

ISSN 2313-1020 (Print)  
ISSN 2542-1093 (Online)

**Том 11, Номер 3–4**

**2024**

# **АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

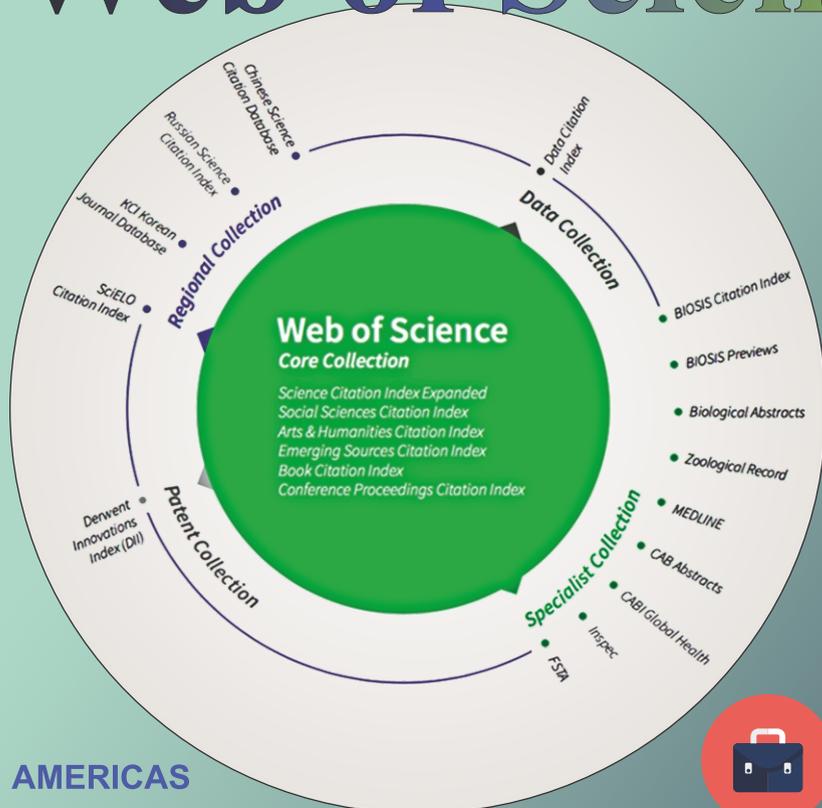
# **ACTUAL PROBLEMS IN MACHINE BUILDING**

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

**НОВОСИБИРСК**



# ПЛАТФОРМА Web of Science



Academic Search™ Ultimate



Applied Science & Technology Source™ Ultimate



Business Source® Ultimate



Humanities Source™ Ultimate



Sociology Source™ Ultimate

## AMERICAS

Philadelphia +1 800 336 4474  
+1 215 386 0100

## EUROPE, MIDDLE EAST AND AFRICA

London +44 20 7433 4000

## ASIA PACIFIC

Singapore +65 6411 6888  
Tokyo +81 3 5218 6500

For a complete office list, visit:  
[clarivate.com](http://clarivate.com)

# EBSCO

Расширенная версия **ULTIMATE**  
для успеха в научной работе

[www.ebsco.com](http://www.ebsco.com) ■ + 420 2 34 700 600 ■ [info.cr@ebsco.com](mailto:info.cr@ebsco.com)

# АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ

ISSN 2313-1020 (Print)  
ISSN: 2542-1093 (Online)

Том 11 № 3-4 2024 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:* **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, **Иванцовский В.В.**, доктор техн. наук, доцент, НГТУ, г.Новосибирск, **Коротков А.Н.**, доктор техн. наук, профессор, академик РАН, КузГТУ, г. Кемерово, **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, **Сараев Ю.Н.**, доктор техн. наук, профессор, ИФТПС СО РАН, г. Якутск, **Янюшкин А.С.**, доктор техн. наук, профессор, ЧГУ, г. Чебоксары

### 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 – 2 номера 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 и издателя:

630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет (НГТУ), корп. 5,  
Тел. (383) 346-17-75

### Сайт журнала:

<http://journals.nstu.ru/machine-building>  
E-mail: [machine-building@mail.ru](mailto:machine-building@mail.ru)  
[machine-building@corp.nstu.ru](mailto:machine-building@corp.nstu.ru)

Цена свободная

16+

## EDITORIAL BOARD

### EDITOR-IN-CHIEF:

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

### DEPUTIES EDITOR-IN-CHIEF:

**Dmitry V. Lobanov**, D.Sc. (Engineering), Professor,  
Machine-Building Faculty,  
I.N. Ulianov Chuvash State University, *Cheboksary*, Russian Federation

**Tatyana G. Martynova**, Ph.D. (Engineering), Associate Professor,  
Department of Industrial Machinery Design,  
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:*

**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*;  
**Vladimir V. Ivancivsky**, D.Sc. (Engineering), Associate Professor, Novosibirsk State Technical University, *Novosibirsk*;  
**Aleksandr N. Korotkov**, D.Sc. (Engineering), Professor, Kuzbass State Technical University, *Kemerovo*;  
**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*;  
**Yuriy N. Saraev**, D.Sc. (Engineering), Professor, V.P. Laronov Institute of the Physical-Technical Problems  
of the North of the Siberian Branch of the RAS, *Yakutsk*;  
**Alexander S. Yanyushkin**, D.Sc. (Engineering), Professor, I.N. Ulianov Chuvash State University, *Cheboksary*

The journal is issued since 2014

Publication frequency – 2 numbers a year

Data on the journal are published in eLIBRARY.RU

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

Novosibirsk, 630073, Russian Federation

Tel.: (383) 346-17-75

<http://journals.nstu.ru/machine-building>; E-mail: [machine-building@mail.ru](mailto:machine-building@mail.ru), [machine-building@corp.nstu.ru](mailto:machine-building@corp.nstu.ru)

# СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ

## VI ВСЕРОССИЙСКАЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

г. Чебоксары, 27...29 мая 2024 г.

### ОРГАНИЗАТОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

- Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия

### СООРГАНИЗАТОРЫ

- Новосибирский государственный технический университет, научно-технический и производственный журнал «Актуальные проблемы в машиностроении», г. Новосибирск, Россия
- Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, Россия
- Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Россия

### ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

**Александров А.Ю.**, ректор ЧГУ им. И.Н. Ульянова (г. Чебоксары), **председатель**; **Лобанов Д.В.**, д.т.н., доцент, ЧГУ им. И.Н. Ульянова (г. Чебоксары), **сопредседатель**; **Яношкин А.С.**, д.т.н., профессор, ЧГУ им. И.Н. Ульянова (г. Чебоксары), **сопредседатель**.

**Члены программного комитета:** **Братан С.М.** – д.т.н., профессор, СевГУ, г. Севастополь; **Гартфельдер В.А.** – к.т.н., профессор, ЧГУ им.И.Н. Ульянова, г. Чебоксары; **Носенко В.А.** – д.т.н., профессор, ВолгГТУ, г. Волгоград; **Скиба В.Ю.** – к.т.н., доцент, НГТУ, главный редактор научно-технического и производственного журнала «Актуальные проблемы в машиностроении», г. Новосибирск

### ПАРТНЕРЫ

 <p>Концерн Тракторные заводы</p>	
 <p>ФОНД ВЕНЧУРНЫХ ИНВЕСТИЦИЙ В НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СФЕРЕ ЧУВАШСКОЙ РЕСПУБЛИКИ</p>	

### ПОЧЕТНЫЙ КОМИТЕТ

**Абсадыков Б.Н.** - д.т.н., профессор, КБТУ, г. Алматы; **Аликулов Д.Е.** - д.т.н., профессор, ТГТУ, г. Ташкент; **Алибеков С.Я.** - д.т.н., профессор, НГТУ, г. Йошкар-Ола; **Артамонов Е.В.** - д.т.н., профессор, ТИУ, г. Тюмень; **Батаев А.А.** - д.т.н., профессор, НГТУ, г. Новосибирск; **Батаев В.А.** - д.т.н., профессор, НГТУ, г. Новосибирск; **Блюментштейн В.Ю.** - д.т.н., профессор, КГТУ, г. Кемерово; **Болдырев А.И.** - д.т.н., профессор, ВГТУ, г. Воронеж; **Борисов М.А.** - к.т.н., доцент, ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары; **Вальтер Хельге** - генеральный директор компании «Walther schweisstechnik», г. Вена, Австрия; **Васильев С.А.** - д.т.н., доцент, ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары; **Григорьев В.С.** – ст. преподаватель, ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары; **Гусев В.В.** - д.т.н., профессор, ДонНТУ, г. Донецк; **Денисенко А.Ф.** - д.т.н., профессор, СамГТУ, г. Самара; **Ереско С.П.** - д.т.н., профессор, СФУ, г. Красноярск; **Зайдес С.А.** - д.т.н., профессор, ИрНИТУ, г. Иркутск; **Иванцевский В.В.** - д.т.н., профессор, НГТУ, г. Новосибирск; **Илларионов И.Е.** - д.т.н., профессор, ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары; **Казимиров Д.Ю.** - к.т.н., доцент, ИрНИТУ, г. Иркутск; **Киричек А.В.** - д.т.н., профессор, БГТУ, г. Брянск; **Киселев Е.С.** - д.т.н., профессор, УГТУ, г. Ульяновск; **Козлов А.М.** - д.т.н., профессор, ЛГТУ, г. Липецк; **Кольцов В.П.** - д.т.н., профессор, ИрНИТУ, г. Иркутск; **Косицын Б.Б.** - д.т.н., доцент, МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва; **Лебедев В.А.** - д.т.н., профессор, ДГТУ, г. Ростов-на-Дону; **Леонов С.Л.** - д.т.н., профессор, АлтГТУ, г. Барнаул; **Макаров В.Ф.** - д.т.н., профессор, ВГТУ, г. Воронеж; **Марков А.М.** - д.т.н., профессор, АлтГТУ, г. Барнаул; **Михайлов А.Н.** - д.т.н., профессор, ДонНТУ, г. Донецк; **Носов Н.В.** - д.т.н., профессор, СамГТУ, г. Самара; **Пашков А.Е.** - д.т.н., профессор, ИрНИТУ, г. Иркутск; **Пономарев Б.Б.** - д.т.н., профессор, ИрНИТУ, г. Иркутск; **Понов А.Ю.** - д.т.н., профессор, ОмГТУ, г. Омск; **Реченко Д.С.** - д.т.н., доцент, АГНИ, г. Альметьевск; **Секлетина Л.С.** - ст. преподаватель, ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары; **Смоленцев В.П.** - д.т.н., профессор, ВГТУ, г. Воронеж; **Сориллов М.Ю.** - д.т.н., профессор, КНАГУ, г. Комсомольск-на-Амуре; **Смирнов В.М.** - к.ф.-м.н., доцент, ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары; **Стрельников И.А.** - к.т.н., доцент, ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары; **Табаков В.П.** - д.т.н., профессор, УГТУ, г. Ульяновск; **Тамаркин М.А.** - д.т.н., профессор, ДГТУ, г. Ростов-на-Дону; **Федонин О.Н.** - д.т.н., профессор, БГТУ, г. Брянск; **Чен Лоусон** – генеральный директор компании «Shanghai Hiwave Advanced Materials Technology Co., Ltd.», г. Шанхай, Китай; **Шалунов Е.П.** - к.т.н., профессор, ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары; **Шеров К.Т.** - д.т.н., профессор, КарГТУ, г. Караганда.

### ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

**Лобанов Д.В.** - д.т.н., доцент, ЧГУ им. И.Н. Ульянова, зам. гл. редактора научно-технического и производственного журнала «Актуальные проблемы в машиностроении», г. Чебоксары; **Владимирова Ю.О.** - ст. преподаватель, ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары; **Терентьев Е.А.** - ст. преподаватель, ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары; **Голошов И.С.** - ассистент, ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары; **Иванова Л.А.** – **ответственный секретарь конференции**, ст. преподаватель, ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары.

### ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦИИ

- Процессы механической и физико-технической обработки материалов;
- Технология машиностроения и материаловедение;
- Композиционные материалы, создание и обработка;
- Транспортные, технологические машины и оборудование
- Автоматизация и управление процессами.

428015, Российская Федерация, Приволжский федеральный округ,  
г. Чебоксары, ЧГУ им. И.Н. Ульянова  
Машиностроительный факультет, ул. С. Михайлова, д. 3  
e-mail: [lobanovdv@list.ru](mailto:lobanovdv@list.ru)

# IMPROVEMENT OF TECHNOLOGICAL PROCESSES IN MECHANICAL ENGINEERING

VI Russian National with International Participation  
Scientific and Technical Conference  
Cheboksary, 27...29 May 2024

## CONFERENCE ORGANIZERS

- I.N. Ulianov Chuvash State University, Cheboksary, Russian Federation

## CO-ORGANIZERS

- Novosibirsk State Technical University, Scientific, Technical and Manufacture journal «Actual Problems in Machine Building», Novosibirsk, Russian Federation
- Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation;
- Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation

## PROGRAMME COMMITTEE

*Aleksandrov A.Yu.*, Rector of I.N. Ulianov Chuvash State University (Cheboksary, Russia), Chairman; *Lobanov D.V.*, D.Sc. (Engineering), Associate Professor, ChSU (Cheboksary, Russia), co-chair; *Yanyushkin A.S.*, D.Sc. (Engineering), Professor, ChSU (Cheboksary, Russia), co-chair  
**Committee members:** *Bratan S.M.*, D.Sc. (Engineering), Professor, SevSU, (Sevastopol, Russia), *Gartfelder V.A.*, Ph.D., Associate Professor, ChSU (Cheboksary, Russia), *Nosenko V.A.*, D.Sc. (Engineering), Professor, VSTU (Volgograd, Russia), *Skeeba V.Yu.*, Editor-in-chief of the Scientific, Technical and Manufacture journal "Actual problems in mechanical engineering", Ph.D. (Engineering), Associate Professor, NSTU (Novosibirsk, Russia)

## PARTNERS

 <p>Концерн Тракторные заводы</p>	
 <p>Фонд ВЕНЧУРНЫХ ИНВЕСТИЦИЙ В НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СФЕРЕ ЧУВАШСКОЙ РЕСПУБЛИКИ</p>	

## HONORARY COMMITTEE

*Absadykov B.N.* D.Sc. (Engineering), Professor, KBTU (Almaty, Republic of Kazakhstan); *Alikulov D.E.* D.Sc. (Engineering), Professor, TSTU (Uzbekistan Tashkent); *Alibekov S.Y.*, D.Sc. (Engineering), Professor, VSUT, Volgatech (Yoshkar-Ola, Russia); *Artamonov E.V.*, D.Sc. (Engineering), Professor, TIU (Tyumen, Russia); *Bataev A.A.*, D.Sc. (Engineering), Professor, NSTU (Novosibirsk, Russia); *Bataev V.A.*, D.Sc. (Engineering), Professor, NSTU (Novosibirsk, Russia); *Blumenstein V.Yu.* - D.Sc. (Engineering), Professor, KuzSTU, (Kemerovo, Russia); *Boldyrev A.I.*, D.Sc. (Engineering), Professor, VSTU, (Voronezh, Russia); *Borisov M.A.*, Ph.D. (Engineering), Associate Professor, ChSU (Cheboksary, Russia); *Ing. Helge Walther* – CEO (Chief Executive Officer) of Walther Schweisstechnik, (Vienna, Austria); *Vasilyev S.A.*, D.Sc. (Engineering), Associate Professor, ChSU, (Cheboksary, Russia); *Grigoriev V.S.*, Senior Lecturer, ChSU (Cheboksary, Russia); *Gusev V.V.*, D.Sc. (Engineering), Professor, DonNTU, (Donetsk); *Denisenko A.F.*, D.Sc. (Engineering), Professor, Samara Polytech, (Samara, Russia); *Eresco S.P.*, D.Sc. (Engineering), Professor, SFU, (Krasnoyarsk, Russia); *Zaides S.A.*, D.Sc. (Engineering), Professor, INRTU (Irkutsk, Russia); *Ivancivsky V.V.*, D.Sc. (Engineering), Professor, NSTU (Novosibirsk, Russia); *Illarionov I.E.*, D.Sc. (Engineering), Professor, ChSU (Cheboksary, Russia); *Kazimirov D.Yu.*, Ph.D. (Engineering), Associate Professor, INRTU (Irkutsk, Russia); *Kirichek A.V.*, D.Sc. (Engineering), Professor, BSTU (Bryansk, Russia); *Kiselev E.S.*, D.Sc. (Engineering), Professor, UISTU (Ulyanovsk, Russia); *Kozlov A.M.*, D.Sc. (Engineering), Professor, LSTU (Lipetsk, Russia); *Koltsov V.P.*, D.Sc. (Engineering), Professor, INRTU (Irkutsk, Russia); *Kositsyn B.B.*, D.Sc. (Engineering), Associate Professor, BMSTU, (Moscow, Russia); *Lebedev V.A.*, D.Sc. (Engineering), Professor, DonSTU (Rostov-on-Don, Russia); *Leonov S.L.*, D.Sc. (Engineering), Professor, AltSTU (Barnaul, Russia); *Makarov V.F.*, D.Sc. (Engineering), Professor, VSTU (Voronezh, Russia); *Markov A.M.*, D.Sc. (Engineering), Professor, AltSTU (Barnaul, Russia); *Mikhailov A.N.*, D.Sc. (Engineering), Professor, DonNTU, (Donetsk); *Nosov N.V.*, D.Sc. (Engineering), Professor, Samara Polytech, (Samara, Russia); *Pashkov A.E.*, D.Sc. (Engineering), Professor, INRTU (Irkutsk, Russia); *Ponomarev B.B.*, D.Sc. (Engineering), Professor, INRTU (Irkutsk, Russia); *Popov A.Yu.*, D.Sc. (Engineering), Professor, OmSTU, (Omsk, Russia); *Rechenko D.S.*, D.Sc. (Engineering), Associate Professor, ASOI, (Almetyevsk, Russia); *Sekletina L.S.*, Senior Lecturer, ChSU (Cheboksary, Russia); *Sorilov M.Yu.*, D.Sc. (Engineering), Professor, KnASTU (Komsomolsk-on-Amur, Russia); *Smirnov V.M.*, Ph.D. (Engineering), Associate Professor, ChSU (Cheboksary, Russia); *Smolentsev V.P.*, D.Sc. (Engineering), Professor, VSTU, (Voronezh, Russia); *Strelnikov I.A.*, Ph.D. (Engineering), Associate Professor, ChSU (Cheboksary, Russia); *Tabakov V.P.*, D.Sc. (Engineering), Professor, UISTU (Ulyanovsk, Russia), *Tamarkin M.A.*, D.Sc. (Engineering), Professor, DonSTU (Rostov-on-Don, Russia); *Fedonin O.N.*, D.Sc. (Engineering), Professor, BSTU (Bryansk, Russia); Dr. *Lawson Chen* - CEO (Chief Executive Officer) of Shanghai Hiwave Advanced Materials Technology Co., Ltd., (Shanghai, China); *Shalunov E.P.*, Ph.D. (Engineering), Professor, ChSU (Cheboksary, Russia); *Sherov K.T.*, D.Sc. (Engineering), Professor, KSTU (Karaganda, Republic of Kazakhstan)

## ORGANIZING COMMITTEE

*Lobanov D.V.*, D.Sc. (Engineering), Associate Professor, Deputy Ch. editor of the Scientific, Technical and Manufacture journal "Actual Problems in Mechanical Engineering", ChSU (Cheboksary, Russia); *Vladimirova Yu.O.*, Senior Lecturer, ChSU (Cheboksary, Russia); *Terent'ev E.A.*, Senior Lecturer, ChSU (Cheboksary, Russia); *Golyushov I.S.*, Assistant, ChSU (Cheboksary, Russia); *Ivanova L.A.*, Executive Secretary of the Conference, Senior Lecturer, ChSU (Cheboksary, Russia).

## SUBJECT OF THE CONFERENCE

- The Processes of Mechanical and Physico-Technical Processing of Materials;
- Engineering Technology and Materials Science;
- Composite Materials, Creation and Processing;
- Transport, Technological Machines and Equipment;
- Automation and Process Management.

**СОДЕРЖАНИЕ****ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

- Зверев Е.А., Вахрушев Н.В., Титова К.А., Шарыпова А.В.** Моделирование и изготовление методом послойного наплавления комплекта фиксаторов кнопок пассажирских лифтов 7
- Зиновьева П.Д., Шалунов Е.П.** Анализ и выбор на его основе технологии получения малогабаритных радиальных подшипников скольжения из медного порошково-гранульного антифрикционного материала 14
- Гартфельдер В.А., Секлетина Л.С., Борисов М.А.** Контроль качества резинотехнических изделий 24

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ОСНАСТКА И ИНСТРУМЕНТЫ**

- Лобанов Д.В., Рафанова О.С., Цветков И.Н., Иванова Л.А.** Создание экспериментальной установки для исследования процесса лезвийной обработки полимерных композиционных материалов 31
- Скиба В.Ю., Папко С.С., Титова К.А., Юлусов И.С., Рожнов Е.Е., Попков А.С.** Определение способа поверхностного упрочнения ходового винта на металлорежущем оборудовании, объединяющем поверхностно-термическую и механическую обработки 38
- Скиба В.Ю., Рожнов Е.Е., Иванцовский В.В., Папко С.С., Юлусов И.С., Попков А.С.** Целесообразность разработки и эффективность использования гибридного технологического оборудования на базе бесцентровошлифовального станка для изготовления деталей типа штифт 47
- Лобанов Д.В., Терентьев Е.А., Рафанова О.С.** Перспективы переоснащения плоскошлифовального станка 3Г71 в испытательный стенд для проведения финишной обработки изделий из композитных материалов 57

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

- Владиминова Ю.О., Плотников В.В., Шалунов Е.П.** Исследование влияния ввода окиси меди в исходную порошковую смесь на свойства дисперсно-упрочненного композиционного материала на основе порошковой меди системы Cu-Al-C-O 64
- Земцова Н.В., Щегольков А.В., Щегольков А.В.** Тензометрические преобразователи с управляемой чувствительностью к измеряемым воздействиям 71
- Полтавец В.В., Шаповалова Н.Н.** Влияние температуры на коэффициент температуропроводности титановых ( $\alpha + \beta$ )-сплавов 77
- Рекомендации по написанию научной статьи** 83
- Подготовка аннотации** 85
- Правила для авторов** 87

## CONTENTS

**Innovative Technologies in Mechanical Engineering**

- Zverev E.A., Vakhrushev N.V., Titova K.A., Sharypova A.V.** Modeling and manufacturing of a buttons clamps set for passenger elevators by a fused deposition method 7
- Zinovieva P.D., Shalunov E.P.** Analysis and selection on its basis of technology for obtaining small-sized radial sliding bearings from copper powder-granular antifriction material 14
- Gartfelder V.A., Sekletina L.S., Borisov M.A.** Quality control of rubber products 24

**Technological Equipment, Machining Attachments and Instruments**

- Lobanov D.V., Rafanova O.S., Csvetkov I.N., Ivanova L.A.** Creation of an experimental setup for the study of the process of edge cutting machining of polymer composite materials 31
- Skeeba V.Y., Papko S.S., Titova K.A., Yulusov I.S., Rozhnov E.E., Popkov A.S.** Determination of the method of surface hardening of the lead screw on metal-cutting equipment combining surface-thermal and mechanical processing 38
- Skeeba V.Y., Rozhnov E.E., Ivantsivsky V.V., Papko S.S., Yulusov I.S., Popkov A.S.** The expediency of developing and efficient use of hybrid technological equipment based on a centerless grinding machine for the manufacture of pin-type parts 47
- Lobanov D.V., Terentyev E.A., Rafanova O.S.** Prospects for re-equipping the 3G71 plane grinding machine into a test bench for finishing products made of composite materials 57

**Materials Science in Machine Building**

- Vladimirova Yu.O., Plotnikov V.V., Shalunov E.P.** Study of the effect of introducing copper oxide into the initial powder mixture on the properties of dispersion-strengthened composite material of the Cu-Al-C-O - system based on powder copper 64
- Zemtsova N.V., Shchegolkov A.V., Shchegolkov A.V.** Strain gauge transducers based on elastomers modified with micro- and nanosized particles with controlled sensitivity to measurable impacts 71
- Poltavets V.V., Shapovalova N.N.** Influence of temperature on the thermal diffusivity of titanium ( $\alpha + \beta$ )-alloys 77

- Guidelines for Writing a Scientific Paper** 83
- Abstract requirements** 85
- Rules for authors** 87

УДК 621.7

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ МЕТОДОМ  
ПОСЛОЙНОГО НАПЛАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКТА ФИКСАТОРОВ  
КНОПОК ПАССАЖИРСКИХ ЛИФТОВ\***

*Е.А. ЗВЕРЕВ, канд. техн. наук, доцент  
Н.В. ВАХРУШЕВ, ст. преподаватель  
К.А. ТИТОВА, ст. преподаватель  
А.В. ШАРЫПОВА, магистрант  
(НГТУ, г. Новосибирск)*

**Вахрушев Н.В.** – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,  
Новосибирский государственный технический университет,  
*e-mail: vah\_nikit@mail.ru*

В работе рассматривается возможность применения метода послойного наплавления полимерного материала для ремонта различных изделий. Описана проблема незначительного срока службы и замены вышедших из строя фиксаторов кнопок пассажирских лифтов зарубежного производства. Приведены материал, основные условия и параметры печати, а так же аддитивное оборудование на котором производилось изготовление фиксаторов. Проведен предварительный анализ вышедших из строя фиксаторов, выявлены причины их низкого срока службы, измерены и вычислены все размеры необходимые для построения трехмерной модели. Разработана модифицированная модель усиленной версии фиксатора с изменениями, не влияющими на функциональность других деталей сборного узла панели управления лифтом. Спроектированы специальные поддерживающие структуры, имеющие вид чередующихся столбчатых сегментов и адаптирующие деталь для аддитивного производства. Произведена настройка управляющей программы и методом послойного наплавления изготовлен комплект упрочненных фиксаторов для четырех лифтовых шахт.

**Ключевые слова:** аддитивные технологии, послойное наплавление, фиксатор кнопки лифта, полимерные материалы, послойное наращивание.

**Введение**

В настоящее время все более популярным становится применение аддитивных технологий в совершенно различных отраслях промышленности. Данные технологии получили стремительное развитие, поскольку являются в значительной степени гибкими и мобильными, обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными методами и используют широкий спектр различных материалов с разнообразными свойствами [1-11].

На данный момент из-за своей технической простоты и экономической доступности одним из преобладающих в промышленности методов является послойное наплавление полимерного материала. Метод послойного наплавления активно применяется как для быстрого прототипирования, так и ремонта изделий, приобретение запчастей для которых либо вовсе невозможно, либо затруднено по различным причинам [12].

---

\* Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках Тематического плана НИР НГТУ по проекту ТП-ПТМ-1\_24.

Одной из таких деталей является фиксатор кнопки пассажирского лифта. Обслуживающая структура столкнулась со сложностью приобретения и замены, вышедших из строя фиксаторов кнопок в лифтах зарубежного производства, и обратилась с просьбой решить возникшую проблему. Дополнительно, была озвучена просьба по возможности усилить фиксаторы, поскольку приобретаемые ранее имели незначительный срок службы, а так же предоставлены образцы вышедших из строя фиксаторов для проведения предварительного анализа.

Цель работы – изготовление рабочего комплекта упрочненных фиксаторов для кнопок пассажирских лифтов по аддитивной технологии методом послойного наплавления полимерного материала.

## Методика

Трехмерная модель фиксатора воссоздавалась и модифицировалась с помощью системы автоматизированного проектирования «КОМПАС-3D», а управляющая программа подготавливалась с использованием программного продукта *PrusaSlicer*.

Выращивание партии фиксаторов производилось одновременно на двух моделях принтеров для трехмерной печати – *Faberant Cube* и *Designer X*, настроенных и отлаженных таким образом, что бы полученные детали были полностью идентичны друг другу, в том числе и по внутренней структуре укладки полимерных нитей. Печать велась в открытой камере с активной циркуляцией. Интенсивность охлаждения зоны печати составляла 50% от максимальной мощности, за исключение первых двух неохлаждаемых слоев.

В качестве материала для изготовления фиксаторов использовались прутки из модифицированного гликолем полиэтилентерефталата (*PET-G*). В обеих единицах оборудования материал для печати использовался из одной партии и одного цвета.

Значение температур экструзии и подогреваемой платформы были установлены 240 °C и 70 °C соответственно. При установленных латунных соплах диаметром 0,50 мм, высота слоя составила 0,20 мм, а ширина линии – от 0,35 до 0,55 мм, в зависимости от толщины элемента.

## Результаты и обсуждения

На первом этапе был проведен предварительный анализ полученных вышедших из строя фиксаторов (рисунок 1), выявлены проблемные, «слабые» места и намечены дальнейшие возможные пути исправления недостатков. После измерения и вычисления всех необходимых для воссоздания изделия размеров, была построена трехмерная модель, геометрически полностью повторяющая предоставленные в качестве образцов фиксаторы.

Фиксаторы имеют четыре упругих прижимных элемента, которые расположены под острым углом к тыльной стороне посадочного кармана для кнопки, а так же две клипсы с демонтажными проушинами для удержания кнопки. Перечисленные элементы существенно осложняют производство фиксаторов механическими методами обработки. Наиболее частыми причинами выхода из строя фиксаторов является перелом прижимного элемента в его основании и образование трещины на узком участке посадочного кармана, которая разрастается из концентратора напряжений, созданного углублением, отделяющим клипсу от боковой стенки посадочного кармана. Менее распространены случаи переломов самой клипсы и упрорв в основании посадочного кармана.



Рис. 1. Вышедшие из строя фиксаторы кнопок пассажирского лифта

Дальнейшим шагом стала «примерка» выращенного по воссозданной модели пробного фиксатора непосредственно в месте его эксплуатации – в панели управления пассажирским лифтом. Материал для изготовления фиксаторов выбирался исходя из условий эксплуатации изделия. Основные необходимые свойства – отсутствие возможности проводить электрический ток и способность выдерживать постоянные и циклические упругие деформации в течение длительного промежутка времени.

Выполненная «примерка» позволила выявить, насколько сильно и какие элементы геометрии можно подвергать изменениям с целью повышения прочности и срока службы не нарушая функциональности, как самого изделия, так и других деталей находящихся в составе сборного узла панели. Так же без ущерба для функциональности, были внесены изменения, адаптирующие модель фиксатора кнопок для аддитивного производства (рисунок 2) и скорректированы режимные параметры для более рационального изготовления методом послойного наплавления материала.

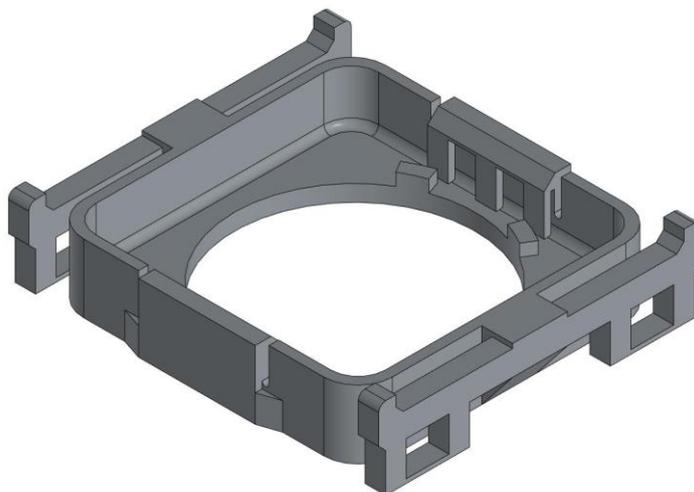


Рис. 2. Модель фиксатора с внесенными изменениями

На модифицированной модели фиксатора с помощью добавления выступающих объектов усилены удерживающие клипсы и узкие участки посадочного кармана. Дополнительно узкие участки усилены за счет увеличения толщины задней поверхности посадочного кармана, а клипсы – за счет увеличения длины, что в свою очередь смещает концентраторы напряжения к более широкому участку, снижая вероятность образования трещины. Так же были упрочнены упоры, а для упрощения изготовления методом послойного наплавления принято решение отказаться от демонтажных проушин и угла наклона прижимных элементов.

В целях минимизации количества поддерживающих структур, как на ответственных элементах, так и в целом при печати фиксатор выгодно размещать на рабочем столе оборудования тыльной стороной посадочного кармана. При таком расположении поддерживающие структуры необходимы только для упругих прижимных элементов и фиксирующих клипс. Одной из особенностей *PET-G* пластика является повышенная спекаемость слоев между собой, что приводит к образованию дефектов на поверхности при отделении поддерживающих структур. Таким образом, для уменьшения площади соприкосновения и, соответственно, снижения вероятных дефектов поверхностей, были разработаны специальные поддерживающие структуры, использующие функциональные возможности оборудования (рисунок 2).

Структуры имеют чередующиеся сегменты, между которыми проложены нависающие участки – «мосты» (рисунок 3). Для нависающих участков локально были изменены режимные параметры печати (повышена скорость перемещения печатающей головки и интенсивность обдува зоны печати), которые были определены экспериментальным путем непосредственно для используемых моделей оборудования.

