой системы С-Mn-Si-Cr-V-Mo-Co // *Прогрессивные технологии и экономика в машиностроении: сборник трудов VII Всероссийской научно-практической конференции для студентов и учащейся молодежи: в 2 т. / Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 2016. – Т. 1. – С. 91–94.*
17. A study on the properties of the deposited metal by flux cored wires 40GMFR and 40H3G2MF/ A.I. Gusev, N.V. Kibko, N.A. Kozyrev, M.V. Popova, I.V. Osetkovsky // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2016. – Vol. 150. – P. 012033. – doi: 10.1088/1757-899X/150/1/012033.
18. Структура и свойства наплавленных слоев, полученных с применением порошковых проволок 40ГМФР и 40Х3Г2МФ / А.И. Гусев, Н.В. Кибко, М.В. Попова, Н.А. Козырев, И.В. Осетковский // *Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии*. – Новокузнецк: Изд-во СибГИУ, 2016. – Вып. 36. – С. 174–181.

**THE STUDY OF THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF METAL, DEPOSITED  
BY WELD FLUX-CORED WIRE OF THE SYSTEM Fe-C-Si-Mn-Cr-Mo-Ni-V-Co**

**Gusev A.I.**, Ph.D. student, e-mail: ALLXX85@mail.ru

**Kozyrev N.A.**, D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: Kozyrev\_na@mail.ru

**Kibko N.V.**, Ph.D. (Engineering), Senior lecturer, e-mail: krivicheva\_nv@mail.ru

**Popova M.V.**, D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: m.popova@rdtc.ru

**Kryukov R.E.**, Ph.D. (Engineering), Senior lecturer, e-mail: rmk@nzhmk.ru

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

**Abstract**

Studied the influence of the powder wire system Fe-C-Si-Mn-Cr-Mo-Ni chemical composition which are used to surface details and components of equipment and machines on structure and properties of the deposited layer. In the laboratory conditions were manufactured cored wire samples with the use of corresponding powder materials and dust of aluminum production dry scrubbing as a carboncontaine material. We used the following research methods: defining chemical composition of surfaced metal, hardness and wear speed measurements, metallographic analysis which includes defining grain size, martensite needles size, nonmetallic impurity rating.

Metallographic research shown, that reducing carbon contain in deposited layer to 0,19-0,2% while changing chromium, nickel, molybdenum and other chemical composition elements contain, aids raise size of martensite needles and former austenite grain.

By results of evaluation the contamination of nonmetallic inclusions in the deposited layer established occurrence of oxide nonmetallic inclusions, in particular, nondeformable silicates and oxide points.

**Keywords**

Welding, flux, slag, cored wire, welding, microstructure, hardness, wear resistance

УДК 629.9

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ИЗДЕЛИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ 3D-ПЕЧАТЬЮ

*А.В. БАЛАШОВ*<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доцент  
*С.В. БЕЛОПЛОТОВ*<sup>1</sup>, студент  
*С.О. МАЛЫШЕВ*<sup>2</sup>, ведущий специалист  
*Е.А. НОВИКОВСКИЙ*<sup>1</sup>, ассистент  
*В.А. ФЁДОРОВ*<sup>1</sup>, проректор, канд. техн. наук, доцент  
 (<sup>1</sup>АлтГТУ им. Ползунова, г. Барнаул  
<sup>2</sup>ЦМИТ "Ползунов", г. Барнаул)

**Балашов А.В.** – 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,  
 Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,  
 e-mail: bavagtu@mail.ru

Рассмотрен экструзионный метод 3D-печати. Определена зависимость удельного веса материала образца от процента заполнения материала при 3D-печати. Исследовано влияние процента заполнения материалом детали на предел прочности при изгибе.

**Ключевые слова:** 3D-печать, экструзионный метод, ABS пластик, предел прочности при изгибе, удельный вес, процент заполнения, внутренняя структура.

**Введение**

В настоящее время начинает распространяться новый метод получения деталей – 3D печать. Процесс создания цельных трехмерных объектов практически любой геометрической формы на основе цифровой модели называют «аддитивным производством» или 3D-печатью.. 3D-печать основана на концепции построения объекта последовательно наносимыми слоями, отображающими контуры модели.

**Теория и методы**

Одним из распространенных методов 3D-печати является – экструзионный. При этом методе нить из термопластика (полилактид (PLA), акрилонитрил-бутадиенстирол (ABS) и др.) 2 подается в печатающую головку 1, где разогревается и выдавливается через экструдер на подвижную платформу 3D-принтера (рисунок 1).

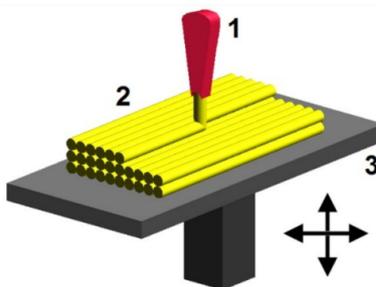


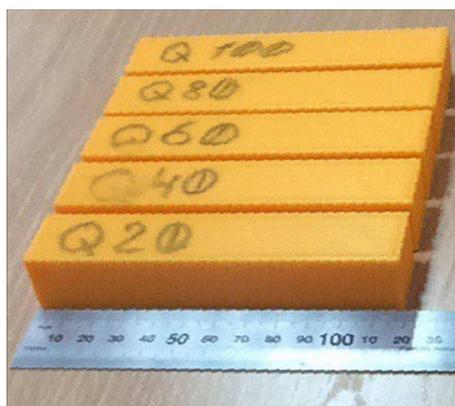
Рис. 1. Схема работы 3D-принтера

Для применения этого метода в машиностроении необходимо изучить влияние режимов печати на параметры качества, полученных изделий.

Для изучения влияния структуры изделий, полученных 3D-печатью проведены испытания на изгиб. Испытания на изгиб проводились в соответствии с ГОСТ 4648-73. По рассмотренной технологии напечатаны образцы 20×25×120 мм из пластика – ABS F133 ORANG на 3D принтере MakerBot Replicator 2X (рисунок 2).



а) 3D-принтер MakerBot Replicator 2X



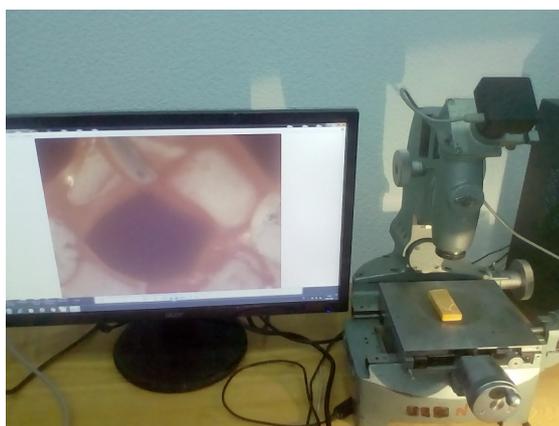
б) – Образцы для испытаний на изгиб

*Рис. 2. Печать образцов на 3D-принтере*

Образцы печатались при следующих режимах: тип; диаметр сопла экструдера - 0,4 мм; высота слоев - 0,25 мм; температура экструдера - 230°C; температура стола - 120°C; скорость печати 90 мм/с; толщина периметра образца – 1,6 мм, формирование слоёв с внутренним заполнением материала 20, 40, 60, 80 и 100%, структура слоев – четырехгранник и шестигранник.

### Результаты и обсуждение

Для изучения внутренней структуры образцов были сделаны фотографии на инструментальном микроскопе МИП2, оснащенный цифровой камерой (рисунок 3).

*Рис. 3. Цифровой инструментальный микроскоп МИП-2*

Фотографии внутренней структуры образцов, полученные на инструментальном микроскопе МИМ 2 приведены на рисунках 4 и 5.

