

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

Том 7, Номер 3–4

2020

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ

ACTUAL PROBLEMS IN MACHINE BUILDING

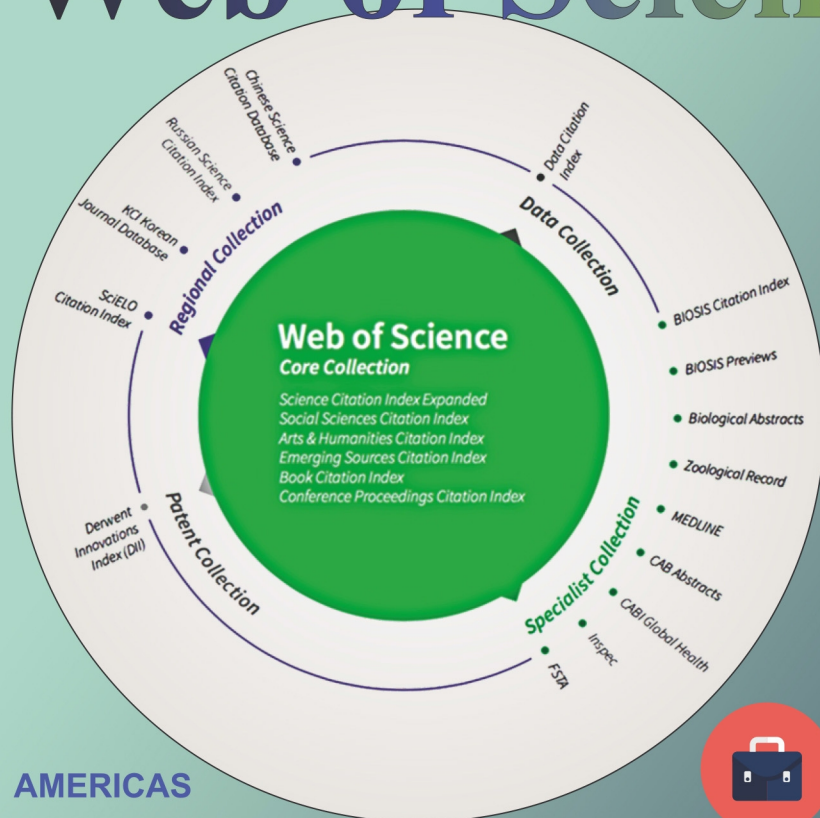
<http://journals.nstu.ru/machine-building>

НОВОСИБИРСК



ПЛАТФОРМА Web of Science

 Clarivate
Analytics



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

EBSCO

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

www.ebsco.com ■ + 420 2 34 700 600 ■ info.cr@ebsco.com

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ

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

Том 7 № 3-4 2020 г. НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Председатель совета

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

Члены совета

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

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

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

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

Российская Федерация: **Анисименко Г.Е.**, директор производственно-технической фирмы «Сигма-инструмент», г. Новосибирск, **Атапин В.Г.**, доктор техн. наук, профессор, НГТУ, г. Новосибирск, **Балков В.П.**, зам. ген.директора АО «ВНИИинструмент», канд. техн. наук, г. Москва, **Батаев В.А.**, доктор техн. наук, профессор, НГТУ, г. Новосибирск, **Буров В.Г.**, доктор техн. наук, профессор, НГТУ, г. Новосибирск, **Герасенко А.Н.**, директор ООО НПКФ «Машсервисприбор», г. Новосибирск, **Иванцовский В.В.**, доктор техн. наук, доцент, НГТУ, г. Новосибирск, **Кирсанов С.В.**, доктор техн. наук, профессор, ТПУ, г. Томск, **Коротков А.Н.**, доктор техн. наук, профессор, академик РАЕ, КузГТУ, г. Кемерово, **Кудряшов Е.А.**, доктор техн. наук, профессор, Засл. деятель науки РФ, ЮЗГУ, г. Курск, **Макаров А.В.**, доктор техн. наук, с.н.с., ИФМ УрО РАН, г. Екатеринбург, **Овчаренко А.Г.**, доктор техн. наук, профессор, БТИ АлтГТУ, г. Бийск, **Рахимьянов Х.М.**, доктор техн. наук, профессор, НГТУ, г. Новосибирск, **Сараев Ю.Н.**, доктор техн. наук, профессор, ИФПМ СО РАН, г. Томск, г. Барнаул, **Янюшкин А.С.**, доктор техн. наук, профессор, 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 – 4 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
machine-building@corp.nstu.ru

Цена свободная

16+

ACTUAL PROBLEMS IN MACHINE BUILDING

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

Volume 7 Number 3-4 2020 SCIENTIFIC, TECHNICAL AND INDUSTRIAL JOURNAL

EDITORIAL BOARD

EDITOR-IN-CHIEF:

Vadim Y. Skeeba, Ph.D. (Engineering), Associate Professor,
Department of Industrial Machinery Design,
Novosibirsk State 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:

Gennadiy E. Anisimenko, Director, Scientific and Production company «Sigma-instrument», *Novosibirsk*;
Vladimir G. Atapin, D.Sc. (Engineering), Professor, Novosibirsk State Technical University, *Novosibirsk*;
Victor P. Balkov, Deputy general director, Research and Development Tooling Institute «VNIINSTRUMENT», *Moscow*;
Vladimir A. Bataev, D.Sc. (Engineering), Professor, Novosibirsk State Technical University, *Novosibirsk*;
Vladimir G. Burov, D.Sc. (Engineering), Professor, Novosibirsk State Technical University, *Novosibirsk*;
Aleksandr N. Gerasenko, Director, Scientific and Production company «Mashservispribor», *Novosibirsk*;
Vladimir V. Ivancivsky, D.Sc. (Engineering), Associate Professor, Novosibirsk State Technical University, *Novosibirsk*;
Sergey V. Kirсанov, D.Sc. (Engineering), Professor, National Research Tomsk Polytechnic University, *Tomsk*;
Aleksandr N. Korotkov, D.Sc. (Engineering), Professor, Kuzbass State Technical University, *Kemerovo*;
Evgeniy A. Kudryashov, D.Sc. (Engineering), Professor, Southwest State University, *Kursk*;
Aleksey V. Makarov, D.Sc. (Engineering), Senior Researcher, M.N. Miheev Institute of Metal Physics,
Russian Academy of Sciences (Ural Branch), *Yekaterinburg*;
Aleksandr G. Ovcharenko, D.Sc. (Engineering), Professor, Biysk Technological Institute, *Biysk*;
Kharis M. Rakhimyanov, D.Sc. (Engineering), Professor, Novosibirsk State Technical University, *Novosibirsk*;
Yuriy N. Saraev, D.Sc. (Engineering), Professor, Institute of Strength Physics and Materials Science,
Russian Academy of Sciences (Siberian Branch), *Tomsk*;
Alexander S. Yanyushkin, D.Sc. (Engineering), Professor, I.N. Ulianov Chuvash State University, *Cheboksary*

The journal is issued since 2014

Publication frequency - 1 volume 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, machine-building@corp.nstu.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ

II ВСЕРОССИЙСКАЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

г. Чебоксары, 26...28 мая 2020 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**; *Янюшкин 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; *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; *Гартфельдер В.А.* – к.т.н., профессор, ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары; *Смоленцев В.П.* – д.т.н., профессор, ВГТУ, г. Воронеж.

ПАРТНЕРЫ

- ЗАО Чебоксарское предприятие «Сеспель», г. Чебоксары, Россия
- НУК «Научно-технический музей истории трактора», г. Чебоксары, Россия
- АО «НПО «Каскад», г. Чебоксары, Россия

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, ПГТУ, 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; *Болдырев А.И.* – д.т.н., профессор, ВГТУ, г. Воронеж; *Вальтер Хельге* – генеральный директор компании «Walther schweisstechnik», г. Вена, Австрия; *Васильев С.А.* – д.т.н., доцент, ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары; *Горелов В.А.* – д.т.н., профессор, МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва; *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; *Иванцовский В.В.* – д.т.н., профессор, НГТУ, г. Новосибирск; *Илларионов И.Е.* – д.т.н., профессор, ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары; *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; *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; *Попов А.Ю.* – д.т.н., профессор, ОмГТУ, г. Омск; *Рахмиев Х.М.* – д.т.н., профессор, НГТУ, г. Новосибирск; *Реченко Д.С.* – д.т.н., доцент, ОмГТУ, г. Омск; *Салов П.М.* – д.т.н., профессор, ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары; *Сорилов М.Ю.* – д.т.н., профессор, КнАГУ, г. Комсомольск-на-Амуре; *Смирнов В.М.* – к.т.н., доцент, ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары; *Табакон 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; *Борисов М.А.* – к.т.н., доцент, ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары; *Секлетина Л.С.* – ст. преподаватель, ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары; *Рафанова О.С.* – зав. межкаф. учеб. лаб. МФ ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары; *Купцов М.В.* – ответственный секретарь конференции, ст. преподаватель, ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары; *Владимирова Ю.О.* – секретарь конференции, ассистент, 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: konfms21chgu@yandex.ru

IMPROVEMENT OF TECHNOLOGICAL PROCESSES IN MECHANICAL ENGINEERING

II Russian National with International Participation
Scientific and Technical Conference
Cheboksary, 26...28 May 2020

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), *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 Machine Building”, Ph.D. (Engineering), Associate Professor, NSTU (Novosibirsk, Russia), *Gartfelder V.A.*, Ph.D., Associate Professor, ChSU (Cheboksary, Russia), *Smolentsev V.P.*, D.Sc. (Engineering), Professor, VSTU, (Voronezh, Russia)

PARTNERS

- SESPEL Cheboksary enterprise (Cheboksary, Russia)
- Science and Technology Museum history tractor (Cheboksary, Russia)
- JSC “SIC “Cascade” (Cheboksary, Russia)