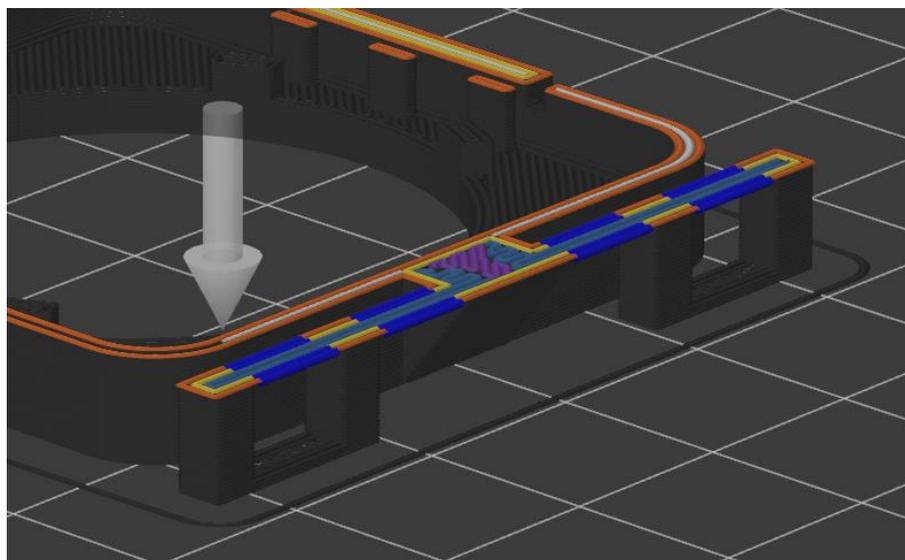


Рис. 3. Нависающие участки с измененными параметрами

Такое решение позволило производить фиксаторы крупными партиями, сократив время на механическую постобработку, понизив количество дефектов от поддерживающих структур и отказавшись от использования мультиматериальной печати. Механическая обработка разработанных сегментных структур сведена к отламыванию или откусыванию коротких и тонких столбчатых элементов, что значительно снижает площадь дефектных участков на поверхностях детали.

На заключительном этапе изготовленная пробная партия модифицированных фиксаторов была установлена в панель управления пассажирским лифтом для проведения

испытаний. По истечении шести месяцев успешных испытаний, был изготовлен и установлен полный комплект фиксаторов на четыре лифтовые шахты, для всех кнопок, включая технические и кнопки вызова на каждом этаже.

### Выводы

В результате были изучены геометрические параметры фиксаторов и проведен анализ возникающих дефектов, приводящих к нарушению работоспособности и выходу из строя кнопок пассажирских лифтов. Создана трехмерная модель модифицированной версии фиксатора. Внесенные изменения не только обеспечивают повышение прочности и срока службы изделия без ущерба для функциональности, как самой детали, так и всей панели управления в целом, но и адаптируют ее для аддитивного метода производства.

Подготовлена управляющая программа и методом послойного наплавления полимерного материала изготовлен комплект упрочненных фиксаторов для четырех шахт с пассажирскими лифтами.

Установленный комплект на данный момент отработал более двух лет, при этом ни один фиксатор не перестал выполнять свои функции. Стоит отметить, что оригинальные фиксаторы, стоимость которых выше изготовленных на 25%, периодически выходили из строя и в среднем от трех до двенадцати штук в месяц подлежали замене.

### Список литературы

1. Исследование свойств сплавов на основе кремниевой бронзы, напечатанных с применением технологии электронно-лучевого аддитивного производства / А.В. Филиппов, Е.С. Хорошко, Н.Н. Шамарин, Е.А. Колубаев, С.Ю. Тарасов // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2023. – Т. 25, № 1. – С. 110–130. – DOI: 10.17212/1994-6309-2023-25.1-110-130.
2. Никулина А.А., Плотникова Н.В. Использование метода вневакуумной электронно-лучевой наплавки для создания комбинированного соединения высокоуглеродистой и хромоникелевой сталей // *Металловедение и термическая обработка металлов*. – 2021. – № 12 (798). – С. 11–16. – DOI 10.30906/mitom.2021.12.11-16.
3. Механические свойства и структура сплава 55Ni-17Cr-5Fe-3Mo при аддитивном производстве / М.В. Рашковец, А.А. Никулина, Р.В. Мендагалиев, Н.Г. Кислов // *Актуальные проблемы в машиностроении: научно-технический и производственный журнал*. – 2020. – Т. 7, № 1–2. – С. 133–137.
4. *Rashkovets M.V. Nikulina A.A., Ryabinkina P.A.* Structure and phase composition of a Ni-based alloy formed by additive manufacturing // *Materials Today: Proceedings*. – 2019. – Vol. 12, iss. 1. – P. 124-127. – DOI: 10.1016/j.matpr.2019.03.079.
5. Применение аддитивных технологий в современной медицине / И.С. Юлусов, С.С. Папко, И.А. Никулин, И.А. Клименко; науч. рук. В. Ю. Скиба. // *StudNet*. – 2022. – Т. 5, № 2. – 10 с. – URL: <https://stud.net.ru/primenenie-additivnykh-technologij-v-sovremennoj-medicine/> (дата обращения: 02.02.2022).
6. Численный анализ процесса электронно-лучевой аддитивной наплавки с вертикальной подачей проволоочного материала / Г.Л. Пермяков, Р.П. Давлятшин, В.Я. Беленький, Д.Н. Трушников, С.В. Варушкин, П. Шеньон // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2022. – Т. 24, № 3. – С. 6–21. – DOI: 10.17212/1994-6309-2022-24.3-6-21.

7. Микроструктура, фазовый состав и ударная вязкость никелевого сплава система Ni-Fe-Cr после аддитивного производства / М.В. Рашковец, А.А. Никулина, О.Г. Климова-Корсмик, Н.Г. Кислов, А.В. Архипов // Пленки и покрытия–2021: труды 15 международной конференции, Санкт-Петербург, 18–20 мая 2021 г. – Санкт-Петербург: РПК АМИГО-ПРИНТ, 2021. – С. 186–189.

8. Долгова С.В. Определение производительности изготовления металлических изделий методом прямого лазерного выращивания / науч. рук.: А.А. Никулина, А.А. Гольшев // Наука. Технологии. Инновации: сборник научных трудов 15 Всероссийской науч. конференции молодых ученых, посвященный Году науки и технологий в России, Новосибирск, 6–10 дек. 2021 г.: в 10 ч. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2021. – Ч. 3. – С. 160–165.

9. Структурные и механические свойства нержавеющей стали, сформированной в условиях послойного сплавления проволоки электронным лучом / В.В. Фёдоров, А.В. Рыгин, В.А. Клименов, Н.В. Мартюшев, А.А. Клопотов, И.Л. Стрелкова, С.В. Матрёнин, А.В. Батрагин, В.Н. Дерюшева // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2021. – Т. 23, № 4. – С. 111–124. – DOI: 10.17212/1994-6309-2021-23.4-111-124.

10. Исследование изменения геометрических параметров образцов, наплавленных методом GMAW при воздействии на электрическую дугу продольного магнитного поля / В.В. Куц, А.В. Олещицкий, А.Н. Гречухин, И.Ю. Григоров // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2024. – Т. 26, № 1. – С. 6–21. – DOI: 10.17212/1994-6309-2024-26.1-6-21.

11. Оптимизация режимов селективного лазерного плавления порошковой композиции системы AlSiMg / Н.А. Сапрыкина, В.В. Чебодаева, А.А. Сапрыкин, Ю.П. Шаркеев, Е.А. Ибрагимов, Т.С. Гусева // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2024. – Т. 26, № 1. – С. 22–37. – DOI: 10.17212/1994-6309-2024-26.1-22-37.

12. Моделирование и изготовление методом послойного наплавления комплекта шестерней профессионального типографского оборудования / Е.А. Зверев, Н.В. Вахрушев, К.А. Титова, А.В. Шарыпова // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2023. – Т. 10, № 3-4. – С. 22–26.

## MODELING AND MANUFACTURING OF A BUTTONS CLAMPS SET FOR PASSENGER ELEVATORS BY A FUSED DEPOSITION METHOD

**Zverev E.A.**, Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: zverev@corp.nstu.ru

**Vakhrushev N.V.**, Senior Lecturer, e-mail: vah\_nikit@mail.ru

**Titova K.A.**, Senior Lecturer, e-mail: krispars@yandex.ru

**Sharypova A.V.**, Graduate student, e-mail: aleksa221100@gmail.com

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

### Abstract

The possibility of applying the fused deposition modeling of polymer material for the repair of various products is discussed in the paper. The problem of short service life and replacement of failed button clamps of foreign-made passenger elevators is described. The material, basic conditions and printing parameters, as well as the additive equipment used to produce the clamps are given. The preliminary analysis of failed clamps is carried out and the reasons for its low service life are identified. All dimensions necessary to construct a three-dimensional model are measured and calculated. The modified model of the clamp strengthened version with changes that do not affect the functionality of other elevator control panel parts is developed. The special support structures that take the form of alternating columnar segments and adapt the part for additive manufacturing are designed. The control program is configured and the set of strengthened clamps for four elevator shafts is manufactured using the fused deposition modeling method.

### Keywords

additive processes, fused deposition, elevator button clamps, polymer materials, layer-by-layer building

УДК 621.763

**АНАЛИЗ И ВЫБОР НА ЕГО ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ  
МАЛОГАБАРИТНЫХ РАДИАЛЬНЫХ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ  
ИЗ МЕДНОГО ПОРОШКОВО-ГРАНУЛЬНОГО АНТИФРИКЦИОННОГО  
МАТЕРИАЛА**

**П.Д. ЗИНОВЬЕВА, магистрант  
Е.П. ШАЛУНОВ, канд. техн. наук, профессор  
(ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары)**

**Зиновьева П.Д.** – 428015, г. Чебоксары, пр-т Московский, 15,  
Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова,  
*e-mail: polya.zinoveva@gmail.com*

На примере втулки шатуна  $\varnothing 8 \times \varnothing 6 \times 5$  мм поршневого высокооборотного микродвигателя МДС-6,5КРУ-С приведено рассмотрение различных технологий, при использовании которых принципиально возможно изготовление этой втулки и, соответственно, других подобных ей радиальных подшипников скольжения малых габаритов из нового антифрикционного материала системы Cu-Sn-Al-MoS<sub>2</sub>-C-O. Анализ этих технологий показал, что наиболее оптимальной из них является технология, предусматривающая двухстороннее холодное прессование порошково-гранульной смеси, нагрев полученной трубчатой заготовки в среде защитно-восстановительных газов, ее горячую допрессовку и доводку размеров и чистоты поверхностей детали методами механообработки.

Проведенные эксперименты подтвердили высокую эффективность этой технологии для получения из указанного материала малогабаритных радиальных подшипников скольжения с повышенными твердостью и износостойкостью.

**Ключевые слова:** радиальный подшипник скольжения, антифрикционный материал, порошково-гранульная смесь, реакционное механическое легирование, аттритор, прессование, экструзия.

**Введение**

Малогабаритные радиальные подшипники скольжения (втулки) находят очень широкое применение в различных объектах техники. Например, представленная на рис. 1 втулка скольжения  $\varnothing 12 \times \varnothing 8 \times 10$  мм предназначена для использования в угловых («болгарках») и линейных шлифовальных машинках, работающих при частоте вращения рабочего инструмента на приводном валу машинки не менее 11000 об/мин. В связи с тем, что рабочая поверхность инструмента во время его работы очень часто располагается под углом к обрабатываемой поверхности, то на эту втулку действуют так же локальные (кромочные) нагрузки, приводящие к усиленному кромочному износу подшипника [1].



Рис. 1. Радиальный подшипник скольжения (втулка) 8x12x10 мм

Бронзовые втулки  $\varnothing 12 \times \varnothing 8 \times 3,5$  мм и самосмазывающиеся втулки  $\varnothing 8 \times \varnothing 5 \times 2,5$  мм широко используются в различных радиоуправляемых электрифицированных моделях высокоскоростных внедорожников, гоночных автомобилей, грузовиков для шоссейного дрифта, а также в моделях вертолетов, катеров, самолетов, танков и другой техники [2,3]. В основном, указанные втулки поставляются в Россию из-за рубежа.

Особенную значимость приобретают радиальные подшипники скольжения, используемые в двухтактных двигателях внутреннего сгорания (ДВС) для авиа – и судомодельного спорта [4-6] и призванные уменьшить трение между вращающимся коленчатым валом и шатуном, а также между шатуном и пальцем поршня. Эти малогабаритные подшипники в виде втулок работают в условиях больших радиальных нагрузок и скоростей скольжения. Например, изготавливаемая, как правило, из антифрикционной бронзы БрОФ7-0,2 втулка шатуна  $\varnothing 8 \times \varnothing 6 \times 5$  мм одноцилиндрового двухтактного поршневого микродвигателя МДС-6,5КРУ-С, которая сопрягается с мотыльком коленчатого вала, работает при частоте вращения вала около 22000 об/мин (или скорости взаимного скольжения мотыля и втулки  $V = 5,8$  м/с), и на нее действует большая удельная радиальная нагрузка  $p$ , достигающая 100 МПа и более [1].

При таких высоких значениях указанных параметров критерий теплостойкости втулки  $p \cdot V = 580$  МПа·м/с, определяющий долговечность ее работы, в 38 раз превышает допустимое значение  $[p \cdot V]$  теплостойкости втулки из бронзы БрОФ7-0,2. [1,7]. Поэтому при работе указанного двигателя в режиме средней и полной мощности в течение, примерно, 60 мин может появиться люфт в соединении «шатун-коленчатый вал», обусловленный износом этой втулки [8]. Поэтому в работе [8] авторов настоящей статьи предложено эту втулку изготавливать из нового износостойкого и жаропрочного антифрикционного композиционного материала (АКМ) на основе порошковой меди системы Cu-Sn-Al-MoS<sub>2</sub>-C-O (ТТ1479.001.94085988-2013) [9,10], обеспечивающего подшипнику скольжения из него критерий теплостойкости  $p \cdot V$  более 1000 МПа·м/с. Он представляет собой матрично-наполненный материал с матрицей из порошковой бронзы системы Cu-Sn и наполнителей в виде механически легированных гранул на медной основе, содержащих в исходном составе Al, MoS<sub>2</sub>, C и O. Этот материал был разработан для получения из него подшипникового слоя толщиной  $0,4 \pm 0,1$  мм для коренных и шатунных вкладышей коленчатого вала [10].

АКМ имеет высокие прочностные характеристики и хорошие для порошкового композиционного материала пластические свойства: твердость – 123 НВ, предел прочности при сжатии – 720 МПа при относительной осадке до разрушения – 32%. Материал отличается высокой температурой рекристаллизации ( $650^{\circ}\text{C}$ ), что не позволяет ему разупрочняться при нагреве подшипника. Благодаря специально сбалансированному химическому составу и созданной структуре (рис. 2) с механически легированными гранулами [11], которые содержат механохимически синтезированные в атриторе термодинамически стабильные частицы оксида алюминия  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  нанодисперсного (24...76 нм) уровня, а также твердую смазку в виде частиц графита и дисульфида молибдена MoS<sub>2</sub>, материал имеет высокие триботехнические свойства, а именно низкий коэффициент трения и высокую износостойкость. В частности, интенсивность изнашивания образцов из этого материала при ступенчато возрастающем по 10 МПа до 100 МПа давлении и выдержке постоянного на каждой ступени давления в течение 15 мин составляет  $1,9 \cdot 10^{-11}$ , при этом данный показатель для контртела из стали 40Х твердостью 42...45 HRC на два порядка меньше [9].

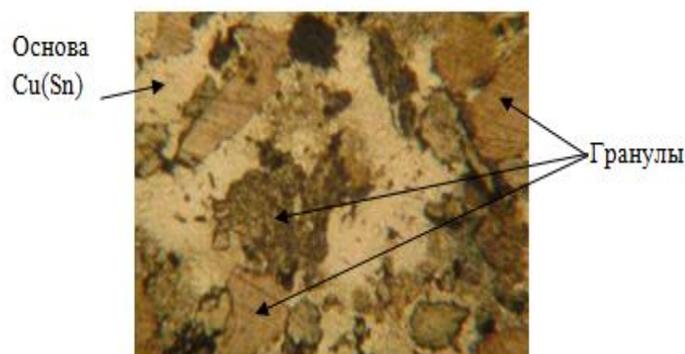


Рис. 2. Микроструктура АКМ на основе твердого раствора Cu(Sn) с включениями механолегированных гранул системы Cu-Al-MoS<sub>2</sub> (x300)

Для получения тонкого подшипникового слоя порошково-гранульная смесь наносилась на плоскую развертку несущего слоя вкладыша, после чего подвергалась холодному прессованию на гидропрессе, диффузионной сварке с этим несущим слоем в среде азота, последующему нагреву в технологическом контейнере с древесным карбюризатором и горячей допрессовке на гидропрессе в нагретом пресс-инструменте. Относительная плотность полученного слоя составляла 86,3%.

Данная технология в полном объеме не может быть использована для получения указанной втулки шатуна Ø8xØ6x5 мм и, соответственно, других подобных ей радиальных подшипников скольжения малых габаритов.

Поэтому в настоящей работе ставится цель получения втулки шатуна Ø8xØ6x5 мм из указанного медного порошково-гранульного антифрикционного материала системы Cu-Sn-Al-MoS<sub>2</sub>-C-O при использовании технологии, которую следует выбрать из имеющихся других технологий и развить ее применительно к указанной втулке, что создало бы предпосылки для организации производства указанного и подобных ему изделий из нового высокоэффективного материала.

Поскольку указанный АКМ системы Cu-Sn-Al-MoS<sub>2</sub>-C-O изготавливается из порошково-гранульной смеси, то в качестве основных операций процесса получения из нее готового изделия в виде втулки шатуна Ø8xØ6x5 мм являются операции порошковой металлургии [12-14].

Первым блоком операций для любых вариантов технологии получения этой втулки являются операции по подготовке исходной порошково-гранульной смеси. В качестве мягкой основы (матрицы) материала используется порошок меди ПМС-1 (ГОСТ 4960-2009) и порошок олова ПОЭ (ГОСТ 9723-73), а в качестве высокотвердых и антифрикционных включений (наполнителя) в материале применяются механолегированные гранулы системы Cu-Al-MoS<sub>2</sub>-C, которые получают путем обработки в воздушной среде рабочей камеры атритора в течение 60 мин смеси порошков меди марки ПМС-1 (ГОСТ 4960-2009), алюминия марки ПП-1 (ГОСТ 5592-71), графита марки ГК-3 (ГОСТ 4404-78) и дисульфида молибдена марки ДМИ-7 (ТУ 48-19-133-85). Для изготовления АКМ используются гранулы с размерами не более 0,1 мм.

Рабочая порошково-гранульная смесь получается смешиванием 15% мас. гранул с 80,75% мас. порошка меди и 4,25% мас. порошка олова.

Из этой смеси втулка шатуна может быть получена согласно следующим технологиям:

1. Холодное прессование порошково-гранульной смеси на гидравлическом прессе для получения плоской заготовки (развертки втулки шатуна), ее спекание в печи с защитной средой, гибка (свертка) на механическом прессе спеченной заготовки в трубку (втулку),

механическая обработка на металлорежущих станках (обтачивание, растачивание с точением фасок, подрезка торцов, сверление радиального отверстия для подвода масла).

Эта технология достаточно проста, но при ней не удастся получить высокоплотную заготовку с хорошими пластическими свойствами, позволяющими выдержать очень большие деформации растяжения наружного слоя заготовки. Произойдет разрушение заготовки при изгибе.

2. Холодное прессование порошково-гранульной смеси на гидравлическом прессе при давлении 400 МПа для получения плоской заготовки (развертки втулки шатуна), затем следует нагрев плоской заготовки при 700...725°C/30 мин в технологической капсуле с древесным карбюризатором, выделяющим при нагреве защитно-восстановительный углекислый газ, и дальнейшее горячее прессование с этой температуры на гидравлическом прессе при давлении не менее 500 МПа в подогретом до 450 °С штампе с выдержкой 2 мин, после чего следует отжиг в защитной среде (например, в азоте) печи при 700 °С /60 мин. Далее полученная высокоплотная плоская заготовка подвергается те же операции, что и в п.1.

Материал втулки получается более пластичным: относительное удлинение может достигать 10%. Но, все равно имеется опасность его разрушения при таких высоких степенях деформации при гибке. Кроме того, технология описана применительно к штучной заготовке (развертке) и должна быть изменена применительно к серийному производству втулки шатуна. В частности, необходимо будет получать значительную по габаритам плоскую заготовку, из которой затем нужно будет нарезать штучные заготовки (развертки), что приведет к возникновению дополнительных потерь материала, величина которых при таких малых размерах детали может достигать 20%.

3. Горячая экструзия прутка с круглым сплошным сечением представляет собой комплекс из нескольких операций. В первую очередь рабочая порошково-гранульную смесь подвергается холодному прессованию в цилиндрические брикеты, для чего используется гидравлический пресс с установленной на нем пресс-оснасткой, обеспечивающей двухстороннюю схему прессования. Далее производится нагрев брикетов в помещенных в печь технологических капсулах с древесным карбюризатором и затем производится горячая экструзия через фильеру матрицы нагретого брикета в пруток на гидравлическом прессе с использованием нагретой пресс-оснастки с кольцевой печью (рис. 3).

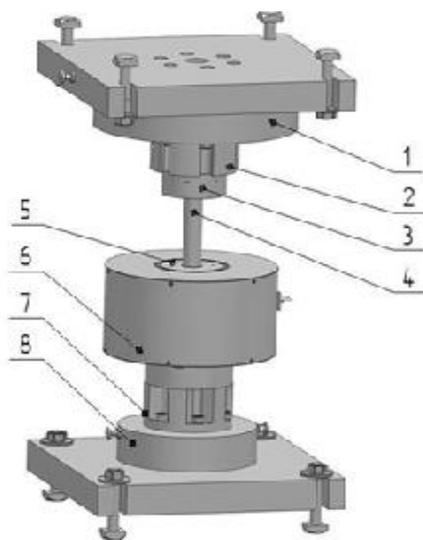


Рис. 3. Пресс-оснастка для горячего прессования (экструзии) брикетов в пруток: 1 – плита верхняя; 2 – держатель штемпеля; 3 – фланец; 4 – пресс-штемпель; 5 – контейнер; 6 – печь кольцевая; 7 – корпус матрицы; 8 – плита нижняя

На уже готовом прутке проводится его правка, обработка поверхности и проводится обрезка, сверление, вытачивание втулки шатуна под необходимые размеры.

В целом, при использовании такой технологии, заготовка изготавливается достаточно просто, но вместе с тем коэффициент использования металла не высок, в силу необходимости дополнительной обработки заготовки, то есть сверление, вытачивание фасок и т. д. Также необходимость дополнительной обработки повышает трудоемкость изготовления.

Кроме того, в результате горячей экструзии, особенно при больших коэффициентах вытяжки, компоненты исходной порошково-гранульной смеси вытягиваются в направлении прессования, превращаясь в дискретные микроволокна (рис. 4), оказывающие сильное истирающее воздействие на контртело при его расположении перпендикулярно этим волокнам.

При этом из-за раздирающего волокна эффекта при таком трении сама втулка будет так же сильно изнашиваться.

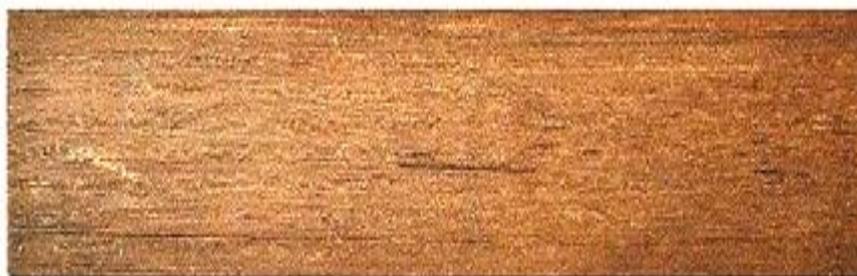


Рис. 4. Продольный шлиф прутка из АКМ, отпрессованного при коэффициенте вытяжки  $\mu = 16$  (x 50)

4. Горячая экструзия заготовки в виде трубы в целом имеет схожую суть с горячей экструзией прутка с круглым сечением, то есть так же прессуется материал через фильеру матрицы при высокой температуре для создания желаемой формы поперечного сечения заготовки, в этом случае - трубы. Начальные шаги совпадают с описанной выше технологией горячей экструзии, но основное отличие заключается в том, что материал прессуется через фильеру, которая имеет кольцевую щель, и металл, проходя через нее, формируется в трубу. Процесс горячей экструзии преобразует прессованный материал брикета в трубы с необходимым диаметром и толщиной стенки, но поскольку после горячей экструзии на поверхности трубы остаются окисные пленки меди и следы технологической смазки, то требуется доводочная механообработка, при которой выводятся требуемые размеры и достигается требуемая чистота поверхностей.

Эта технология более эффективна по сравнению с предыдущей: поскольку нет необходимости сверлить отверстие, то коэффициент использования материала значительно выше, чем при использовании прутков, а трудоемкость доводочной механообработки ниже. Но, как и в предыдущей технологии возникает проблема направления волокон в готовой детали. Поскольку и в этом случае микроволокна во втулке будут расположены поперек направления трения скольжения, то это значительно повысит износ и самой втулки, и контртела.

1. Холодное прессование порошково-гранульной смеси и спекание полученной из нее заготовки втулки является достаточно привычной технологией производства деталей в порошковой металлургии. В данном случае порошково-гранульная смесь подвергается двухстороннему холодному прессованию в кольцевом зазоре между матрицей прессинструмента и ступенчатым нижним пуансоном, после чего полученная трубчатая заготовка нагревается в печи с защитной газовой средой, в результате чего происходит ее спекание. В качестве доводочной операции, корректирующей размеры втулки из-за ее усадки при

спекании применяют холодное калибрование путем проталкивания втулки через кольцевой зазор в фильере матрицы калибровочного пресс-инструмента. Как правило, после этой операции не требуется какой-либо механической обработки.

При такой технологии коэффициент использования материала практически равен 1, технологический процесс достаточно просто поддается автоматизации, однако, существенным сдерживающим фактором является то обстоятельство, что по этой технологии невозможно получить из механически легированных смесей детали, обладающие высокой плотностью, твердостью и износостойкостью, что обуславливается плохой спекаемостью прессовок из таких смесей [15]. В нашем случае речь идет о порошково-гранульной смеси, в которой содержание гранул составляет 15% мас., однако, даже это количество механически легированных гранул не позволило получить при помощи холодного прессования и спекания высокоплотный подшипниковый слой из АКМ на плоской развертке несущего слоя вкладыша радиального подшипника скольжения [10], что послужило отказом от этой технологии для получения таких деталей.

2. Двухстороннее холодное прессование порошково-гранульной смеси в кольцевом зазоре между матрицей пресс-инструмента и ступенчатым нижним пуансоном, после чего полученная трубчатая заготовка нагревается в защитно-восстановительной среде углеродсодержащих газов и в нагретом состоянии подвергается двухсторонней горячей допрессовке в кольцевом зазоре между нагретой кольцевой электропечью матрицей пресс-инструмента и ступенчатым нижним пуансоном, после чего готовая прессовка извлекается из пресс-инструмента и подвергается механической обработке с целью доводки размеров и чистоты поверхностей детали.

Такая технология дороже предыдущей, коэффициент использования материала ниже, однако, она, как и при получении подшипникового слоя на плоской развертке несущего слоя вкладыша радиального подшипника скольжения [10], может позволить добиться высоких характеристик плотности, твердости и прочности и обеспечить высокую износостойкость АКМ. Этому так же должно способствовать отсутствие у материала втулки текстуры или микроволокон, расположенных поперек направления трения скольжения.

Таким образом, эта технология представляется наиболее подходящей для получения втулки  $\varnothing 8 \times \varnothing 6 \times 5$  мм из АКМ.

### Методика экспериментального исследования

Для проведения экспериментальных работ по апробированию выбранной технологии, из порошков меди и легирующих компонентов, предварительно просушенных в сушильном шкафу в течении 2 ч при температуре  $75^{\circ}\text{C}$ , была приготовлена рабочая порошково-гранульная смесь описанных выше системы и химического состава. При этом получение гранул осуществлялось в атриторе с рабочей камерой 15 л разработки Чувашского государственного университета.

Холодное прессование порошково-гранульной смеси производили на вертикальном гидропрессе 2ПГ-50 в матрице пресс-инструмента (рис. 5) со ступенчатым нижним пуансоном.

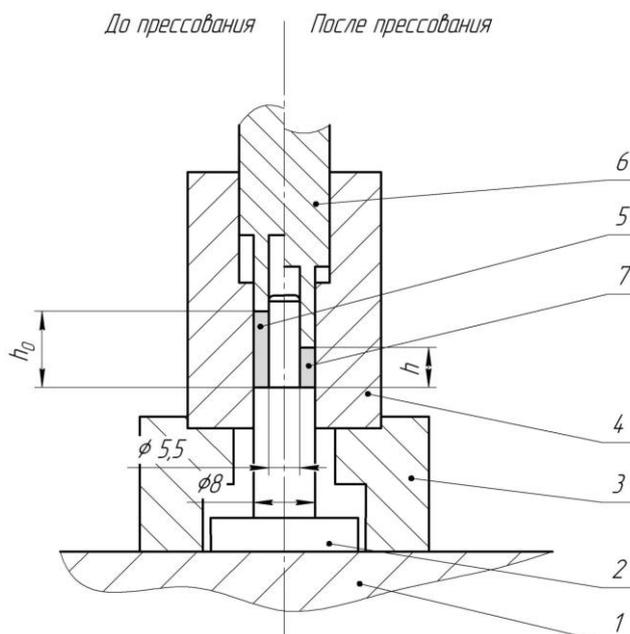


Рис. 5. Пресс-инструмент для холодного прессования порошково-гранульной смеси: 1 – стол пресса; 2 – пуансон нижний; 3 – вилка съёмная; 4 – матрица; 5 – порошково-гранульная смесь; 6 – пуансон верхний; 7 – заготовка втулки

Сначала на стол пресса 1 устанавливали ступенчатый нижний пуансон 2 со смазанной графитом ГК-3 верхней (рабочей) частью и съёмную вилку 3, на которые затем помещали матрицу 4 со смазанными графитом ГК-3 стенками отверстия. После того, как в кольцевой зазор между нижним пуансоном 2 и матрицей засыпали порцию порошково-гранульной смеси 5 высотой  $h_0$ , в этот зазор вводился верхний пуансон 6, пресс включали в работу и производили подпрессовку давлением 400...440 МПа. Затем вилку 3 убрали и выполняли основное прессование при давлении 500 МПа. После окончания процесса прессования пресс выключали и из пресс-инструмента извлекали заготовку втулки 7 высотой  $h$ .

Партию полученных заготовок устанавливали в технологический контейнер, донная часть которого была заполнена древесно-угольным карбюризатором (ГОСТ 2407-83), и затем он помещался в электрическую печь сопротивления. При достижении температуры в печи 700...725° партию заготовок выдерживали в течение 30 мин, после чего нагретые заготовки по-очередно извлекали из открытого контейнера и подавали в пресс-инструмент, по форме аналогичный приведенному на рис.5 и снабженный кольцевой печью, одетой на матрицу для ее нагрева до 450°С. После этого производили горячую допрессовку заготовки при давлении 500 МПа с выдержкой 2 мин. После подъема пуансона вверх и отключения пресса заготовка извлекалась из пресс-инструмента.

Партию полученных заготовок устанавливали в технологический контейнер, донная часть которого была заполнена древесно-угольным карбюризатором (ГОСТ 2407-83), и затем он помещался в электрическую печь сопротивления для проведения операции отжига при 700 °С в течение 60 мин.

Для доводки размеров и чистоты поверхности втулки использовалось тонкое точение и развертывание отверстия.

## Результаты и обсуждение

В результате использования указанной технологии получили партию втулок шатуна с размерами  $\text{Ø } 8^{+0,020/+0,005} \times \text{Ø } 6^{+0,016/+0,004} \times 5^{\pm 0,090}$  мм.

Расчеты показали, что коэффициент использования материала составил 0,84.

Проведенные на этих втулках исследования показали, что средняя по партии относительная плотность материала составила 96,6%, что способствовало получению более высоких, чем требуется согласно ТТ1479.001.94085988-2013 [9,10], значений твердости (138НВ), температуры рекристаллизации ( $680^{\circ}\text{C}$ ), износостойкости (интенсивность изнашивания составила  $1,23 \cdot 10^{-11}$ ). Это дает основания предположить, что указанная технология, после соответствующей адаптации под конкретные производственные условия и программы выпуска продукции может быть использована для изготовления малогабаритных радиальных подшипников скольжения из нового высокоэффективного антифрикционного материала системы Cu-Sn-Al-MoS<sub>2</sub>-C-O.

## Выводы

1. Анализ технологий показал, что наиболее оптимальной технологией получения втулки шатуна  $\varnothing 8 \times \varnothing 6 \times 5$  мм поршневого высокооборотного микродвигателя МДС-6,5КРУ-С и, соответственно, других подобных ей тяжело нагруженных радиальных подшипников скольжения малых габаритов, обеспечивающей высокую износостойкость и, соответственно, высокий ресурс таких изделий, может служить технология, предусматривающая двухстороннее холодное прессование порошково-гранульной смеси, нагрев полученной трубчатой заготовки в среде защитно-восстановительных газов, ее горячую допрессовку и доводку размеров и чистоты поверхностей детали методами механообработки.