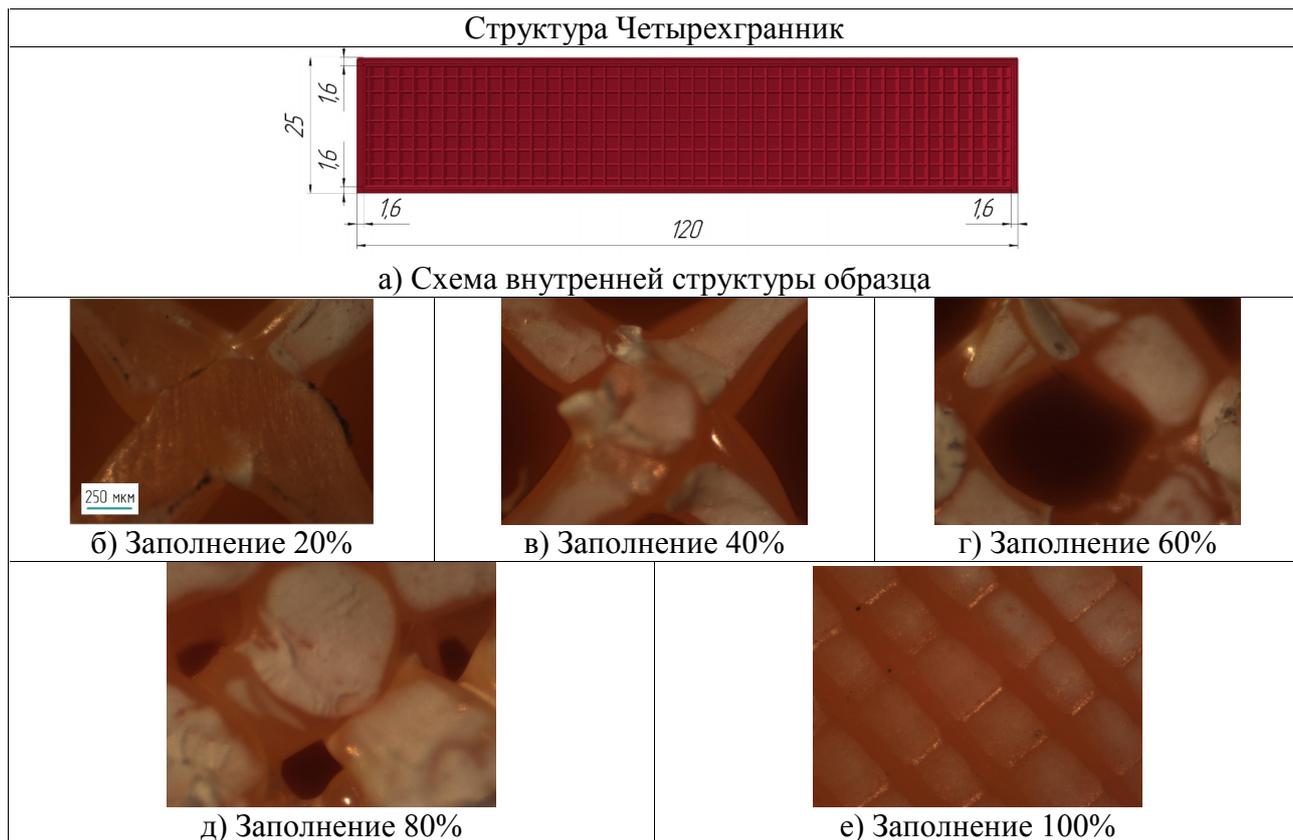


Рис. 4. Внутренняя структура образцов с четырехгранной структурой

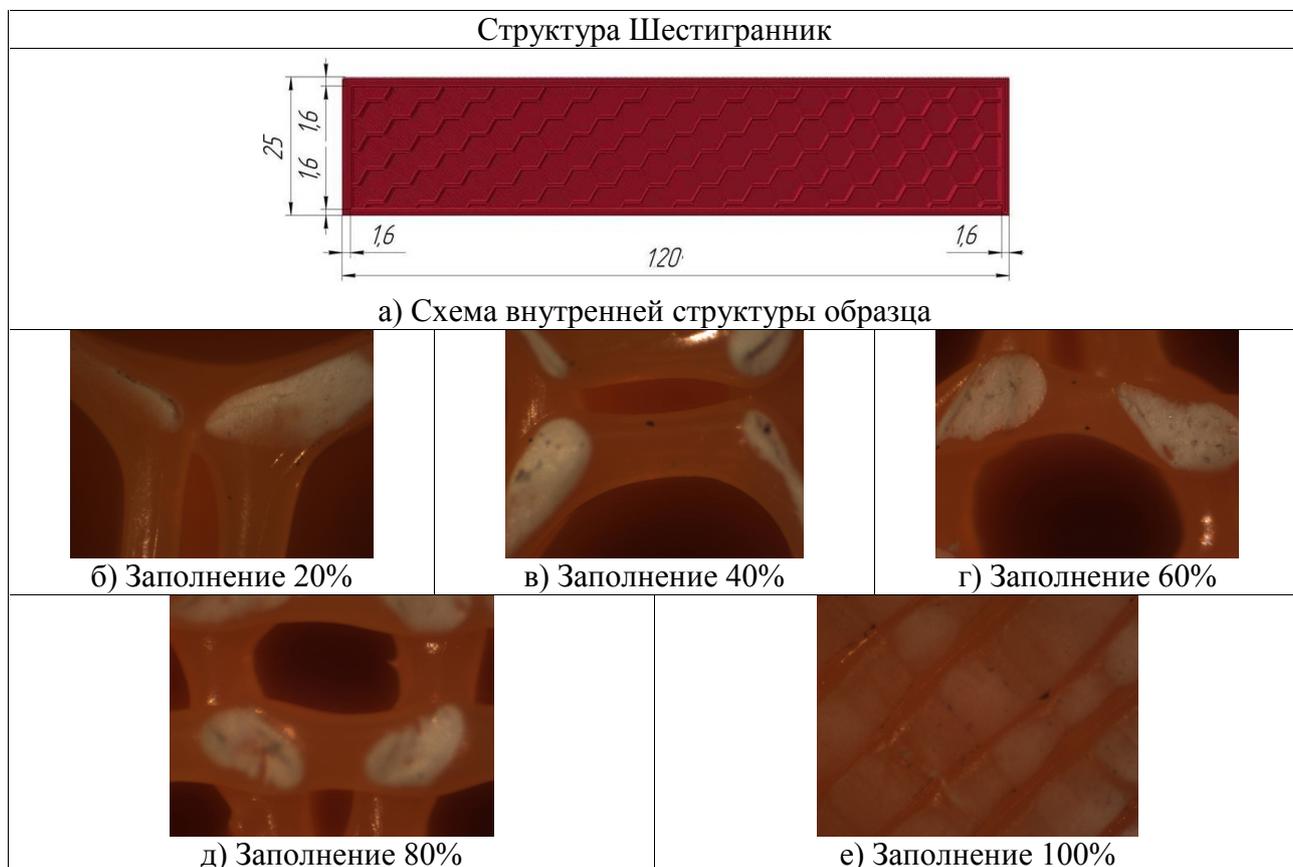


Рис. 5. Внутренняя структура образцов с шестигранной структурой

Для выявления зависимости удельного веса от процента заполнения образцы взвешивались на аналитических весах САРТОГОСМ СЕ224 (рисунок 6).



Рис. 6. Аналитические весы САРТОГОСМ СЕ224

Результаты взвешивания и расчета удельного веса приведены в таблице 1 и на рисунке 7.

Таблица 1

Структура	Заполнение, %	20	40	60	80	100
Четырехгранник	Удельный вес, гр/см <sup>3</sup>	3,60	4,97	6,42	7,69	8,71
Шестигранник	Удельный вес, гр/см <sup>3</sup>	3,41	4,41	5,22	5,92	8,70

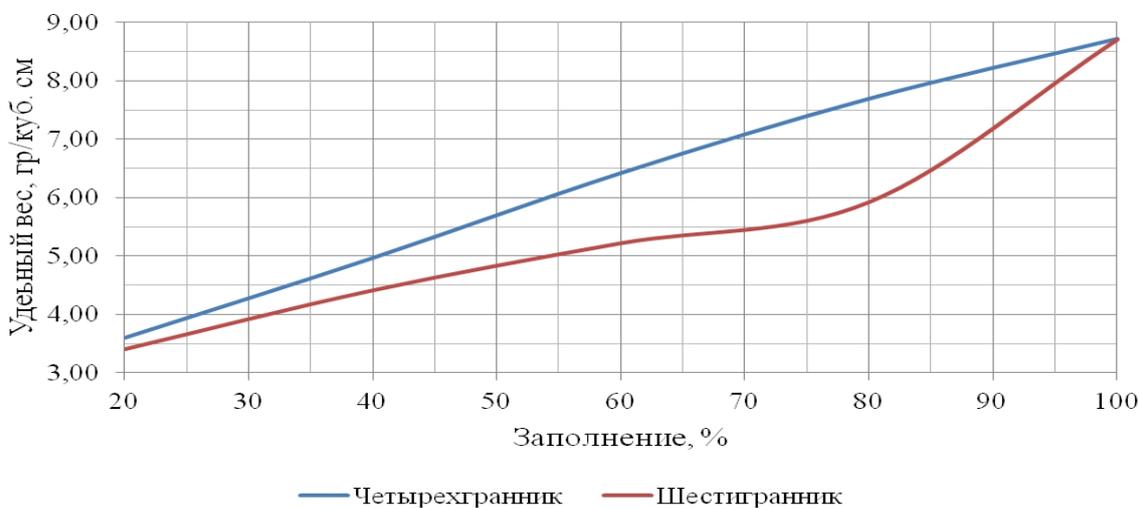
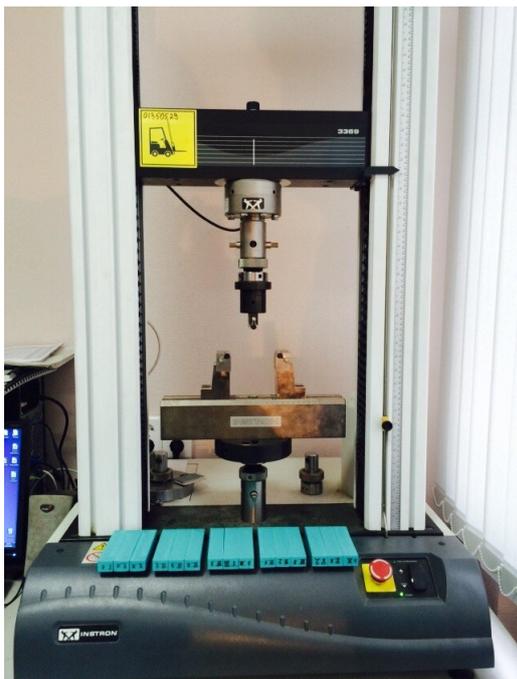


Рис. 7. Зависимость удельного веса образца от заполнения материалом

Анализ фотографий и зависимости удельного веса образца от заполнения материалом показал, что образцы с четырехгранной структурой более плотные по сравнению с образцами с шестигранной структурой при одинаковых режимах печати и заполнении.