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, Volgatch (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), *Boldyrev A.I.*, D.Sc. (Engineering), Professor, VSTU, (Voronezh, Russia), *Ing. Helge Walther* – CEO (Chief Executive Officer) of Walther Schweisstechnik, (Vienna, Austria), *Vasilyev S.A.*, D.Sc. (Engineering), Associate Professor, ChSU, (Cheboksary, Russia), *Gorelov V.A.*, D.Sc. (Engineering), Professor, BMSTU, (Moscow, 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), *Ivancivsky V.V.*, D.Sc. (Engineering), Professor, NSTU (Novosibirsk, Russia), *Illarionov I.E.*, D.Sc. (Engineering), Professor, ChSU (Cheboksary, 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), *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), *Popov A.Yu.*, D.Sc. (Engineering), Professor, OmSTU, (Omsk, Russia), *Rakhimyanov H.M.*, D.Sc. (Engineering), Professor, NSTU (Novosibirsk, Russia), *Rechenko D.S.*, D.Sc. (Engineering), Associate Professor, OmSTU, (Omsk, Russia), *Salov P.M.*, D.Sc. (Engineering), Professor, 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), *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 Machine Building ", ChSU (Cheboksary, Russia); *Borisov M.A.*, Ph.D. (Engineering), Associate Professor, ChSU (Cheboksary, Russia); *Sekretina L.S.*, Senior Lecturer, ChSU (Cheboksary, Russia); *Kuptsov M.V.*, Assistant, ChSU (Cheboksary, Russia); *Rafanova O.S.*, Head of Laboratory MBF ChSU (Cheboksary, Russia); *Vladimirova Yu.O.*, Assistant, 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.

428015, Russian Federation, Volga Federal District,
Cheboksary, I.N. Ulianov Chuvash State University
Machine-building Faculty, 3 S. Mikhailova str.
e-mail: konfmsf21chgu@yandex.ru

СОДЕРЖАНИЕ

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Семенов И.В., Верещагин П.В. Сравнительный анализ перспективных технологических процессов производства гильзы к патрону травматического действия	7
Салов П.М., Борисов М.А., Терентьев Е.А. Компенсация деформаций при шлифовании глубоких отверстий	12
Борисов М.А., Лобанов Д.В., Зворыгин А.С. Влияние продолжительности импульсов тока на шероховатость при электрохимическом шлифовании коррозионностойкой стали 12Х18Н10Т	18
Лобанов Д.В., Купцов М.В., Мулюхин Н.В. Мобильное приложение для автоматизации организационно-технологической подготовки производства	26
Лобанов Д.В., Никифоров А.С., Мулюхин Н.В. Определение показателей и разработка методики для сравнительной оценки методов алмазного шлифования	32
Лебедев В.А., Белозеров М.А. Применение вибрационной стабилизирующей обработки для повышения качества деталей летательных аппаратов	39

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ОСНАСТКА И ИНСТРУМЕНТЫ

Богущий В.Б. Алгоритм силового расчета проектируемой технологической оснастки в САД-системах	45
Лобанов Д.В., Мулюхин Н.В., Купцов М.В., Никифоров А.С. Формообразование режущего лезвия твердосплавного инструмента для обработки полимерных композиционных материалов традиционным алмазным шлифованием	51
Сазонов С.Е., Емченко Е.А., Стреляная Ю.О. Исследование повышения эффективности процесса шлифования кругами из классифицированного по форме абразивного зерна	59
Васильев С.А., Михайлов А.Г. Конструктивные особенности гидравлических систем вибрационных машин	64

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Данилов П.Г., Владимирова Ю.О., Шалунов Е.П. Анализ современных материалов и использование наиболее оптимальных из них для подшипников скольжения коленчатого вала высокофорсированных дизельных двигателей	69
Рекомендации по написанию научной статьи	77
Подготовка аннотации	79
Правила для авторов	81

CONTENTS**Innovative Technologies in Mechanical Engineering**

- Semenov I.V., Vereshchagin P.V.** Comparative analysis of promising technological processes for the production of cartridge cases for traumatic cartridges 7
- Salov P.M., Borisov M.A., Terentiev E.A.** Grinding compensation for grinding deep holes 12
- Borisov M.A., Lobanov D.V., Zvorygin A.S.** Influence of duration of current pulses on roughness at electrochemical grinding of corrosion-resistant steel 12X18H10T 18
- Lobanov D.V., Kuptcov M.V., Muliukhin N.V.** Mobile App for automation of organizational and technological preparation of production 26
- Lobanov D.V., Nikiforov A. S., Muliukhin N.V.** Definition of indicators and development of a methodology for the comparative evaluation of diamond grinding methods 32
- Lebedev V.A., Belozеров M.A.** Application of vibration stabilizing treatment to improve the quality of aircraft parts 39

Technological Equipment, Machining Attachments and Instruments

- Bogutsky V.B.** Algorithm for power calculation of designed technological equipment in cad-systems 45
- Lobanov D.V., Muliukhin N.V., Kuptcov M.V., Nikiforov A.S.** Forming a cutting blade of a hard-alloy tool for processing polymeric composite materials by traditional diamond grinding 51
- Sazonov S.E., Emchenko E.A., Strelyanaya Yu.O.** Study of increasing efficiency of the circular grinding process from classified by the form of abrasive grain 59
- Vasiliev S.A., Mikhailov A.G.** Construction features of hydraulic systems of vibration machines 64