2. Эксперименты показали, что материал изготовленных по указанной технологии партии втулок  $\varnothing 8 \times \varnothing 6 \times 5$  мм имеет более высокие, чем требуется согласно ТТ1479.001.94085988-2013, значения плотности, твердости, температуры рекристаллизации, износостойкости, что может способствовать последующему внедрению этой технологии в производство малогабаритных радиальных подшипников скольжения из нового высокоэффективного антифрикционного материала системы Cu-Sn-Al-MoS<sub>2</sub>-C-O.

## Список литературы

1. *Иноземцев Н.В., Прач С.И.* Подшипники скольжения и их расчет: учебно-методическое пособие. – Гомель: Изд-во ГГТУ им. П. О. Сухого, 2023. – 74 с.
2. *Курти О.* Постройка моделей судов. Энциклопедия судомоделизма / перевод с итальянского А.А. Чабан. – М.: Политехника, 2021. – 495 с.
3. *Stride M.* Miniature internal combustion engines. – Ramsbury: The Crowood Press, 2007. – 176 p.
4. *Duncan J.* Book of Model Airplane Engines. Reference book of .15ci / 2.5 cc. – London: Dorling Kindersley, 2023. – 460 p.
5. *Калина И.* Двигатели для спортивного моделизма / перевод с чешского С.И. Грачева. – М.: ДОСААФ, 1983. – Ч. 1. – 59 с.
6. Модельные двигатели: пособие для руководителей технических кружков / В.П. Зуев, Н.П. Камышев, М.Б. Качурин, Ю.А. Голубев. – М.: Просвещение, 1973. – 240 с.
7. *Бодухов С.И., Проскурин А.Д., Козик Е.С.* Свойства машиностроительных материалов: учебное пособие. – Оренбург: Изд-во ОГУ, 2009. – 201 с.
8. *Зиновьева П.Д., Шалунов Е.П.* Сравнительный анализ материалов для изготовления радиальных подшипников скольжения высокооборотных двигателей внутреннего сгорания // Научный БУМ: сборник по итогам форума СНО образовательных организаций Чувашской Республики, Чебоксары, 13–25 нояб. 2023 г. – Чебоксары: Среда, 2023. – С. 181–188.

9. Шалунов Е.П., Смирнов В.М., Урянский И.П. Износостойкие подшипники скольжения из наноструктурных материалов для мощных электродвигателей // Вестник Чувашского университета. – 2015. – № 1. – С. 131–139.

10. Разработка технологии изготовления биметаллических разверток вкладышей тяжело нагруженных подшипников скольжения / Ю.О. Владимирова, Е.П. Шалунов, В.М. Смирнов [и др.] // Проектирование и перспективные технологии в машиностроении и металлургии: сборник материалов II Республиканской научно-практической конференции, Чебоксары, 22 апр. 2016 г. – Чебоксары: Изд-во ЧГУ им. И.Н. Ульянова, 2016. – С. 166–173.

11. Разработка жаро- и износостойких порошковых нанокomпозиционных материалов для поршней машин литья под давлением / Ю.О. Владимирова, Е.П. Шалунов, Н.В. Мулюхин, И.Е. Илларионов // Современные технологии в машиностроении и литейном производстве: материалы I международной научно-практической конференции, Чебоксары, 22–24 октября 2015 г. – Чебоксары: Изд-во ЧГУ им. И.Н. Ульянова, 2015. – С. 153–160.

12. Логинов Ю.Н. Изготовление полуфабрикатов и изделий из порошков меди и медных сплавов: учебное пособие. – Екатеринбург: Изд-во УГТУ–УПИ, 2008. – 208 с. – ISBN 978-5-321-01367-0.

13. Гиршов В.Л., Котов С.А., Цеменко В.Н. Современные технологии в порошковой металлургии: учебное пособие. – СПб.: Изд-во СПбПУ, 2010. – 385 с.

14. Федорченко И.М., Пугина Л.И. Композиционные спеченные антифрикционные материалы. – Киев: Наукова думка, 1980. – 404 с.

15. Свойства и структура связки на основе механолегированных гранул меди для изготовления алмазного инструмента / В.М. Смирнов, Д.А. Тимофеев, Е.П. Шалунов, И.Е. Илларионов // Проектирование и перспективные технологии в машиностроении и металлургии: материалы II Республиканской научно-практической конференции, Чебоксары, 22 апр. 2016 г. – Чебоксары: Изд-во ЧГУ им. И.Н. Ульянова, 2016. – С. 183–188.

---

---

**ANALYSIS AND SELECTION ON ITS BASIS OF TECHNOLOGY FOR OBTAINING  
SMALL-SIZED RADIAL SLIDING BEARINGS FROM COPPER POWDER-GRANULAR  
ANTIFRICTION MATERIAL**

**Zinovieva P.D.**, Graduate student, e-mail: polya.zinoveva@gmail.com

**Shalunov E.P.**, Ph.D. (Engineering), Professor, e-mail: shalunov2003@mail.ru

I.N. Ulianov Chuvash State University, 15 Moskovsky Prospekt, Cheboksary, 428015, Russian Federation

**Abstract**

Through the example of a connecting-rod bearing  $\text{Ø}8 \times \text{Ø}6 \times 5$  mm of a piston high-speed micromotor, *MDS-6.5KRU-S*, various technologies are considered, using which it is fundamentally possible to manufacture this bearing and, accordingly, other similar small radial sliding bearings from a new antifriction material of the *Cu-Sn-Al-MoS<sub>2</sub>-C-O*-system. Analysis of these technologies has shown that the most optimal is the technology that involves double-sided cold pressing of the powder-granular mixture, heating of the obtained tubular billet in the medium of protective-reducing gases, its hot additional pressing and fine-tuning the size and cleanliness of the surfaces of the part by machining methods.

Experiments confirmed the high efficiency of this technology for manufacturing small-sized radial sliding bearings from the specified material with increased hardness and wear resistance.

**Keywords**

Radial sliding bearing, antifriction material, powder-granular mixture, reactive mechanical alloying, attritor, pressing, extrusion.

УДК 621.7.08

**КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ**

*В.А. ГАРТФЕЛЬДЕР, канд. техн. наук, доцент  
Л.С. СЕКЛЕТИНА, ст. преподаватель  
М.А. БОРИСОВ, канд. техн. наук, доцент  
(ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары)*

**Гартфельдер В.А.** – 428015, г. Чебоксары, пр-т Московский, 15,  
Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова,  
*e-mail: harvik48@list.ru*

В современной технике изделия из эластичных и комбинированных материалов нашли широкое применение. Контроль размеров, геометрии и качества при производстве таких изделий сопряжено с известными трудностями. Это обусловлено физико-механическими свойствами контролируемых изделий. Упругость и податливость эластичных материалов требует иных методов контроля и видов контрольного оборудования, чем при традиционных способах контроля твёрдых материалов. Новое измерительное и автоматизированное сортирующее оборудование позволяет интенсифицировать контрольные операции, повысить достоверность результатов измерений, облегчить процесс контроля и разбраковки изделий. В статье рассматриваются примеры производства резинотехнических изделий (РТИ). Показан позитивный эффект применения нового оборудования, реализации новых технологий и средств измерения, а также автоматизации операций.

**Ключевые слова:** автоматизация, резинотехнические изделия, размеры, измерения, контроль, качество, исследования.

**Введение**

Стабильное воспроизводство продукции высокого качества, особенно при серийном выпуске, является ключевым показателем экономического и технического развития промышленного предприятия, его надёжности и конкурентоспособности. Эти преимущества становятся особенно важными в условиях непредсказуемой внешней среды, требующей быстрой реакции на возникающие изменения во всех структурных подразделениях предприятий и на всех этапах жизненного цикла продукции [1, 2]. В современном мире качество продукции является определяющим фактором, обеспечивающим последовательный рост объёмов производства [3, 4, 5]. Обеспечение указанных целей требует наличия необходимых компетенций персонала, применения новых технологий и современного технологического оборудования, автоматизации производственных операций [6, 7].

Достижение высокой конкурентоспособности продукции часто ограничено техническими параметрами традиционных методов, процессов и оборудования, а также человеческими возможностями. Поэтому главным резервом улучшения качества продукции являются новые виды оборудования, сочетающегося с автоматизацией процессов [8, 9] и наличием квалифицированного обслуживающего персонала, а также использование технологии предупреждения возникновения дефектов, либо выработки способов их минимизации [10, 11].

Целью проведённого нами исследования являлся анализ возможностей внедрения новых производственных технологий и оборудования.

Была поставлена задача достижения необходимого качества и производительности операций контроля изделий за счёт применения нового автоматического контрольного и сортировочного оборудования. Практика применения автоматического оборудования показывает, что наибольший эффект достигается не при фрагментарном использовании средств автоматизации, а в результате комплексного внедрения автоматизированного технологического оборудования с охватом как основных, так и вспомогательных процессов.

### Материалы и методы исследования

Ранее, в производстве иногда применялся методически неверный способ определения геометрических параметров эластичных изделий. Так, контроль геометрических параметров изделий из относительно мягкого материала (например, уплотнительные кольца из силикона), одетых, с целью обеспечения безззорного базирования, на коническую оправку (рис. 1) производилось жесткими средствами измерения.

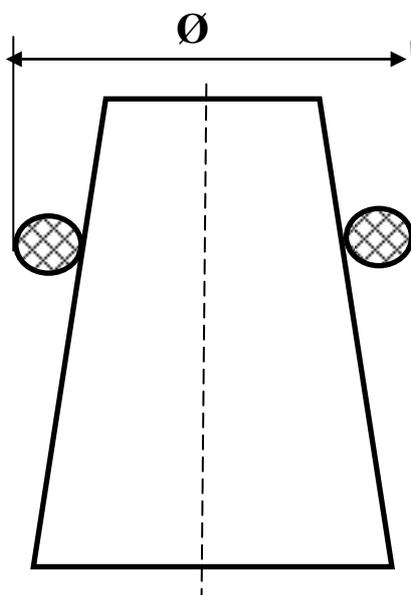


Рис. 1. Схема измерения наружного диаметра вручную

Указанный метод неверен в принципе, даёт нереальную и нестабильную информацию, измерения проводились вручную и результаты измерений полностью зависели от квалификации контролёра [12, 13].

При посадке измеряемого изделия на коническую оправку очень трудно уловить момент их соприкосновения с оправкой без растяжения, невозможно точно зафиксировать положение измеряемого изделия по высоте оправки, а значит и степень возможной деформации эластичного материала. Кроме того, при ручных измерениях требуется провести несколько замеров по разным осям и рассчитать среднее значение. Само измерение проводилось средством измерения, имеющим жёсткие контактные поверхности (губки) – штангенциркулем или микрометром. Контакт жёстких губок с эластичным материалом изделий приводил к деформации поверхности, что меняет точность измерений. Причем степень деформации нестабильна и зависит от квалификации оператора (определяется человеческим фактором).

Логически понятно, что для контроля изделий из эластичных материалов необходимо применять бесконтактные средства измерения. Причем, для исключения вариабельности

измерений, вызванной влиянием «человеческого фактора», предлагаемое оборудование должно быть автоматизированным. В нашем случае реализацией задач автоматизации процессов, использования новых технологий контроля размеров и качества продукции является применение оптической координатно-измерительной машины (КИМ) для определения геометрической точности резинотехнических изделий модели *Kalix 155* в комплекте с оптической сортировочной машиной модели *ScrappiX*.

Автоматизированное оборудование позволяет гарантировать стопроцентное качество резинотехнических изделий, сократить объем монотонного ручного труда, уменьшить количество ошибок оператора при измерении, исключить возможность попадания дефектной продукции на последующие операции технологического процесса и, как следствие этого, готовой продукции к заказчику, провести анализ статистических данных по качеству выпускаемой резинотехнической продукции, в режиме реального времени производить автоматическую отбраковку продукции [11].

Для загрузки резинотехнических изделий на автоматизированное измерительное оборудование и их предварительной сортировки используют роботизированные стенды, оснащенные техническим зрением [14].

### Результаты и обсуждение.

Применение указанного оборудования позволяет повысить точность, стабильность и автоматизировать контрольные операции, а также придать контрольному оборудованию независимых и арбитражных функций с цифровой регистрацией всех результатов.

Такой тип оборудования позволяет проводить бесконтактные измерения исследуемого образца при помощи бесконтактной оптической системы. Полученный результат сравнивается с виртуальным образом цифрового двойника, сгенерированного ранее и сохраненного в памяти компьютера КИМ в качестве «эталонного» изделия.

При позиционировании детали необходимо расположить её внутри зоны обследования, ограниченного полосами или кругом тёмного цвета на опорном стекле (рис. 2). Если предусмотрено устройство для контроля толщины изделия, то сечение измеряемой детали следует располагать вдоль специальной прорези на черной поверхности (на рабочем столе слева) и измерения проводятся лазерным сканированием по плоскости виртуального нормального сечения. На экран выводится изображение, полученное телекамерой или сгенерированное с помощью специальной программы измерения профиля. Данное измерительное оборудование и реализуемая на нём методика измерений исключают механическую деформацию измеряемого объекта.

Ручное измерение детали типа «уплотнительное кольцо» занимает у оператора от 5 до 10 минут в зависимости от сложности изделия и квалификации контролера. При использовании контрольно-измерительной машины *Kalix 155* на процесс измерения одной детали затрачивается в среднем 1 мин (в зависимости от квалификации оператора).

Это время расходуется на поиск наименования детали в электронной библиотеке (ранее загруженной в память компьютера), на установку этой детали на измерительном столе и само измерение. На экран монитора выводится изображение таблицы с указанием геометрических размеров и резольвцией о годности или негодности деталей. Таким образом, мы получаем полные сведения о контролируемом изделии, которые можно использовать в качестве свидетельства (арбитражные функции), либо при отладке технологического процесса. Отчеты о замерах (протоколы измерений) можно распечатать или сохранить в отдельной папке в формате *html*.

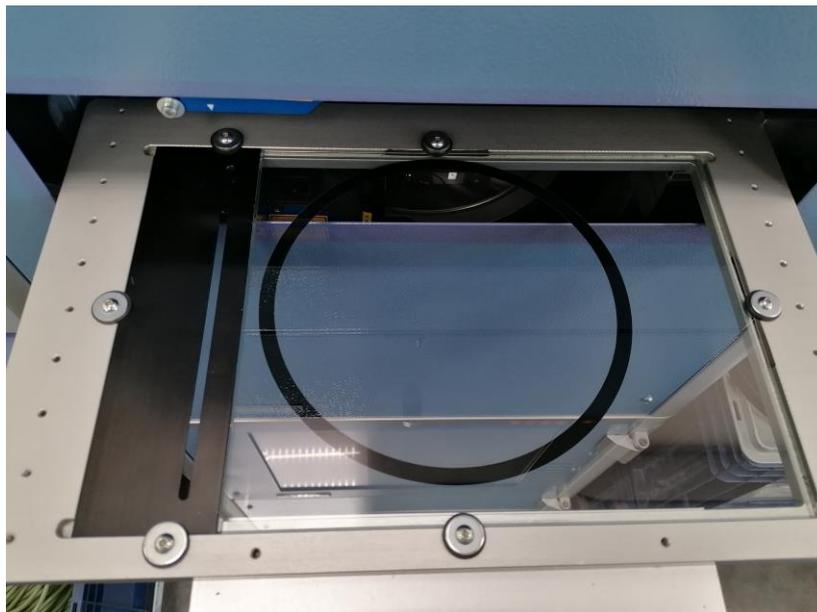


Рис. 2. Рабочий стол оптической контрольно-измерительной машины

Ввиду большого объёма изделий при 100% контроле продукции желательно провести предварительную разбраковку изделий на «годные», «подлежащие исправлению» или «негодные». Такую разбраковку необходимо проводить с высокой производительностью. Для этого нами была использована специальная сортировочная машина модели *ScrappiX* (рис. 3).

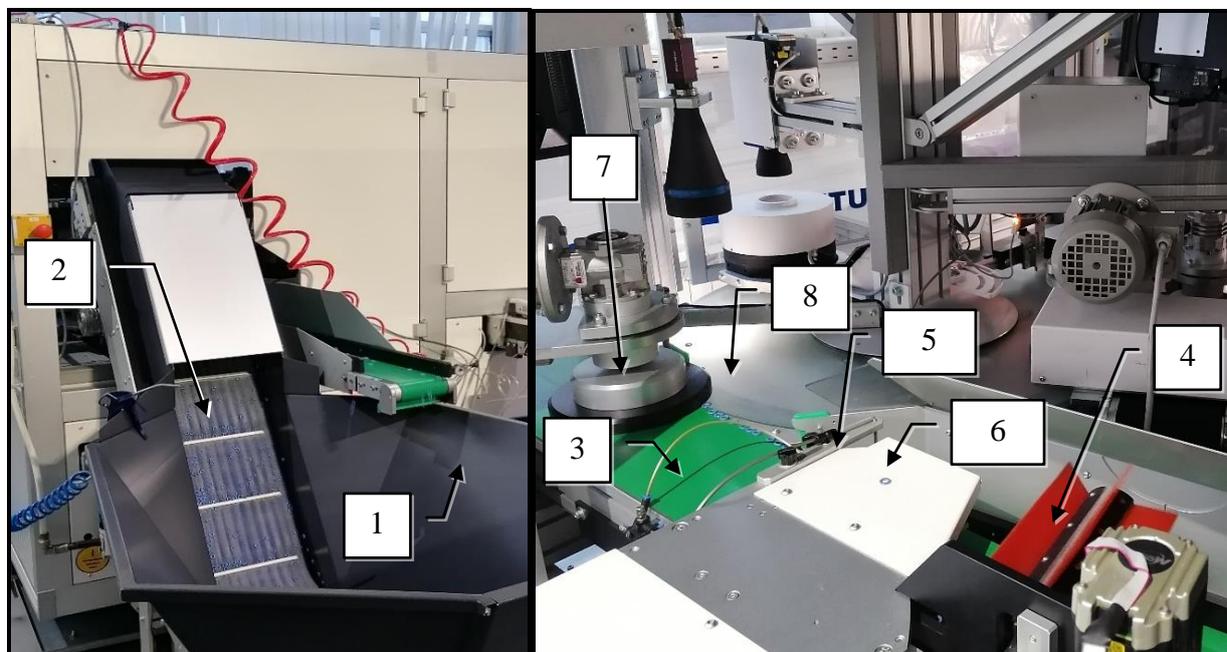


Рис. 3. Узлы оптической машины *ScrappiX*:

- 1 – бункер; 2 – внешний питатель; 3 – питательный конвейер; 4 – щетка загрузки конвейера;  
5 – регулятор воздушных потоков; 6 – отсекатель; 7 – дефлектор стеклянной пластины;  
8 – стеклянный стол.

Она представляет собой автоматическую оптическую систему разбраковки изделий. Принцип действия (разбраковки) – сличение действительных измеренных значений с цифровым образом изделий, заложенных в память машины. Работа машины предусматривает предварительное формирование электронной библиотеки (каталога) цифрового образа исследуемых деталей и определяемых несоответствий.

Детали, не прошедшие контроль, сдуваются направленной струей сжатого воздуха в тару для повторного контроля (ручного) на исправимые и неисправимые несоответствия.

Производительность и работоспособность машинной разбраковки намного выше разбраковки ручной. Так, для проверки крупной партии деталей машину *ScrappiX* можно оставить работающей круглосуточно, требуется лишь загрузить программу и запустить цикл. В отличие от этого операторы-контролёры работают намного медленнее, только в одну смену и с перерывами. Кроме того, возникает нестабильность результатов измерений из-за того, что операторы-контролеры быстро устают от монотонной работы, их внимание рассеивается и это приводит к ошибкам.

## Выводы

Автоматизация процессов, совмещённая с использованием новых технологий и современного высокопроизводительного оборудования, позволяет повысить качество изделий путём отсева несоответствующих образцов, значительно сокращает время контроля продукции посредством предварительной её разбраковки и облегчает сам процесс.

Для достижения необходимой стабильности и производительности процессов, наладка надёжной работы оборудования в первоначальный период нуждается в экспериментальной валидации, а также в наполнении библиотек программного обеспечения справочными или практическими результатами.

После внедрения автоматизированного оборудования некоторые операции всё равно требуют привлечения ручного труда, но в гораздо меньшем масштабе и с меньшими затратами, что отмечают и другие авторы [15].

## Список литературы

1. Таха Х.А. Введение в исследование операций. – М.: Вильямс, 2001. – 912 с.
2. Эшби У.Р. Введение в кибернетику / под ред. В.А. Успенского. – 4-е изд. – М.: Либриком, 2009. – 432 с.
3. Бородина Н.А. Критерии оценки эффективности нововведений в транспортной отрасли // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). – 2011. – Т. 2, № 4(8). – С. 35–39.
4. Управление качеством: учебник / под ред. С.Д. Ильенковой. – М.: Юнити-Дана, 2013. – 287 с.
5. Величко М.В., Ефимов В.А., Зазнобин В.М. Экономика инновационного развития. Управленческие основы экономической теории: монография. – М.: Директ-Медиа, 2015. – 649 с.
6. Гартфельдер В.А., Кокишин П.Л., Секлетина Л.С. Анализ уровня автоматизации предприятий // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2022. – Т. 9, № 3-4. – С. 13–19.
7. Вумек Дж., Джонс Д. Бережливое производство: как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании. – 8-е изд. – М.: Альпина паблишер, 2014. – 472 с.
8. Гартфельдер В.А., Григорьев В.С., Секлетина Л.С. Контроль качества непрерывного потока продукции // Современные технологии в машиностроении и литейном производстве:

материалы I международной научно-практической конференции, Чебоксары, 22–24 октября 2015 г. – Чебоксары: Изд-во ЧГУ им. И.Н. Ульянова, 2015. – С. 265–270.

9. *Васильев С.А., Федорова А.А., Алексеев В.В.* Метод измерения профиля поверхности мехатронным профилографом с параллельным управлением приводами датчиков // Измерительная техника. – 2021. – № 12. – С. 22–28.

10. Применение FMEA-технологии для определения и исправления дефектов отливок в машиностроении / В.А. Гартфельдер, И.Е. Илларионов, О.В. Китова, Л.С. Секлетина, И.А. Стрельников // Литейщик России. – 2017. – № 6. – С. 18–22.

11. *Smith K.T.* Predictive Operational Performance (PrOPer) Model // Contemporary Ergonomics. Proceedings of the International Conference on Contemporary Ergonomics, UK, London, Apr. 2009. – New York: Taylor & Francis, 2009. – P. 263–271.

12. Научные исследования: методика проведения // Национальная библиотека Беларуси: сайт. – Минск, 2006–2024. – URL: <https://www.nlb.by/content/bibliotekaryam/nauchnye-issledovaniya-metodika-provedeniya/index.php> (дата обращения 01.04.2024).

13. *Байдаков Д.И., Байдакова Н.В., Комарова Л.Ю.* Метрологическая оценка качества резинотехнических изделий // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2020. – Вып. 8. – С. 256–262.

14. *Борисов М.А., Лимонов С.Е.* Совершенствование конструкции роботизированного сборочно-сортировочного стенда // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2023. – Т. 10, № 1-2. – С. 44–50.

15. *Лутц Р.А.* 8 законов Крайслер: законы бизнеса, которые сделали Chrysler одной из самых успешных в мире автомобильных корпораций. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2004. – 293 с.

## QUALITY CONTROL OF RUBBER PRODUCTS

**Gartfelder V.A.**, Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: harvik48@list.ru

**Sekletina L.S.**, Senior Lecturer, e-mail: larsek@list.ru

**Borisov M.A.**, Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: borisovmgou@mail.ru

I.N. Ulianov Chuvash State University, 15 Moskovsky Prospekt, Cheboksary, 428015, Russian Federation

### Abstract

In modern technology, products made from elastic and combined materials are widely used. Control of size, geometry and quality during the production of such products is associated with known difficulties. This is due to the physical and mechanical properties of the controlled products. The elasticity and pliability of elastic materials requires different testing methods and types of testing equipment than traditional methods for testing solid materials. Pliable materials do not allow accurate recording of linear dimensions when measured with instruments with rigid contact surfaces. It is necessary to use non-contact measurement methods, such as optical ones. New measuring and automated sorting equipment allows us to intensify control operations, increase the reliability of measurement results, and facilitate the process of control and sorting of products. The paper discusses examples of control of mechanical rubber goods (*MRG*). The positive effect of using new equipment, implementing new technologies and measuring instruments, as well as automating operations is shown.

### Keywords

automation, rubber products, dimensions, measurements, control, quality, research.

УДК 621.9

**СОЗДАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ПРОЦЕССА ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ  
МАТЕРИАЛОВ**

*Д.В. ЛОБАНОВ, доктор техн. наук, профессор  
О.С. РАФАНОВА, аспирант  
И.Н. ЦВЕТКОВ, магистрант  
Л.А. ИВАНОВА, ст. преподаватель  
(ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары)*

**Лобанов Д.В.** – 428015, г. Чебоксары, пр-т Московский, 15,  
Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова,  
*e-mail: lobanovdv@list.ru*

Лезвийная обработка полимерных композиционных материалов является одним распространенных методов обработки поверхностей для получения необходимой формы и качества изделий. Однако данный метод имеет ряд особенностей и недостатков, его необходимо применять с учетом особенностей материала и требований конкретного производства. Для определения оптимальных условий и требований к лезвийной обработке полимерных композиционных материалов необходимо создание экспериментальной установки, которая позволила бы исследовать данный вид обработки. В связи с этим, целью данной работы является создание экспериментальной установки для исследования процесса лезвийной обработки полимерных композиционных материалов специальным (лезвийным) инструментом с целью повышения организационно-технологической подготовки производства изделий из композитов. Исследование лезвийной обработки на экспериментальной установке путем проведения эмпирических исследований с варьируемыми входными параметрами позволит выявить рекомендации для реализации эффективной обработки. Это позволит расширить возможности применения полимерных материалов в качестве конструкционных материалов и повысить эффективность организационно-технологической подготовки производства изделий с использованием лезвийного инструмента.

**Ключевые слова:** инструментальный материал, качество обработки, лезвийная обработка, полимерные композиты, режимы резания, режущий инструмент, экспериментальная установка.

**Введение**

Изготовление изделий из полимерных композиционных материалов – процесс трудоемкий и требующий специальных методов обработки для достижения высоких качественных показателей готового изделия. Полимерные композиты могут подвергаться различным методам механической обработки, которые применяются и для изготовления деталей из металлов. Согласно ранее проведенным исследованиям, преимуществом при обработке полимерных композитов обладает лезвийная обработка, гарантирующая требуемое качество сопрягаемых поверхностей [1-7]. Но резание композиционных

материалов имеет свои особенности и отличается от резания традиционных металлических материалов. Применение закономерностей и рекомендаций по резанию металлов не всегда применимы для обработки полимерных композиционных материалов. Трудности лезвийной обработки полимерных композиционных материалов заключаются в высоком росте новой номенклатуры материалов, которая влечет за собой проблемы в конструкторской и технологической подготовке производства из таких материалов. Главным недостатком при обработке таких материалов является применение инструментов, которые сконструированы для обработки заготовок из металла. Исследования показывают, что применение таких инструментов не позволяет получать поверхности требуемого качества и на поверхности как детали, так и инструмента могут возникать дефекты в виде сколов и трещин. Этого можно избежать с помощью применения специализированного инструмента, отличного своими геометрическими параметрами и качеством режущего лезвия от инструмента для обработки металлов. Специализированный инструмент для обработки композиционных материалов должен быть оснащен инструментальными материалами с повышенными эксплуатационными и физико-механическими свойствами. Кроме применения специализированного инструмента необходимо определение рациональных условий реализации этого процесса. Исходя из вышесказанного, необходимо провести исследование процесса лезвийной обработки для выявления рациональных условий реализации технологий обработки полимерных композиционных материалов.

В связи с этим, **целью данной работы** является создание экспериментальной установки, для исследования процесса лезвийной обработки полимерных композиционных материалов специальным (лезвийным) инструментом с целью повышения организационно-технологической подготовки производства изделий из композитов.

### **Методика экспериментального исследования**

Опираясь на ранее изученный материал [8-13], нам необходимо обеспечить соблюдение определенных условий резания полимерных композитов:

1. Рациональный выбор инструментального материала для специализированного инструмента, конструкции и оптимальных геометрических параметров инструмента и качественное режущее лезвие.
2. Выбор рациональных числовых значений режимов резания.
3. Обеспечение безопасных условий реализации процесса резания.
4. Обработка резанием полимерных композиционных материалов без применения смазочно-охлаждающих жидкостей.

При выборе инструментального материала следует учитывать его твердость, стойкость к износу, теплостойкость и другие физико-механические свойства. Геометрические параметры инструмента, такие как угол заточки, радиус закругления и толщина режущей кромки, также играют важную роль в процессе обработки композитных материалов.

Для достижения оптимальных результатов при обработке композиционных материалов необходимо учитывать их специфические характеристики, например, направление волокон, структуру и твердость. Также важно учитывать требования к окончательному качеству поверхности и точности обработки. В связи с этим, важно использовать инструмент с

режущей частью, более заостренной, чем по сравнению с резанием металлических материалов, что позволяет гарантировать качественную обработку композиционных материалов.

Важно подбирать оптимальные числовые значения режимов обработки, такие как значения скорости резания, подачи и глубины резания, чтобы минимизировать тепловые воздействия на материал и предотвратить его деформацию и возможное разрушение. При выборе рациональных режимов резания для обработки композиционных материалов, необходимо учитывать рекомендации ранее проведенных исследований [14-17]. В качестве критериев эффективности можно выбрать производительность и качество обработанной поверхности. При этом производительность будет определяться исходя от значения стойкости инструмента, которая в свою очередь будет определяться величиной фаски износа задней поверхности  $h_3$ .

Исследования показывают, что для достижения параметров эффективности обработки композиционных материалов необходимо обеспечить максимально высокие числовые значения скорости резания и подачи, которые характерны для чистовой обработки полимерных композитов [16-19].

В процессе обработки как полимерных композиционных материалов, так и металлов в зоне резания возникает большое количество теплоты. Но в связи с низкой теплопроводностью композиционных материалов большая часть теплоты в процессе механической обработки уходит именно в инструмент. Наличие такого свойства, как водопоглощение у большинства композиционных материалов не позволяет применять охлаждающие жидкости в процессе лезвийной обработки. Смазочно-охлаждающие жидкости могут проникать через поверхностные дефекты материала вглубь, тем самым вызывая появление структурных повреждений, и снижает прочностные параметры материала. Альтернативой СОЖ для охлаждения заготовок в процессе резания из полимерных композиционных материалов является сжатый воздух. Сжатый воздух направляется непосредственно в зону резания и одновременно обеспечивает отвод стружки. Несоблюдение данных рекомендаций ведет к ухудшению технологических показателей процесса обработки полимерных композиционных материалов. Мелкие частички стружки могут проникать в микронеровности инструмента и самой детали. Также рассеивание пыли и стружки загрязняет воздух, что очень опасно и вредно для здоровья человека. В связи с этим, необходимо предусмотреть на оборудовании наличие надежного устройства для удаления стружки и одновременного охлаждения зоны резания.

### Результаты и обсуждение

В качестве исходного оборудования для создания экспериментальной установки выбирается вертикально-фрезерный обрабатывающий центр *HAAS VM-3*. т.к. он отвечает требованиям по скорости, подаче, глубине резания, имеет высокую точность позиционирования и возможность управления с использованием системы ЧПУ. Основные технические характеристики станка представлены в таблице.

Таблица

## Технические характеристики вертикально-фрезерного обрабатывающего центра VM-3

Наименование	Параметры
Габаритные размеры станка, мм (д×ш×в)	3785×3429×3150
Масса ориентировочная, кг	6940
Тип устройства	HAAS
Максимальные допустимые усилия по осям, кН (x×y×z)	18,2×18,2×18,2
Величина рабочих перемещений по осям, мм (x×y×z)	1016×660×635
Размеры рабочей поверхности стола, мм (д×ш)	1372×635
Максимальная частота вращения шпинделя, об/мин	12 000
Мощность шпинделя, кВт	22,4
Крутящий момент, Нм	122
Исполнение инструментального магазина	бокового типа
Параметры управления ЧПУ	G-коды

Для закрепления заготовки в качестве оснастки применяется вакуумный стол. Вакуум надежно фиксирует заготовку и не позволяет ей сдвинуться с места под воздействием сил резания. В зависимости от степени разрежения, поверхность вакуумного стола может иметь прижимную силу до одного килограмма на квадратный сантиметр поверхности. Вакуумные столы могут быть разделены на зоны, которые можно включать и выключать с помощью клапанов, что является одним из преимуществ вакуумных столов, т.к. это дает возможность обрабатывать детали любой формы и разного размера. При необходимости можно обрабатывать детали площади которых меньше площади стола, за счет закрытия «лишних» отверстий в столе, чтобы обеспечить достаточный для получения вакуума уровень герметичности. Вакуумный стол является удобным и быстрым способом закрепления заготовок из полимерных композиционных материалов, т.к. нет необходимости в фиксации заготовок различными зажимами.

Вакуумный стол подсоединен к вакуумному насосу с ресивером с помощью надежного и гибкого шланга, который позволяет создавать вакуум в заданной системе. Ресивер позволяет накапливать вакуум в период работы насоса и позволяет ему реже включаться в работу. Вакуумные насосы с ресивером используются для создания вакуума при закреплении заготовок на станке.