Далее образцы испытывались на изгиб на испытательной установке INSTRON 3369 по трехточечной схеме (рисунок 8). Сущность метода заключается в том, что образец для испытаний, свободно лежащий на двух опорах, кратковременно нагружают в середине между опорами.



а) Испытательная установка INSTRON 3369



б) Нагружение образца

Рис. 8. Испытания на изгиб

Результаты испытания образцов на изгиб приведены на рисунках 9 и 10

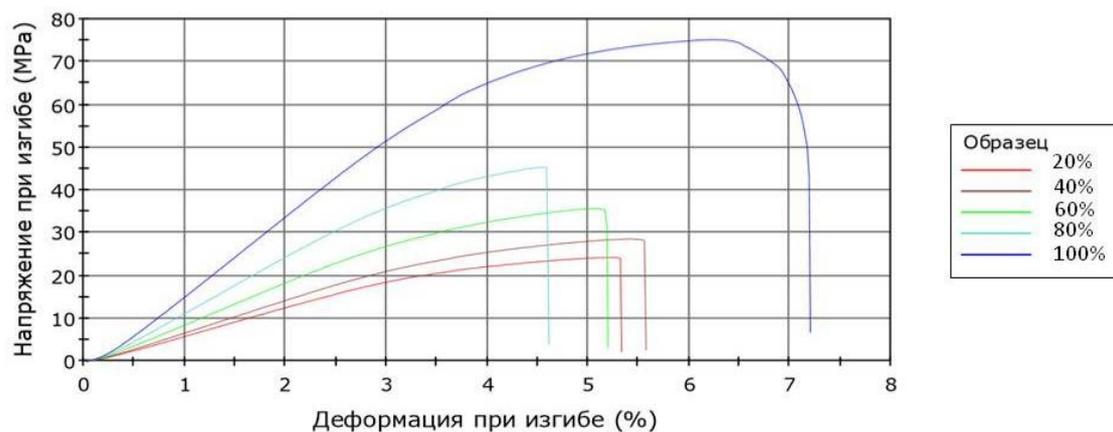


Рис. 9. Диаграмма изгиба образцов с четырехгранной структурой

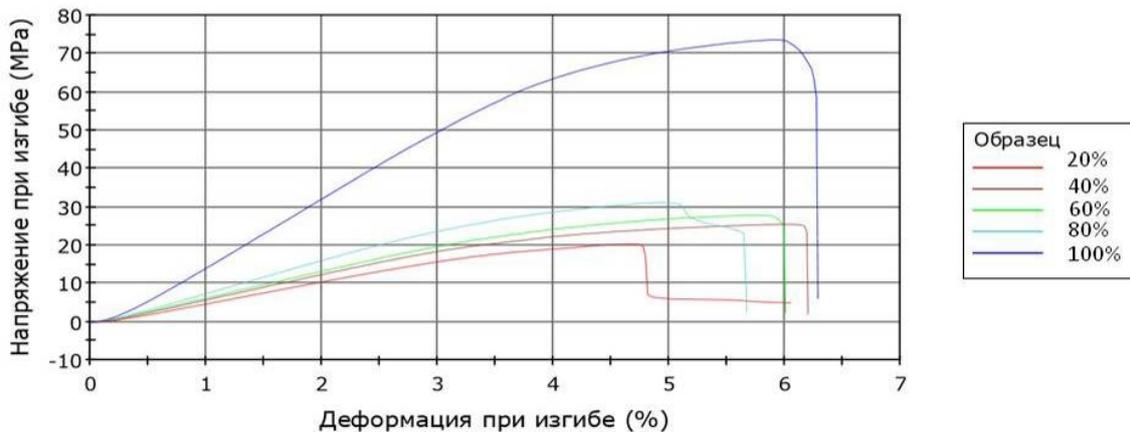


Рис.10. Диаграмма изгиба образцов с шестигранной структурой

Результаты обработки экспериментальных данных выявили, зависимости предела прочности при изгибе от заполнения материалом (рисунок 11).

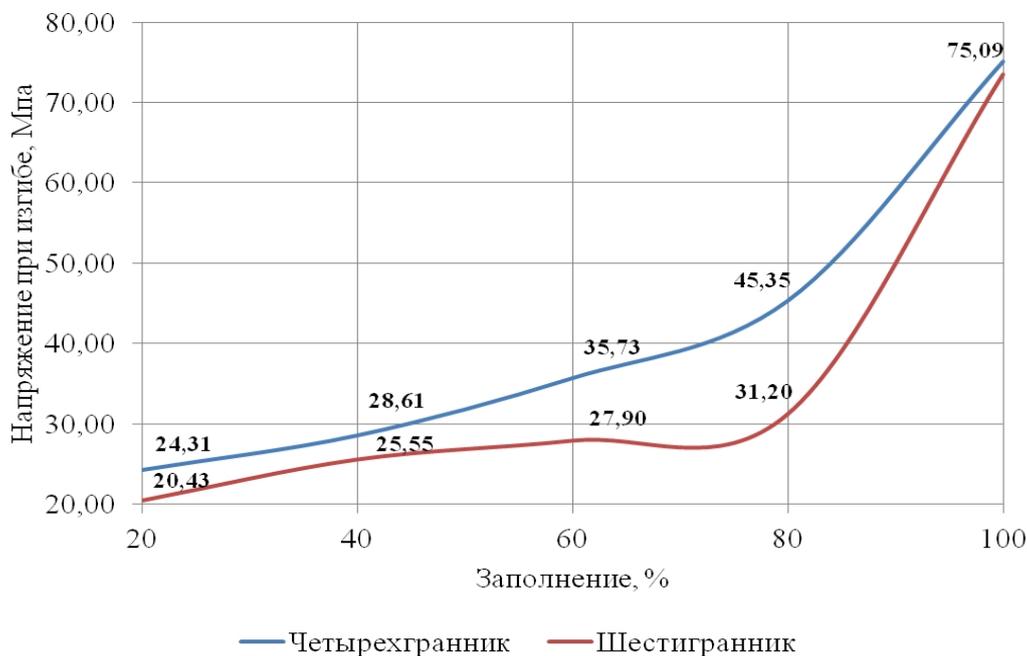


Рис. 11. Зависимость предела прочности при изгибе от заполнения материалом детали

Зависимость влияния процента заполнения материала по четырехугольной схеме на напряжение при изгибе описывается уравнением 1.

$$\sigma_{И4} = 0,0002 \cdot \theta^3 - 0,0229 \cdot \theta^2 + 1,1488 \cdot \theta + 8,798 \quad (1)$$

где  $\sigma_{И4}$  – предел прочности при изгибе образца, заполненный по четырехугольной схеме;  $\theta$  – процент заполнения материала.

Зависимость влияния процента заполнения материала по шестиугольной схеме на напряжение при изгибе описывается уравнением 2.

$$\sigma_{И6} = 9E-06 \cdot \theta^4 - 0,0017 \cdot \theta^3 + 0,1125 \cdot \theta^2 - 2,7734 \cdot \theta + 43,17 \quad (2)$$

где  $\sigma_{И6}$  – предел прочности при изгибе образца, заполненный по шестиугольной схеме.

## Выводы

Изделия с четырехгранной структурой, полученные экструзионным методом 3D печати, обладают большим весом по сравнению с образцами с шестигранной структурой.

Установлены зависимости предела прочности деталей из ABS пластика от заполнения материала при четырехгранной и шестигранной внутренних структурах.

Детали напечатанные с четырехгранной структурой обладают большим пределом прочности на изгиб по сравнению с шестигранной структурой.

Установленные зависимости предела прочности при изгибе детали из термопластика ABS и удельного веса материала детали от процента заполнения могут использоваться для проектирования изделий, которые будут изготавливаться методом экструзионной 3D-печати.

**Список литературы**

1. Исследование прочности изделий, полученных методом 3D-печати / С.В. Белоплов, И.С. Потапов, А.О. Черданцев, А.В. Балашов, Е.А. Новиковский // Металлообрабатывающие комплексы и робототехнические системы – перспективные направления научно-исследовательской деятельности молодых ученых и специалистов: сборник научных статей II Международной молодежной научно-технической конференции: в 2 т. – 2016. – С. 45–49.
2. Исследование прочности изделий, полученных методом 3D-печати / А.В. Балашов, А.О. Черданцев, Е.А. Новиковский, С.В. Ананьин, С.В. Белоплов // Ползуновский вестник. – 2016. – № 2. – С. 61–64.
3. Изготовление литейной модели методом 3D печати / С.В. Белоплов, А.В. Балашов, А.О. Черданцев, Е.А. Новиковский, М.Н. Заборцева // Ползуновский альманах. – 2016. – № 4. – С. 12–18.

**RESEARCH OF PROPERTIES OF THE PRODUCTS RECEIVED 3D - PRINTING**

**Balashov A.V.**<sup>1</sup>, Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: bavagtu@mail.ru

**Beloplotov S.V.**<sup>1</sup>, Student, e-mail: Kydstepka@gmail.com

**Malushev S.O.**<sup>2</sup>, Principal specialist, e-mail: 22unbb@gmail.com

**Novikovskiy E.A.**<sup>1</sup>, Assistant, e-mail: mrdoc2017@mail.ru

**Fedorov V.A.**<sup>1</sup>, Vice-rector, Ph.D. (Engineering), Associate Professor,  
e-mail: agtu-otm2010@mail.ru

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

<sup>2</sup> Youth Creativity and Innovation Center "Polzunov", 46 Lenina avenue, Barnaul, Altai region, 656038, Russian Federation

**Abstract**

It is considered extrusive the 3D methods - the press. Dependence of specific weight of material of a sample on percent of filling of material is defined at 3D - the press. Influence of percent of filling with detail material on strength at a bend is investigated.