Materials Science in Machine Building

- Danilov P.G., Vladimirova Yu.O., Shalunov E.P.** Analysis of modern materials and use of the most optimal of them for the crankshaft sliding bearings of highly forced diesel engines 69

Guidelines for Writing a Scientific Paper 77

Abstract requirements 79

Rules for authors 81

УДК 623.455.2

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ГИЛЬЗЫ К ПАТРОНУ ТРАВМАТИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

*И.В. СЕМЕНОВ, студент
П.В. ВЕРЕЩАГИН, канд. техн. наук, доцент
(БТИ АлтГТУ, г. Бийск)*

Семенов И.В. – 659305, г. Бийск, ул. Им. Героя Советского Союза Трофимова, 27
Бийский технологический институт (филиал)
«Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»
e-mail: ilyasemenov9715@mail.ru

Данное исследование включает в себя вопросы производства гильз патронов огнестрельного стрелкового оружия. Внимание здесь уделяется гильзам для патронов нелетального действия. В ходе работы анализируется целесообразность изготовления гильз для боевых и травматических патронов по единой технологии. Была поставлена задача поиска альтернативных конструкций гильз. Анализ производился по металлоемкости заготовок исследуемых гильз и технологическим усилиям на формоизменяющих операциях. Усилия на различных операциях вычислялись по математическим зависимостям, либо методом конечных элементов. Металлоемкость заготовок полуфабриката проверялась при помощи проектирования моделей в САД-системе. Было установлено, что гильза кольцевого воспламенения требует меньших технологических усилий для изготовления, по сравнению с уже используемой конструкцией гильзы. Но при этом, проектированием установлено, что заготовки исследуемых гильз практически не отличаются по металлоемкости. В ходе исследования, нами была предложена сборная конструкция гильзы из трубки и эластичного дна, которая имеет меньшую металлоемкость, чем исследуемые ранее конструкции. Кроме того, методом конечных элементов установлено, что требуемые для данной конструкции формоизменяющие операции обладают наименьшим технологическим усилием из всех рассмотренных ранее вариантов. Таким образом, нами выявлена перспективная конструкция гильз для патронов травматического действия, пригодная для револьверов.

Ключевые слова: Металлические гильзы, холодная листовая штамповка, патроны, оружие нелетального действия, технология производства гильз, обтюрация, упругий обтюратор, системы автоматического проектирования, метод конечных элементов.

Введение

В качестве для гильз патронов травматического действия (для оружия ограниченного поражения – далее ООП) используется доработанные конструкции гильз боевых патронов. Ключевое отличие между патронами для боевого и травматического оружия – начальная энергия пули. Максимальная кинетическая энергия пули травматического действия составляет 91 Дж, что требует значительно меньшего давления пороховых газов при выстреле [1].

Пистолетные патроны боевого и гражданского оружия работают при давлениях 1600-2400 атм [2, 3]. Рабочее давление патрона ООП значительно ниже и составляет порядка 800

атм [4]. Для такого уровня нагрузок существующая конструкция гильзы имеет избыточную прочность и жесткость дна и придонного участка.

Цель данного исследования – предложить оптимальную конструкцию гильзы патрона ООП.

В рамках данной работы выполняются следующие задачи:

- 1) Поиск конструкций гильз, оптимальных для патрона ООП;
- 2) Сравнение металлоемкости заготовок выбранных конструкций;
- 3) Сравнение максимальных технологических усилий на операциях изготовления конструкций.

Теория и методы исследования.

Используемая конструкция гильз (рис. 1) имеет мягкое дульце, прочную срединную часть и жесткое дно. Патроны с таким типом гильз пригодны для большинства типов современного оружия. Заготовки получают вырубкой из листа толщиной около 3 мм.

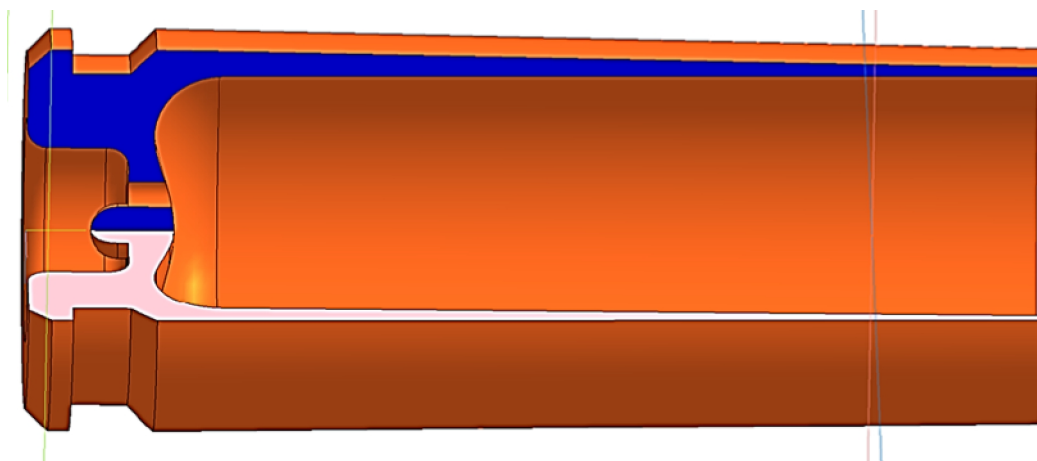


Рис. 1. Модель готовой гильзы с вырезом

Альтернативной конструкцией являются гильзы кольцевого воспламенения (рис. 2) [5]. Заготовки возможно получить вырубкой из листа толщиной 1 мм. Исследуемые конструкции получают, используя операции комбинированной вытяжки.