Для удаления пыли и стружки из зоны резания доукомплектовываем дополнительно отсасывающим промышленным пылесосом циклонного типа *WDRM 276M*. Промышленный пылесос *WDRM 276M* предназначен для сбора жидкости или сухой пыли. В пылесосе имеется два вакуумных агрегата, которые размещены в прочном пластиковом корпусе. Пылесос не производит много шума при работе благодаря специальной звукоизоляционной прокладке на корпусе. Для создания вытяжки и соединения с пылесосом используется гофра труба ПВХ со стальным армированием, которая оснащается щеткой-насадкой на корпус шпинделя. Щетка-насадка изготовлена из пластика и имеет разборную конструкцию корпуса. Легкосъемная часть с щетиной позволяет без демонтажа корпуса щетки со шпинделя производить замену рабочего инструмента и при необходимости работать без щетины. Такие устройства помогают поддерживать чистоту рабочего места, предотвращают попадание пыли в воздух и минимизируют риск забивания оборудования. Кроме того, использование отсасывающих устройств способствует улучшению условий труда и безопасности на производстве.

Схема компоновки экспериментальной установки для исследования процесса лезвийной обработки полимерных композиционных материалов представлена на рисунке 1.

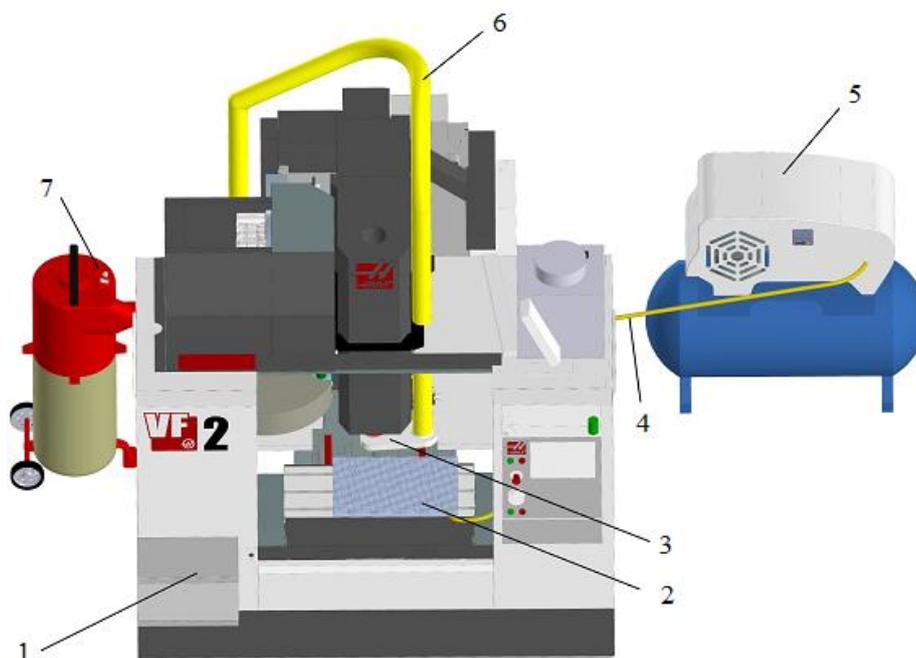


Рис. 1. Схема экспериментального стенда для исследования процесса лезвийной обработки полимерных композиционных материалов:

- 1 – станок с ЧПУ; 2 – вакуумный стол; 3 – щетка насадка; 4 – вакуумный шланг; 5 – вакуумный насос с ресивером; 6 – стружкоотводящая гофра-труба; 7 – пылесос промышленный циклонного типа

## Вывод

Создание экспериментальной установки для исследования процесса лезвийной обработки полимерных композиционных материалов требует комплексного подхода, начиная от анализа требований и выбора оборудования, и заканчивая настройкой и оптимизацией процесса работы установки. Создание такого стенда позволяет проводить исследования при безопасных и варьируемых условиях и режимах обработки. В качестве критериев эффективности исследуемой системы могут выступать качество, производительность, экономичность обработки, работоспособность режущего инструмента. Варьируемыми входными параметрами при исследовании системы выступают числовые значения режимов резания, геометрические параметры инструмента.

Следующим шагом планируется проведение на стенде эмпирических исследований влияния вышеуказанных режимов на качество обработки разных марок полимерных композиционных материалов и влияния режимов и условий обработки, геометрических параметров лезвия на работоспособность режущего инструмента, оснащенного различными марками инструментальных материалов. Результаты данных исследований будут иметь практическое значение для производителей, применяющих полимерные композиционные материалы в своей деятельности. Это позволит выявить рекомендации для реализации эффективной лезвийной обработки полимерных композиционных материалов и достичь требуемого качества изделий из них. Тем самым, планируется расширить возможности применения полимерных композитов в качестве конструкционных материалов и повысить эффективность организационно-технологической подготовки производства изделий с использованием лезвийного инструмента.

## Список литературы

1. *Лобанов Д.В.* Разработка и реализация технологических методов создания, изготовления и выбора фрезерного инструмента для эффективной обработки композиционных неметаллических материалов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.07. – Новосибирск, 2013. – 411 л.
2. *Макаров В.Ф., Мешкас А.Е., Ширинкин В.В.* Исследование процессов механической обработки деталей авиационно-космической техники из новых композиционных материалов // Новые материалы и технологии в машиностроении. – 2015. – № 22. – С. 14–22
3. *Лобанов Д.В., Владимирова Н.А., Рафанова О.С.* Особенности процесса лезвийной обработки полимерных композиционных материалов и формообразования режущего инструмента // Электрофизические методы обработки в современной промышленности: материалы IV международной научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Пермь, 14–15 дек. 2020 г. – Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2021. – С. 141–144.
4. *Мешкас А.Е., Макаров В.Ф., Ширинкин В.В.* Технологии, позволяющие повысить эффективность обработки композиционных материалов методом фрезерования // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2016. – № 8-2. – С. 291–299.
5. *Yanyushkin A.S. Rychkov D.A.* The Process of Composite Materials Machining Cutting Tools Profiling // Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 206. – P. 944–949. – DOI: 10.1016/j.proeng.2017.10.576.
6. *Рычков Д.А. Янюшкин А.С.* Технология механической обработки композиционных материалов. – Братск: Изд-во БрГУ, 2017. – 224 с.
7. *Мозговой Н.И., Марков А.М.* Исследование процесса формирования показателей качества отверстий в деталях из стеклопластика // Ползуновский вестник. – 2009. – № 1-2. – С. 284–287
8. Особенности фрезерования полимерных композиционных материалов / А.С. Янюшкин, Д.А. Рычков, Д.В. Лобанов [и др.] // Системы. Методы. Технологии. – 2013. – № 2 (18). – С. 88–90.
9. *Лобанов Д.В., Янюшкин А.С., Рычков Д.А.* Технологические методы изготовления и выбора режущего инструмента для фрезерования композиционных материалов на полимерной основе // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. – 2015. – Т. 15, № 1. – С. 35–46.
10. *Лобанов Д.В., Янюшкин А.С.* Технология инструментального обеспечения производства изделий из композиционных неметаллических материалов. – Старый Оскол: Тонкие наукоемкие технологии, 2012. – 296 с.
11. *Лобанов Д.В., Рафанова О.С., Владимирова Н.А.* Оценка экономичности лезвийной обработки композиционных материалов // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2021. – Т. 8, № 3-4. – С. 30–35.
12. Автоматизация конструкторско-технологической подготовки производства на основе синхронного подхода / В.Ф. Макаров, В.Р. Туктамышев, С.В. Масленков [и др.] // Наукоемкие технологии в машиностроении. – 2014. – № 9 (39). – С. 35–39
13. *Макаров В.Ф., Волковский А.А., Сабирзянов А.И.* Повышение производительности и качества обработки композиционных материалов на основе выбора и рационального применения абразивного инструмента // Наукоемкие технологии в машиностроении. – 2020. – № 9 (111). – С. 40–48. – DOI: 10.30987/2223-4608-2020-9-40-48.
14. *Rychkov D.A., Yanyushkin A.S.* The methodology of calculation of cutting forces when machining composite materials // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 142. – P. 12088. – DOI: 10.1088/1757-899X/142/1/012088.

15. Исследование процесса фрезерования стеклопластиков / Е.Ю. Лапенков, С.А. Катаева, С.В. Гайст [и др.] // Вестник алтайской науки. – 2015. – № 3-4 (25-26). – С. 39–44.
16. Конструкции фрез для обработки стеклопластиков / С.А. Катаева, А.М. Марков, П.О. Черданцев [и др.] // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2016. – № 3. – С. 307–312.
17. *Мозговой Н.И., Марков А.М., Мозговая Я.Г.* Проектирование операций изготовления отверстий в деталях из стеклопластика // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2012. – № 1 (54). – С. 45–49.
18. *Рычков Д.А., Янюшкин А.С.* Способ повышения эффективности производства изделий из полимерных композитов // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2016. – № 3 (72). – С. 23–30. – DOI: 10.17212/1994-6309-2016-3-23-30.
19. Повышение эффективности обработки высокопрочных композиционных материалов / А.С. Янюшкин, В.Ю. Попов, Н.П. Петров, Д.А. Рычков // *Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки*. – 2013. – Т. 1. – С. 146–149.

## CREATION OF AN EXPERIMENTAL SETUP FOR THE STUDY OF THE PROCESS OF EDGE CUTTING MACHINING OF POLYMER COMPOSITE MATERIALS

**Lobanov D.V.**, D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: lobanovdv@list.ru

**Rafanova O.S.**, Post-graduate Student, e-mail: olesya-karamaeva89@mail.ru

**Csvetkov I.N.**, Graduate student, e-mail: mcw40120apec@bk.ru

**Ivanova L.A.**, Senior Lecturer, e-mail: i-luda13@mail.ru

I.N. Ulianov Chuvash State University, 15 Moskovsky Prospekt, Cheboksary, 428015, Russian Federation

### Abstract

Edge cutting machining of polymer composite materials is one of the most common methods of surface processing to obtain the required shape and quality of products. However, this method has a number of features and disadvantages; it should be used taking into account the characteristics of the material and the requirements of a particular production. The optimal conditions and requirements for edge cutting machining of polymer composite materials can be determined using a new experimental setup that would allow the study of this type of processing. In this regard, the purpose of this work is to create an experimental setup for studying the process of edge cutting machining of polymer composite materials with a special (edge) tool in order to improve the organizational and technological preparation of the production of composite products. Studying edge cutting machining in an experimental setup by conducting empirical studies with varying input parameters will identify recommendations for implementing effective machining. This will expand the possibilities of using polymer materials as structural materials and increase the efficiency of organizational and technological preparation for the production of products using edge tools.

### Keywords

tool material, processing quality, edge cutting machining, polymer composites, cutting modes, cutting tools, experimental setup.

УДК 621.9-114

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПОСОБА ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ ХОДОВОГО  
ВИНТА НА МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕМ ОБОРУДОВАНИИ, ОБЪЕДИНЯЮЩЕМ  
ПОВЕРХНОСТНО-ТЕРМИЧЕСКУЮ И МЕХАНИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКИ\***

*В.Ю. СКИБА, канд. техн. наук, доцент  
С.С. ПАПКО, аспирант  
К.А. ТИТОВА, ст. преподаватель  
И.С. ЮЛУСОВ, аспирант  
Е.Е. РОЖНОВ, аспирант  
А.С. ПОПКОВ, аспирант  
(НГТУ, г. Новосибирск)*

**Папко С.С.** – 630073, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20,  
Новосибирский государственный технический университет,  
*e-mail*: papko.2017@stud.nstu.ru

При изготовлении многих деталей требуется выполнение как механической обработки, так и закалки. Такие операции как правило выполняются на разных участках. Повышение эффективности производства таких деталей можно достичь путем интеграции в металлорежущее оборудование дополнительных операций. **Цель работы** заключается в рассмотрении способов упрочнения для дальнейшей интеграции на стандартное металлорежущее оборудование. **Теория.** В теоретической части рассмотрены особенности каждого предполагаемого метода. Результаты и обсуждения. Рассмотрены способы поверхностного упрочнения ходового винта нестандартизированного технологического оборудования экспериментальных станций синхротронного излучения. Представлены схемы обработки профиля ходовой резьбы при разных вариантах поверхностного упрочнения. **В результате** анализа наиболее рациональным был выбран метод высокоэнергетического нагрева токами высокой частоты (ВЭН ТВЧ). Полученные результаты послужат основанием для дальнейшего проектирования гибридного оборудования.

**Ключевые слова:** термическая обработка, гибридное оборудование, точение, высокоэнергетический нагрев токами высокой частоты, лазер, плазма, ходовой винт.

**Введение**

Металлорежущее оборудование является ключевым элементом в процессе производства деталей, и его эффективность напрямую влияет на общую производительность и конкурентоспособность предприятия [1 - 10]. Использование традиционных методов обработки может быть недостаточно эффективным из-за необходимости выполнения отдельных операций на разных участках, что увеличивает время обработки и стоимость изделий. Одним из способов повышения эффективности металлорежущих станков является совмещение разных видов обработки [11 - 19]. В частности, совмещение операций точения и термической обработки поверхности может повысить производительность при производстве.

---

\* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-29-00945, <https://rscf.ru/project/23-29-00945/>

Одной из деталей, требующих при производстве как механическую, так и термическую обработку является ходовой трапецеидальный винт, к которому предъявляются требования износостойкости профиля резьбы. Данная деталь применяется в механизмах настройки оборудования экспериментальных станций синхротронного излучения «Микрофокус», «Структурная диагностика» и «XAFS-спектроскопия и магнитный дихроизм», работающих в центре коллективного пользования «Сибирском кольцевом источнике фотонов» (ЦКП «СКИФ») [20, 21] (рис. 1).

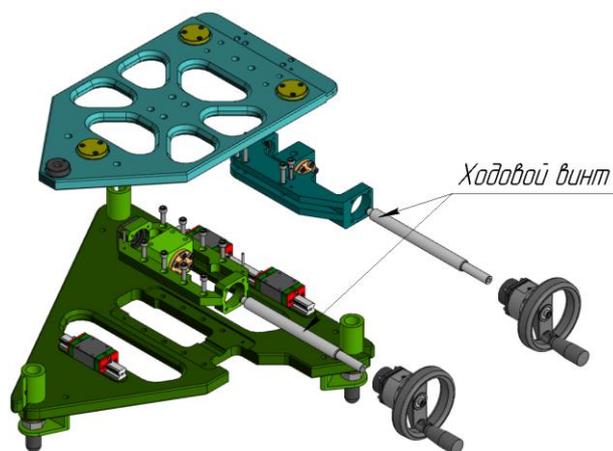


Рис. 1. Механизм настройки

Поскольку типовой технологический процесс изготовления ходового винта, включает нарезание резьбы с последующей закалкой [22], то наиболее эффективным будет совмещение этих операций на базе стандартного технологического оборудования.

Обычный способ закалки ходового винта заключается в использовании традиционного ТВЧ, при котором ходовой винт проходит полностью через индукционную катушку. Однако, как было отмечено в исследовании [23], при таком способе закалки возникают неравномерности упрочнения профиля винта: магнитные силовые линии и индукционный ток преимущественно возникают в тонком слое поверхности винта и плотность индукционного тока в области вершины профиля более высокая, чем на дне. По этой причине для улучшения качества упрочнения боковых сторон профиля ходового винта будет актуально рассмотреть альтернативные источники нагрева: лазерный, плазменный, электронно-лучевой и ВЭН ТВЧ.

**Цель работы** – проанализировать способы поверхностного упрочнения и выбрать наиболее рациональный для дальнейшего совмещения операций термической и механической обработки на одном технологическом оборудовании. Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

1. Проанализировать методы поверхностного упрочнения;
2. Рассмотреть схемы термической обработки ходового винта при использовании различных источников энергии.

## Теория

Указанные выше способы поверхностного упрочнения, имеют общие отличия от других способов – большие скорости нагрева и охлаждения. Это приводит к образованию мелкодисперсной структуры мартенсита, обеспечивающей высокую прочность, твердость и износостойкость поверхности.

При выборе оптимального метода поверхностного упрочнения для интеграции в стандартное технологическое оборудование необходимо учитывать следующие:

- 1) Условия эксплуатации упрочняемого изделия;
- 2) Трудность интеграции;
- 3) Деформации обрабатываемого изделия;
- 4) Производительность термической обработки;
- 5) Коэффициент полезного действия
- 6) Занимаемое интегрированным технологическим оборудованием место;
- 7) Стоимость оборудования для осуществления термической обработки.

Рассматриваемые источники концентрированной энергии могут быть разбиты на две группы:

1. Поверхностные источники – источники, при использовании которых, металл нагревается за счет теплопередачи между поверхностью детали и средой (среди рассматриваемых методов это лазер и плазма). В таком случае скорость нагрева зависит от степени теплопередачи.

2. Объемные источники – источники, при использовании которых, металл нагревается за счет генерации тепла непосредственно в самой детали на некоторой глубине (среди рассматриваемых методов это электронно-лучевой способ и ВЭН ТВЧ). В таком случае скорость нагрева зависит от плотности подаваемой энергии.

Для лазерного способа закалки характерна обработка без изоляции деталей в вакууме. При лазерной обработке отсутствует последующее рентгеновское излучение от образца [24]. Недостатком лазерной обработки можно считать трудности при работе с деталями сложной формы из-за изменения фокусного расстояния, что приводит к потерям энергии, достигающей поверхности заготовки. Так же недостатком является стоимость лазерного оборудования – она выше по сравнению с оборудованием для плазменной или индукционной обработки при той же мощности. Из-за быстрого нагрева при лазерной закалке существует риск перегрева, если параметры лазера не контролируются должным образом.

Для плазменного способа закалки свойственна дешевизна оборудования, которая требует на порядок меньше капитальных вложений в оборудование по сравнению с лазерным или электронно-лучевым упрочнением и в два раза ниже на эксплуатационные затраты [25 - 39]. Так же средняя ширина закаленной зоны в значительно превышает возможности лазерной закалки при близкой к этому способу скорости нагрева. К недостаткам плазменной закалки относятся частичный отпуск в местах наложения закаленных полос, необходимость зачистки поверхности закаливаемых изделий от различных загрязнений (окалины, ржавчины, масла), необходимость принудительного охлаждения изделий малого диаметра и малой толщины для получения высокой твердости поверхности.

Для реализации электронно-лучевого метода требуется герметичная камера, в которой благодаря непрерывной работе вакуумных насосов обеспечивается высокая степень разрежения (до  $10^{-7}$  Па). Поскольку электроны не изменяют химических свойств твердого тела, то обработка ими в вакууме является существенным достоинством, так как при обработке не происходит химического загрязнения материала заготовки [40]. Так же электронно-лучевую закалку можно проводить и в атмосфере, выведя пучок электронов на воздух. Однако, чтобы обеспечить такую обработку потребуется значительно увеличить энергию выводимого пучка [41].

Для метода закалки ВЭН ТВЧ свойственна возможность автоматизации и интеграции практически в любую производственную линию, низкая стоимость работы и простота оборудования, отсутствие требований на использование защитных инертных газов или специальных атмосфер. Однако каждая деталь требует разработки отдельной конструкции нагревающего индуктора и охлаждающего спрейера, так же для каждой новой детали требуется некоторое время для определения параметров процесса и формы индуктора [40].

## Результаты и обсуждение

Подбор наиболее рационального варианта проводился путем анализа вышеперечисленных методов закалки по отношению к профилю закаляемой резьбы.

При использовании лазерного источника необходимо локализовать зону на боковой стороне, поскольку, чем больше площадь, по которой распределяется энергия, тем удельная мощность на поверхности меньше, так же наибольшая мощность обеспечивается при перпендикулярном расположении лазера к обрабатываемой поверхности. Однако в случае профиля резьбы соблюдение этих условий обеспечит закалку только вершины боковой поверхности профиля (рис. 2 а). Таким образом, для обеспечения термической обработки всего профиля резьбы необходимо повернуть лазер на  $30^\circ$  (рис. 2 б.). Поворот лазера приведет неравномерному распределению энергии по боковой поверхности.

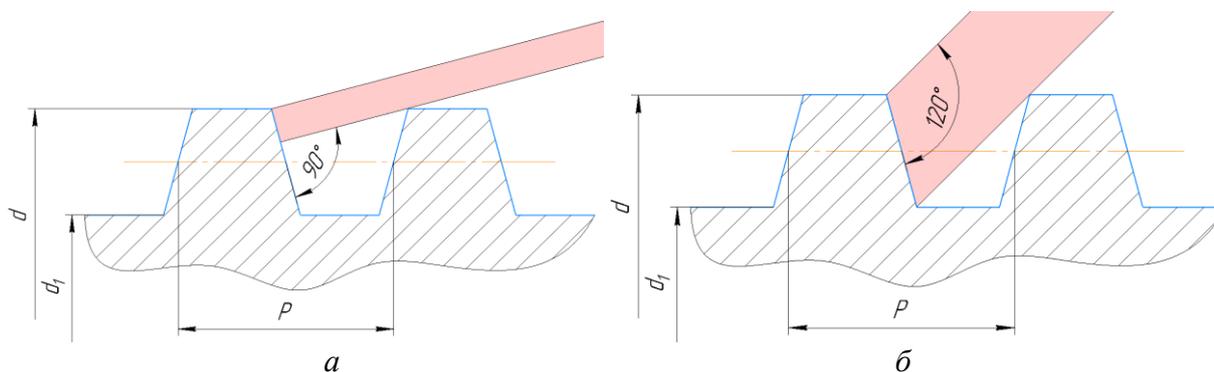


Рис. 2. Наибольшая обрабатываемая ширина лазерным лучом:

а – при перпендикулярном расположении к обрабатываемой поверхности, б – при наклоне лазерного луча к обрабатываемой поверхности

Поскольку необходимо фокусировать лазер в одной точке, нужно проводить несколько проходов, это неизбежно приведет к отпуску на границах закаляемых зон из-за температурного перераспределения. Увеличить область облучения лазером можно с помощью перемещения пятна лазера по стороне профиля резьбы с высокой частотой, однако это приведет к ещё большим потерям в мощности, учитывая наклон к обрабатываемой поверхности. Так же в таком случае потребуются проектирование и изготовление механизма, осуществляющего высокочастотное перемещение. Кроме того, лазер может обеспечить термическую обработку только одной стороны профиля. В таком случае нужно либо использовать два лазера, каждый из которых сфокусирован на свою боковую сторону, либо после окончания закалки по одной стороне, разворачивать лазер и проводить повторные проходы, но уже по другой стороне профиля резьбы.

Благодаря своей форме, плазменная струя может контактировать с обеими сторонами профиля резьбы (рис. 3 а), однако в этом же и заключается недостаток. Распределение тепла в осевом направлении плазменной струи неравномерно, чем ближе к соплу, тем выше температура, кроме того, чтобы обеспечить взаимодействие струи с боковыми сторонами необходимо опустить струю на некоторую глубину. В таком случае часть струи будет сталкиваться с вершинами профиля. Это может привести к оплавлению вершин резьбы, что недопустимо. Чтобы не допустить оплавления, необходимо снизить мощность струи, что в свою очередь не обеспечит должной термической обработки боковых сторон профиля. Если развернуть струю плазмы в направлении одной стороны профиля (рис. 3 б), то в таком случае распределение температуры по стороне профиля будет более равномерным, однако вершина будет расположена ближе к центру струи, из-за чего вероятность оплавления возрастает.

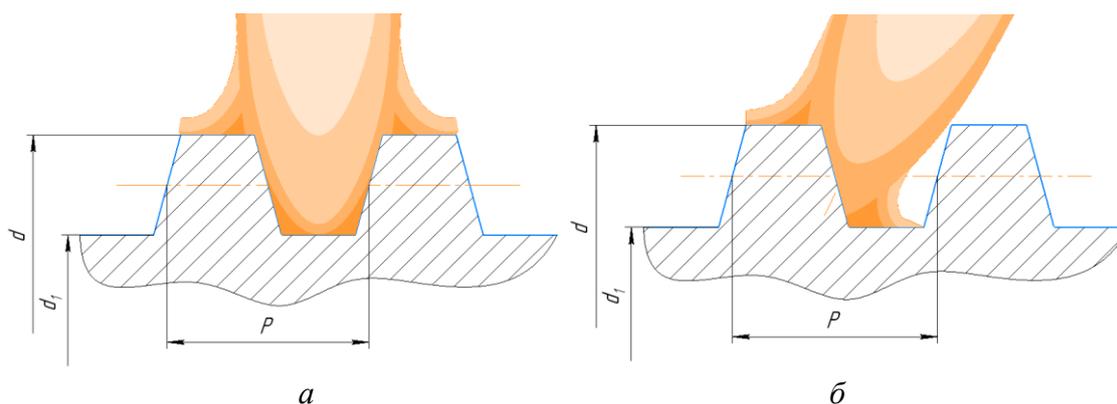


Рис. 3. Расположение плазменной струи:

а – перпендикулярно оси винта, б – под углом к оси винта

Применение электронно-лучевой обработки не целесообразно с точки зрения безопасности. При электронно-лучевой обработке в атмосфере, выделяется много озона, работа вблизи оборудования не представляется возможной, кроме того, при работе поднимается радиационный фон.

Для реализации поверхностной закалки с помощью ВЭН ТВЧ необходимо обеспечить зазор между индуктором и закаляемой поверхностью 0,1 – 0,2 мм (рис. 4) и переключить генератор на высокие частоты.

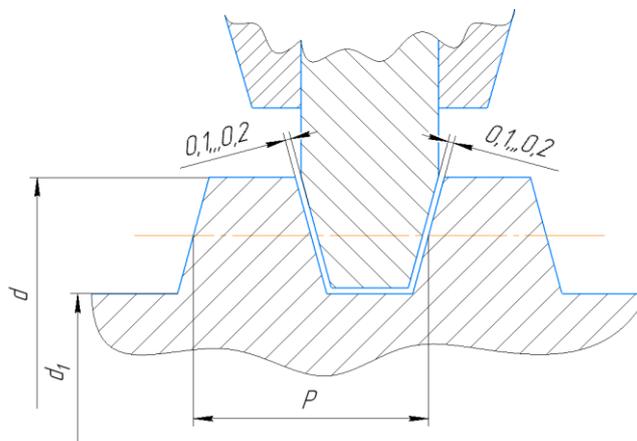


Рис. 4. Требуемые зазоры между индуктором и боковыми поверхностями

Достоинство метода закалки ВЭН ТВЧ заключается в том, что можно изготовить индуктор под обрабатываемую поверхность, и обеспечивать закалку сразу двух боковых поверхностей за один проход, что выгодно отличает данный метод от лазерной обработки, так же это приводит к легкой автоматизации процесса упрочнения. За счет локализации зоны нагрева уменьшаются деформации обрабатываемой детали. Так же к достоинству ВЭН ТВЧ, по сравнению с лазером, можно отнести возможность стандартных генераторов ТВЧ и меньшее занимаемое место источника энергии при той же мощности [42].

## Вывод

В работе были рассмотрены способы поверхностной термической обработки. В результате анализа методов поверхностной термической обработки наиболее рациональным

выбором является ВЭН ТВЧ. Метод ВЭН ТВЧ обеспечивает наибольшую равномерность обработки сразу двух боковых сторон профиля резьбы, что положительно влияет как на качество изготовления, так и на производительность. Относительно низкая стоимость, занимаемое место и доступность генераторов ТВЧ так же является весомым преимуществом. Полученные результаты являются базой для дальнейшего проектирования оборудования, объединяющего поверхностную термическую обработку и точение.

### Список литературы

1. *Yamazaki T.* Development of A Hybrid Multi-tasking Machine Tool: Integration of Additive Manufacturing Technology with CNC Machining // *Procedia CIRP*. – 2016. – Vol. 42. – P. 81–86. – DOI: 10.1016/j.procir.2016.02.193.
2. *Макаров В.М.* Комплексированные технологические системы: перспективы и проблемы внедрения // *Ритм: Ремонт. Инновации. Технологии. Модернизация*. – 2011. – № 6 (64). – С. 20–23.
3. *Макаров В.М., Лукина С.В.* Уникальная синергия гибридных станков // *Ритм: Ремонт. Инновации. Технологии. Модернизация*. – 2016. – № 8. – С. 18–25.
4. *Yanyushkin A.S., Lobanov D.V., Arkhipov P.V.* Research of influence of electric conditions of the combined electro-diamond machining on quality of grinding of hard alloys // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2015. – Vol. 91. – P. 012051. – DOI: 10.1088/1757-899X/91/1/012051.
5. Formation of high-carbon abrasion-resistant surface layers when high-energy heating by high-frequency currents / *N.V. Plotnikova, V.Yu. Skeebe, N.V. Martyushev, R. A. Miller, N.S. Rubtsova* // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2016. – Vol. 156. – P. 012022. – DOI: 10.1088/1757-899X/156/1/012022.
6. Influence of W addition on microstructure and mechanical properties of Al-12%Si alloys / *A. Zyкова, N. Martyushev, V. Skeebe, D. Zadkov, A. Kuzkin* // *Materials*. – 2019. – Vol. 12, iss. 6. – P. 981. – DOI: 10.3390/ma12060981.
7. *Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier: the 41 CIRP Conference on Manufacturing Systems, Japan, Tokyo, 26–28 May 2008* / eds.: *M. Mitsuishi, K. Ueda, F. Kimura*. – London: Springer-Verlag Publ., 2008. – 556 p. – DOI: 10.1007/978-1-84800-267-8. – eBook ISBN 978-1-84800-267-8.
8. Hybrid processes in manufacturing / *B. Lauwers, F. Klocke, A. Klink, A.E. Tekkaya, R. Neugebauer, D. Mcintosh* // *CIRP Annals*. – 2014. – Vol. 63, iss. 2. – P. 561–583. – DOI: 10.1016/j.cirp.2014.05.003.
9. *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.
10. Research of influence electric conditions combined electro-diamond processing by on specific consumption of wheel / *D.V. Lobanov, P.V. Arkhipov, A.S. Yanyushkin, V.Yu. Skeebe* // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2016. – Vol. 142. – P. 12081. – DOI 10.1088/1757-899X/142/1/012081.
11. *Иванцовский В.В., Скиба В.Ю.* Гибридное металлообрабатывающее оборудование. Технологические аспекты интеграции операций поверхностной закалки и абразивного шлифования. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2019. – 348 с. – ISBN 978-5-7782-3988-3.
12. *Скиба В.Ю.* Гибридное технологическое оборудование: повышение эффективности ранних стадий проектирования комплексированных металлообрабатывающих станков // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2019. – Т. 21, № 2. – С. 62–83. – DOI: 10.17212/1994-6309-2019-21.2-62-83.

13. Sun S., Brandt M., Dargusch M.S. Thermally enhanced machining of hard-to-machine materials—A review // *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. – 2010. - Vol. 50. - Iss. 8. - P. 663-680. - DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2010.04.008
14. Brecher C., Özdemir D. Integrative production technology: theory and applications. – [S. l.]: Springer International Publ., 2017. – 1100 p. – ISBN 978-3-319-47451-9.
15. Yamazaki T. Development of a hybrid multitasking machine tool: integration of additive manufacturing technology with CNC machining // *Procedia CIRP*. – 2016. – Vol. 42. – P. 81–86. – DOI: 10.1016/j.procir.2016.02.193.
16. 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.
17. Baek J.-T., Woo W.-S., Lee C.-M. A study on the machining characteristics of induction and laser-induction assisted machining of AISI 1045 steel and Inconel 718 // *Journal of Manufacturing Processes*. – 2018. – Vol. 34, pt. A. – P. 513–522. – DOI: 10.1016/j.jmapro.2018.06.030.
18. Xu M., Wei R., Li C., Ko T.J. High-frequency electrical discharge assisted milling of Inconel 718 under copper-beryllium bundle electrodes // *Journal of Manufacturing Processes*. – 2023. – Vol. 85. – P. 1116–1132. – DOI: 10.1016/j.jmapro.2022.12.026.
19. Скиба В.Ю., Иванцовский В.В. Гибридное металлообрабатывающее оборудование: повышение эффективности технологического процесса обработки деталей при интеграции поверхностной закалки и абразивного шлифования: монография. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2018. – 312 с. – ISBN 978-5-7782-3690-5.
20. A concept of «materials» diffraction and imaging beamline for SKIF: Siberian circular photon source / V.A. Chernov, I.A. Bataev, M.V. Gorbachev, D.A. Krasnorutskiy, V.S. Naumkin, M.A. Korsunsky [et al.] // *Review of Scientific Instruments*. – 2023. – Vol. 94, iss. 1. – P. 013305. – DOI: 10.1063/5.0103481.
21. Проект двухзеркального монохроматора на диапазон энергий фотонов 8-36 keV для синхротрона «СКИФ» / Н.И. Чхало, С.А. Гарахин, И.В. Малышев, В.Н. Полковников, М.Н. Торопов [и др.] // *Журнал технической физики*. – 2022. – Т. 92, № 8. – С. 1261–1266. – DOI 10.21883/JTF.2022.08.52794.100-22.
22. Боярский Л.Т., Коришиков Н.П. Технология станкостроения. – М.: Машиностроение, 1959. – 372 с.
23. Numerical simulation and experimental investigation on the induction hardening of a ball screw / H. Li, L. He, K. Gai, R. Jiang, C. Zhang, M. Li // *Materials and Design*. – 2015. – Vol. 87. – P. 863–876. – DOI: 10.1016/j.matdes.2015.08.094.
24. Маслов А.Р. Высокоэффективные технологии и оборудование современных производств: учебное пособие. – Москва: ИТО, 2012. – 209 с.
25. Плазменная закалка сталей – технология машиностроения XXI в. / А.А. Бердников, Г.В. Алисова, М.А. Филиппов [и др.] // *Урал индустриальный. Бакунинские чтения. Индустриальная модернизация Урала в XVIII-XXI вв.: материалы 11 Всероссийской научной конференции, Екатеринбург, 26–27 сент. 2013 г.* – Екатеринбург: Изд-во УМЦ УПИ, 2013. – Т. 2. – С. 21–26.
26. 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.
27. Increase in wear resistance of nickel plasma coatings under traditional and combined treatment conditions / V.V. Ivancivsky, V.Yu. Skeebea, E.A. Zverev, N.V. Vakhrushev, K. A. Parts // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2018. – Vol. 194. – P. 042006. – DOI: 10.1088/1755-1315/194/4/042006.