**Keywords**

3D - printing, an extrusive method, ABS plastic, strength at a bend, the specific weight, filling percent, internal structure

УДК 538.9

**КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ДЕФОРМАЦИОННЫХ СТРУКТУР  
НА ПРИМЕРЕ МОНОКРИСТАЛЛОВ НИКЕЛЯ\****Е.А. АЛФЁРОВА, канд. физ.-мат. наук, доцент  
(НИ ТПУ, г. Томск)*

Е.А. Алфёрова – 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
e-mail: katerina525@mail.ru

Деформационные структуры на поверхности металлов являются источником информации о процессах протекающих внутри материала при деформации. На сегодняшний день предпринимаются попытки на основе параметров деформационного рельефа выделить критерии работоспособности деталей машин или критерии разрушения. В научных исследованиях деформационные структуры также являются источником информации. Все эти задачи невозможно решить без количественной оценки. В работе рассмотрены возможности количественной оценки деформационных структур с использованием двух и трехмерных параметров шероховатости, а также непараметрических критериев. Приведены количественные оценки деформационных структур различного типа на примере монокристаллов никеля. Показано, что на основе непараметрических критериев шероховатости можно идентифицировать в деформационной структуре наличие одного или нескольких типов структурных элементов деформационного рельефа и показать их масштабную иерархию.

**Ключевые слова:** конфокальная микроскопия, двухмерные и трехмерные параметры шероховатости, деформационные структуры, монокристалл.

**Введение**

Деформационный рельеф негативно сказывается на ряде эксплуатационных свойств деталей конструкций. Изменение изначально гладкой поверхности (увеличение ее шероховатости) приводит к ухудшению отражательной способности, свариваемости и т.д. Вместе с тем, внешняя картина рельефа отражает процессы, происходящие внутри кристалла. Благодаря чему, одни исследователи пытаются понять закономерности протекания пластической деформации [1–10], а другие установить критерии работоспособности материала [1, 11].

Деформационные структуры, наблюдаемые на поверхностях кристаллов чрезвычайно разнообразны. Они наблюдаются при различных видах нагружения для поли- и монокристаллов.

Наиболее часто на поверхностях поликристаллических агрегатов наблюдаются системы следов сдвига и значительная часть внимание уделяется размеру и ориентации зерен [5, 12–13]. В работе [1] предполагают, что шероховатость поверхности зерен зависит от морфологии следов, и параметр шероховатости может быть использован в качестве критерия зарождения трещин. Кроме того, достаточно часто внимание уделяется гофрированию (складкообразованию), т.к. этот эффект является нежелательным спутником процессов обработки металлов давлением [1–2, 14–15]. Часто для количественной оценки используют ширину формирующихся пачек следов и расстояние между следами в пачки [1–2] и параметры шероховатости.

\* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-32-60007 мол\_а\_дк

Практическая ценность исследований, проводимых на поликристаллах, связана с возможностью определения критерия разрушения материала при любом виде нагрузки. Однако, на сегодняшний день цель еще не вполне достигнута и для понимания закономерностей формирования деформационных структур различного типа целесообразно проведение исследований на модельных монокристаллических материалах. Деформационный рельеф характерный для монокристаллов также представлен следами сдвига, их пачками, мезо- и макрополосами, а также гофрированием поверхности [7–9, 16].

Количественная оценка может представлена параметрами шероховатости, либо количеством следов и расстоянием между ними, а также величиной сдвига в следах. Настоящая работа направлена на рассмотрение возможностей количественной оценки деформационных структур с использованием конфокальной микроскопии.

### Материал и методика

В работе исследовали монокристаллы никеля (примеси менее 0,01%), выращенные по методу Бриджмена. Деформирование сжатием проводили на испытательной машине Instron ElektroPuls E10000 со скоростью  $1,4 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$  при комнатной температуре. Картины деформационного рельефа исследовали на оптическом микроскопе Leica DM 2500P и конфокальном лазерном сканирующем микроскопе Olympus LEXT OLS4100. Для оценки деформационного рельефа в работе использовали двух- (ГОСТ Р ИСО 4287-2014) и трехмерный ГОСТ Р ИСО 25178-2-2014 анализ шероховатости поверхности.

### Результаты и обсуждение

Далее приведены результаты, полученные для деформационных структур различного типа (следы сдвига, мезополосы, макрополосы) на примере монокристаллов никеля. Оценка деформационных структур проводилась с использованием двух и трехмерных параметров шероховатости, а также непараметрических критериев [17].

В табл. приведены значение параметров шероховатости для различного типа деформационных структур при деформации 7–8%.

$R_q$  – среднеквадратичное отклонение оцениваемого профиля, среднеквадратичное значение ординаты  $Z(x)$  в пределах базовой длины  $l$  (ГОСТ Р ИСО 4287-2014).

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l Z^2(x) dx}$$

$S_q$  – среднеквадратичное значение ординаты в области определения  $A$  трехмерный аналог  $R_q$  (ГОСТ Р ИСО 25178-2-2014).

$$S_q = \sqrt{\frac{1}{A} \iint_A Z^2(x, y) dx dy}$$

Таблица

Параметры шероховатости

	Следы сдвига	Мезополосы	Макрополосы
$R_q$ , мкм	$0,44 \pm 0,03$	$0,48 \pm 0,03$	$1,2 \pm 0,24$
	-	$0,15 \pm 0,01$	$0,5 \pm 0,07$
$S_q$ , мкм	0,92	0,43	2,1

Анализ результатов показывает, что параметр  $R_q$  дает нам два значительно отличающихся значения шероховатости для мезо- и макрополос. Это объясняется тем, что данные деформационные структуры образованы определенным образом организованными следами сдвига. На поверхности мы видим, как уже сформированные структуры, так и следы

сдвига разной степени развития. Соответственно большее значение относится к элементам крупного масштаба, а меньшие – к следам сдвига разной степени развития. Благодаря двумерным параметрам можно идентифицировать отдельные ступени сдвига на профилях поверхности [18–19], количественно оценивать срезы поверхности. Трехмерный параметр  $S_q$  оценивает всю площадь поверхности, занятую тем или иным типом деформационной структуры, т.е. дает оценку совокупности структурных элементов, образующих деформационную структуру. Следовательно, с точки зрения интегральной оценки площади поверхности, занятой тем или иным типом деформационной структуры параметр  $S_q$  является более объективным. Это же относится и к другим трехмерным параметрам. Таким образом, при анализе периодических деформационных структур необходимо быть очень внимательными при выборе того или иного способа количественной оценки рельефа. Особенно следует обращать на это внимание при попытках разработки критериев работоспособности деталей машин. Для выявления наличия в рассматриваемой деформационной структуре одного или нескольких структурных элементов рельефа можно воспользоваться трехмерной картиной профиля поверхности (рис. 1, а) или таким непараметрическим критерием как график функции распределения ординат профиля (рис. 1, б), который является суммарной вероятностью профиля поверхности. На рис. 1, а представлен трехмерный профиль поверхности мезополос (указаны стрелками), кроме того между мезополос можно наблюдать следы сдвига. Совместный анализ графиков и трехмерного изображения поверхности даст максимальную информацию о деформационной структуре. Для мезополос на рис. 1, б можно наблюдать сдвиг экстремума влево и отметить формированием правого «хвоста» на графике, которые свидетельствует о большем сосредоточении материала в вершинах. Сравнение проводилось с графиком, соответствующим следам сдвига, т.к. они являются базовым элементом рельефа.

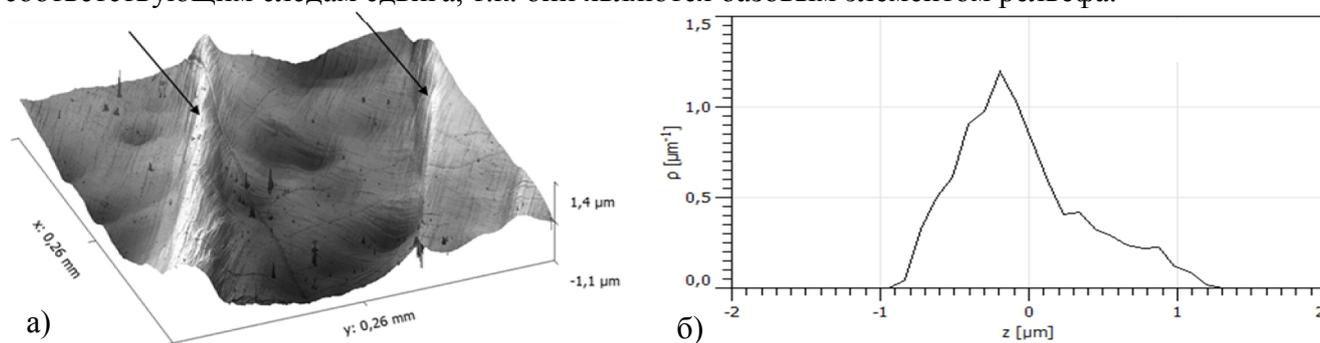


Рис. 1. Мезополосы, 3D картина (а), график функции распределения ординат профиля (б)

Из трехмерной картины видно, что мезополосы представляют собой области экструзии материала. Правый «хвост» также указывает на наличие дополнительной, кроме мезополос деформационной структуры на поверхности. Это отдельные следы сдвига которые развиваются между мезополосами. Соответственно мы можем наблюдать масштабную иерархию структурных элементов рельефа внутри деформационной структуры. Характер графика функции распределения ординат профиля для мезополос сохраняется по меньшей мере до степени деформации 22%.