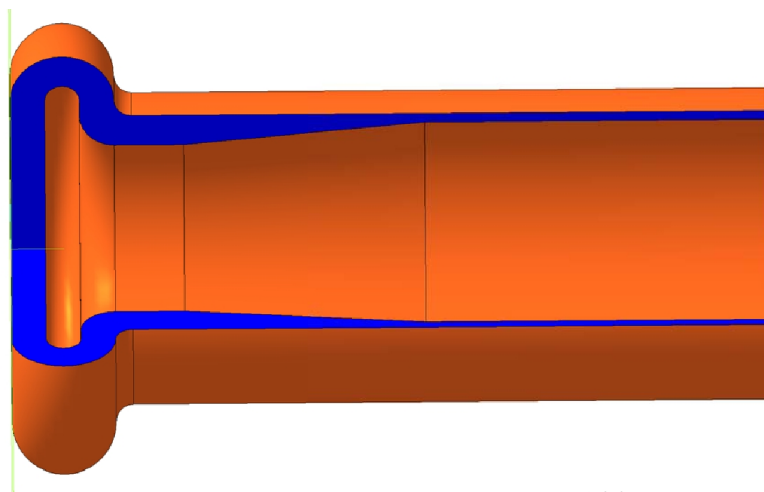


Рис. 2. Модель гильзы кольцевого воспламенения

В общем случае, усилия на операциях определяются по формуле 1 [6]:

$$F = \pi d s \sigma \quad (1)$$

где d – диаметр полуфабриката, s – толщина материала, σ – предел прочности заготовки на растяжение или срез (при вырубке).

Было произведено проектирование нелетального патрона (9 mm PA). Установлено, что заготовка гильзы первого варианта имеет толщину 3,2 мм и диаметр 14 мм, а вариант с кольцевым воспламенением толщину 1 мм и диаметр 27 мм. При таком соотношении геометрических параметров, усилие при штамповке второго варианта конструкции будет на 30% ниже.

После операций вытяжки, необходимо сформировать донный участок. Для первой конструкции гильзы штампуется капсюльное гнездо диаметром 5 мм и глубиной 3 мм. Для второго варианта производится осадка полого цилиндра (примерно на 4 мм). Методом конечных элементов рассчитываем необходимые технологические усилия для данных операций (используется библиотечная математическая модель пластичного материала AISI 1035 Cold).

Результаты и обсуждение

Расчет показал, что на штамповку гнезда требуется 54,9 кН, в то время как осадка требует 27,7 кН технологического усилия. Металлоемкость заготовок исследуемых гильз практически одинакова – 565,5 мм³ для первой и 572,5 мм³ для второй конструкции. На основе полученных результатов можно установить, что для производства гильзы патрона ООП выгоднее использовать конструкцию гильзы кольцевого воспламенения.

Поиск решений, позволяющий получить наиболее технологичную конструкцию гильз для патронов ООП привел нас к разработке сборной конструкции. В качестве заготовки предлагается использовать отрезок трубы.

С одного торца полуфабриката формируется фланец. Полученная конструкция является полым корпусом гильзы. Чтобы гильза (рис. 3) была работоспособна, необходимо дно-обтюратор, который возможно выполнить из эластичного материала, снабдить капсюлем и запрессовать в корпус. В процессе выстрела такое дно будет оседать и расширяться в радиальном направлении под действием пороховых газов, тем самым обтюрируя их [7].

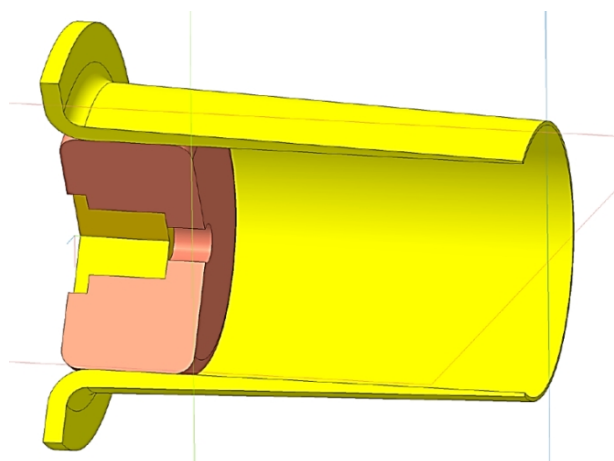


Рис. 3. Модель гильзы с эластичным дном

Технологический процесс производства такой гильзы не требует операций вытяжки, но потребует утонения стенки в области дульца. Усилие утонения трубки соответствует усилию протягивания стенки стакана при комбинированной вытяжке. Формирование дна ограничивается формированием фланца. Расчет методом конечных элементов установлено, что для этого потребуются 19 кН технологического усилия.