28. Defining efficient modes range for plasma spraying coatings / E.A. Zverev, V.Y. Skeebea, P.Y. Skeebea, I.V. Khlebova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2017. – Vol. 87. – P. 082061. – DOI: 10.1088/1755-1315/87/8/082061.
29. Research into properties of wear resistant ceramic metal plasma coatings / V.V. Ivancivsky, V.Y. Skeebea, E.A. Zverev, N.V. Vakhrushev, K.A. Parts // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 327. – P. 042042. – DOI 10.1088/1757-899X/327/4/042042.
30. Determining the Residual Stresses in High-Chromium Cast Iron Plasma Coatings / E.A. Zverev, V.Y. Skeebea, V.V. Ivancivsky, N.V. Vakhrushev, K.A. Parts // Key Engineering Materials. – 2022. – Vol. 909. – P. 94–100. – DOI 10.4028/p-2a9z55.
31. Laminar plasma jet surface hardening of the U75V rail steel: Insight into the hardening mechanism and control scheme / D. Guo, D. Yu, P. Zhang, Y. Duan, B. Zhang, Y. Zhong, J. Qiu // Surface and Coatings Technology. – 2020. – Vol. 394. – P. 125857. – DOI: 10.1016/j.surfcoat.2020.125857.
32. Single-phase Si-modified  $\beta$ -NiAl coating formed by irradiation of Al-Si plasma: Microstructure and oxidation behavior / W. Wang, Y. Lei, J. Wu, Y. Cheng, M. Shen, S. Zhu // Corrosion Science. – 2024. – Vol. 233. – P. 112055. – DOI: 10.1016/j.corsci.2024.112055.
33. Material system and tribological mechanism of plasma sprayed wear resistant coatings: overview / R. Gao, Y. Huang, X. Zhou, G. Ma [et al.] // Surface and Coatings Technology. – 2024. – Vol. 483. – P. 130785. – DOI: 10.1016/j.surfcoat.2024.130758.
34. Microstructure development of plasma sprayed dual-phase high entropy ceramic coating derived from spray dried and induction plasma spheroidized powder / F. Li, P. He, G. Li, L. Ye [et al.] // Ceramics International. – 2024. – DOI: 10.1016/j.ceramint.2024.04.193 (В печати)
35. *Detao L., Dejun K.* Effects of laser remelting on microstructure and tribological properties of plasma-sprayed Fe<sub>45</sub>Mn<sub>35</sub>Co<sub>10</sub>Cr<sub>10</sub> high-entropy alloy coating // Surface and Coatings Technology. – 2023. – Vol. 474. – P. 130082. – DOI: 10.1016/j.surfcoat.2023.130082.
36. *Gaur A., Pandel U., Sharma S.* A study of investigating the effects of variables and assessing the efficiency of air plasma spray as a coating technique // Materials Today: Proceedings. – 2023. – DOI: 10.1016/j.matpr.2023.11.096. (В печати)
37. *Prashar G., Vasudev H.* High-temperature oxidation behavior of direct-aged bimodal Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-reinforced Inconel 625 plasma sprayed composite coatings // Surface and Coatings Technology. – 2023. – Vol. 475. – P. 130156. – DOI: 10.1016/j.surfcoat.2023.130156.
38. Ablation resistance and mechanism of niobium carbide coatings fabricated by plasma spraying / W. Li, Y. Yang, H. Liang, X. Zhang, Y. Wang, J. Gou // Surface and Coatings Technology. – 2023. – Vol. 472. – P. 129934. – DOI: 10.1016/j.surfcoat.2023.129934.
39. Microstructure of tungsten coatings effect on deuterium plasma-driven permeation through RAFM steel / K. Yang, Y. Xu., X.-P. Tian, L.-M. Luo, J.-J. Ni, Y.-C. Wu // Nuclear Materials and Energy. – 2023. – Vol. 37. – P. 101557. – DOI: 10.1016/j.nme.2023.101557.
40. Индукционная и лазерная термическая обработка стальных изделий: учебное пособие / М.В. Майсурадзе, М.А. Рыжков, О.Ю. Корниенко, С.И. Степанов. – Екатеринбург: Изд-во УрФУ, 2022. – 92 с. – ISBN 978-5-7996-3544-2.
41. *Полетика И.М., Голковский М.Г., Перовская М.В.* Электронно-лучевая закалка поверхностного слоя стали вне вакуума // Физическая мезомеханика. – 2006. – Т. 9, № S 1. – С. 181–184.
42. *Иванцовский В. В., Скиба В.Ю., Степанова Н.П.* Методика назначения рациональных режимов поверхностной закалки сталей с использованием концентрированных источников нагрева // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2006. – № 4 (33). – С. 17–19.

---

---

**DETERMINATION OF THE METHOD OF SURFACE HARDENING OF THE LEAD SCREW ON METAL-CUTTING EQUIPMENT COMBINING SURFACE-THERMAL AND MECHANICAL PROCESSING \***

**Skeeba V.Y.**, Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: skiba@corp.nstu.ru

**Papko S.S.**, Post-graduate Student, e-mail: papko.2017@stud.nstu.ru

**Titova K.A.**, Senior Lecturer, e-mail: krispars@yandex.ru

**Yulusov I.S.**, Post-graduate Student, e-mail: yulusov.2017@stud.nstu.ru

**Rozhnov E.E.**, Post-graduate Student, e-mail: rozhnov.2017@stud.nstu.ru

**Popkov A.S.**, Post-graduate Student, e-mail: popkov.2016@stud.nstu.ru

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

### Abstract

In the manufacture of many parts, both machining and quenching are required. Such operations are usually performed at different sites. Increasing the production efficiency of such parts can be achieved by integrating additional operations into metal cutting equipment. **The purpose of the work** is to consider hardening methods for further integration into standard metal-cutting equipment. **Theory.** In the theoretical part, the features of each proposed method are considered. **Results and discussion.** The methods of surface hardening of the lead screw of non-standardized technological equipment of experimental synchrotron radiation stations are considered. The schemes of processing the profile of the running thread with different variants of surface hardening are presented. As a result of the analysis, the method of high-energy heating with high-frequency currents (*HEH HFC*) is chosen as the most rational. The results obtained will serve as the basis for further design of hybrid equipment.

### Keywords

Heat treatment, hybrid equipment, turning, high-energy heating by high frequency currents, laser, plasma, lead screw.

---

\* This research was funded by Russian Science Foundation project N 23-29-00945, <https://rscf.ru/en/project/23-29-00945/>

УДК 621.9-114

**ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ РАЗРАБОТКИ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
ГИБРИДНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА БАЗЕ  
БЕСЦЕНТРОВОШЛИФОВАЛЬНОГО СТАНКА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ  
ТИПА ШТИФТ\****В.Ю. СКИБА, канд. техн. наук, доцент**Е.Е. РОЖНОВ, аспирант**В.В. ИВАНЦИВСКИЙ, доктор техн. наук, профессор**С.С. ПАПКО, аспирант**И.С. ЮЛУСОВ, аспирант**А.С. ПОПКОВ, аспирант**(НГТУ, г. Новосибирск)*

**Рожнов Е.Е.** – 630073, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20,  
Новосибирский государственный технический университет,  
*e-mail: rozhnov.2017@stud.nstu.ru*

В работе рассматривается необходимость создания и результативность применения гибридного технологического оборудования, основанного на бесцентровошлифовальном станке, для производства деталей типа штифт.

В качестве рассматриваемого объекта выбраны стержень и различные штифты конструкции ответственного механизма точной настройки кристаллов двухкристального монохроматора. Цель работы – оценить, насколько оправдано и продуктивно применение гибридного технологического оборудования, созданного на базе бесцентровошлифовального станка, для изготовления деталей типа штифт. В теоретическом разделе рассмотрен типовой технологический процесс изготовления штифта, сделан вывод о том, что основные потери производительности возникают из-за действий над заготовками, не связанными с удалением материала и сокращение времени между этапами обработки может быть достигнуто путем объединения оборудования для процессов механической и термической обработки. Исходя из анализа методов поверхностной обработки металлов, представленного в разделе «Результаты и обсуждение», подобран наиболее рациональный способ для закалки штифтов – высокоэнергетический нагрев токами высокой частоты ВЭН ТВЧ. В результате исследования было сделано заключение о необходимости модернизации оборудования, поскольку это способствует повышению его производительности.

**Ключевые слова:** бесцентровое шлифование, высокоэнергетический нагрев токами высокой частоты ВЭН ТВЧ, гибридное оборудование.

**Введение**

В настоящее время в связи с общей тенденцией к интенсивному развитию отрасли отечественного машиностроения и промышленности все более часто поднимается вопрос о повышении производительности оборудования [1-10]. Выпуск изделий – тел вращения с

---

\* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-29-00945, <https://rscf.ru/project/23-29-00945/>

последующей закалкой требует их изготовления на одном станке и дальнейшей закалки на другом оборудовании. В этом случае происходит потеря производительности предприятия из-за необходимости транспортировки изделий между технологическим оборудованием. Таким образом существует потребность в разработке нового оборудования и методов обработки металлов, которые позволили бы сократить время обработки, уменьшить затраты на электроэнергию и повысить качество изделий [11 - 18].

Одним из направлений решения этой задачи является совмещение бесцентрового шлифования и поверхностной закалки путем высокоэнергетического нагрева токами высокой частоты ВЭН ТВЧ таких деталей на одном оборудовании, что позволяет решить перечисленные проблемы – сократить время обработки, уменьшить затраты на электроэнергию и повысить качество изделий.

Примерами изделий, требующих закалку после шлифования для работы в сверхвысоком вакууме ( $10^{-8}$  мбар), являются стержень и различные штифты конструкции Механизма точной настройки кристаллов двухкристального монохроматора Экспериментальной станции 1-1 «Микрофокус» центра коллективного пользования «Сибирского кольцевого источников фотонов» (рис. 1) [19, 20].

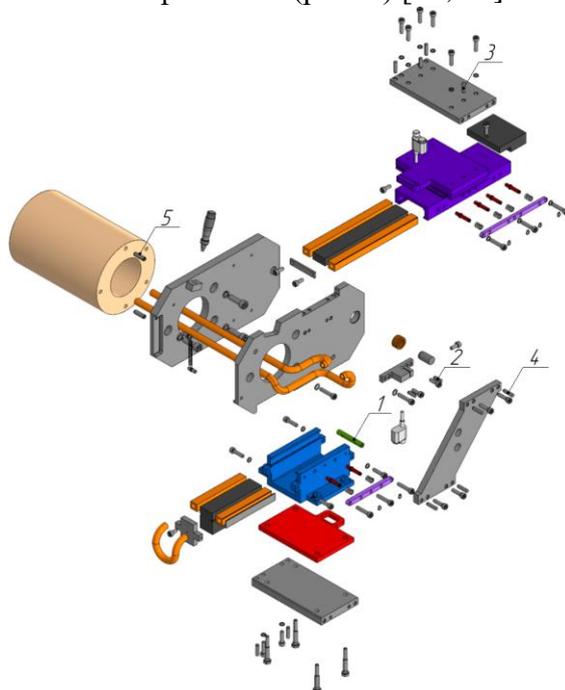


Рис. 1. Элементы механизма настройки:

- 1 – стержень, 2 – штифт 4×12 ГОСТ 24296-93, 3 – штифт 4×14 ГОСТ 24296-93,  
4 – штифт 4×16 ГОСТ 24296-93, 5 – штифт 5×16 ГОСТ 10774-80

Данные элементы широко применяются в конструкциях оборудования станций «Сибирского кольцевого источников фотонов» ЦКП «СКИФ», в которых важна обработка шлифованием и термообработка для выдерживания условий сверхвысокого вакуума ( $10^{-8}$  мбар).

**Цель исследования** — дать оценку, оправданности и продуктивности применения гибридного технологического оборудования, созданного на базе бесцентровошлифовального станка, для изготовления деталей типа штифт, применяемых в ответственных механизмах высоковакуумных устройств.

Для осуществления поставленной цели необходимо решить ряд задач:

1. Рассмотреть деталь представител, ее назначение и выдвигаемые требования к ее изготовлению;

2. Рассмотреть типовой технологический процесс изготовления;
3. Составить модернизированный технологический процесс на основе анализа возможности объединения стандартного оборудования для шлифования и термической обработки;
4. Проанализировать и определить наиболее подходящий метод термической обработки;

## Теория

Конструкция стержня представлена на рисунке 2.

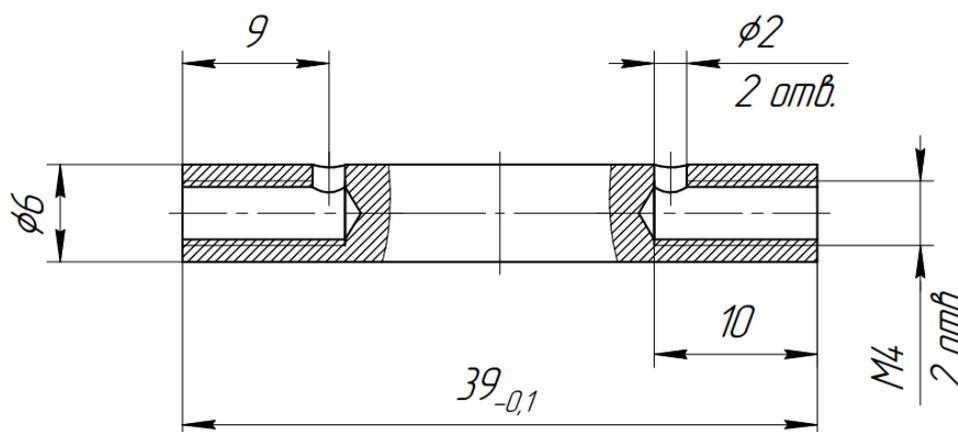


Рис. 2. Стержень

Типовой технологический процесс изготовления штифтов включает в себя следующие операции [21]:

- 005 Слесарная (отрезная);
- 010 Предварительная термообработка;
- 015 Токарно-винторезная обработка (внешняя проточка с припуском под шлифовку и выточка центров);
- 020 Сверление отверстий (осуществляется для стержня);
- 025 Закалка;
- 030 Отпуск;
- 035 Бесцентрово-шлифовальная обработка;
- 040 Контроль качества.

Рассмотрев данный техпроцесс, можно сделать вывод о том, что основные потери производительности возникают из-за действий над заготовками, не связанными с удалением материала. Например, между слесарными и токарными операциями необходимо провести предварительную термообработку, что увеличивает время на перемещения заготовки между производственными цехами. Для сокращения времени, затрачиваемого на транспортировку, необходимо грамотно спланировать расположение производственных цехов и оборудования. Однако такой подход не всегда осуществим, поэтому необходимы дополнительные решения. Сокращение времени между этапами механической и термической обработки может быть достигнуто путем объединения оборудования для этих процессов. Например, можно совместить операции предварительного шлифования и закалки с отпуском на одном оборудовании (рис. 3).

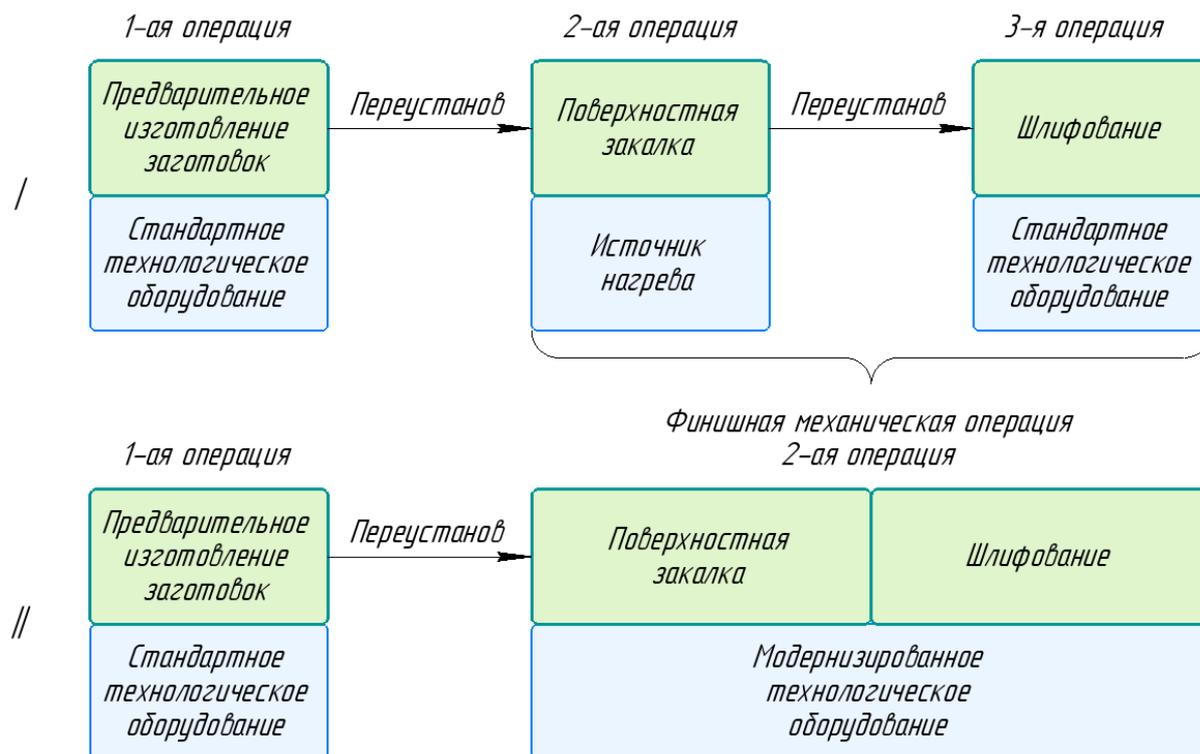


Рис. 3. Типовой технологический процесс при использовании:  
I – стандартного оборудования, II – модернизированного оборудования

### Результаты и обсуждение

В качестве методов термической обработки металлов традиционно используются две группы источников закалки. К поверхностным источникам относятся лазерная и плазменная обработка, в то время как электронно-лучевая обработка и закалка ВЭН ТВЧ относятся к объемным.

1. Лазерная термическая обработка: осуществляется с помощью лазерного луча, который быстро нагревает и обрабатывает поверхность металла.

Лазерная закалка обычно используется для деталей, которые работают в условиях трения, поскольку она существенно увеличивает износостойкость и улучшает свойства поверхности деталей. Наилучшие результаты по износостойкости имеют поверхности с сеткой закаленных лазером дорожек, занимающей 20...25% всей площади для перлитных чугунов и 5...10 % для ферритных чугунов [22, 23].

Достоинства метода:

- Можно провести частичную закалку только в определённой области поверхности, что позволяет избежать проблемы рассеивания поля, характерной для индукционной закалки.
- При такой термообработке воздействию подвергаются только внешние слои изделия, а свойства его центральной части остаются без изменений.
- Обрабатываемые детали не деформируются благодаря малому поглощению тепла.
- Можно подвергать термической обработке механически обработанные изделия сложной формы без повреждения их поверхностей.
- В ходе лазерного процесса происходит самозакаливание, поэтому нет необходимости в использовании охлаждающей жидкости или ванны.

- Изделия из стали с низким содержанием углерода могут подвергаться термической обработке [24].

Недостатки метода:

- Возможность обработки изделий сложной конфигурации можно отнести как достоинства, так и недостатком из-за изменения фокусного расстояния, что приводит к потерям энергии, достигающей поверхности заготовки.

2. Плазменная обработка: использует сжатую плазменную струю для нагрева и обработки металла.

Плазменной закалкой упрочняются тонкие (0,1 – 0,9 мм), иногда более толстые (до 2 – 3 мм) слои изделий, изготавливаемых из низколегированных сталей с содержанием углерода 0,4% и выше, а также и перлитных чугунов. Анализ практического использования лазерных, электронно-лучевых и плазменных технологий для поверхностной термообработки железоуглеродистых сплавов показал, что все три метода дают примерно одинаковые результаты по структуре, твёрдости, микротвёрдости и износостойкости. Однако лазерная и электронно-лучевая обработка требуют значительно больших инвестиций в оборудование, а эксплуатационные расходы на эти процессы в два раза выше, чем при плазменной закалке [25 - 39].

Преимуществами плазменной закалки по сравнению с другими методами являются:

- Низкие температуры нагрева деталей;
- Большая глубина упрочненного слоя;
- Отсутствие потребности в специальных дополнительных химических препаратов или веществ;
- Процесс осуществляется без применения охлаждающих сред;
- Простота, низкая стоимость, маневренность и компактность технологического оборудования;
- Процесс закалки возможно автоматизировать
- Недостатками процесса являются:
- Частичный отпуск в местах наложения закаленных полос;
- Для получения высокой твердости поверхности изделий малого диаметра и малой толщины необходимо принудительное охлаждения изделия

3. Электронно-лучевая обработка: использует сфокусированный пучок электронов для нагрева и обработки металлической поверхности.

Метод электроннолучевой обработки (ЭЛО) основан на использовании тепла, выделяющегося при резком торможении потока электронов на поверхности обрабатываемой заготовки. При электроннолучевой обработке деталь помещают в герметическую камеру, в которой благодаря непрерывной работе вакуумных насосов обеспечивается высокая степень разрежения (до  $10^{-7}$  Па), что в свою очередь является недостатком и приводит к необходимости дополнительно переустановки заготовки и не позволит добиться автоматизации процесса изготовления штифтов [22, 40].

4. Термообработка с применением токов высокой частоты заключается в использовании высокочастотных электромагнитных полей для нагрева металлических деталей.

Индукционная термическая обработка применяется для поверхностного упрочнения деталей, таких как валы, оси и трубы. [23, 41]

Достоинства метода:

- Упрочнение детали можно проводить на ее отдельных участках;
- Процесс занимает мало времени;
- Возможно автоматизировать процесс и интегрировать практически в любую производственную линию;
- Возможно обеспечить малую, так и большую глубину упрочненного слоя;

- Поверхность детали почти не теряет углерод и не окисляется.
- Возможно осуществлять правки к неупрочненным частям детали;
- Низкая себестоимость работ;
- Хорошая повторяемость результатов;
- По сравнению с другими методами поверхностного упрочнения требует меньше энергозатрат;
- При проведении процесса нет необходимости в использовании специальных сред;
- Нет необходимости в тщательной очистке после закалки, потому что деталь охлаждают водой или полимерной средой, а не маслом.
- Процесс является экологически чистым.
- Недостатки метода:
- Для каждой детали необходимо разрабатывать особую конструкцию нагревающего индуктора и охлаждающего спрейера.
- Результаты зависят от марки и химического состава стали, что требует тщательного подбора режимов обработки. [24]

Проанализировав методы термической обработки можно сделать вывод, что каждый из этих методов имеет свои преимущества и недостатки. Выбор метода зависит от конкретных требований к процессу, типа металла и экономической эффективности.

Так как форма изготавливаемых деталей является телом вращения, наиболее рациональным способом закалки является поверхностная закалка путем высокоэнергетического нагрева токами высокой частоты ВЭН ТВЧ, в угоду малых массогабаритных размеров дополнительного оснащения станка, стоимости и доступности оборудования, скорости процесса, его мобильности и переналаживаемости. Например, при закалке ВЭН ТВЧ нет необходимости дополнительно вращать заготовку или источник нагрева, как того требуют лазерная, плазменная и электронно-лучевая виды обработки. Вращение заготовки можно осуществить несколькими способами:

- 1) зажим в заготовки в патроне,
- 2) укладка заготовки на вращающиеся валы.

Недостатком первого способа является неполная закалка заготовки, так как ее часть будет находиться в патроне. Во втором случае при нагревании заготовки также нагреваются и валы, что приводит усложнению отвода тепла с зоны контакта валов с заготовкой и увеличению габаритов. Более того при ЭЛО требуется вакуумная камера, что не позволяет избежать дополнительного переустановки.

Поскольку шлифовальные станки в парках металлорежущего оборудования заводов уже широко распространены, то наиболее целесообразно провести их модернизацию взамен проектирования или приобретения нового дорогостоящего оборудования.

Так как форма изготавливаемых деталей является телом вращения, наиболее рациональным способом закалки является поверхностная закалка путем высокоэнергетического нагрева токами высокой частоты ВЭН ТВЧ, в угоду малых массогабаритных размеров дополнительного оснащения станка, стоимости и доступности оборудования, скорости процесса, его мобильности и переналаживаемости.

## Выводы

Проведя анализ детали, ее технологического процесса изготовления, а также способов поверхностной закалки на конкретном оборудовании можно утверждать, что усовершенствование круглошлифовального бесцентрового станка путем совмещения поверхностной закалки и типового технологического процесса на одном оборудовании является перспективной задачей. По результатам анализа методов термической обработки,

оптимальным способом закалки является высокоэнергетический нагрев токами высокой частоты ВЭН ТВЧ таких деталей на одном оборудовании, что позволяет решить перечисленные проблемы – сократить время обработки исключив потребность в переустанове заготовки, уменьшить затраты на электроэнергию и повысить качество изделий.

### Список литературы

1. *Yanyushkin A.S., Lobanov D.V., Arkhipov P.V.* Research of influence of electric conditions of the combined electro-diamond machining on quality of grinding of hard alloys // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2015. – Vol. 91. – P. 012051. – DOI: 10.1088/1757-899X/91/1/012051.
2. *Макаров В.М.* Комплексируемые технологические системы: перспективы и проблемы внедрения // Ритм: Ремонт. Инновации. Технологии. Модернизация. – 2011. – № 6 (64). – С. 20–23.
3. *Макаров В.М., Лукина С.В.* Уникальная синергия гибридных станков // Ритм: Ремонт. Инновации. Технологии. Модернизация. – 2016. – № 8. – С. 18–25.
4. *Yamazaki T.* Development of A Hybrid Multi-tasking Machine Tool: Integration of Additive Manufacturing Technology with CNC Machining // Procedia CIRP. – 2016. – Vol. 42. – P. 81–86. – DOI: 10.1016/j.procir.2016.02.193.
5. Formation of high-carbon abrasion-resistant surface layers when high-energy heating by high-frequency currents / N.V. Plotnikova, V.Yu. Skeebe, N.V. Martyushev, R. A. Miller, N.S. Rubtsova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 156. – P. 012022. – DOI: 10.1088/1757-899X/156/1/012022.
6. Influence of W addition on microstructure and mechanical properties of Al-12%Si alloys / A. Zykova, N. Martyushev, V. Skeebe, D. Zadkov, A. Kuzkin // Materials. – 2019. – Vol. 12, iss. 6. – P. 981. – DOI: 10.3390/ma12060981.
7. Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier: the 41 CIRP Conference on Manufacturing Systems, Japan, Tokyo, 26–28 May 2008 / eds.: M. Mitsuishi, K. Ueda, F. Kimura. – London: Springer-Verlag Publ., 2008. – 556 p. – DOI: 10.1007/978-1-84800-267-8. – eBook ISBN 978-1-84800-267-8.
8. Hybrid processes in manufacturing / B. Lauwers, F. Klocke, A. Klink, A.E. Tekkaya, R. Neugebauer, D. Mcintosh // CIRP Annals. – 2014. – Vol. 63, iss. 2. – P. 561–583. – DOI: 10.1016/j.cirp.2014.05.003.
9. *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.
10. Research of influence electric conditions combined electrodiamond processing by on specific consumption of wheel / D.V. Lobanov, P.V. Arkhipov, A.S. Yanyushkin, V.Yu. Skeebe // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 142. – P. 12081. – DOI: 10.1088/1757-899X/142/1/012081.
11. *Иванцовский В.В., Скиба В.Ю.* Гибридное металлообрабатывающее оборудование. Технологические аспекты интеграции операций поверхностной закалки и абразивного шлифования. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2019. – 348 с. – ISBN 978-5-7782-3988-3.
12. *Скиба В.Ю.* Гибридное технологическое оборудование: повышение эффективности ранних стадий проектирования комплексируемых металлообрабатывающих станков // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2019. – Т. 21, № 2. – С. 62–83. – DOI: 10.17212/1994-6309-2019-21.2-62-83.

13. Brecher C., Özdemir D. Integrative production technology: theory and applications. – [S. l.]: Springer International Publ., 2017. – 1100 p. – ISBN 978-3-319-47451-9.
14. Yamazaki T. Development of a hybrid multitasking machine tool: integration of additive manufacturing technology with CNC machining // *Procedia CIRP*. – 2016. – Vol. 42. – P. 81–86. – DOI: 10.1016/j.procir.2016.02.193.
15. 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.
16. Baek J.-T., Woo W.-S., Lee C.-M. A study on the machining characteristics of induction and laser-induction assisted machining of AISI 1045 steel and Inconel 718 // *Journal of Manufacturing Processes*. – 2018. – Vol. 34, pt. A. – P. 513–522. – DOI: 10.1016/j.jmapro.2018.06.030.
17. Xu M., Wei R., Li C., Ko T.J. High-frequency electrical discharge assisted milling of Inconel 718 under copper-beryllium bundle electrodes // *Journal of Manufacturing Processes*. – 2023. – Vol. 85. – P. 1116–1132. – DOI: 10.1016/j.jmapro.2022.12.026.
18. Скиба В.Ю., Иванцовский В.В. Гибридное металлообрабатывающее оборудование: повышение эффективности технологического процесса обработки деталей при интеграции поверхностной закалки и абразивного шлифования: монография. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2018. – 312 с. – ISBN 978-5-7782-3690-5.
19. A concept of «materials» diffraction and imaging beamline for SKIF: Siberian circular photon source / V.A. Chernov, I.A. Bataev, M.V. Gorbachev, D.A. Krasnorutskiy, V.S. Naumkin, M.A. Korsunsky [et al.] // *Review of Scientific Instruments*. – 2023. – Vol. 94, iss. 1. – P. 013305. – DOI: 10.1063/5.0103481.
20. Проект двухзеркального монохроматора на диапазон энергий фотонов 8-36 keV для синхротрона «СКИФ» / Н.И. Чхало, С.А. Гарахин, И.В. Малышев, В.Н. Полковников, М.Н. Торопов [и др.] // *Журнал технической физики*. – 2022. – Т. 92, № 8. – С. 1261–1266. – DOI: 10.21883/ЖТФ.2022.08.52794.100-22.
21. Кукушкин И.В., Крушненко Г.Г. Технология изготовления штифтов из проволочной заготовки // *Решетневские чтения*. – 2014. – Т. 1, № 18. – С. 151–152.
22. Маслов А.Р. Высокоэффективные технологии и оборудование современных производств: учебное пособие. – Москва: ИТО, 2012. – 209 с.
23. Numerical simulation and experimental investigation on the induction hardening of a ball screw / H. Li, L. He, K. Gai, R. Jiang, C. Zhang, M. Li, // *Materials and Design*. – 2015. – Vol. 87. – P. 863–876. – DOI: 10.1016/j.matdes.2015.08.094.
24. Индукционная и лазерная термическая обработка стальных изделий: учебное пособие / М.В. Майсурадзе, М.А. Рыжков, О.Ю. Корниенко, С.И. Степанов. – Екатеринбург: Изд-во УрФУ, 2022. – 92 с. – ISBN 978-5-7996-3544-2.
25. Плазменная закалка сталей – технология машиностроения XXI в. / А.А. Бердников, Г.В. Алисова, М.А. Филиппов [и др.] // *Урал индустриальный. Бакунинские чтения. Индустриальная модернизация Урала в XVIII-XXI вв.: материалы 11 Всероссийской научной конференции, Екатеринбург, 26–27 сент. 2013 г.* – Екатеринбург: Изд-во УМЦ УПИ, 2013. – Т. 2. – С. 21–26.
26. 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.
27. Increase in wear resistance of nickel plasma coatings under traditional and combined treatment conditions / V.V. Ivancivsky, V.Yu. Skeebea, E.A. Zverev, N.V. Vakhrushev, K.A. Parts // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2018. – Vol. 194. – P. 042006. – DOI: 10.1088/1755-1315/194/4/042006.