Другой непараметрический критерий – автокорреляционная функция. Она позволяет определить радиус корреляции, который показывает размер локальной области со взаимосогласованной деформацией. По радиусу корреляции можно судить о способности деформационной структуры каждого типа к структурной самоорганизации с целью рассеяния энергии нагружения. Для степеней деформации 7-8% были получены следующие значения: для следов сдвига –  $37 \pm 9$  мкм, для мезополос  $27,5 \pm 0,4$  мкм, для макрополос в

зависимости от степени их развития от  $40 \pm 0,5$  до  $55,5 \pm 0,4$  мкм, большее значение соответствует более развитым макрополосам. Степень развития оценивалась по геометрическим размер макрополос.

Таким образом, каждый тип деформационной структуры может быть оценен с использованием как двухмерных, так и трехмерных параметров шероховатости поверхности. Выбор критериев следует осуществлять согласно поставленным целям исследования. В работе также показано, как на основе анализа непараметрических критериев шероховатости можно идентифицировать в деформационной структуре наличие одного или нескольких типов структурных элементов деформационного рельефа и показать их масштабную иерархию.

В заключении автор выражает благодарность к.т.н., м.н.с. ИФПМ СО РАН А.В. Филиппову за помощь в получении экспериментальных результатов и д.ф.-м.н., профессору Д.В. Лычагину за предоставленные монокристаллы.

### Список литературы

1. Evolution of slip morphology and fatigue crack initiation in surface grains of Ni200 / K.S. Chan et al. // *Metallurgical and Materials Transactions A*. – 2009. – Vol. 40, N 11. – P. 2545–2556.
2. The effect of grain size on the localization of plastic deformation in shear bands / H.S. Ho et al. // *Scripta Materialia*. – 2011. – Vol. 65, N 11. – P. 998–1001.
3. Extrusions and intrusions in fatigued metals. Part 2. AFM and EBSD study of the early growth of extrusions and intrusions in 316L steel fatigued at room temperature / J. Man et al. // *Philosophical Magazine*. – 2009. – Vol. 89, N 16. – P. 1337–1372.
4. AFM and SEM-FEG study on fundamental mechanisms leading to fatigue crack initiation / J. Man et al. // *International Journal of Fatigue*. – 2015. – Vol. 76. – P. 11–18.
5. Meng B., Fu M.W. Size effect on deformation behavior and ductile fracture in microforming of pure copper sheets considering free surface roughening // *Materials & Design*. – 2015. – Vol. 83. – P. 400–412.
6. Sangid M.D., Maier H.J., Sehitoglu H. A physically based fatigue model for prediction of crack initiation from persistent slip bands in polycrystals // *Acta Materialia*. – 2011. – Vol. 59, N 1. – P. 328–341.
7. Atypical “boomerang” slip traces in [0 0 1] niobium single crystals deformed at room temperature / D.S.H. Charrier et al. // *Scripta Materialia*. – 2012. – Vol. 66, N 7. – P. 475–478.
8. A comparison of collective dislocation motion from single slip quantitative topographic analysis during in-situ AFM room temperature tensile tests on Cu and Feα crystals / C. Kahloun et al. // *International Journal of Plasticity*. – 2016. – Vol. 84. – P. 277–298.
9. Topological analysis of {1 1 0} slip in an alpha-iron crystal from in situ atomic force microscopy / C. Kahloun et al. // *Acta Materialia*. – 2013. – Vol. 61, N 17. – P. 6459–6465.
10. Kramer D.E., Savage M.F., Levine L.E. AFM observations of slip band development in Al single crystals // *Acta Materialia*. – 2005. – Vol. 53, N 17. – P. 4655–4664.
11. Фрактальная размерность и эффекты корреляции мезоструктуры пластически деформированных поликристаллов кремнистого железа и аустенитной коррозионно-стойкой стали / П.В. Кузнецов, В.Е. Панин, К.В. Левин, А.Г. Липницкий, В.И. Павленко, Ю. Шрайбер // *Металловедение и термическая обработка металлов*. – 2001. – Vol. 3. – P. 4–10.
12. Size effect on flow stress in uniaxial compression of pure nickel cylinders with a few grains across thickness / C. Wang et al. // *Materials letters*. – 2013. – Vol. 106. – P. 294–296.
13. Effects of crystal structure and grain orientation on the roughness of deformed polycrystalline metals / O. Wouters et al. // *Acta Materialia*. – 2006. – Vol. 54, N 10. – P. 2813–2821.

14. Губернаторов В.В., Сычева Т.С., Пятыгин А.И. Явление гофрирования и формирования структуры и текстуры в металлических материалах при деформации и рекристаллизации // Физическая мезомеханика. – 2004. – Т. 1. – С. 97–100.

15. Явление гофрирования и формирование структуры и текстуры в металлических материалах при деформации и рекристаллизации: 2. Сплавы кубической сингонии / В.В. Губернаторов, Т.С. Сычева, Л.Р. Владимиров, В.С. Матвеева, А.И. Пятыгин, Д.В. Долгих // Физическая мезомеханика. – 2002. – Т. 5 (6). – С. 95–99.

16. Influence of lateral incision on inhomogeneous deformation of a nickel [001] – Single cristal at axial compression / D.V. Lychagin et al. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 125. – P. 12004.

17. Валетов В.А., Иванов А.Ю. Непараметрический подход к оценке качества изделий // Металлообработка. – 2010. – Т. 6 (60). – С. 55–59.

18. Алфёрова Е.А., Лычагин Д.В. Сопрунов Д.В. Складчатые структуры в [111]-монокристаллах никеля // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2016. – Т. 3. – С. 468–474.

19. Лычагин Д.В., Алфёрова Е.А. Соколов А.П. Наноразмерные сдвиги на поверхности ГЦК-металлических материалов // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2014. – Т. 57, № 9-3. – С. 147–151.

## QUANTITATIVE EVALUATION OF DEFORMATION STRUCTURES ON THE EXAMPLE NICKEL SINGLE CRYSTALS

**Alfyorova E.A.**, Ph.D. (Physics and Mathematics), Associate Professor,  
e-mail: katerina525@mail.ru

National Research Tomsk Polytechnic University, 30 Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russian Federation

### Abstract

Deformation structures on metal surfaces are a source of information about the processes occurring within material during the deformation. Today researchers try to develop criteria of working capacity of machine components and criteria of destruction. These criteria should be based on the deformation relief parameters. Deformation structures are the source of information in scientific research. All these problems can not be solved without a quantification. The paper discusses the possibility of quantifying deformation structures, using two and three-dimensional roughness parameters, and non-parametric criteria. Quantitative estimates of various deformation structures types are given. Results are shown in the example of nickel single crystals. Availability of one or more types of deformation relief structural elements in the deformation structure can be identified through nonparametric roughness parameters. Due to nonparametric criteria, we can show the scale hierarchy of the structural elements within the deformation relief.

### Keywords

confocal microscopy, two-dimensional and three-dimensional roughness parameters, deformation structures, single crystal.

### Funding

The reported study was funded by RFBR, according to the research project No. 16-32-60007 mol\_a\_dk

УДК 621.762:71

**СТРУКТУРА И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА  
ОБРАБОТАННОЙ ИОНАМИ АЗОТА АУСТЕНИТНОЙ  
СТАЛИ 10X17H13M2T**

*В.А. КУКАРЕКО, доктор физ.-мат. наук, доцент,  
(Объединенный институт машиностроения  
НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь)*

**Кукареко В.А.** – 220072, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Академическая, 12,  
Государственное научное учреждение "Объединенный институт машиностроения  
Национальной академии наук Беларуси",  
e-mail: v\_kukareko@mail.ru

Исследовано структурно-фазовое состояние аустенитной стали 10X17H13M2T подвергнутой ионно-лучевому азотированию в диапазоне температур 620-870 К. Установлено, что ионно-лучевая обработка сталей сопровождается выделением в поверхностных слоях наноразмерных частиц нитрида хрома CrN и ферромагнитной  $\alpha$ -фазы, способствующих существенному упрочнению азотированного слоя и придающих ему ферромагнитные свойства. Показано, что изменением режимов ионно-лучевого азотирования можно обеспечить формирование модифицированного слоя с заданной микротвердостью, износостойкостью и магнитными свойствами.

**Ключевые слова:** аустенитная сталь, ионно-лучевое азотирование, фазовый состав, магнитные свойства, микротвердость, износостойкость

**Введение**

Легирование азотом поверхностных слоев высоколегированных сталей, оказывает эффективное воздействие на их прочностные и триботехнические характеристики, а также физико-химические свойства [1]. Новые возможности открывает использование для азотирования ионно-лучевых технологий с применением ионных пучков высокой плотности [2]. Одним из наиболее перспективных объектов для ионно-лучевого модифицирования являются коррозионностойкие аустенитные хромоникелевые стали область применения которых сдерживается низкими прочностными свойствами сталей. В связи с этим представляло интерес изучить влияние ионного модифицирования на структуру и свойства аустенитной стали 10X17H13M2T, обладающей повышенной коррозионной стойкостью и прочностью по сравнению со стандартной сталью 12X18H10T. Целью данной работы являлось сравнительное исследование влияния режимов ионно-лучевой обработки интенсивными пучками ионов азота на структурно-фазовые превращения, триботехнические и физико-механические свойства поверхностных слоев типичной аустенитной стали 10X17H13M2T (AISI 316Ti).