Проектирование показало, что металлоемкость предлагаемой конструкции ниже – 410 мм³ материала исходной заготовки, так как дно выполняется из эластичного материала. Приведенные обстоятельства говорят о технологичности перспективной конструкции.

Выводы

В результате проведенного исследования выявлены более технологичные конструкции гильз для патронов ООП, по сравнению с исходной. Предлагаемая же нами сборная конструкция гильзы с эластичным дном имеет меньшую металлоемкость, меньшее количество операций изготовления и меньшие усилия на этих операциях. Патрон ООП с такой гильзой будет пригоден для использования в пистолетах револьверного типа.

Список литературы

1. Об оружии: Федеральный закон [принят Гос. Думой 13. 12.1996] // Собрание законодательства РФ. – 1996. – № 51. – Статей 5681.
2. 9 mm Makarov: патроны пистолетные для гражданского (спортивного и охотничьего) оружия [Электронный ресурс] // Барнаульский патронный завод. – Режим доступа: <http://www.barnaulpatron.ru/production/sportshuntingcartridgescalibre/9makarov.html>. – Загл. с экрана.
3. 9 mm Luger (9x19): патроны пистолетные для гражданского (спортивного и охотничьего) оружия [Электронный ресурс] // Барнаульский патронный завод. – <http://www.barnaulpatron.ru/production/sportshuntingcartridgescalibre/9luger.html>. – Загл. с экрана.
4. Травматические патроны [Электронный ресурс] // Барнаульский патронный завод. – Режим доступа: <http://www.barnaulpatron.ru/production/traumaticcartridges.html>. – Загл. с экрана.
5. *Меньщиков Н.Г.* Альбом конструкций патронов стрелкового и крупнокалиберного автоматического оружия (от 6,5 до 37 мм): справочник. – М.: Изд-во артиллер. Акад. Красной Армии им. Дзержинского, 1946. – 199 с.
6. *Семенов Е.И.* Ковка и штамповка. – М.: Машиностроение, 1987. – 544 с.
7. *Семенов. И.В., Верещагин П.В., Пивоваров А.Ю.* Применение обтюраторов в безгильзовом стрелковом огнестрельном оружии // Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности: материалы 11 Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, Бийск, 23–25 мая 2018 г. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2018. – С. 61–64.

**COMPARATIVE ANALYSIS OF PROMISING TECHNOLOGICAL PROCESSES
FOR THE PRODUCTION OF CARTRIDGE CASES FOR TRAUMATIC CARTRIDGES**

Semenov I.V., Student, e-mail: ilyasemenov9715@mail.ru

Vereshchagin P.V., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: vpv@bti.secna.ru

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

Abstract

Our research includes questions about the production of cartridge cases for firearms. The main focus is on the cartridge case for non-lethal weapon. The expediency of using a single technology for the production of cartridges for combat and traumatic cartridges is questioned. We have made the search for alternative designs of the cartridges. The analysis was performed on the metal content of the workpieces of the studied cartridge cases and the technological forces at the forming operations. Forces on various operations were calculated using mathematical dependencies or the finite element method. The metal content of the workpieces was checked by designing models in the CAD-system. When designing models of these cartridge case in the CAD-system, it was found that their metal content does not differ significantly. We have investigated and proposed a combined construction of a cartridge case made of a tube and an elastic bottom. This design has a lower metal content than the earlier studied cartridge cases. Using the finite element method, it was found that such a design requires less forces on the forming operations than the designs discussed earlier. So, we have identified a promising design of cartridge cases for traumatic cartridges, suitable for revolvers.

Keywords

Metal casings, cold sheet stamping, cartridges, non-lethal weapons, casings production technology, obturation, elastic obturator, automatic design systems, finite element method.

УДК 621.923

**КОМПЕНСАЦИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ ШЛИФОВАНИИ
ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ**

*П.М. САЛОВ, доктор техн. наук, профессор
М.А. БОРИСОВ, канд. техн. наук, доцент
Е.А. ТЕРЕНТЬЕВ, старший преподаватель
(ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары)*

Салов П.М. – 428015, г. Чебоксары, пр-т Московский, 15,
Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова,
e-mail: salov-pm@yandex.ru