28. Defining efficient modes range for plasma spraying coatings / E.A. Zverev, V.Y. Skeebea, P.Y. Skeebea, I.V. Khlebova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2017. – Vol. 87. – P. 082061. – DOI: 10.1088/1755-1315/87/8/082061.
29. Research into properties of wear resistant ceramic metal plasma coatings / V.V. Ivancivsky, V.Y. Skeebea, E.A. Zverev, N.V. Vakhrushev, K.A. Parts // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 327. – P. 042042. – DOI: 10.1088/1757-899X/327/4/042042.
30. Determining the Residual Stresses in High-Chromium Cast Iron Plasma Coatings / E.A. Zverev, V.Y. Skeebea, V.V. Ivancivsky, N.V. Vakhrushev, K.A. Parts // Key Engineering Materials. – 2022. – Vol. 909. – P. 94–100. – DOI 10.4028/p-2a9z55.
31. Laminar plasma jet surface hardening of the U75V rail steel: Insight into the hardening mechanism and control scheme / D. Guo, D. Yu, P. Zhang, Y. Duan, B. Zhang, Y. Zhong, J. Qiu // Surface and Coatings Technology. – 2020. – Vol. 394. – P. 125857. – DOI: 10.1016/j.surfcoat.2020.125857.
32. Single-phase Si-modified  $\beta$ -NiAl coating formed by irradiation of Al-Si plasma: Microstructure and oxidation behavior / W. Wang, Y. Lei, J. Wu, Y. Cheng, M. Shen, S. Zhu // Corrosion Science. – 2024. – Vol. 233. – P. 112055. – DOI: 10.1016/j.corsci.2024.112055.
33. Material system and tribological mechanism of plasma sprayed wear resistant coatings: Overview / R. Gao, Y. Huang, X. Zhou, G. Ma [et al.] // Surface and Coatings Technology. – 2024. – Vol. 483. – P. 130785. – DOI: 10.1016/j.surfcoat.2024.130758.
34. Microstructure development of plasma sprayed dual-phase high entropy ceramic coating derived from spray dried and induction plasma spheroidized powder / F. Li, P. He, G. Li, L. Ye, B. Zhang [et al.] // Ceramics International. – 2024. – DOI: 10.1016/j.ceramint.2024.04.193 (В печати)
35. *Detao L., Dejun K.* Effects of laser remelting on microstructure and tribological properties of plasma-sprayed Fe<sub>45</sub>Mn<sub>35</sub>Co<sub>10</sub>Cr<sub>10</sub> high-entropy alloy coating // Surface and Coatings Technology. – 2023. – Vol. 474. – P. 130082. – DOI: 10.1016/j.surfcoat.2023.130082.
36. *Gaur A., Pandel U., Sharma S.* A study of investigating the effects of variables and assessing the efficiency of air plasma spray as a coating technique // Materials Today: Proceedings. – 2023. – DOI: 10.1016/j.matpr.2023.11.096. (В печати)
37. *Prashar G., Vasudev H.* High-temperature oxidation behavior of direct-aged bimodal Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-reinforced Inconel 625 plasma sprayed composite coatings // Surface and Coatings Technology. – 2023. – Vol. 475. – P. 130156. – DOI: 10.1016/j.surfcoat.2023.130156.
38. Ablation resistance and mechanism of niobium carbide coatings fabricated by plasma spraying / W. Li, Y. Yang, H. Liang, X. Zhang, Y. Wang, J. Gou // Surface and Coatings Technology. – 2023. – Vol. 472. – P. 129934. – DOI: 10.1016/j.surfcoat.2023.129934.
39. Microstructure of tungsten coatings effect on deuterium plasma-driven permeation through RAFM steel / K. Yang, Y. Xu., X.-P. Tian, L.-M. Luo, J.-J. Ni, Y.-C. Wu // Nuclear Materials and Energy. – 2023. – Vol. 37. – P. 101557. – DOI: 10.1016/j.nme.2023.101557.
40. *Полетика И.М., Голковский М.Г., Перовская М.В.* Электронно-лучевая закалка поверхностного слоя стали вне вакуума // Физическая мезомеханика. – 2006. – Т. 9, № S 1. – С. 181–184.
41. *Иванцовский В. В., Скиба В.Ю., Степанова Н.П.* Методика назначения рациональных режимов поверхностной закалки сталей с использованием концентрированных источников нагрева // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2006. – № 4 (33). – С. 17–19.

---

---

**THE EXPEDIENCY OF DEVELOPING AND EFFICIENT USE OF HYBRID  
TECHNOLOGICAL EQUIPMENT BASED ON A CENTERLESS GRINDING MACHINE  
FOR THE MANUFACTURE OF PIN-TYPE PARTS \***

**Skeeba V.Y.**, Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: skiba@corp.nstu.ru

**Rozhnov E.E.**, Post-graduate Student, e-mail: rozhnov.2017@stud.nstu.ru

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

**Papko S.S.**, Post-graduate Student, e-mail: papko.2017@stud.nstu.ru

**Yulusov I.S.**, Post-graduate Student, e-mail: yulusov.2017@stud.nstu.ru

**Popkov A.S.**, Post-graduate Student, e-mail: popkov.2016@stud.nstu.ru

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

**Abstract**

The paper examines the need to create and the effectiveness of using hybrid technological equipment based on a centerless grinding machine for the production of pin-type parts. The object under consideration is the rod and various pins of the design of the responsible mechanism for fine-tuning the crystals of a double-crystal monochromator. *The purpose of the work* is to evaluate how justified and productive the use of hybrid technological equipment created on the basis of a centerless grinding machine for the manufacture of pin-type parts is. The *theoretical section* examines a typical technological process for manufacturing a pin, concluding that the main productivity losses arise from actions on workpieces that are not associated with material removal, and reducing the time between processing stages can be achieved by combining equipment for mechanical and heat treatment processes. Based on the analysis of methods of surface treatment of metals presented in the results and discussion section, the most rational method for hardening pins was selected. This method is high-energy heating with high-frequency currents (*HEH HFC*). As a result of the study, it was concluded that it is necessary to modernize the equipment, since this helps to increase its productivity.

**Keywords**

Centerless grinding, high-energy heating with high-frequency currents (HEH HFC), hybrid equipment.

---

\* This research was funded by Russian Science Foundation project N 23-29-00945, <https://rscf.ru/en/project/23-29-00945/>

УДК 621.9.029

**ПЕРСПЕКТИВЫ ПЕРЕОСНАЩЕНИЯ ПЛОСКОШЛИФОВАЛЬНОГО СТАНКА ЗГ71  
В ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ  
ИЗДЕЛИЙ ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*Д.В. ЛОБАНОВ, доктор техн. наук, профессор  
Е.А. ТЕРЕНТЬЕВ, аспирант  
О.С. РАФАНОВА, аспирант  
(ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары)*

**Лобанов Д.В.** – 428015, г. Чебоксары, пр-т Московский, 15,  
Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова,  
*e-mail: lobanovdv@list.ru*

В статье рассматриваются переоснащение плоскошлифовального станка в испытательный стенд для проведения финишной обработки различными технологическими способами. Рассмотрена модернизация привода главного движения с целью его бесступенчатого регулирования и увеличения максимальной скорости резания.

В настоящее время инструмент и технологии финишной абразивной обработки претерпели значительные изменения. В шлифовальном инструменте используются новые виды абразивов, связок, которые придают инструменту новые свойства. Современные инструмент и технологии финишной обработки позволяют использовать методы абразивной обработки с применением новых видов абразивов, при сочетании в зоне обработки традиционного шлифования с химическими, физическими, тепловыми, электрическими и другими видами воздействий. Все это влечет требования к использованию для обработки больших скоростей резания, чем традиционные.

Перспективы переоснащения оборудования видятся в использовании современных комбинированных методов шлифования, использование которых приводит к снижению контактных нагрузок, температур, приводящих к уменьшению засаливаемости поверхности абразивного инструмента. Это ведет к повышению качества режущей кромки минералокерамической пластины, улучшению режущей способности шлифовального круга. Использование таких методов положительно сказывается на повышении производительности и качества обработки.

**Ключевые слова:** абразивная обработка, бесступенчатое регулирование, инструментальные материалы, комбинированные методы, минералокерамика.

**Введение**

Качество обрабатываемой поверхности режущего инструмента из современных материалов имеет большое значение для инструментальной промышленности [1, 2]. В настоящее время в производстве режущего инструмента все чаще используются материалы на основе минералокерамики, порошковые материалы, композиционные материалы.

Так как материалы новые, процесс их обработки с целью получения высококачественных рабочих поверхностей еще находится в стадии разработки и часто базируется на опытных данных. Для исследования обрабатываемости необходимо

проведение исследований с целью получения высококачественных рабочих поверхностей при рациональных режимах обработки.

Для проведения экспериментов необходимо соответствующее оборудование [3, 4], которое должно позволить произвести обработку образца с необходимыми режимными характеристиками. Исследовательский стенд для проведения экспериментов должен работать в широком диапазоне регулирования частоты вращения шлифовального круга (привода главного движения).

**Цель работы** – создание экспериментальной установки для исследования финишных методов обработки высокопрочных и труднообрабатываемых материалов.

## Методика

Для создания экспериментального стенда за основу взят плоскошлифовальный станок 3Г71, так как данный станок имеет требуемую мощность, достаточный крутящий момент и надежное конструктивное исполнение. Однако скоростные характеристики привода главного движения плоскошлифовального станка 3Г71 являются недостаточными при проведении комбинированной обработки композиционных материалов, т.к. установлен нерегулируемый привод шлифовального круга.

Для проведения эксперимента по получению качественных параметров режущих кромок [5 - 8] необходимо провести обработку пластин различными способами: классическим методом шлифования [9], электрохимическим [10], комбинированным и др. методами [11 - 14]. Для этих целей желательно иметь ряд скоростей вращения или даже бесступенчатое регулирование привода шлифовального круга. Таким образом, необходимо проведение преобразования стандартного оборудования станка 3Г71 в испытательный стенд на его основе [15].

Для создания бесступенчатого регулирования в цепь питания асинхронного двигателя шлифовального круга предлагается ввести частотный преобразователь, позволяющий устанавливать значение числа оборотов электродвигателя от 20 до 2860 об/мин. Для увеличения диапазона бесступенчатого регулирования по его максимальному значению на шпинделе станка, можно применить два варианта преобразования. Первый - это смена шкивов ременной передачи, если произвести замену стандартного соотношения диаметров  $\varnothing 60/\varnothing 60$  на  $\varnothing 90/\varnothing 60$ , то передаточное отношение изменится с 1 на 1,5 и максимальное число оборотов на шпинделе вырастет с 2860 об/мин до 4290 об/мин. Кинематическая схема приведена на рисунке 1.

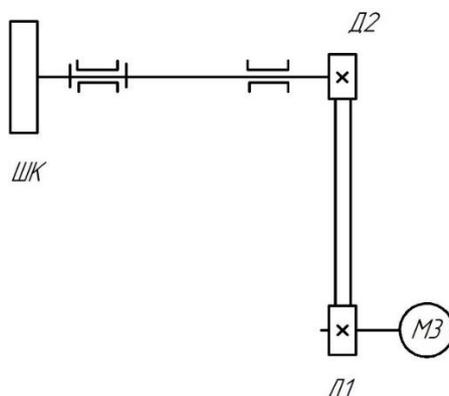


Рис. 1. Кинематическая схема привода главного движения:

М3 – электродвигатель главного движения АОЛ2 – 22, Д1 – шкив ременной передачи  $\varnothing 60$  мм, Д2 – шкив ременной передачи  $\varnothing 60$  мм, ШК – шлифовальный круг диаметром 300 мм

Второй вариант – перейти на диаметр инструмента, позволяющий при данных же оборотах увеличить скорость резания, то есть заменить стандартную шлифовальную оправку с посадочным диаметром 76 мм и рекомендованным диаметром круга 300 мм, на оправку из следующего в ряду посадочного диаметра равного 100 мм, предназначенную для установки кругов диаметром 400 мм [16]. Оба приема, проведенные на данном станке, позволят увеличить максимальную частоту вращения до 5575 об/мин, то есть практически увеличить максимальное число оборотов в два раза.

Для перехода на бесступенчатое регулирование оборотов используется преобразователь частоты (ПЧ) предназначенный для регулирования скорости вращения асинхронного двигателя (АД) с короткозамкнутым ротором, питающегося от трехфазной сети.

Наибольшее распространение получили ПЧ со звеном постоянного тока благодаря простоте силовых цепей и цепей управления и где регулирование скорости АД ниже номинальной производится по заданному линейному закону управления  $U/f$ . Блок-схема силовой части ПЧ со звеном постоянного тока приведена на рисунке 2.

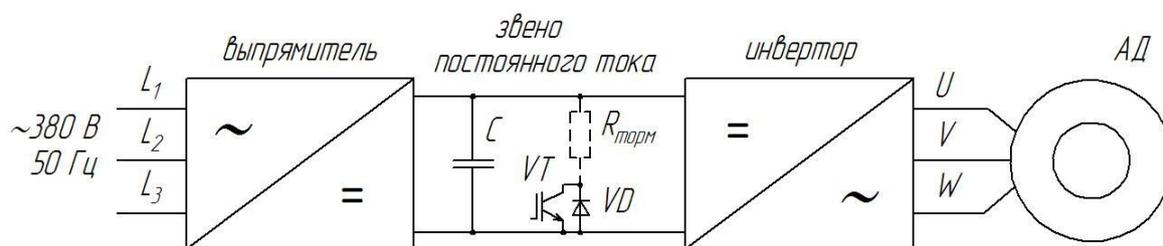


Рис. 2. Блок-схема силовой части ПЧ с звеном постоянного тока

Трехфазное сетевое напряжение  $\sim 380$  В и частотой 50 Гц поступает на вход выпрямителя, после выпрямителя поступает на звено постоянного тока, в состав которого входит блок конденсаторов (С), который сглаживает пульсации напряжения. При сетевом переменном напряжении  $\sim 380$  В значение напряжения на звене выпрямленного постоянного тока составляет  $= 540$  В. Далее постоянное напряжение поступает на инвертор.

В данной схеме инвертор – это устройство, преобразующее постоянное напряжение в трехфазное напряжение переменной амплитуды и переменной частоты.

В современных ПЧ с звеном постоянного тока используется принцип преобразования – широтно-импульсная модуляция (ШИМ). С помощью ШИМ обеспечивается широкий диапазон регулирования напряжения и частоты и форма выходного тока близкая к синусоидальной.

Для обеспечения безопасной остановки АД в конструкции ПЧ предусмотрен специальный узел сброса энергии, который состоит из дополнительного модуля *IJBT* (*VT* и *VD*) и резистора *R*. Модуль *IJBT* открывается при превышении напряжения на блоке конденсаторов (С) выше допустимого. Так обеспечивается «сброс» энергии в тормозной резистор *R*. Тормозной резистор *R* иногда бывает встроен в ПЧ, а иногда в состав ПЧ не входит, но для его установки на ПЧ выведены специальные клеммы. Тормозной резистор рассчитывается или выбирается по таблицам. Подобные преобразователи частоты нашли применение в токарных, шлифовальных, сверлильных станках.

Выбор ПЧ для привода шлифовального круга производился не только по мощности потребления двигателя, но и по потребляемому току [17]. В станке использован асинхронный двигатель АОЛ2 – 22: 2,2 кВт; 2860 об/мин; 220/380 В; 50 Гц.

Полная потребляемая мощность двигателя:

$$S_{номр} = \frac{\kappa \cdot P_{ном}}{\eta \cdot \cos\varphi} = \frac{1,05 \cdot 2,2}{0,83 \cdot 0,89} = 3,12 \text{ кВт} \tag{1}$$

где  $\kappa$  – коэффициент искажения тока при ШИМ напряжения на выходе ПЧ,  $\kappa = 1,05$ ;  $P_{ном}$  – номинальная мощность двигателя,  $P_{ном} = 2,2$  кВт;  $\eta$  – КПД двигателя;  $\cos\varphi$  – паспортный коэффициент мощности двигателя.

Ток, потребляемый двигателем от ПЧ:

$$I_{номр} = \frac{\kappa \cdot n \cdot M_{ст}}{9,55 \cdot \eta \cdot \cos\varphi \cdot U} = \frac{1,05 \cdot 2860 \cdot 5,31}{9,55 \cdot 0,83 \cdot 0,89 \cdot 380} = 5,95 \text{ А} \tag{2}$$

где  $n$  – частота вращения вала двигателя [об/мин];  $M_{ст}$  – статический момент нагрузки, приведенный к валу двигателя [Нм].

Выбираемый ПЧ должен удовлетворять условиям:  $P_{ном \text{ ПЧ}} \geq S_{потр}$  и  $I_{ном \text{ ПЧ}} \geq I_{потр}$ .

Выбираем ПЧ серии HL750 с техническими характеристиками:

$U_{вх} \sim 380 \text{ В}$ ;  $P_{ном \text{ ПЧ}} = 4 \text{ кВт}$ ;  $I_{ном \text{ ПЧ}} = 9 \text{ А}$ ;  $f_{max \text{ вых}} = 400 \text{ Гц}$ .

Минимальная частота регулирования не ниже 1 – 2 Гц, при  $n_{ном \text{ двиг.}} = 2860 \text{ об/мин}$ , что соответствует частоте вращения  $n_{min} = 20 \text{ об/мин}$ .

В данном ПЧ тормозной резистор не встроен и в комплект поставки не входит. Величину и мощность тормозного резистора выбираем по таблице подбора тормозных резисторов для ПЧ:  $R = 150 \text{ Ом}$ ;  $P = 600 \text{ Вт}$ .

На рисунке 3 приведена схема подключения ПЧ к приводу шлифовального круга. В схеме сохранены позиционные обозначения и маркировка проводов, как на станке.

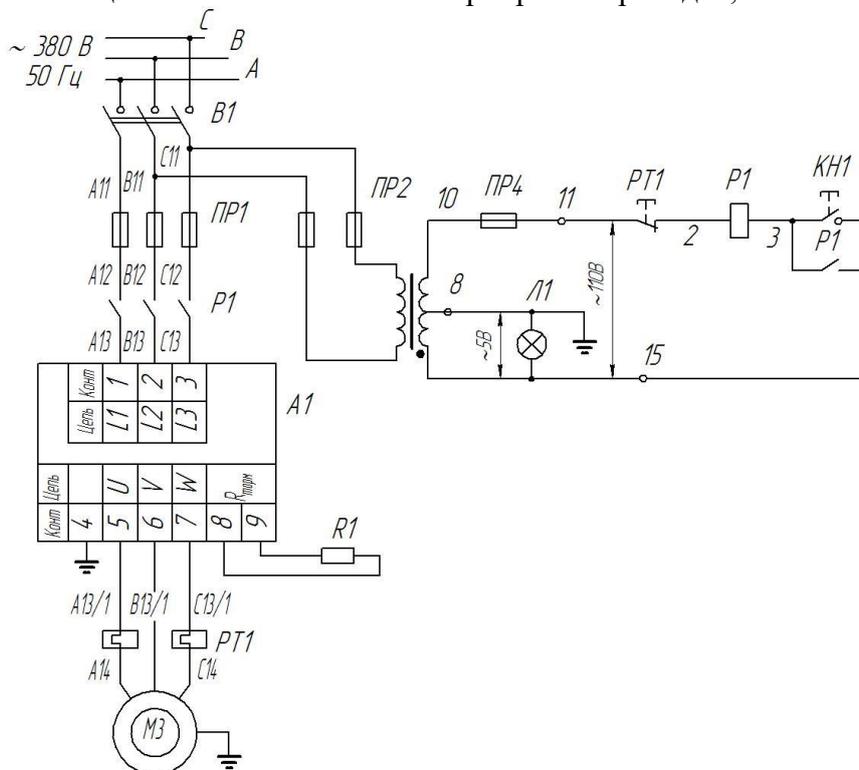


Рис. 3. Схема подключения ПЧ к АД шлифовального круга:

A1 – ПЧ серии HL 750; B1 – выключатель ПКВ 25-2 30; KH1 – кнопка KE011; Л1 – арматура сигнальная АС-0; М3 – электродвигатель АОЛ2-22; ПР1 – предохранитель с ПВД – 15; ПР2, – предохранитель с ПВД – 2; ПР4 – предохранитель с ПВД -2; P1 – пускатель магнитный; PT1 – реле тепловое на 8 А ТРН-10, R1 –резистор 150 Ом, 600 Вт

## Выводы

Все эти мероприятия позволят реализовать на испытательном стенде, выполненном на основе плоскошлифовального станка 3Г71, бесступенчатое регулирование скорости резания от 2 до 116,7 м/сек. Данное регулирование даст возможность осуществить экспериментальную обработку с различной скоростью резания, а также выявить ее оптимальное значение, позволяющее получить поверхности наилучшего качества на режущих кромках после финишной обработки.

## Список литературы

1. Солер Я.И., Казимиров Д.Ю., Прокопьева А.В. Оптимизация процесса шлифования быстрорежущих пластин инструментом из CBN по критериям точности формы поверхности // *Металлообработка*. – 2006. – № 5-6 (35-36). – С. 21–24.
2. Янюшкин А.С., Рычков Д.А., Лобанов Д.В. Исследование качества поверхности при формировании режущей кромки фрезерного инструмента для обработки композиционных материалов // *Актуальные проблемы в машиностроении*. – 2014. – № 1. – С. 582–588.
3. Прогнозирование технических характеристик интегрального технологического оборудования / В.Н. Пушкин, Д.Ю. Корнев, Н.В. Вахрушев [и др.] // *Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки*. – 2014. – Т. 2. – С. 97–101.
4. Стенд для исследования комбинированных методов электроалмазной обработки / Д.В. Лобанов, И.С. Голушов, О.С. Рафанова, А.Г. Колесов // *Актуальные проблемы в машиностроении*. – 2022. – Т. 9, № 3-4. – С. 27–34.
5. Братан С.М., Новоселов Ю.К., Рошупкин С.И. Методология стабилизации параметров качества деталей на операциях чистовой и отделочной обработки // *Прогрессивные технологии и системы машиностроения*. – 2016. – № 2 (53). – С. 23–29.
6. Soler Ya.I., Kazimirov D.Yu. Predicting the Supporting Area of Microrelief in Machine Parts of Variable Rigidity During Plane Grinding // *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*. – 2006. – Vol. 35, iss. 3. – P. 260–265.
7. Soler Ya.I., Prokop'eva A.V., Kazimirov D.Yu. Automated control of grinding by high-speed plates of different rigidity on the basis of the microgeometry and shape accuracy of the surface // *Russian Engineering Research*. – 2007. – Vol. 27, iss. 11. – P. 769–776. – DOI: 10.3103/S1068798X07110081.
8. Янюшкин А.С., Попов В.Ю. Шероховатость поверхности после шлифования по методу двойного травления // *Объединенный научный журнал*. – 2002. – № 21. – С. 65–67.
9. Лобанов Д.В., Янюшкин А.С., Рычков Д.А. Технологические методы изготовления и выбора режущего инструмента для фрезерования композиционных материалов на полимерной основе // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение*. – 2015. – Т. 15, № 1. – С. 35–46.
10. Зорина М.М., Терентьев Е.А., Цай В.Н. Эффективность применения метода электрохимического шлифования для обработки безвольфрамовых твердых сплавов // *Мехатроника, автоматика и робототехника*. – 2017. – № 1. – С. 89–90.
11. Влияние вида правки на длину дуги контакта шлифовального круга с заготовкой / П.М. Салов, Д.П. Салова, Е.А. Терентьев, Т.Г. Виноградова // *Высокие технологии в машиностроении: материалы Всероссийской научно-технической интернет-конференции, посвященной 100-летию со дня рождения Д.Д. Папшева, Самара, 22–25 окт. 2015 г.* – Самара: Изд-во СамГТУ, 2015. – С. 75–77.

12. *Bratan S., Bogutsky B., Roshchupkin S.* Development of mathematical model of material removal calculation for combined grinding process // Proceedings of the 4 international conference on industrial engineering (ICIE–2018), Moscow, 15–18 May 2018. – [S. l.]: Springer International Publ., 2019. – P. 1759–1769. – DOI: 10.1007/978-3-319-95630-5\_189.

13. *Soler Y.I., Mai D.S., Kazimirov D.Y.* Contact ability optimization of the surface of titanium parts with different stiffness during flat grinding by highly porous wheel // MATEC Web of Conferences. – 2018. – Vol. 224. – P. 01062. – DOI: 10.1051/mateconf/20182240106.

14. Research of influence electric conditions combined electrodiamond processing by on specific consumption of wheel / D.V. Lobanov, P.V. Arkhipov, A.S. Yanyushkin, V.Yu. Skeebe // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 142. – P. 012081. – DOI: 10.1088/1757-899X/142/1/012081.

15. *Зворыгин А.С., Борисов М.А., Рафанова О.С.* Стенд для исследования процесса электрохимического шлифования // Современные технологии: проблемы и перспективы: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции для аспирантов, студентов и молодых ученых, Севастополь, 19–22 мая 2020 г. – Севастополь: Изд-во СевГУ, 2020. – С. 64–69.

16. *Лобанов Д.В., Терентьев Е.А.* Перспективы использования и восстановления инструмента из минералокерамики = Prospects for the use and restoration of mineral ceramics tools // Современные технологии и реверс-инжиниринг : сборник статей Всероссийской научно-практической конференции, Севастополь, 17 апр. – 12 мая 2023 г. – Севастополь, 2023. – С. 47–52.

17. *Евсиков А.А., Коковин В.А., Леонов А.П.* Автоматизированный электропривод с частотным управлением: учебное пособие. – Дубна, 2020. – 121 с. – ISBN 978-5-89847-592-5.

**PROSPECTS FOR RE-EQUIPING THE 3G71 PLANE GRINDING MACHINE INTO  
A TEST BENCH FOR FINISHING PRODUCTS MADE OF COMPOSITE MATERIALS**

**Lobanov D.V.**, D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: lobanovdv@list.ru

**Terentyev E.A.**, Post-graduate Student, e-mail: genya\_ms@mail.ru

**Rafanova O.S.**, Post-graduate Student, e-mail: olesya-karamaeva89@mail.ru

I.N. Ulianov Chuvash State University, 15 Moskovsky Prospekt, Cheboksary, 428015, Russian Federation

**Abstract**

The paper discusses the re-equipment of a plane grinding machine into a test bench for finishing using various technological methods. The modernization of the main motion drive is considered with the aim of its stepless regulation and increasing the maximum cutting speed.

The paper proposes to achieve stepless control by introducing a frequency converter into the power circuit of the asynchronous motor of the grinding wheel. It is proposed to use two conversion options to increase the range of stepless control to its maximum value on the machine spindle. The first is changing the belt drive pulleys from the standard diameter ratio  $\text{Ø}60/\text{Ø}60$  to  $\text{Ø}90/\text{Ø}60$ . The second option is to replace the standard grinding mandrel of a grinding wheel with a seat diameter of 76 mm and a wheel diameter of 300 mm, with a mandrel with a seat diameter of 100 mm, designed to install wheels with a diameter of 400 mm.

Currently, the tools and technologies for finishing abrasive processing have undergone significant changes. Grinding tools use new types of abrasives and binders, which give the tool new properties. Modern tools and finishing technologies make it possible to use abrasive processing methods using new types of abrasives, when combining traditional grinding with chemical, physical, thermal, electrical and other types of influences in the processing area. All this entails requirements for the use of higher cutting speeds than traditional ones.

Prospects for re-equipping equipment are seen in the use of modern combined grinding methods, the use of which leads to a decrease in contact loads and temperatures, leading to a decrease in the clogging of the surface of the abrasive tool. This leads to an increase in the quality of the cutting edge of the mineral-ceramic plate and an improvement in the cutting ability of the grinding wheel. The use of such methods has a positive effect on increasing productivity and processing quality.

**Keywords**

abrasive processing, stepless control, tool materials, combined methods, mineral ceramics.

УДК 621.822

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВВОДА ОКСИ МЕДИ В ИСХОДНУЮ  
ПОРШКОВУЮ СМЕСЬ НА СВОЙСТВА ДИСПЕРСНО-УПРОЧНЕННОГО  
КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ПОРОШКОВОЙ МЕДИ  
СИСТЕМЫ Cu-Al-C-O***Ю.О. ВЛАДИМИРОВА, аспирант**В.В. ПЛОТНИКОВ, аспирант**Е.П. ШАЛУНОВ, канд. техн. наук, профессор  
(ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары)*

**Владимирова Ю.О.** – 428015, г. Чебоксары, пр-т Московский, 15,  
Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова,  
*e-mail: yulivladimirova@mail.ru*

В работе описано влияние добавки окиси меди в количестве до 4% мас. в исходную порошковую смесь при получении дисперсно-упрочненного композиционного материала на основе порошковой меди системы Cu-Al-C-O, получаемого с использованием метода реакционного механического легирования и технологий порошковой и гранульной металлургии.

Из полученных данных следует, что оптимальной является добавка в количестве 3% мас. За счет этого удалось повысить прочность материала на 23%, а пластичность - на 16 %.

По уровню достигнутых прочностных и пластических свойств материал удовлетворяет требованиям, предъявляемым к материалам для плунжеров машин литья под давлением.

**Ключевые слова:** дисперсно-упрочненные композиционные материалы, поршни машин литья под давлением, прочность, пластичность.

**Введение**

Существует множество компонентов узлов трения, которые работают в условиях возвратно-поступательного движения [1 - 7]. Среди них линейно перемещающиеся друг относительно друга направляющие салазки и суппорт металлорежущего станка, направляющие и бегунки текстильных и ткацких станков, нож и поджимной контакт электрических рубильников, направляющие колонны и траверса прессового оборудования, плунжер и цилиндр насоса, направляющие колонки и втулки пресс-форм. Однако в случаях, когда линейное перемещение происходит не только при значительном контактном давлении, но и при высоких температурах, ситуация становится значительно сложнее [8 - 11]. Примером таких тяжело нагруженных сопряжений может служить пара трения «плунжер – камера прессования» машины литья под давлением.

Проведенный в литературных источниках обзор [8 - 11] показал, что выбор материалов именно для плунжеров литейных машин является сложно решаемой задачей. Обусловлено это ограниченностью материалов, способных удовлетворять условиям эксплуатации плунжеров литейных машин [10, 11].

В результате анализа, были сформированы следующие требования к материалам этих деталей:

- в связи с тем, что на детали действуют значительные осевые удельные нагрузки, материал должен иметь высокие прочностные характеристики (предел прочности при растяжении – не менее 700 МПа, твердость HV – не менее 1900 МПа);

- поскольку планируется изготовление плунжеров из заготовок типа «стакан», получаемых методом пластической деформации, то относительное удлинение должно быть не менее 5%;

- поскольку при контакте деталей пары трения возникает радиальное давление, материал должен обладать хорошими антифрикционными свойствами и, прежде всего, иметь низкую склонность к заеданию с сопрягаемым материалом литейной камеры;

- при этом материалы, из которых изготовлены детали пары трения, должны обладать высокой теплопроводностью.

В работе [10] в качестве материала для плунжеров машин литья под давлением предложен дисперсно-упрочненный жаропрочный, износостойкий и задиростойкий материал на основе порошковой меди. Авторы настоящей статьи получали указанный материал методом реакционного механического легирования совместно с технологиями порошковой и гранульной металлургии. Данный метод лежит в основе получения медных дисперсно-упрочненных композиционных материалов ДИСКОМ<sup>®</sup>, которые характеризуются высокими значениями теплопроводности и температуры рекристаллизации (950 °С).

Для получения данного материала исходная порошковая композиция смешивалась в смесителе типа «пьяная бочка». В работе использовались: алюминиевая пудра марки ПП-1 (2,6...3,2% мас.), углерод в виде порошка карандашного графита марки ГК-3 (0,6...1,2% мас.) и электролитической порошок меди ПМС-1 (остальное).

Затем смесь, полученная ранее, подвергалась реакционному механическому легированию в высокоэнергетической шаровой мельнице – атриторе [12 - 14], – где подводимая энергия в обрабатываемую порошковую смесь имела значение от 3,5 кВт·ч/кг до 5 кВт·ч/кг при частоте вращения ротора не менее 600 об/мин. В результате такой обработки происходило измельчение исходных порошков, образование механоактивированных гранул, в материале которых протекали твердофазные реакции, приводящие к образованию пересыщенного твердого раствора алюминия в меди и нанодисперсных оксидов алюминия.

Полученные гранулы затем компактировались на гидравлическом прессе под давлением 600 МПа в брикеты, которые нагревались в защитной среде до 850°С, выдерживались при этой температуре 15...20 минут и подвергались экструзии в прутки. Из этих прутков изготавливались образцы для проведения испытаний по определению физико-механических и эксплуатационных свойств материала.

Согласно полученным данным, материал имеет чрезвычайно высокую температуру рекристаллизации, а также обладает высокими прочностными свойствами, однако основным его недостатком является низкая пластичность (относительное удлинение – 2%), что делает материал не технологичным с точки зрения изготовления из него заготовок типа «стакан», получаемых методом пластической деформации.

Проведенные в работе [15 - 17] исследования позволяют полагать, что добавки окиси меди в материал могут оказывать положительное влияние на пластические и прочностные свойства дисперсно-упрочненных материалов.

**Целью работы** является исследование влияния введения окиси меди на прочностные свойства и пластичность дисперсно-упрочненного композиционного материала на основе порошковой меди системы Cu-Al-C-O, предназначенного для изготовления из него плунжеров машин литья под давлением.

## Методика экспериментального исследования

Исследуемый материал изготовлен из порошковой смеси, которая была приготовлена путем смешивания порошков электролитической меди марки ПМС-1 (ГОСТ 4960-75), алюминиевой пудры марки ПП-1 (ГОСТ 5592-71), порошка оксида меди (II) квалификации ЧДА ГОСТ 16539-79 и порошка сухого коллоидного графита марки ГК-1 (ТУ 113-08-48-63-90). Указанная порошковая смесь была обработана в атриторе в течение 1 часа в среде воздуха при частоте вращения ротора 600 оборотов в мин и степени заполнения камеры мелющими шарами и порошковой смесью, равной 0,7. Полученные гранулы впоследствии помещались в полугерметичный контейнер с древесно-угольным карбюризатором, который генерировал смесь газов ( $\text{CO}+\text{CO}_2$ ), и подвергались нагреву в камерной электропечи до  $870^\circ\text{C}$ , где выдерживались при этой температуре в течение 3...5 часов, в зависимости от массы гранул. Полученные гранулы дробились сначала на прессе на отдельные куски, а затем в атриторе в течение 10 мин. Затем эти гранулы подвергались холодному компактированию на гидравлическом прессе в жесткой матрице по двусторонней схеме прессования давлением 600 МПа в брикеты, которые нагревались в печи в защитной атмосфере до температуры  $750^\circ\text{C}$ , выдерживались при этой температуре в течение 30...40 минут, и затем в нагретом состоянии подвергались горячей экструзии в прутки, используя контейнер гидравлического пресса, нагретый до  $450^\circ\text{C}$ , с конической матрицей.