**Материалы и методики исследований**

Для исследования была выбрана аустенитная сталь 10X17H13M2T (C-0,08%; Cr-16,8%; Si-0,42%; Ni-13,6%; Mo-2,8%; Mn-0,2%; Ti-0,7%, Fe-основа, масс.%). Ионно-лучевая

обработка образцов аустенитной стали азотом осуществлялась с помощью ионного источника с замкнутым дрейфом электронов при 620-870 К. Сталь обрабатывалась при плотности тока  $j=2$  мА/см<sup>2</sup>, доза облучения составляла  $D=3 \cdot 10^{19}$  см<sup>-2</sup> (время - 2 ч). Рентгеноструктурный анализ структуры образцов стали выполнялся на дифрактометре ДРОН-3.0. Съёмки проводили в монохроматизированном  $\text{CoK}_\alpha$  излучении при ускоряющем напряжении 30 кВ и анодном токе 15 мА. Для фазового анализа использовалась стандартная картотека PDF-2. Микротвердость измерялась на приборе DuraScan 20 при нагрузке 0,98 Н. Металлографические исследования проводились на микроскопе EPITYP2. Травление образцов стали проводилось в реактиве, содержащем 50 мл HCl, 10 г.  $\text{CuSO}_4$  и 50 мл этилового спирта.

Исследование фазового состава, микротвердости, триботехнических и магнитных свойств модифицированных ионами азота градиентных слоев аустенитной стали проводилось на призматических образцах с размерами 8×6×5 мм. Ионной обработке подвергалась шлифованная плоская поверхность. Для оценки коэрцитивной силы  $\nabla H$  применялся способ “точечного полюса” [3], а для определения параметра, характеризующего магнитную проницаемость  $\varepsilon$  поверхностного слоя образцов, применялся метод высших гармоник [4].

Триботехнические испытания модифицированных ионами азота образцов стали проводились на трибометре АТВП, оснащённом устройством для измерения коэффициента трения. Испытания осуществлялись в условиях трения без смазочного материала по схеме возвратно-поступательного движения контактирующих тел при средней скорости взаимного перемещения 0,1 м/с и давлении 1,5 МПа. При испытаниях использовалось контртело, изготовленное из закаленной стали У8 (800 HV 10) с размерами 3×40×90 мм.

## Результаты и обсуждение

В исходном неимплантированном состоянии сталь 10X17H13M2T имеет аустенитную структуру с периодом кристаллической решетки  $a=0,3598$  нм. Микротвердость стали в исходном состоянии составляет  $H_{0,49}=1950$  МПа. Ионное азотирование сталей приводит к образованию поверхностных модифицированных слоев с толщиной от 3-5 мкм до 25 мкм (рисунок 1) и микротвердостью от  $H_{0,49}=4700$  МПа до  $H_{0,49}=15500$  МПа (рисунок 2).

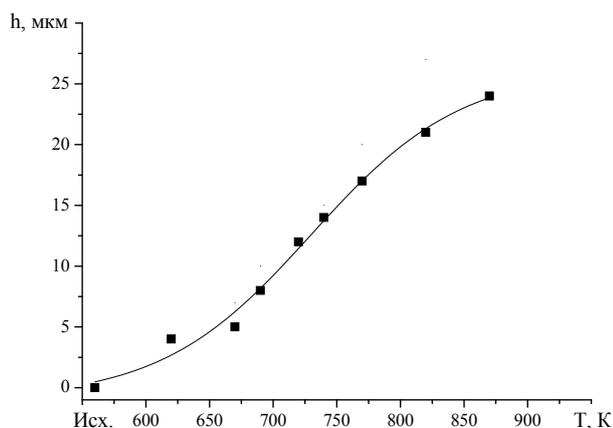


Рис. 1. Зависимость глубины модифицированного слоя для стали 10X17H13M2T от температуры ионно-лучевого азотирования

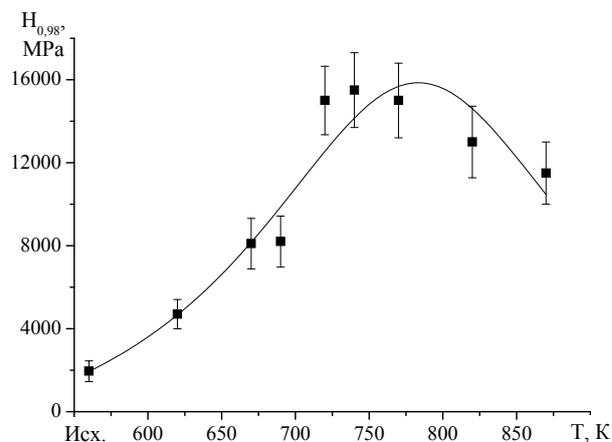


Рис. 2. Зависимость микротвердости поверхности стали 10X17H13M2T от температуры ионно-лучевого азотирования

Максимальные значения микротвердости поверхностных слоев у имплантированной азотом стали достигаются после обработки при 670-770 К. В результате ионно-лучевой обработки при высоких температурах 820 и 870 К микротвердость модифицированного слоя несколько снижается и составляет 13000 и 11500 МПа, соответственно. Фазовый состав азотированных слоев исследованной стали определяется, в первую очередь, температурой ее ионно-лучевой обработки. Так, в частности, ионно-лучевое азотирование стали при 620 - 670 К приводит к формированию в поверхностном слое нитридной  $\gamma'_N$ -фазы на основе гексагонально искаженной ГЦК-решетки [2] (рисунок 3). В поверхностном слое азотированной при 690 – 770 К стали 10X17H13M2T наряду с нитридной  $\gamma'_N$ -фазой выявлены наноразмерные частицы CrN и  $\alpha$ -фазы. Образование частиц  $\alpha$ -фазы при ионно-лучевом азотировании вызвано фазовым  $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращением в обедненных хромом участках диффузионного слоя [5].

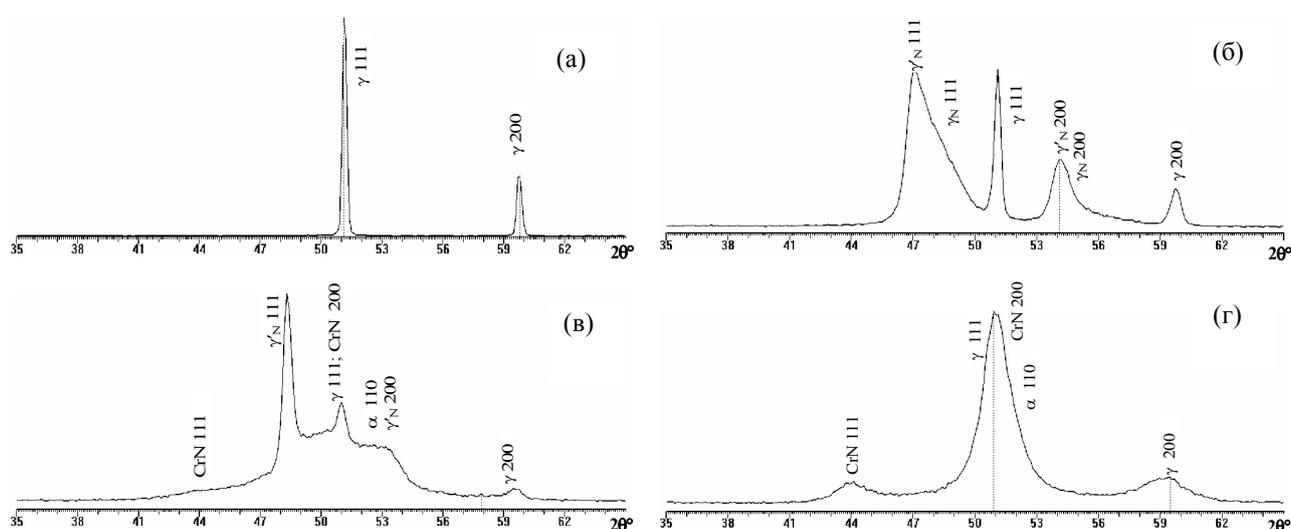


Рис. 3. Фрагменты рентгеновских дифрактограмм ( $\text{CoK}_\alpha$ -излучение) от поверхностных слоев стали 10X17H13M2T после ионно-лучевого азотирования ( $j = 2 \text{ мА/см}^2$ ,  $D = 3 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-2}$ ) при разных температурах: а – исходное состояние; б – 670 К; в – 770 К; г – 870 К.

В проведенных ранее исследованиях было показано, что в результате обработки стали 12X18H10T при 720 К в насыщенном азотом слое образуются области (ячейки) с перлитоподобной структурой, содержащей ультрадисперсные вытянутые волокнистые частицы CrN и  $\alpha$ -(Fe, Ni) [5]. Указанный факт свидетельствует о гетерогенном зарождении частиц CrN в модифицируемых слоях по механизму прерывистого выделения [6]. При этом образование нитридных частиц приводит к обеднению приграничных с частицей областей матричной фазы хромом и азотом, что, в свою очередь, способствует протеканию фазового  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращения в локальных участках матричной фазы между растущими частицами CrN. Существенные изменения в структурно-фазовом состоянии азотированных слоев аустенитной стали фиксируются после высокотемпературной ионно-лучевой обработки при 870 К. Из приведенного на рисунке 3г фрагмента рентгеновской дифрактограммы можно видеть, что в азотированном слое после высокотемпературной обработки увеличивается количество аустенитной фазы (рисунок 4 г) и достигает  $\approx 60\%$ . Указанное явление связано с возрастанием концентрации хрома в азотированном слое вследствие его диффузии из подповерхностных слоев в процессе изотермической выдержки при высокотемпературной ионно-лучевой обработке. Дополнительным фактором, облегчающим диффузию хрома из подложки, может выступать высокая концентрация дефектов кристаллической решетки

аустенита (вакансий, дислокаций), генерируемых в поверхностном слое стали в процессе ее облучения потоками ионов азота [2]. Повышение концентрации хрома в слое в соответствии с диаграммой Шефлера должно приводить к возрастанию содержания в нем аустенитной фазы. Кроме этого, увеличение толщины насыщенного азотом слоя при постоянном флюенсе ионов будет приводить к снижению концентрации азота в слое и выделению в нем меньшей объемной доли частиц нитрида хрома, что также может способствовать возрастанию содержания в слое аустенитной фазы.

Известно, что аустенитные хромоникелевые стали в гомогенном состоянии являются слабыми парамагнетиками. Однако вследствие образования ультрадисперсных частиц  $\alpha$ -фазы в поверхностном слое азотированной стали можно было ожидать существенного повышения ее магнитных свойств по сравнению с исходными. На рисунке 4 приведены зависимости магнитных характеристик модифицированных азотом слоев для образцов стали 10X17H13M2T, обработанных ионами азота при различных температурах.

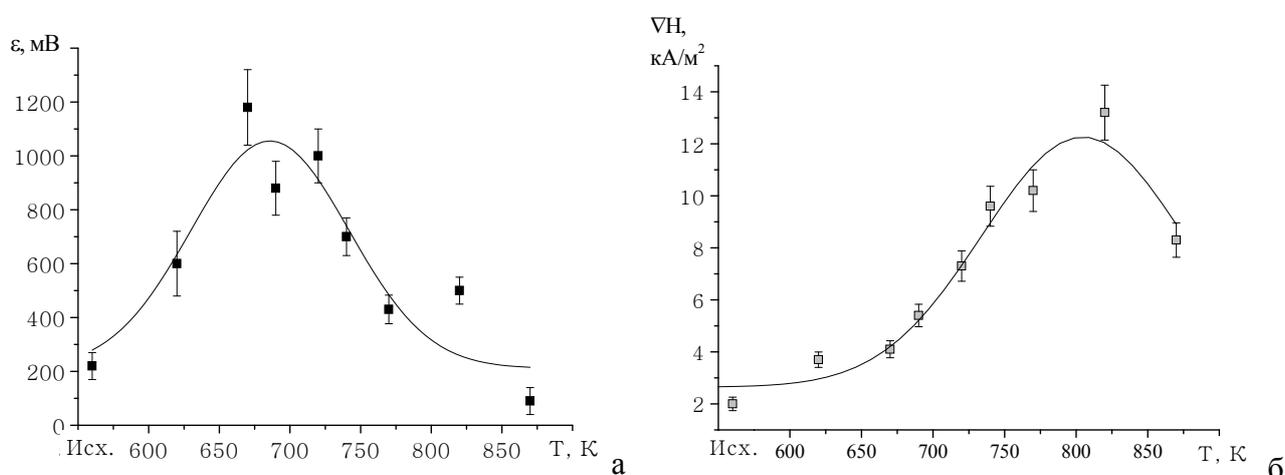


Рис. 4. Зависимость сигнала ЭДС  $\varepsilon$  (а) и градиента  $\nabla H$  (б) поля остаточной намагниченности на поверхности образцов стали 10X17H13M2T от температуры ионно-лучевого азотирования ( $j = 2 \text{ mA/cm}^2$ ;  $D = 3 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-2}$ ).

Можно видеть, что для стали 10X17H13M2T магнитная проницаемость модифицированных слоев, характеризуемая величиной  $\varepsilon$ , увеличивается с ростом температуры обработки от 620 К и выходит на уровень максимальных значений после облучения при 670-720 К. Дальнейшее повышение температуры имплантации приводит к существенному снижению магнитной проницаемости азотированного слоя вследствие увеличения размера частиц  $\alpha$ -фазы [7]. Коэрцитивная сила, характеризуемая величиной  $\nabla H$ , выходит на уровень максимальных значений после обработки при 770-820 К и несколько снижается после обработки при 870 К.

Модифицирование поверхностного слоя стали ионами азота позволяет существенно повысить ее прочностные и триботехнические свойства. На рисунке 5 приведены зависимости весового износа  $\Delta Q$  образцов стали 10X17H13M2T, обработанных по различным режимам, от пути трения при испытаниях в условиях трения без смазочного материала.

В исходном неимплантированном состоянии сталь 10X17H13M2T имеет относительно низкую износостойкость и величина интенсивности весового изнашивания составляет  $I_q \cong 23,4 \times 10^{-3} \text{ мг/м}$ . Ионно-лучевая обработка концентрированными потоками ионов азота при 620-670 К, приводящая к формированию тонких модифицированных слоев толщиной до 5 мкм (рисунок 5), не обеспечивает существенного возрастания износостойкости поверхности стали в условиях контактного фрикционного взаимодействия

без смазочного материала (рисунок 5). При переходе к более высоким температурам ионной обработки (690 К) и возрастании толщины модифицированного слоя ( $h \approx 7$  мкм) износостойкость покрытий на начальных стадиях испытаний весьма существенно возрастает и достигает уровня  $I_q \approx 8,7 \times 10^{-3}$  мг/м. Наиболее высокие характеристики износостойкости для имплантированной стали достигаются после ее обработки при 720...870 К (рисунок 5). В случае указанных режимов обработки интенсивность изнашивания стали снижается до уровня  $I_q \approx 1,3-1,4 \times 10^{-3}$  мг/м, а коэффициент трения составляет  $f=1,0-1,2$ . При этом износостойкость модифицированной азотом стали возрастает до  $\approx 18-20$  раз. Высокая износостойкость поверхностных слоев обработанного при 720...870 К сплава сохраняется на весь период испытаний (рисунок 5), что связано с относительно большой глубиной модифицированного слоя (рисунок 1).

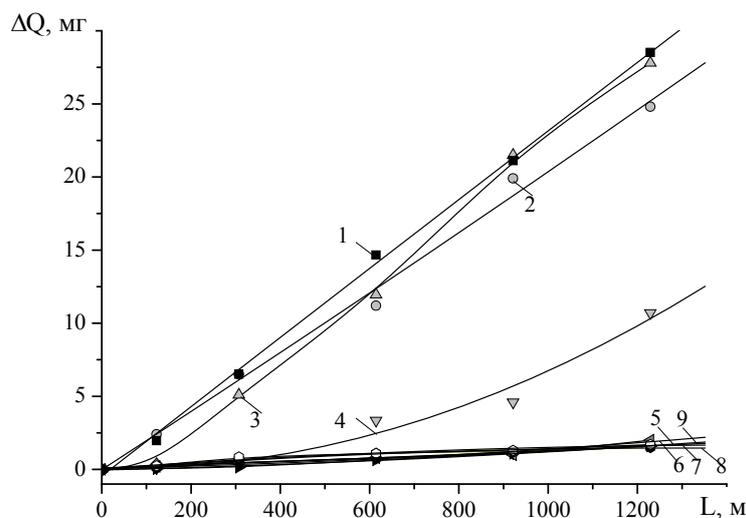


Рис. 5. Зависимость интенсивности весового изнашивания  $I_Q$  от пути трения  $L$  стали 10X17H13M2T, обработанной ионами азота по различным режимам: 1 – исходное состояние; 2 – обработка  $N^+$  при 620 К; 3 – то же при 670 К; 4 – то же при 690 К; 5 – то же при 720 К; 6 – то же при 740 К; 7 – то же при 770 К; 8 – то же при 820 К; 9 – то же при 870 К (трение без смазки;  $p_a=1$  МПа)

## Выводы

Ионно-лучевое азотирование аустенитной нержавеющей стали 10X17H13M2T сопровождается выделением в ее поверхностных слоях наноразмерных частиц нитрида хрома и ферромагнитной  $\alpha$ -фазы, способствующих существенному упрочнению азотированного слоя и придающих ему ферромагнитные свойства. Изменением режимов ионно-лучевого азотирования можно обеспечить формирование модифицированного слоя с заданной микротвердостью, износостойкостью и магнитными свойствами. Оптимальными температурами ионно-лучевого азотирования для достижения максимально высокой микротвердости поверхности стали 10X17H13M2T являются 720-770 К. Максимальная магнитная проницаемость азотированного слоя стали достигается после обработки при 670-720 К, а коэрцитивная сила – после обработки стали при 770-820 К. Наиболее высокий уровень износостойкости поверхностных слоев модифицированной ионами азота стали 10X17H13M2T достигается в результате обработки при 720-870 К.

## Список литературы

1. Теория и технология азотирования / Ю.М. Лахтин, Я.Д. Коган, Г.-И. Шпис и др. – М.: Металлургия, 1991. – 320 с.
2. Бельй А.В., Кукареко В.А., Патеев А. Инженерия поверхностей конструкционных материалов концентрированными потоками ионов азота. – Минск: Белорусская наука, 2007. – 244 с.
3. Сандомирский С.Г. Применение полюсного намагничивания в магнитном структурном анализе (обзор) // Дефектоскопия. – 2006. – № 9. – С. 36–64.
4. Зацепин Н.Н. Метод высших гармоник в неразрушающем контроле. – Минск: Наука и техника, 1980. – 320 с.
5. Бельй А.В., Кукареко В.А., Сандомирский С.Г. Влияние режимов ионно-лучевого азотирования на структуру, микротвердость и магнитные свойства диффузионного слоя на аустенитной стали // МиТОМ. – 2009. – № 3 (645). – С. 9–14.
6. Суховаров В.Ф. Прерывистое выделение фаз в сплавах. – Новосибирск: Наука, 1983. – 168 с.
7. Greer A. Changes in structure and properties associated with the transition from the amorphous to the nanocrystalline state // Nanostructured materials: NATO ASI Series. – 1998. – N 50. – P. 143.