Содержание окиси меди в исходной порошковой смеси было равно, % мас.: 2, 3 и 4. Именно эти значения были рекомендованы для получения наиболее оптимального соотношения пластичности и прочности в источниках [15 - 17].

В соответствии с описанной технологией были изготовлены прутки, которые исследовались на пластичность (относительное удлинение) и прочность (предел прочности при растяжении) согласно методикам, описанным в ГОСТ 1497-84.

## Результаты и обсуждение

В результате проведенных согласно указанным методикам испытаний, были построены графики зависимости относительного удлинения (рис.1) и предела прочности при растяжении (рис.2) от содержания добавки окиси меди в исходном порошковом составе.

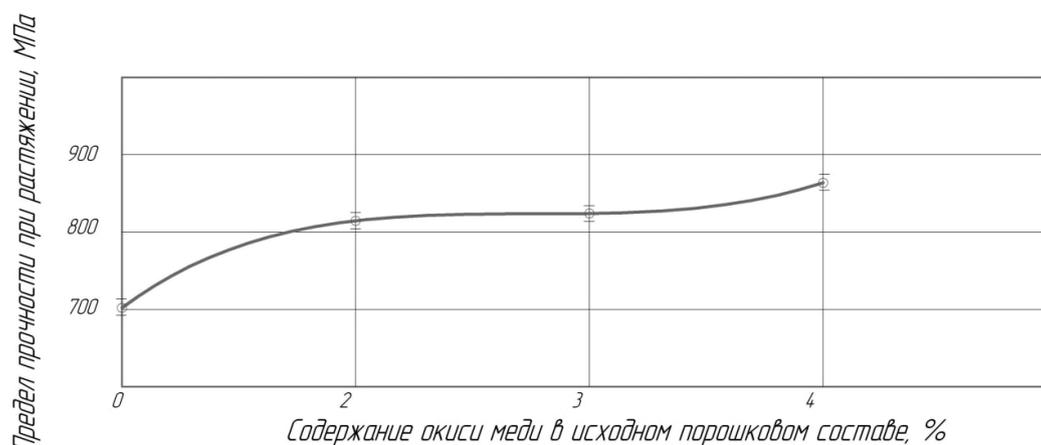


Рис. 1. График зависимости предела прочности при растяжении от содержания добавки окиси меди в исходном порошковом составе

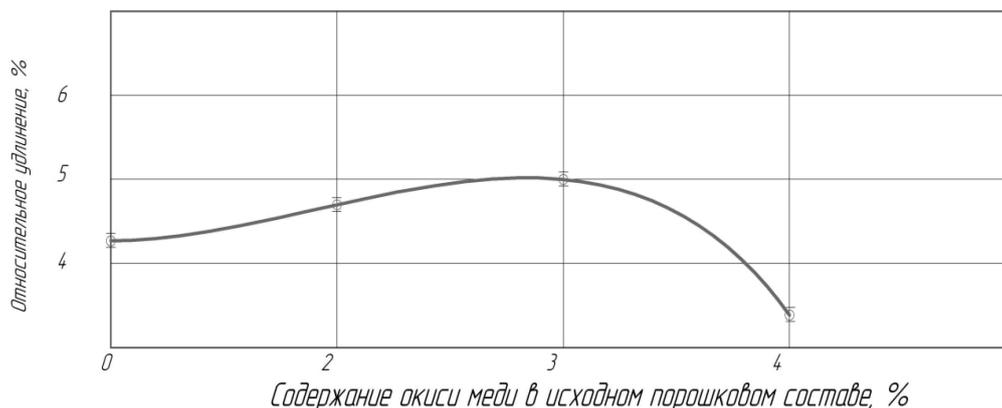


Рис. 2. График зависимости относительного удлинения от содержания добавки окиси меди в исходном порошковом составе

Из рис.1 видно, что с увеличением содержания добавки окиси меди в исходном порошковом составе неизменно растет прочность материала. При этом растет так же относительное удлинение (рис.2), однако, после 3% мас. добавки окиси меди пластичность материала резко падает. Поведение графиков указанных зависимостей объясняется следующим.

При обработке порошковой смеси без добавки окиси меди в среде кислорода рабочей камеры атритора и дальнейшего термодиформационного передела полученных гранул в горячезкструдированные прутки происходит окисление алюминия с образованием его оксида  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  со средним размером нанодисперсного уровня [8, 10]. При этом, окисляется не только алюминий, но и порошок меди с образованием  $\text{CuO}$  – оксида меди (II) (окись меди), который образуется в виде кристаллов черного цвета, начиная с температуры 60...70°C, и  $\text{Cu}_2\text{O}$  - оксида меди (I) (закись меди), получаемый разложением  $\text{CuO}$  при нагревании до 1100 °С в виде кристаллов красновато-коричневые цвета.

Проведенный по методу Э. Шайля - Г. Шварца - С.А. Салтыкова, стереологический анализ частиц, зафиксированных просвечивающей электронной микроскопией на репликах материала, показал, что в нем содержится 14,8 % об. частиц со средним размером 36 нм. Наиболее мелкие частицы содержатся в гранулах, а по их границам наблюдаются скопления включений. Размеры этих включений могут составлять 25...50 мкм. Микрорентгеноспектральным анализом по элементам с 11-го на этих включениях размерами более 5 мкм было установлено, что в их состав входят медь и алюминий. По-видимому, эти включения представляют собой скопление оксидных образований на основе меди и алюминия, а также химические соединения этих металлов между собой. Анализ характера распределения элементов на границах гранул показал, что они имеют повышенное содержание алюминия. Количественным анализом было установлено, что в материале гранул содержится 2,8% мас. алюминия, а остальной алюминий присутствует на их границах. Эти пограничные скопления фаз оказывают негативное влияние на свойства материала, ослабляя межгранульные связи и, соответственно, не обеспечивая максимально возможные прочность и пластичность материала.

Причина этого в том, что при обработке в атриторе с рабочей камерой емкостью 15 л исходной смеси порошков с небольшим количеством алюминия (0,1...0,2 % мас.) содержащего в этой камере кислорода воздуха достаточно для окисления всего количества алюминия. Но при больших его значениях, как в нашем случае, кислорода недостаточно для окисления всего количества алюминия, и его остатки образуют твердый раствор алюминия в меди и химические соединения с медью, в том числе и по границам гранул [17].

В связи с этим, в исходную порошковую смесь специально вводили оксид меди (II) (окись меди)  $\text{CuO}$ , являющийся дополнительным источником кислорода для полного

окисления остаточного алюминия. Алюминий, обладая бóльшим, чем медь, сродством к кислороду, восстанавливает медь из ее оксидов с одновременным образованием собственного оксида:



Таким образом, введение добавки окиси меди способствовало увеличению объема механосинтезированных частиц  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ , которые имеют размеры, намного меньше размеров частиц оксидов меди. А повышение объема упрочняющих частиц в совокупности с уменьшением их размеров неизменно приводит к росту прочности материала [12, 13], что и наблюдается на рис. 1.

Однако, рост объема  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  в материале может не только повышать прочность материала, но и при определенной концентрации оказывать негативное влияние на пластичность. В общем случае уменьшение размеров фаз в скоплениях на границе гранул благоприятно сказывается на пластических свойствах материала, поскольку обеспечивается лучшая несущая способность этих границ, позволяющая материалу деформироваться без разрушения при больших значениях нагрузки. Однако, эта способность при какой-то возросшей прочности материала самих гранул исчерпывается и более не обеспечивает способность материала воспринимать нагрузки, не разрушаясь. Кроме этого, можно так же предположить, что введенная в исходную порошковую смесь добавка окиси меди сверх 3% мас. не в полном количестве взаимодействует с остаточным алюминием и, и тем самым, не восстанавливается им, приводя к увеличению концентрации крупной оксидной фазы меди на границах гранул, охрупчивая эти границы. Исходя из рис.2, указанные явления происходят при добавке окиси меди в исходную порошковую смесь в количествах, бóльших чем 3% мас.

При добавке 3% мас. окиси меди в материал предел его прочности при растяжении составляет 840 МПа при относительном удлинении 5%, что соответствует требованиям, предъявляемым по этим параметрам к материалам для плунжеров машин литья под давлением.

## Выводы

1. Из полученных данных следует, что добавка в исходную порошковую смесь окиси меди в виде порошка оксида меди (II) квалификации ЧДА ГОСТ 16539-79 положительно влияет на прочностные и пластические свойства дисперсно-упрочненного композиционного материала на основе порошковой меди системы Cu-Al-C-O. В частности, добавка в количестве 3% мас. в исходную порошковую смесь повышает прочность материала на 23%, а пластичность - на 16 %.

2. Полученные свойства указанного дисперсно-упрочненного композиционного материала с добавкой окиси меди в количестве 3% мас. обеспечивает уровень прочностных и пластических свойств материала, который соответствует требованиям, предъявляемым по этим параметрам к материалам для плунжеров машин литья под давлением.

## Список литературы

1. Дроздов Ю.Н., Арчegov В.Г., Смирнов В.Л. Противозадирная стойкость трущихся тел. – М.: Наука, 1981. – 139 с.
2. Порохов В.С. Трибологические методы испытаний масел и присадок. – М.: Машиностроение, 1983. – 183 с.

3. Буше Н.А., Копытько В.В. Совместимость трущихся поверхностей. – М.: Наука, 1981. – 127 с.
4. Ксеневиц И.П. Триботехника и проблемы прикладной механики наземных мобильных машин // Приводная техника. – 2003. – № 5. – С. 2–5.
5. Popov V.L. *Contact Mechanics and Friction: Physical Principles and Applications*. – Berlin: Springer Verlag, 2010. – 326 p.
6. Van Basshuysen R. *Handbuch Verbrennungsmotor: Grundlagen, Komponenten, Systeme, Perspektiven*. – 8th ed. – Wiesbaden: Springer Vieweg, 2017. – 354 s.
7. Stojanovic B., Glisovic J. *Automotive Engine Materials // Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*. – Oxford: Elsevier, 2016. – P. 1–56.
8. Разработка жаро- и износостойких порошковых нанокomпозиционных материалов для поршней машин литья под давлением / Ю.О. Владимирова, Е.П. Шалунов, Н.В. Мулюхин, И.Е. Илларионов // Современные технологии в машиностроении и литейном производстве: материалы I международной научно-практической конференции, Чебоксары, 22–24 октября 2015 г. – Чебоксары: Изд-во ЧГУ им. И.Н. Ульянова, 2015. – С. 153–160.
9. Чеберяк О.И., Чувагин Н.Ф. Особенности прессы пары на машинах ЛПД с горизонтальной камерой прессования // Современные технологии в машиностроении и литейном производстве: материалы III международной научно-практической конференции, Чебоксары, 4–6 дек. 2017 г. – Чебоксары: Изд-во ЧГУ им. И.Н. Ульянова, 2017. – С. 98–104.
10. Разработка технологии изготовления биметаллических разверток вкладышей тяжело нагруженных подшипников скольжения / Ю.О. Владимирова, Е.П. Шалунов, В.М. Смирнов [и др.] // Проектирование и перспективные технологии в машиностроении и металлургии: материалы II Республиканской научно-практической конференции, Чебоксары, 22 апр. 2016 г. – Чебоксары: Изд-во ЧГУ им. И.Н. Ульянова, 2016. – С. 166–173.
11. Владимирова Ю.О., Шалунов Е.П., Илларионов И.Е. Разработка жаропрочных и износостойких наноструктурных материалов на основе порошковой меди для поршней литейного оборудования // Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы (ИМТОМ–2018): материалы IX международной научно-технической конференции, Казань, 5–7 дек. 2018 г. – Казань: Изд-во КНИАТ, 2018. – С. 23–27.
11. Dovydenkov V.A., Shalunov E.P. Experience of production and use precipitation strengthened copper based materials made by mechanical alloying // *Powder Metallurgy*. – 1998. – Vol. 1. – P. 372.
12. Shalunov E., Matrosov A., Karalin A. Development and research of a nanostructured material from aluminium powder for orthopedy and traumatology // *Euro International Powder Metallurgy Congress and Exhibition (EURO PM–2008): proceedings, Germany, Mannheim, 29 Sept. – 1 Oct. 2008*. – Shrewsbury: EPMA, 2008. – Vol. 2. – P. 135–139.
13. Витязь П.А., Ловшенко Ф.Г., Ловшенко Г.Ф. Механически легированные сплавы на основе алюминия и меди. – Минск: Беларуская навука, 1998. – 211 с.
14. Ловшенко Ф.Г., Ловшенко Г.Ф. Механизмы формирования структуры, фазового состава и свойств механически легированных медных композиций // *Литье и металлургия*. – 2011. – № 3 (61). – С. 142–151.
15. Ловшенко Ф.Г., Ловшенко Г.Ф. Анализ фазовых и структурных превращений при механическом легировании систем на основе меди // *Вестник Белорусско-Российского университета*. – 2014. – № 4 (45). – С. 30–41.
16. Патент № 2773060 С1 Российская Федерация, МПК С22С9/01, С22С1/05. Композиционный материал на основе порошковой меди : № 2021134739 : заявл. 27.11.2021 : опубл. 30.05.2022 / Е.П. Шалунов, А.Л. Матросов, Ю.О. Владимирова; патентообладатель Чуваш. гос. ун-т им. И. Н. Ульянова. – Бюл. № 16. – 14 с.

**STUDY OF THE EFFECT OF INTRODUCING COPPER OXIDE INTO THE INITIAL  
POWDER MIXTURE ON THE PROPERTIES OF DISPERSION-STRENGTHENED  
COMPOSITE MATERIAL OF THE CU-AL-C-O- SYSTEM BASED  
ON POWDER COPPER**

**Vladimirova Yu.O.**, Post-graduate Student, e-mail: yulivladimirova@mail.ru

**Plotnikov V.V.**, Post-graduate Student e-mail: acc\_plotnikov@tambler.ru

**Shalunov E.P.**, Ph.D. (Engineering), Professor, e-mail: shalunov2003@mail.ru

I.N. Ulianov Chuvash State University, 15 Moskovsky Prospekt, Cheboksary, 428015, Russian Federation

**Abstract**

The work describes the effect of adding copper oxide in amounts up to 4 wt. % into the initial powder mixture when obtaining a dispersion-strengthened composite material of the Cu-Al-C-O-system based on powder copper, obtained using the method of reactive mechanical alloying and powder and granular metallurgy technologies.

From the data obtained it follows that an additive in the amount of 3 wt. % is optimal. Due to this, it was possible to increase the strength of the material by 23 % and ductility by 16 %.

In terms of the level of strength and plastic properties achieved, the material meets the requirements for materials for plungers of pressure casting machines.

**Keywords**

Dispersion-strengthened composite materials, plungers of pressure casting machines, strength, ductility

УДК 615.47:616-71

**ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ С УПРАВЛЯЕМОЙ  
ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬЮ К ИЗМЕРЯЕМЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ**

*Н.В. ЗЕМЦОВА*<sup>1</sup>, аспирант  
*А.В. ЩЕГОЛЬКОВ*<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доцент  
*А.В. ЩЕГОЛЬКОВ*<sup>2</sup>, канд. техн. наук  
(<sup>1</sup> ТГТУ, г. Тамбов,  
<sup>2</sup> Московский политехнический университет, г. Москва)

**Земцова Н.В.** – 392000, г. Тамбов, ул. Советская, 106  
Тамбовский государственный технический университет,  
*e-mail*: natasha\_paramonova\_68@mail.ru

В статье показана возможность применения нового типа тензометрического преобразователя на основе эластомеров, модифицированных микро- и наноразмерными частицами (проводящий наполнитель), с управляемой чувствительностью к измеряемым воздействиям для измерения кавитационных процессов в жидкости. Тензометрические преобразователи были изготовлены из эластомера, модифицированного микрочастицами бронзы и многослойными углеродными нанотрубками (МУНТ). Физический принцип разработанного тензометрического преобразователя основан на изменении электрического сопротивления  $\Delta R$  композита от периодического воздействия измеряемой среды на композит, в результате которого в его проводящей фазе происходит изменение расстояния между сетью агломерированных МУНТ. Данное явление основано на изменении параметров туннельного эффекта электронов, который зависит от контакта и расстояния между отдельными МУНТ и частицами бронзы. При этом содержание микрочастиц бронзы повлияло на общую электропроводность композита.

С увеличением частоты повторений или изменения амплитуды механического воздействия на тензометрический преобразователь происходило формирование сигналов пропорциональных этим воздействиям. Для управления чувствительностью тензометрического преобразователя изменялась концентрация проводящего наполнителя.

**Ключевые слова:** тензометрический преобразователь; эластомер; кавитация; многослойные углеродные нанотрубки (МУНТ); микрочастицы бронзы; нейросеть.

**Введение**

Обработка материалов ультразвуком – это сложная, но технологически приемлемая технология получения большого количества наномодифицированных материалов без использования каких-либо опасных химических реагентов. В промышленности ультразвуковая (УЗ) обработка – это физический процесс, при котором акустические волны воздействуют на исходные материалы, диспергированные в жидкой среде [1]. Распространение технологий, связанных с применением ультразвука привело к необходимости контроля этого процесса. Для этих целей могут быть использованы тензодатчики на основе полимеров с проводящими наполнителями [2, 3]. Одним из вариантов изготовления тензодатчиков является использование полимеров, наполненных проводящими материалами, в частности углеродными дисперсными структурами. Среди углеродных наноматериалов наиболее эффективными являются углеродные нанотрубки

(УНТ), использование которых позволяет улучшить точность при измерении малых деформации [2]. Для решения такой технологической задачи, как измерение больших деформаций (>10%), также подходят полимерные композиты. Механические деформации эластичного композита приводят к изменению конфигурации сети из УНТ, что влияет на электрическое сопротивление  $\Delta R$ . При этом на электрическое сопротивление, также влияют контакт между отдельными УНТ и туннельный эффект, который зависит от расстояния между отдельными УНТ.

При разработке и совершенствовании тензодатчиков следует учитывать особенности устройств и технологию процессов, для которых они предназначены. В частности, использование ультразвукового воздействия на жидкие среды позволяет интенсифицировать технологические процессы в различных отраслях химической промышленности [4, 5]. Кавитация относится к быстропротекающему процессу с интенсивным схлопыванием пузырьков, образующихся в жидкости, что требует контроля и точного управления режимами кавитации, так как при этом возможно повреждение ответственных элементов оборудования [6 - 7]. В связи с этим, существует необходимость в создании тензометрических преобразователей, адаптированных к применению в условиях с экстремальным давлением, а именно в системах УЗ-воздействия на жидкие среды, что требует получения эффекта с управляемой чувствительностью к измеряемым воздействиям.

*Цель работы* – разработка тензометрических преобразователей на основе эластомеров, модифицированных микро- и наноразмерными частицами, с управляемой чувствительностью к измеряемым воздействиям.

В соответствии с целью были поставлены следующие задачи исследования:

1. Получение композита на основе эластичной матрицы, содержащей углеродные наноструктуры с добавкой микроструктурной бронзы.
2. Исследование тензометрического преобразователя с управляемой чувствительностью к измеряемой среде с механическими воздействиями.

## Материалы и методы исследований

Изготовление тензометрического преобразователя производилось с использованием полимера (Силагерм 8030), модифицированного смесью МУНТ с дисперсными металлическими частицами бронзы. Используемые в работе МУНТ были синтезированы СВЧ-методом. Было получено три типа композита с начальным сопротивлением  $R_0$ : 1,5; 2 и 3 МОм. При этом концентрация МУНТ равнялась 3 мас. %, а микроразмерных частиц бронзы 2, 3 и 5 мас.% соответственно. Для получения тензометрического преобразователя использовалась технология ультразвукового распределения МУНТ и бронзовых частиц в объеме эластомера при помощи УЗ гомогенизатора (мощностью 400 Вт).

Первичный измерительный преобразователь (ПИП) помещался в специальную емкость с дистиллированной водой, которая являлась объектом измерения (ОИ) при УЗ воздействие. В емкость, с дистиллированной водой, вводился зонд УЗ излучателя. Мощность УЗ излучателя равнялась 400 Вт при 20 кГц. ПИП был подключен к мультиметру (рисунок 1) *UNI-T UT71E+* (вторичный измерительный прибор (ВИП)). Аналоговый сигнал, изменения электрического сопротивления  $\Delta R$ , поступал на мультиметр *UNI-T UT71E+*, который в свою очередь оцифровывал сигнал и передавал в виде таблицы значений на ноутбук *HUAWEI MateBook D 15 (256GB)*.

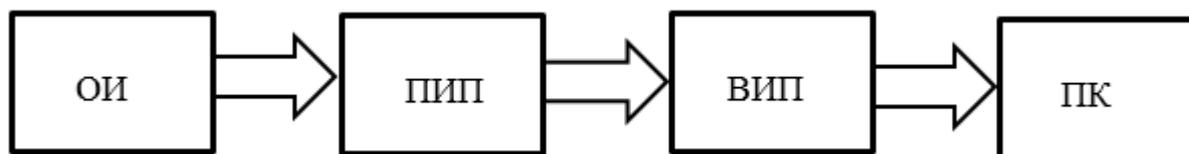


Рис. 1. Схема измерения и регистрации параметров УЗ кавитации

Вследствие того, что при измерении сложных процессов, таких как кавитация возникают множественные колебания, то для этого требуется специальный подход по их обработке, который показан на рисунке 2. Измеренный сигнал (ИС) обрабатывается нейросетью, которая позволяет определить основные параметры технического процесса (ТП).

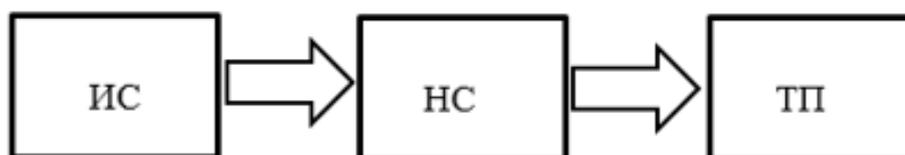


Рис. 2. Схема обработки полученных сигналов от тензодатчика

### Результаты и обсуждение

В результате проведенных исследований была получена графическая зависимость (рисунок 3) изменения электрического сопротивления  $\Delta R$  образцов тензометрических преобразователей (с начальным сопротивлением  $R_0$ : 1,5; 2 и 3 МОм) с содержанием дисперсной бронзы 2, 3 и 5 мас.% и МУНТ (3 мас. %) от времени воздействия кавитации (УЗ воздействие на жидкость).

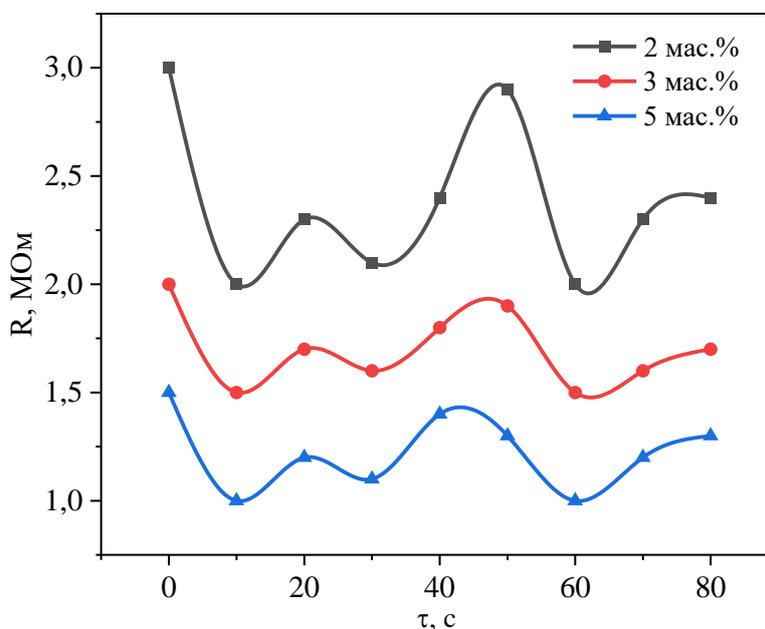


Рис. 3 Влияние УЗ-воздействия на электрическое сопротивление композитов в зависимости от времени.

Исходя из рисунка 3 можно сделать вывод, что максимальная чувствительность (большая амплитуда изменения сопротивления) характерна для композита с содержанием

МУНТ 3 мас. % и бронзы 2 мас. %. Для этого образца соответствует физико-механический процесс, связанный с влиянием большего свободного пространства диэлектрической фазы, которая сжимаясь под действием механического воздействия обладала большей упругостью, а соответственно и расширенными диапазонами расстояний – между МУНТ при больших УЗ-воздействиях. В результате чего изменяются параметры туннелирования электронов в проводящей сети МУНТ и микроразмерной бронзы в более широком диапазоне. Большее содержание бронзы (3 и 5 мас.%) способствовало увеличению электропроводности композита за счет прямого контакта частиц и снижению чувствительности к УЗ воздействию. Таким образом, присутствие в композите микроразмерных частиц бронзы оказывало наибольшее влияние на чувствительность тензометрического преобразователя и отклик к механическому воздействию.

Разработанные тензометрические преобразователи позволяют измерять как амплитудные воздействия, так и их длительность по времени, связанную с интенсивностью кавитации, возникающей при УЗ воздействии на жидкость (дистиллированную воду). Проведенные измерения кавитации с помощью тензодатчика на основе проводящей эластичной матрицы, показали, что при механическом воздействии на композит происходит изменение конфигурации в проводящей сети МУНТ и дисперсных частицах металла, что приводит в свою очередь к изменению электрического сопротивления ( $\Delta R$ ).

### **Багодарности**

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерство науки и высшего образования РФ (FZRR-2024-0003).

### **Выводы**

1. Получен композит на основе эластичной полимерной матрицы с углеродными наноструктурами (МУНТ) и добавками бронзы. Для получения тензометрического преобразователя, с улучшенным распределением проводящей фазы в объёме эластомера, использовался ультразвуковой гомогенизатор.

2. Установлено, что максимальной чувствительностью к механическому воздействию обладал композит, содержащий 3 мас. % МУНТ и 2 мас. % бронзы, что обусловлено влиянием большего свободного пространства диэлектрической фазы, которая сжимаясь под действием механического воздействия обладала большей упругостью, а соответственно и расширенными диапазонами расстояний – между МУНТ при больших УЗ-воздействиях.

### **Список литературы**

1. Булычев Н.А. Получение наноразмерных материалов в плазменных разрядах и ультразвуковой кавитации // Теплофизика высоких температур. – 2021. – Т. 59, № 4. – С. 600–633.

2. Земцова Н.В., Щегольков А.В. Электропроводящие полимерные композиты с температурозависимыми электрофизическими характеристиками для систем контроля температуры, давления и электронагрева // Современные тенденции развития функциональных материалов : материалы международной молодежной научной конференции, Сочи, 7–9 нояб. 2023 г. – Сочи: Сириус, 2023. – С. 28.

3. Acoustic cavitation assisted de-stratified clay tactoid reinforced in situ elastomer-mimetic semi-IPN hydrogel for catalytic and bactericidal application / S. Ganguly, P. Das, T.K. Das, S. Ghosh, S. Das, M. Bose, M. Mondal, A.K. Das, N.Ch. Das // *Ultrasonics Sonochemistry*. – 2020. – Vol. 60. – P. 104797.

4. Курочкин А.К., Курочкин А.А. Гидродинамические роторные кавитаторы. Кавитационные процессы и технологии // *Экологический вестник России*. – 2018. – № 7. – С. 9–14.

5. Повышение эффективности ультразвуковой кавитационной обработки вязких и дисперсных жидких сред / В.Н. Хмелев, С.С. Хмелев, Р.Н. Голых, Р.В. Барсуков // *Ползуновский вестник*. – 2010. – № 3. – С. 321–325.

6. Голых Р.Н., Хмелев В.Н., Хмелев С.С. Моделирование процесса формирования кавитационной области в высоковязких и высокодисперсных жидких средах // *Южно-Сибирский научный вестник*. – 2012. – № 1 (1). – С. 22–26.

7. Ильичев В.В., Игошин Д.Н., Свистунов А.И. Влияние кавитации на износ шнековых насосов и методы снижения себестоимости их изготовления // *Экономика и предпринимательство*. – 2015. – № 9/2 (62). – С. 779–782.

8. Скворцов С.П. Методы контроля параметров ультразвуковой кавитации // *Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана*. – 2015. – № 2. – С. 83–100.

---

---

**STRAIN GAUGE TRANSDUCERS BASED ON ELASTOMERS MODIFIED  
WITH MICRO- AND NANOSIZED PARTICLES WITH CONTROLLED SENSITIVITY  
TO MEASURABLE IMPACTS**

**Zemtsova N.V.**<sup>1</sup>, Post-graduate Student, e-mail: natasha\_paramonova\_68@mail.ru

**Shchegolkov A.V.**<sup>1</sup>, Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: energynano@yandex.ru

**Shchegolkov A.V.**<sup>2</sup>, Ph.D. (Engineering), e-mail: alexxx5000@mail.ru

<sup>1</sup> Tambov State Technical University, 106 Sovetskaya st., Tambov, 392000, Russian Federation

<sup>2</sup> Moscow Polytechnic University, 38 Bolshaya Semyonovskaya str., Moscow, 107023, Russian Federation

### Abstract

The paper shows the possibility of using a new type of strain gauge transducer based on elastomers modified with micro- and nanoscale particles (conductive filler) with controlled sensitivity to measured effects for measuring cavitation processes in liquids. The strain gauge transducers were made of elastomer modified with bronze microparticles and multi-wall carbon nanotubes (*MWCNTs*). The physical principle of the developed strain gauge transducer is based on the change in the electrical resistance  $\Delta R$  of the composite from periodic exposure of the measured medium to the composite, resulting in a change in the distance between the network of agglomerated *MWCNTs* in its conducting phase. This phenomenon is based on the change of parameters of the tunneling effect of electrons, which depends on the contact and distance between individual *MWCNTs* and bronze particles. In this case, the content of bronze microparticles affected the overall electrical conductivity of the composite.

As the repetition frequency increased or the amplitude of the mechanical action on the strain gauge transducer changed, signals proportional to these actions were generated. The concentration of the conductive filler was varied to control the sensitivity of the strain gauge transducer.

### Keywords

strain gauge transducer; elastomer; cavitation; multi-wall carbon nanotubes (*MWCNTs*); bronze microparticles; neural network.

УДК 620.181.4

**ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА КОЭФФИЦИЕНТ  
ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ ТИТАНОВЫХ ( $\alpha + \beta$ )-СПЛАВОВ**

**В.В. ПОЛТАВЕЦ<sup>1</sup>**, доктор техн. наук, доцент  
**Н.Н. ШАПОВАЛОВА<sup>2</sup>**, инженер  
(<sup>1</sup>ДонНТУ, г. Донецк,  
<sup>2</sup>ООО «Энергосбыт Донецк», г. Донецк)

**Полтавец В.В.** – 283001, г. Донецк, ул. Артема, 58  
Донецкий национальный технический университет,  
*e-mail*: poltavetsvv@gmail.com

При механической обработке деталей из высокопрочных титановых сплавов возникает комплекс технологических сложностей, которые обуславливают необходимость совершенствования моделей тепловых процессов и уточнения значений теплофизических параметров сплавов. В связи с отсутствием соответствующих экспериментальных сведений целью работы является исследование влияния температуры на коэффициент температуропроводности для титановых двухфазных ( $\alpha + \beta$ ) - сплавов. Исследование выполнено на основе применения положений теории тепло- и массообмена и теории теплопередачи. На основании принятых допущений коэффициент температуропроводности рассчитан с использованием уравнения Фурье-Остроградского. Температурные зависимости коэффициента температуропроводности по своему виду близки к линейным при температурах ниже температуры полиморфного превращения. Степень изменения коэффициента температуропроводности в указанном диапазоне температур меняется от 25 % у сплава BT22 до 90 % у сплава BT25.

**Ключевые слова:** титановые сплавы, механическая обработка, теплофизика, теплообмен, теплопроводность, теплоёмкость, температуропроводность..

**Введение**

Титановые сплавы с двухфазной ( $\alpha + \beta$ ) - структурой преимущественно относятся к группе высокопрочных титановых сплавов, которые широко применяются в авиационной и ракетно-космической технике, например, при изготовлении элементов двигателей, топливных и гидравлических систем.

При механической обработке деталей из титановых сплавов возникает комплекс проблем, которые «резко снижают эффективность процесса резания» [1, 2]. Основная проблема связана с высокой прочностью титановых сплавов. К наиболее существенным сложностям при обработке титана относят: чрезмерное выделение теплоты в зоне резания; плохую теплопередачу из-за низкой теплопроводности титановых сплавов; возникновение вибраций, вызванных низким модулем упругости [3, 4].

Перечисленные сложности обуславливают необходимость совершенствования моделей тепловых процессов при обработке титановых сплавов и уточнения значений их теплофизических параметров. Особенно важное значение имеет повышение точности моделирования тепловых процессов при обработке шлифованием, так как, во-первых, технологические процессы изготовления деталей из титановых двухфазных ( $\alpha + \beta$ ) - сплавов чаще всего включают в качестве финишных операции алмазно-абразивной обработки и, во-

вторых, обработка шлифованием таких сплавов характеризуется высокой теплонапряженностью.