**STRUCTURE, PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF AUSTENITIC STEEL  
10X17H13M2T PROCESSED BY NITROGEN IONS**

**Kukareko V.A.**, D.Sc. (Physical-Mathematics), Associate Professor,  
e-mail: v\_kukareko@mail.ru

The State Scientific Institution “Joint Institute of Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus”, 12 Akademicheskaya str., Minsk, 220072, Republic of Belarus

**Abstract**

The structure of austenitic steel 10X17H13M2T subjected to ion-beam nitriding in the temperature range of 620-870 K was investigated. It was found that the ion-beam treatment is accompanied by the formation of nanosized chromium nitride CrN particles and ferromagnetic  $\alpha$ -Fe in the surface layers contributing to a significant strengthening of the nitride layer and giving it ferromagnetic properties. It was shown that the change in ion-beam nitriding regimes can ensure the formation of the modified layer with required microhardness, wear resistance and magnetic properties. The optimum temperature range of ion-beam treatment for obtaining the highest microhardness of the 10X17H13M2T steel surface is 720-770 K. The maximum of magnetic penetrability of the nitrided layer is achieved after ion-beam treatment at 670-720 K, while the maximum of coercive force is obtained after ion nitriding at 770-820 K. The highest wear resistance of the surface layers of the 10X17H13M2T steel is obtained after ion-beam treatment at 720-870 K.

**Keywords**

austenitic steel, ion-beam nitriding phase composition, magnetic properties, microhardness, wear resistance

## 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](http://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  $^1\text{H}$  or  $^31\text{P}$  spectroscopy) are related to several pathophysiologic indices of epileptic dysfunction. With patients undergoing hippocampal resection, intraoperative  $^{13}\text{C}$ -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  $^31\text{PMR}$ , 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](mailto:metal_working@mail.ru), либо написать «Сообщение» в своем авторском профиле.

Бронированием мест в гостиницах участники занимаются самостоятельно. На сайте конференции, в разделе «Контакты» (<http://machine-building.conf.nstu.ru/archive/>), представлены адреса возможных гостиниц для размещения участников конференции в г. Новосибирске.

Одновременно со статьей высылаются оригиналы всех перечисленных документов на почтовый адрес редакции: 630073, г. Новосибирск, пр-т Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет (НГТУ), корп. 5, ком. 137 ВЦ, зам. гл. редактора Скибе В.Ю.

## ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ РУКОПИСЕЙ

(<http://journals.nstu.ru/machine-building/rules>)

Текст набирается в русифицированном редакторе *Microsoft Word*; формат А4 (210×297 мм); ориентация – книжная, все поля 2 см; без переносов; шрифт Times New Roman, размер шрифта основного текста – 14 пт, через 1 интервал, абзацный отступ – 1,25 см, страницы не нумеруются. Рисунки, таблицы, графики, фотографии должны быть включены в текст работы.

**Единицы физических величин.** При подготовке рукописи необходимо руководствоваться Международной системой единиц (СИ).

**Таблицы** нумеруются, если их число более одной. Заголовок необходим, когда таблица имеет самостоятельное значение, без заголовка дают таблицы вспомогательного характера.

**Математические формулы.** Сложные и многострочные формулы должны быть целиком набраны в редакторе формул *Microsoft Equation 3.0*. Используется только сквозная нумерация.

**Рисунки.** Рекомендуемые размеры рисунков: 60 × 150, 60 × 70 мм с разрешением не менее 300 dpi.

**Библиографический список,** оформленный в соответствии с ГОСТ Р 7.05-2008 «Библиографическая ссылка», составляется по ходу упоминания литературы в тексте и приводится в конце рукописи. Ссылки в тексте на литературу даются в квадратных скобках, например [1], [2, 3], [4–7], [4, стр. 23–28].

Англоязычный блок должен включать следующую информацию: *Заглавие работы; Фамилию И.О. (всех авторов); Аффiliation всех авторов; Аннотация (Abstract) 100-150 слов; Ключевые слова (Keywords).*

Научная публикация должна иметь следующую структуру:

1. **Заглавие** (должно быть как можно короче и отражать содержание текста).
2. **Аннотация:**
  - *на русском языке* на основе ГОСТ 7.9-95 – сжатый обзор содержания работы (по ГОСТ не менее 10 строк, 850 знаков), указывает на ключевые проблемы, на подход к этим проблемам и на достижения работы; следует применять значимые слова из текста статьи;
  - *на английском языке* - по объему больше аннотации на русском языке и включает 100 - 250 слов, рекомендуется следовать хронологии статьи, использовать англоязычную специальную терминологию, не включать несущественные детали и использовать активный, а не пассивный залог, избегать сложных грамматических конструкций (не применимых в научном английском языке).
3. **Ключевые слова** (должны отображать содержание работы). На английском языке - использовать термины из контролируемых словарей.
4. **Введение** (краткий обзор по состоянию проблемы с цитатами или ссылками на актуальную литературу; в конце раздела необходимо сформулировать цель или задачу нового исследования и то как вы это сделали).
5. **Теория** (для теоретических работ) или **методика** экспериментального исследования (для экспериментальных работ). Следует избегать повторов, излишних подробностей и известных положений, подробных выводов формул и уравнений (приводить лишь окончательные формулы, пояснив, как они получены).
6. **Результаты и обсуждение.**
7. **Выводы** (по результатам работы, описанной в данной статье; следует быть лаконичным).
8. **Список литературы:** не менее 15 – 25 наименований источников (оформлять в соответствии с ГОСТ Р 7.05-2008 «Библиографическая ссылка»). Составляется по ходу упоминания литературы в тексте и приводится в конце рукописи. Ссылки в тексте на литературу даются в квадратных скобках, например [1], [2, 3], [4–7], [4, стр. 23–28]. Внимание авторы, в работе не должно быть более 30 % собственных статей, не менее 50 % - литература за последние 10 лет, обязательно включайте иностранные источники (желательно не менее 50 %).
9. **Англоязычный блок статьи** подготавливается на следующей странице, сразу же после русскоязычного списка литературы. Правила оформления данного раздела работы представлены ниже.
10. **Сведения для РИНЦ** (*пример оформления представлен ниже*).

#### ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ АНГЛОЯЗЫЧНОГО БЛОКА СТАТЬИ В ЖУРНАЛЕ «АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ»

**Англоязычная часть статьи должна включать в себя:**

**Заголовок (Title)**, переведенный с русского языка. В переводе заглавий статей на английский язык не должно быть никаких транслитераций с русского языка, кроме непереводаемых названий собственных имен и др. объектов, имеющих собственные названия; также не используется непереводаемый сленг, известный только русскоговорящим специалистам. Это также касается авторских аннотаций и ключевых слов;

**Аффiliation (Affiliation).**

Для каждого автора указывается: *Фамилия* и первые буквы *Имени* и *Отчества, степень, звание, должность, адрес электронной почты (e-mail)*, адресные данные [*официальное название организации на английском языке, которую он представляет, полный почтовый адрес организации (включая название улицы, город, почтовый индекс, страна)*]. Для указания степени, звания и должности можно воспользоваться справочными материалами, представленными на сайте журнала: [http://journals.nstu.ru/files/2\\_4/affiliation.doc](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 resursosberegayushchie 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 33<sup>rd</sup> 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). Недостает в этом случае указания страниц. Если монография, тогда указывается, сколько всего страниц (235 p.), если статья - диапазон страниц или одна страница (pp. 220-222). Однако в любом случае эта ссылка будет найдена при поиске публикаций авторов.

**Описание переводной книги:**

Timoshenko S.P., Young D.H., Weaver W. *Vibration problems in engineering*. 4<sup>th</sup> 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](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](http://www.lukoil.ru/materials/doc/documents/lukoil_corp_code.pdf). (In Russian)

RF Federal Law "On Protection of Consumers' Rights" of February 07, 1992 N 2300-1 (as amended by Federal Law of January 09, 1996 N 2 FZ, December 17, 1999 N 212 FZ). (In Russian)

---

---

Подписано в печать 10.03.2017. Формат 60 × 84 1/8. Бумага офсетная.  
Тираж 20 экз. Уч.-изд. л. 34,41. Печ. л. 18,5. Изд. № 55. Заказ № 406.

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](mailto:mtf@corp.nstu.ru)

# ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

ТЕХНОЛОГИЯ  
ОБОРУДОВАНИЕ  
ИНСТРУМЕНТЫ

ISSN 1994-6309

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

[http://journals.nstu.ru/obrabotka\\_metallov](http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov)  
[metal\\_working@mail.ru](mailto:metal_working@mail.ru)



Организатор международных  
выставок и конференций



ITE Сибирь  
В составе группы компаний ITE

<http://www.ite-siberia.ru/> [welcome@sibfair.ru](mailto:welcome@sibfair.ru)

mash  
SIBERIA



Выставка оборудования  
для металлообработки и сварки

Россия, Новосибирск

[www.mashex-siberia.ru](http://www.mashex-siberia.ru)