Используемые для поиска рациональных или оптимальных режимных параметров математические способы описания процесса шлифования можно условно разделить на две группы, различающиеся применяемыми подходами. При первом подходе процесс шлифования рассматривается как квазистационарный [5]; при втором – как нестационарный [6], в котором выходные параметры шлифования зависят от времени обработки.

В настоящее время базой для исследований процесса шлифования преимущественно выступает второй подход, основывающийся на использовании аналитических зависимостей, описывающих изменение сил резания при различных режимах и условиях шлифования [7, 8].

При расчете сил резания при обработке различных конструкционных материалов, включающих металлы и их сплавы, используются значения следующих теплофизических характеристик:

- 1) коэффициента теплопроводности материала  $\lambda$ , Вт/(м·К);
- 2) удельной массовой теплоёмкости  $c$ , Дж/(кг·К);
- 3) коэффициента температуропроводности материала  $a$ , м<sup>2</sup>/с.

Отличительной особенностью титановых сплавов является явно выраженная зависимость теплофизических характеристик от температуры. Во Всероссийском институте авиационных материалов (ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ) экспериментальным путём получен массив данных о влиянии температуры на коэффициент теплопроводности [9] и на удельную массовую теплоёмкость [10] для конструкционных титановых сплавов. При этом экспериментальные сведения о влиянии температуры на коэффициент температуропроводности титановых сплавов в научно-технической литературе не приведены.

Целью данной работы является исследование влияния температуры на коэффициент температуропроводности титановых двухфазных ( $\alpha + \beta$ ) - сплавов на основе применения положений теории тепло- и массообмена и теории теплопередачи, а также оценка значимости такого влияния.

## Методы исследований

С физической точки зрения коэффициент температуропроводности  $a$  «характеризует теплоинерционные свойства вещества или, другими словами, характеризует скорость изменения температуры в каждой точке тела во времени, так как скорость изменения температуры прямо пропорциональна коэффициенту температуропроводности» [11]:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} \sim a. \quad (1)$$

В то же время предельное значение темпа охлаждения (нагрева) рассматриваемого тела прямо пропорционально коэффициенту температуропроводности (третья теорема Г.М. Кондратьева), а коэффициент пропорциональности зависит лишь от формы и размеров тела [12].

Формула (1) показывает, что коэффициент температуропроводности характеризует только нестационарные процессы, к которым относят большинство процессов механической обработки. Этот коэффициент функционально связан с другими физическими характеристиками вещества различными математическими соотношениями, но форма этих соотношений зависит от вида вещества, характера и скорости процессов и т.п.

Для выбора формы соотношения примем следующие допущения:

1. Режим переноса теплоты при механической обработке ламинарный, при котором коэффициент температуропроводности, в отличие от турбулентного режима, является физической характеристикой обрабатываемого вещества [11].
2. Теплопроводность рассматривается в однородной изотропной среде.
3. Фазовые превращения в обрабатываемом материале отсутствуют [13].
4. Движение вещества в обрабатываемом материале не происходит.
5. Внутренние источники тепла в веществе рассматриваемого тела отсутствуют.

При умеренных скоростях движения вещества, в котором распространяется тепло, или при отсутствии такого движения уравнение распространения тепла принимает наиболее простую форму (уравнение Фурье-Остроградского). На основе этого уравнения скорость изменения температурного поля во времени в твердом теле и жидкости, текущей с умеренной скоростью, при отсутствии внутренних источников тепла зависит только от одной физической характеристики вещества – коэффициента температуропроводности [14].

В указанном уравнении Фурье-Остроградского коэффициент температуропроводности формируется как комплекс физических величин вида:

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} = \frac{\lambda}{c'}, \quad (2)$$

где  $\rho$  – плотность вещества,  $\text{кг/м}^3$ ;  $c'$  – удельная объёмная теплоёмкость,  $\text{Дж/ (м}^3 \cdot \text{К)}$ .

С использованием выражения (2) на основе имеющихся в литературе [9, 10, 15] справочных данных о теплофизических свойствах титановых двухфазных ( $\alpha + \beta$ ) - сплавов нами был выполнен расчёт значений коэффициента температуропроводности в диапазоне температур 50-900°C.

## Результаты и их обсуждение

Для наглядного представления степени изменения коэффициента температуропроводности титановых двухфазных ( $\alpha + \beta$ ) - сплавов в рассматриваемом диапазоне температур на основе результатов выполненных расчётов построены графики зависимости этого коэффициента от температуры (рис. 1).

Как видно из полученных графических зависимостей, с ростом температуры имеет место близкий к линейному рост коэффициента температуропроводности, заканчивающийся для титановых сплавов ВТ14 и ВТ18 примерно при уровне температур 750-800°C, для сплавов ВТ22 и ВТ25 – при уровне температур 650-700°C, а для сплава ВТ16 происходящий до 500°C. Соответственно, уменьшение коэффициента температуропроводности для сплавов ВТ14 и ВТ18 происходит после температуры 800°C, для сплава ВТ22 – после 700°C, для сплава ВТ16 – уже после 650-700°C и протекает с большей интенсивностью.

Для титанового сплава ВТ25 экспериментальные данные об изменении теплофизических характеристик после 700°C в справочной литературе отсутствуют, а до этой температуры характер изменения коэффициента температуропроводности наиболее близок к сплаву ВТ14.

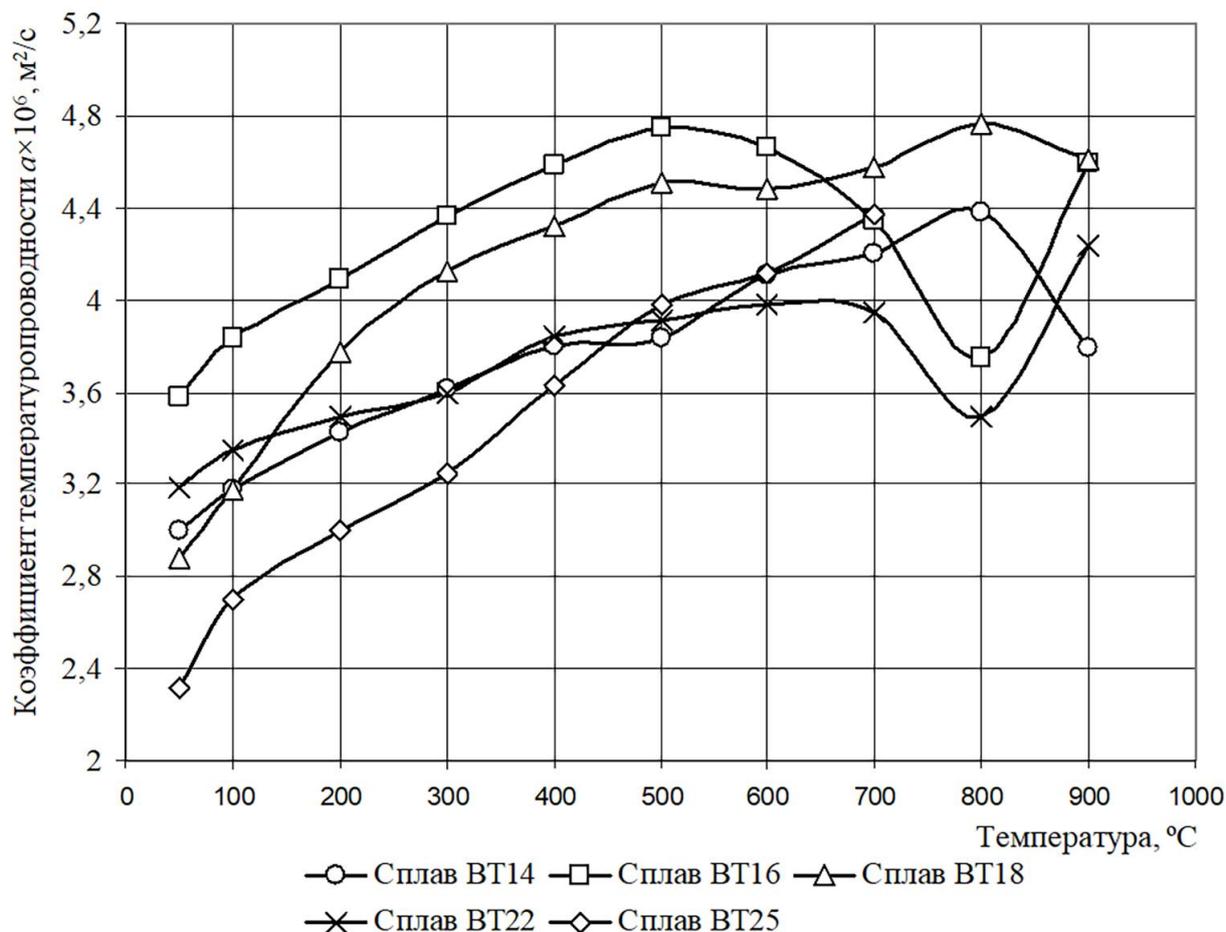


Рис. 1. Изменение коэффициента температуропроводности титановых двухфазных ( $\alpha + \beta$ ) - сплавов в зависимости от температуры

По нашему мнению, наблюдаемое различие в характере изменения коэффициента температуропроводности обусловлено тем фактом, что температура полиморфного  $\alpha \rightarrow \beta$  - превращения у сплавов VT16 и VT22 значительно (на 130-180°C) ниже, чем у сплавов VT14, VT18 и VT25 [10]. Кроме того, специфика изменения коэффициента температуропроводности у сплава VT16, отличающая его от остальных рассмотренных двухфазных ( $\alpha + \beta$ ) - сплавов, состоит в следующем:

1) Сплав VT16 содержит относительно небольшую долю алюминия.

2) При достижении температур, при которых начинает снижаться коэффициент температуропроводности, в условиях отсутствия существенных изменений в структуре и микроструктуре сплава VT16 начинает проявляться процесс полигонизации в  $\alpha$ -фазе [16].

В целом нужно отметить, что температурные зависимости коэффициента температуропроводности у двухфазных ( $\alpha + \beta$ ) - сплавов по своему виду, также как и температурные зависимости удельной теплоёмкости, близки к линейным при температурах ниже температуры полиморфного  $\alpha \rightarrow \beta$  - превращения примерно на 100°C [10], но при этом степень изменения коэффициента температуропроводности в указанном диапазоне температур значительно выше и меняется от 25 % у сплава VT22 до 90 % у сплава VT25. Такое существенное изменение важной теплофизической характеристики обрабатываемого материала следует учитывать при расчетах мгновенных значений сил резания аналитическим методом.

## Выводы

Установлено, что коэффициент температуропроводности титановых двухфазных ( $\alpha + \beta$ ) - сплавов в диапазоне температур 50-900°C изменяется на величину от 25 % у сплава BT22 до 90 % у сплава BT25. Полученные расчетным путем данные о влиянии температуры на коэффициент температуропроводности титановых ( $\alpha + \beta$ ) - сплавов могут быть использованы при уточнении математических моделей, которые применяются для расчёта мгновенных значений сил резания при механической обработке титановых сплавов, а также при моделировании формирующихся при механической обработке и обработке давлением температурных полей в обрабатываемом материале.

## Список литературы

1. Некоторые особенности механической обработки титановых сплавов / Е.С. Дорофеева, Д.С. Литвиненко, Н.Ф. Янковская, Н.А. Амельченко // Решетневские чтения – 2017 : материалы XXI международной научно-практической конференции, Красноярск, 8–11 нояб. 2017 г. – Красноярск: Изд-во СибГУ им. М.Ф. Решетнева, 2017. – С. 494–496.
2. Илларионов А.Г., Попов А.А. Технологические и эксплуатационные свойства титановых сплавов: учебное пособие. – Екатеринбург: Изд-во УрФУ, 2014. – 137 с. – ISBN 978-5-7996-1096-8.
3. Багаутдинов Р.Р., Макаров И.В., Бабина Г.И. Особенности механической обработки титановых сплавов // Молодой ученый. – 2021. – № 39 (381). – С. 8–11.
4. Иванчей Ю.С. Исследование технологии обработки детали из титана при технологической подготовке производства // Тамбовский государственный технический университет : [сайт]. – С. 60–63. – URL: <https://tstu.ru/book/elib/pdf/stmu/2021/15.pdf> (дата обращения: 02.05.2024).
5. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения. В 10 т. / Ф.В. Новиков, А.В. Якимов, Г.В. Новиков [и др.]; под общ. ред. Ф.В. Новикова, А.В. Якимова. – Одесса: Изд-во ОНПУ, 2002. – Т. 4: Теория абразивной и алмазно-абразивной обработки материалов. – 802 с.
6. Полтавец В.В., Матюха П.Г. Оптимизация режимов шлифования с учетом нестационарности процесса // Научные труды ДонНТУ. Серия: Машиностроение и машиноведение: [сб. науч. ст.]. – Донецк: Изд-во ДонНТУ, 2013. – Вып. 1 (190). – С. 81–91.
7. Высокопроизводительное шлифование / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков, А.А. Якимов. – Киев: ИСИО, 1995. – 180 с. – Текст укр.
8. Калинин Е.П. Теория и практика управления производительностью шлифования без прижогов с учетом затупления инструмента. – СПб.: Изд-во СПбПУ, 2009. – 357 с. – ISBN 978-5-7422-2253-8.
9. Глазунов С.Г., Моисеев В.Н. Конструкционные титановые сплавы. – М.: Металлургия, 1974. – 362 с.
10. Теплоемкость промышленных титановых сплавов при температурах 50-1100°C / Ю.В. Лоцинин, В.А. Вертоградский, А.И. Ковалев, И.В. Фролкина // Инженерно-физический журнал. – 1980. – Т. 38, № 4. – С. 593–598.
11. Бухмиров В.В. Тепломассообмен: учебное пособие. – Иваново: Изд-во ИГЭУ им. В.И. Ленина, 2014. – 360 с.
12. Дульнев Г.Н. Теория тепло- и массообмена: учебное пособие. – СПб.: Изд-во НИУ ИТМО, 2012. – 195 с.
13. Мазо А.Б. Основы теории и методы расчета теплопередачи: учебное пособие. – Казань: Изд-во КФУ, 2013. – 144 с.

14. Ткаченко Л.А., Репина А.В. Теория теплообмена: учебное пособие / под общ. ред. Н.Ф. Кашапова. – Казань: Изд-во КФУ, 2017. – 151 с.
15. Авиационные материалы. В 9 т.: справочник / под общ. ред. А.Т. Туманова. – М.: ОНТИ ВИАМ, 1973. – Т. 5 : Магниево-титановые сплавы. – 585 с.
16. Взаимосвязь технологической пластичности со структурой титанового сплава VT16 / А.А. Ильин, С.В. Скворцова, Р. Хемпель, Н.В. Ручина // Сборник трудов международной конференции по титану «Ti-2006 в СНГ». – Киев: Наукова думка, 2006. – С. 291–295.

## INFLUENCE OF TEMPERATURE ON THE THERMAL DIFFUSIVITY OF TITANIUM ( $\alpha + \beta$ )-ALLOYS

**Poltavets V.V.**<sup>1</sup>, D.Sc. (Engineering), Associate Professor, e-mail: poltavetsvv@gmail.com  
**Shapovalova N.N.**<sup>2</sup>, Engineer, e-mail: shapovalova.nn80@mail.ru

<sup>1</sup>Donetsk National Technical University, 58 Artema str., Donetsk, 283001, Russian Federation

<sup>2</sup>Limited Liability Company «Energosbyt Donetsk», 87 Shchorsa str., Donetsk, 283048, Russian Federation

### Abstract

When machining parts from high-strength titanium alloys, a set of technological difficulties arises that sharply reduce the efficiency of the cutting process. These difficulties necessitate the need for development of models of thermal processes when machining titanium alloys and for correction of values of the thermophysical constants of alloys. Due to the lack of relevant experimental information, the purpose of the paper is to study the influence of temperature on the thermal diffusivity of titanium two-phase ( $\alpha + \beta$ )-alloys. Theoretical provisions for choosing the type of functional relationship of the thermal diffusivity coefficient with other physical characteristics of the substance during machining are the concepts of the theory of heat- and mass-transfer. Based on the assumptions made, the thermal diffusivity coefficient is calculated using the *Fourier-Ostrogradsky* equation. Graphs of the dependence of the thermal diffusivity of titanium two-phase ( $\alpha + \beta$ )-alloys on temperature in the range of 50–900°C are plotted. Temperature dependences of the thermal diffusivity coefficient are close to linear in appearance at temperatures below the temperature of polymorphic transformation. Degree of variation of thermal diffusivity in said temperature range varies from 25 % for alloy VT22 to 90 % for alloy VT25. The obtained data on the influence of temperature on the thermal diffusivity of titanium ( $\alpha + \beta$ )-alloys can be used for correction of mathematical models, which are suitable for calculation of instantaneous values of cutting forces in machining of titanium alloys.

### Keywords

titanium alloys, machining, thermal physics, heat transfer, thermal conductivity, heat capacity, thermal diffusivity.

## РЕКОМЕНДАЦИИ ПО НАПИСАНИЮ НАУЧНОЙ СТАТЬИ

Оформление русскоязычной части статьи, подаваемой в научно-технический и производственный журнал «Актуальные проблемы в машиностроении», должно соответствовать по стилю и содержанию определенным минимальным требованиям еще до того, как она будет принята на рассмотрение для публикации. Статьи, не соответствующие этим минимальным требованиям, получают мотивированный отказ редактора – их даже не отправляют на рассмотрение в редакционный совет. Вопросы новизны и оригинальности исследования решаются авторами статьи.

Отметим одно необходимое условие, сформировавшееся за время работы в журнале, – нельзя подавать на рассмотрение работу, которая предварительно не прошла оценки качества самим автором (и научным руководителем в случае недостаточного опыта автора в подготовке научных статей). Кроме того, текст должен быть внимательно прочитан всеми авторами (а не одним автором, как это зачастую бывает), так как все авторы несут коллективную ответственность за содержание работы.

### 1. Общие комментарии

Пишите доходчивым и простым языком – абстрактные формулировки и излишне длинные фразы трудны как для чтения, так и для понимания.

Статья не должна быть слишком длинной, даже если журнал не указывает максимального объема статьи. Пишите лаконично и грамотно, соблюдая правила написания по русскому языку.

Избегайте:

- неряшливости, например, многочисленных опечаток, небрежного стиля, маленьких иллюстраций, уравнений с ошибками и др.;
- длинного текста (абзаца), содержащего избыточные высказывания.

Научная статья должна иметь определенную структуру, которая описана ниже.

### 2. Заглавие и сведения об авторах

Используйте лаконичное описательное название, содержащее основные ключевые слова темы статьи. Перед заглавием обязательно указывается УДК.

После заглавия по порядку следуют И.О. ФАМИЛИЯ авторов, их ученая степень, ученое звание, в скобках указывается сокращенное название организации, город. Ниже – данные для переписки: Фамилия И.О. основного автора, почтовый адрес и полное название организации, e-mail.

### 3. Аннотация (реферат)

Аннотация содержит ключевые слова и представляет собой сжатый обзор содержания работы, указывает на основные проблемы, к которым обращается автор, на подход к этим проблемам и на достижения работы (не менее 10 строк).

### 4. Ключевые слова

Ключевые слова должны отображать и покрывать содержание работы. Ключевые слова служат профилем вашей работы для баз данных.

### 5. Введение

Раздел «Введение» должен быть использован для того, чтобы определить место вашей работы (подхода, данных или анализа). Подразумевается, что существует нерешенная или новая научная проблема, которая рассматривается в вашей работе. В связи с этим в данном разделе следует представить краткий, но достаточно информированный литературный обзор (до 2 стр.) по состоянию данной отрасли науки. Не следует пренебрегать книгами и статьями, которые были написаны, например, раньше, чем пять лет назад. В конце раздела «Введение» формулируются цели работы и описывается стратегия для их достижения.

### 6. Описание экспериментальной части и теоретической/вычислительной работы

#### 6.1. Материал, испытываемые образцы и порядок проведения испытаний

Приводится обоснование выбора данного материала (или материалов) и методов описания материала (материалов) в данной работе.

При необходимости приводятся рисунки образцов с единицами измерения (единицы измерения только в системе СИ). При испытании стандартных образцов достаточно ссылки на стандарт. Для большой программы испытаний целесообразно использовать таблицу матричного типа. Если образцы взяты из слитков, заготовок или компонентов, то описывается их ориентация и нахождение в исходном материале, используются стандартные обозначения по ГОСТу.

При проведении испытаний приводится следующая информация.

1. Тип и условия испытаний, например, температура испытаний, скорость нагружения, внешняя среда.

2. Описываются переменные параметры, измеряемые величины и методы их измерения с точностью, степенью погрешности, разрешением и т.д.; для величин, которые были вычислены, – методы, используемые для их вычисления.

### **6.2. Результаты экспериментов**

Результаты предпочтительно представлять в форме графиков и описывать их словесно. Не следует писать о том, что ясно видно по графику.

### **6.3. По теоретической/вычислительной работе**

Вышеперечисленные рекомендации актуальны также и для теоретической, и вычислительной работы. В статьях, основанных на вычислительной работе, необходимо указать тип конечного элемента, граничные условия и входные параметры. Численный результат представляется с учетом ограничений (точности) в применяемых вычислительных методах.

В статьях, основанных на аналитической работе, при изложении длинного ряда формул необходимо давать поясняющий текст, чтобы была понятна суть содержания работы. Правильность вычислений необходимо подтверждать промежуточными вычислениями. Так же как и в случае с экспериментальной работой, простого описания числовых или аналитических преобразований без рассмотрения теоретической (физической) первопричины обычно недостаточно, для того чтобы сделать публикацию такой статьи оправданной. Простой отчет о числовых результатах в форме таблиц или в виде текста, как и бесконечные данные по экспериментальной работе, без попытки определить или выдвинуть гипотезу о том, почему были получены такие результаты, без попытки выявить причинно-следственные связи, не украшают работу.

Сравнение ваших числовых результатов с числовыми результатами, полученными кем-то другим, может быть информативным. Но оно ничего не ДОКАЗЫВАЕТ. Контроль при помощи сравнения с общеизвестными решениями и проверка при помощи сравнения с экспериментальными данными являются обязательными.

## **7. Обсуждение**

Необходимо использовать этот раздел для того, чтобы в полном объеме объяснить значимость вашего подхода, данных или анализа и результатов. Настоящий раздел упорядочивает и интерпретирует результаты. Цель раздела – показать, какие знания были получены в результате вашей работы, а также перспективу полученных результатов, сравнив их с существующим положением в данной области, описанным в разделе «Введение». Большое количество графиков и цветных иллюстраций не дает научного результата, это не презентация в *PowerPoint*. Обязанностью автора является упорядочение данных и систематическое представление результатов. Так, простой отчет о результатах испытаний без попытки исследовать внутренние механизмы не имеет большой ценности.

## **8. Выводы**

Этот раздел обычно начинается с нескольких фраз, подводящих итог проделанной работе, а затем в виде списка представляются основные выводы. Следует быть лаконичным.

## **9. Список литературы**

Прежде чем составить список литературы, необходимо ознакомиться с правилами оформления ссылок в журнале «Актуальные проблемы в машиностроении» на сайте научного издания <https://journals.nstu.ru/machine-building/rules>.

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.

## 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  $^{31}\text{P}$  MRS, 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.

## 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 (Иновационные 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 повторений, 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.**

## 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;

### **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 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)»**

Уважаемые Авторы, в связи с включением журнала «*Обработка металлов (технология • оборудование • инструменты)*» в международную базу данных библиографического описания и научного цитирования *Web of Science* 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 неперебиваемых названий собственных имен и др. объектов, имеющих собственные названия; также не используется неперебиваемый сленг, известный только русскоговорящим специалистам. Это также касается авторских аннотаций и ключевых слов;

- **Аффилиация (*Affiliation*)**.

Для каждого автора указывается: *Фамилия* и первые буквы *Имени* и *Отчества*, *степень*, *звание*, *должность*, *адрес электронной почты (e-mail)*, адресные данные [*официальное название организации* на английском языке, которую он представляет, *полный почтовый адрес организации (включая название улицы, город, почтовый индекс, страна)*]. Для указания *степени*, *звания* и *должности* необходимо воспользоваться следующими справочными материалами;

- **Аннотация (*Abstract*)** - по объему больше аннотации на русском языке и включает **не менее 250 слов**, рекомендуется следовать хронологии статьи, использовать англоязычную специальную терминологию, не включать несущественные детали и использовать активный, а не пассивный залог, избегать сложных грамматических конструкций (не применимых в научном английском языке);

- **Ключевые слова (*Keywords*)**;

- **Список литературы (*References*)**. Ссылки на источники в англоязычном списке должны совпадать со ссылками, представленными в русскоязычном списке использованной литературы.

Список **всей** использованной в статье литературы дается на **латинице** (источники на англ., фр., нем. и др. языках – в оригинале, русскоязычные источники необходимо транслитерировать и переводить (правила оформления см. ниже)). Для автоматической транслитерации в латиницу рекомендуется обращаться на сайт <http://translit.ru> (стандарт транслитерации – **BSI**; настройка перед транслитерацией).

- **Информация об источниках финансирования исследования (*Funding*)** (гранты, если необходимо).

Внимание! Авторам запрещается предоставлять переводы заголовков статей, аннотаций, ключевых слов и информации об источниках финансирования, подготовленные с

помощью электронных переводных систем (работы с ошибками и некорректным переводом будут отклонены)

### Правила подготовки списка литературы в англоязычном блоке статьи\*

Списки литературы в российских журналах включают большое разнообразие русскоязычных источников: журналы, материалы конференций, сборники, монографии, патенты, диссертации, отчеты, законы, постановления и пр. Поэтому постоянно возникают вопросы, как готовить для *References* описания этих публикаций.

Для подготовки описания этих видов документов необходимо учитывать тот факт, что эти публикации отсутствуют в системе и не предназначены для установления соответствий между публикациями и ссылками на них. Однако они также должны быть обязательно представлены в романском алфавите. Поэтому их описания можно делать достаточно короткими. Исключение составляют переводные книги, в основном, монографии.

Если готовить ссылки в *References* с пониманием цели их представления в системе, тогда существует ряд правил, выполняя которые можно получить максимальное число связанных с публикациями ссылок в журнале. К таким правилам можно отнести:

1) представлять в *References*, вместо русскоязычного варианта описания журнала, описание его переводной версии, которая, скорее всего, будет или уже представлена в *Scopus*;

2) так как известно, что описания включаемых в зарубежные индексы цитирования и другие базы данных публикаций даются по их англоязычному блоку, то в самом идеальном случае в *References* можно включать переводное название статьи в том виде, как оно указано в журнале (и потом - в базе данных). В таком случае 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;

\* 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.

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 ссылка “ссылка - публикация”;

9) нежелательно в ссылках делать произвольные сокращения названий источников. Это часто приводит к потере связи, так как название может быть не идентифицировано.

10) все основные выходные издательские сведения (в описаниях журнала: обозначение тома, номера, страниц; в описаниях книг: место издания - город, обозначение издательства (кроме собственного непереводного имени издательства, оно транслитерируется)) должны быть представлены на английском языке.

11) в описаниях русскоязычных учебников, учебных пособий не надо указывать тип изданий. Эта информация в ссылках в данном случае является избыточной.

12) в выходных данных публикаций в ссылках (статей, книг) необходимо указывать количество страниц публикации: диапазон страниц в издании указывается “pp.” перед страницами; количество страниц в полном издании (книге) - указывается как “p.” после указания количества страниц;

13) перевод заглавия статьи или источника берётся в квадратные скобки; иногда используются круглые скобки, однако, если квадратные скобки используются редко для других целей в описаниях изданий, то круглые скобки могут иметь другое предназначение, поэтому их использование может вызвать путаницу в описаниях;

14) одна публикация описывается в списке литературы один раз, независимо от того, сколько раз в тексте публикации был упомянут источник;

15) если книга в списке литературы (в любом варианте - основном или в *References*) описывается полностью, тогда в библиографии должен быть указан полный объем издания, независимо от того, какие страницы издания были процитированы в тексте; исключения составляют случаи, когда используются отдельные главы из книги; в этом варианте в списке литературы дается описание главы, с указанием страниц “от-до”.

16) использовать системы автоматического перевода кириллицы в романский алфавит; не делать транслитерацию вручную. Это позволит избежать ошибок транслитерации.

Для транслитерации русских слов целесообразно использование сайта:  
<http://translit.net/>

Нужно войти в программу **Translit.net**, включить русский язык, выбрать вариант стандарта транслитерации **BSI (British Standard Institute)**, вставить в нужное поле текст ссылки на русском языке и нажать «**в транслит**».

Последние два пункта «правил» относятся к процессу составления библиографии в целом. Ниже приведены примеры ссылок на различные виды публикаций.

#### **Описание статьи из журналов:**

Atapin V.G., Skeebe V.Yu. Chislennoe modelirovanie beskarkasnykh arochnykh pokrytii [Numerical simulation of frameless arched covers]. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, 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., Mullagalin I.Z., Muhametshina R.Ju., Chervyakova A.N., Sveshnikov A.V. [Features of the design of field development with the use of hydraulic fracturing]. *Trudy 6 Mezhdunarodnogo Simpoziuma "Novye resursoberegayushchie tekhnologii nedropol'zovaniya i povysheniya neftegazootdachi"* [Proceedings 6th International Symposium "New energy saving subsoil technologies and the increasing of the oil and gas impact"]. Moscow, 2007, pp. 267–272. (In Russian).

**Нежелательно оставлять только переводное название конференции, так как оно при попытке кем-либо найти эти материалы, идентифицируется с большим трудом.**

Sen'kin A.V. [Issues of vibration diagnostics of elastic spacecraft]. *Problemy teorii i praktiki v inzhenernykh issledovaniyakh. Trudy 33 nauchnoi konferentsii RUDN* [Problems of the Theory and Practice of Engineering Research. Proc. Russ. Univ. People's Friendship 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 удастся выявить сведения об оригинальной версии книги, либо переводная версия является, например, сборником из нескольких зарубежных изданий, в основном описании остается переводное издание.

**Описание неопубликованного документа:**

Latypov A.R., Khasanov M.M., Baikov V.A. Geology and Production (NGT GiD). The Certificate on official registration of the computer program. No. 2004611198, 2004. (In Russian, unpublished).

Pressure generator GD-2M. Technical description and user manual. Zagorsk, Res. Inst. of Appl. Chem. Publ., 1975. 15 p. (In Russian, unpublished).

**Описание Интернет-ресурса:**

Kondrat'ev V.B. *Global'naya farmatsevticheskaya promyshlennost'* [The global pharmaceutical industry]. Available at: [http://perspektivy.info/rus/ekob/globalnaja\\_farmatsevticheskaja\\_promyshlennost\\_2011-07-18.html](http://perspektivy.info/rus/ekob/globalnaja_farmatsevticheskaja_promyshlennost_2011-07-18.html). (accessed 23.06.2013)

APA Style (2011). Available at: <http://www.apastyle.org/apa-style-help.aspx> (accessed 05.02.2011).

**Описание диссертации или автореферата диссертации:**

Seменов 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 13.05.2024. Выход в свет 14.05.2024. Формат 60 × 84 1/8. Бумага офсетная.  
Тираж 20 экз. Уч.-изд. л. 22,32. Печ. л. 12,0. Изд. № 80. Заказ № 126.

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

# ОБРАБОТКА

ISSN 1994-6309 (Print)

ISSN 2541-819X (Online)

# ОМ МЕТАЛЛОВ

## ТЕХНОЛОГИЯ ОБОРУДОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТЫ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

«Обработка металлов (технология • оборудование • инструменты)» – рецензируемый научно-технический и производственный журнал, издающийся с 1999 года с периодичностью 4 раза в год.

В журнале публикуются в основном результаты оригинальных фундаментальных, прикладных и поисковых научных исследований и аспирантских работ. Значительное внимание уделяется публикациям обзорных, проблемных и дискуссионных работ по актуальным вопросам машиностроения, материаловедения и современной металлургии. Научно-технические статьи, направленные в адрес журнала, проходят рецензирование и редактирование. **Публикация статей бесплатная.**

Журнал предназначен для профессорско-преподавательского состава и научных работников высших учебных заведений и научно-исследовательских институтов, инженерно-технических работников производственных предприятий и проектных организаций.

Присутствуют разделы: «Технология», «Оборудование», «Инструменты», «Материаловедение», «Научно-техническая информация» и др.



WEB OF SCIENCE



Журнал «Обработка металлов (технология • оборудование • инструменты)» индексируется в крупнейших в мире реферативно-библиографических и наукометрических базах данных *Web of Science* и *Scopus*.



Полный текст журнала «Обработка металлов (технология • оборудование • инструменты)» можно найти в базах данных компании EBSCO Publishing на платформе EBSCOhost. EBSCO Publishing является ведущим мировым агрегатором научных и популярных изданий, а также электронных и аудиокниг.



Журнал входит в «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук».

Правила представления статей для публикации и другая информация о журнале размещены на сайте научного издания:



[http://journals.nstu.ru/obrabotka\\_metallov](http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov)



630073, г. Новосибирск, проспект К. Маркса, 20, корп. 5, к. 137 ВЦ



+7 (383) 346-17-75



metal\_working@mail.ru  
metal\_working@corp.nstu.ru

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-80400 от 01 марта 2021 г.

Print ISSN: 1994-6309 Online ISSN: 2541-819X

Индекс журнала в каталоге агентства «Роспечать» – 70590



НОВОСИБИРСК