В работе обозначена проблема, связанная с низкой эффективностью процесса внутреннего шлифования глубоких отверстий. Выполнен анализ исследований, посвященных этой проблеме. На практике принято, что при изменении натяга в технологической системе круг и заготовка не смещаются относительно друг друга. В большинстве теоретических исследований также имеется существенный недостаток – не учитываются постоянно изменяющиеся деформации в технологических системах, которые в процессе правки и шлифования изменяют положения контактируемых тел. Изменение взаимного положения круга (заготовки) и заготовки (круга) нарушает конгруэнтность линий (зон) контакта. Неравномерная нагрузка в области теоретического контакта нарушает стабильность процесса шлифования и всей операции в целом. Суть предлагаемого способа обработки в следующем: на круге формируется такая рабочая поверхность, которая при нагрузке требуемыми квазипостоянными усилиями обеспечивает конгруэнтную с поверхностью отверстия зону контакта, поддерживаемую за счет продольной и поперечной подачи. Установлено, что длительное поддержание стабильности процесса возможно при эльборовом шлифовании в режиме стабильного самозатачивания кругов. Определены условия, при которых предлагаемый способ наиболее эффективен. Для реализации способа определялись: жёсткость технологической системы, усилия резания, параметры процесса, точностные и качественные характеристики обработанных поверхностей. Отрабатывались условия правки кругов с расчетным углом наклона образующей φ , который является конечным параметром, необходимым для реализации способа. Компенсация деформаций для разворота образующей круга в положение, когда она становится параллельной продольной оси отверстия, реализуется за счет поперечной подачи, поддерживающей требуемую мощность резания.

Ключевые слова: Глубокие отверстия, ограниченная жесткость, компенсация деформаций, эльборовые круги, условия поддержания стабильности.

Введение

Ограниченная жёсткость технологической системы привода главного движения при шлифовании глубоких отверстий не позволяет использовать абразивные способности зёрен и формы кругов в объёме, сопоставимом с другими операциями. Причины в следующем.

Во-первых, необходимость использования тонких и длинных оправок для круга геометрически не позволяет прижать его к заготовке по всей образующей [1-3]. Во-вторых, консольное расположение круга на нежёсткой оправке и высокой частоте вращения, способствуют возникновению вибраций в технологической системе (ТС) из-за собственной

неуравновешенности и воздействия нормальных и тангенциальных сил резания [1-7]. В-третьих, малый размер круга и быстрое его уменьшение вызывает более интенсивное по сравнению с другими методами уменьшение скорости резания и числа режущих зёрен [8-15]. В-четвертых, сложно обеспечить длительное равенство условий проведения процесса. Он часто прерывается для контроля и настройки. Во время цикла соблюдается равенство суммарной поперечной подачи и суммы радиальных величин съема материала и износа круга, что обеспечит постоянство положения круга относительно заготовки и равный натяг в ТС [1-7,12-15]. При нарушении равенства круг работает не по всей длине образующей, не обеспечивает точность отверстия и качество поверхности, нарушая соотношение сил резания K_r [2,3,17-21]. При внутреннем шлифовании обычными абразивами он может возрасти до 5 [1-3.5]. В-пятых, правка круга затруднена. Она может сопровождаться вибрациями, повышенным износом алмазных карандашей, недостаточной высотой микропрофиля круга [1-4,18-21].

На практике для уменьшения негативных факторов шлифовальные круги выбираются на 1-2 ступени мягче [1-5,12,13,18-21]. Альтернативным вариантом является применение эльборовых кругов [1-3,8-11,16-21], внедрение которых ограничивается отсутствием методов управления, обеспечивающих работу и равноизнашиваемость всей рабочей поверхности круга [1-3,6-8,10-16,18-21].

Целью исследований является разработка способа шлифования, при котором эльборовый круг равномерно изнашивается по рабочей поверхности, обеспечивая требуемые показатели процесса. Цель достигается за счёт компенсации деформаций от усилий резания.

Задачами исследований являлись:

1. Определение взаимосвязи между усилиями резания и формой круга;
2. Отработка механизма управления процессом

Методика реализации нового способа шлифования глубоких отверстий

Практическая реализация способа показана на рис. 1.

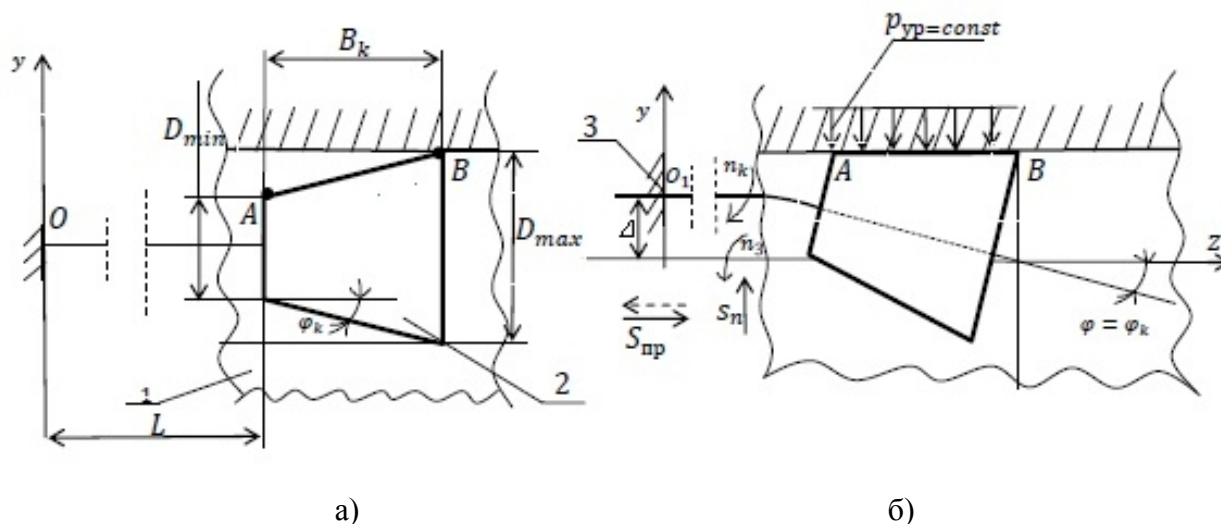


Рис. 1. Положение круга до работы (а) и при работе (б), где:

1 - поверхность отверстия; 2 - круг; 3 - привод главного движения. S_{np} и S_n – продольная и поперечная подачи; φ_k – угол наклона оси круга к оси заготовки. Δ – натяг в технологической системе

Первоначально правкой, круг формообразуется в виде усеченного конуса с расчётным углом наклона образующей $2 \varphi_k$. В начале работы он прижимается к заготовке за счёт перемещения привода главного движения на расчётную величину Δ . Перемещению противодействуют усилия P_{vp} и P_{zp} , реактивные силам резания P_v и P_z . В решающей степени противодействует P_{vp} [1-3, 12-15, 18-21]. При правильно назначенных величинах φ_k и Δ зоны контакта, содержащая линию АВ на рис. 1, б, должна быть равнонагруженной удельными нагрузками $P_{ур}$.

Методики определения зависимостей $\Delta = f(p_y)$ для конкретных условий обработки известны. В работах [2, 3, 21] впервые описаны особенности методик получения зависимостей $\Delta = f(p_y)$ и $\varphi_k = f(p_y)$ в условиях ограниченной жесткости привода главного движения, когда податливостью привода заготовки можно пренебречь. Условия деформации определялись по размерам приработанного при шлифовании круга [2, 3, 21].

После врезания на величину Δ процесс продолжается при поддержании постоянной силы P_y , которую контролируют через силу P_z по затрачиваемой мощности резания [2, 3, 21].

Под воздействием технологической силы P_z круг опускается ниже центра отверстия и разворачивается внутри его. Наличие этих деформаций приводит к дополнительной приработке круга [2, 3, 20, 21]. Геометрический анализ, выполненный в работах [2, 3, 20] и данные моделирования [2] показывают, что этой величиной можно пренебречь.

В работе [3] сделан и подтвержден нами очень важный вывод: поддержание постоянными условия обработки обеспечивает форму круга, образующая которого конгруэнтна с поверхностью отверстия.

Результаты и обсуждение

Эффективность способа проверяли при внутреннем шлифовании гильзы из закаленной стали ШХ15 эльборовым кругом ПП60х30х20х5 ЛО100/80 СТ17К100 на станке ЗК227В. Длина оправки с кругом 60 мм, ее диаметр 30 мм. Получистовое шлифование проводилось при следующем, наиболее применяемом цикле: быстрый подвод круга – работа с периодической поперечной подачей (мм/дв. ход или мм/ход), обеспечивающей незначительное колебание радиальной силы около заданной величины – быстрый отвод. Заданными величинами силы были 100Н и 300Н, которые для испытуемого круга цилиндрической формы соответствовали режимам выхаживания и снятия основного припуска. Величина отжатия конца оправки Δ и углы ее поворота α составляют:

- при 100Н $\Delta=3,5$ мкм; $\alpha=20,3 \cdot 10^{-6}$ рад;
- при 300Н $\Delta=12,5$ мкм; $\alpha=72,5 \cdot 10^{-6}$ рад.

Круги правились перед каждым экспериментом. Точность измерения диаметров кругов при контроле углов конусности или ее отсутствия составляла 1мкм. Нецилиндричность отверстия перед экспериментом не превышала 2 мкм. Перебег круга по краям отверстия составлял одну треть высоты круга. Его величина не изменялась во время эксперимента.

При сравнительных испытаниях цилиндрического и конусообразного круга фиксировались следующие показатели эксперимента: производительность процесса Q (мм³/мин), шероховатость поверхности R_a , отклонения профиля отверстия по длине (конусность, бочкообразность, корсетность) Δl (мкм), разница в изнашивании круга по краевым зонам ΔD (мкм). Результаты экспериментов представлены в таблице.

Таблица

Сравнение цилиндрического и конусообразного кругов

Радиальная сила R, Н															
100								300							
Q, мм ³ /мин		Ra, мкм		Δl, мкм		ΔD, мкм		Q, мм ³ /мин		Ra, мкм		Δl, мкм		ΔD, мкм	
Тип круга: Ц-цилиндрический, К-конический															
Ц	К	Ц	К	Ц	К	Ц	К	Ц	К	Ц	К	Ц	К	Ц	К
48	53	0,32	0,30	4	2	2	1	284	439	0,63	0,4	9	2	4	2

Как следует из таблицы, преимущества конусообразного круга очевидны, особенно в режиме снятия основного припуска.

Выводы

Разработана методика шлифования в условиях, когда образующая круга постоянно находится в конгруэнтном контакте с поверхностью глубокого отверстия.

Список литературы

1. *Никифоров И.П.* Повышение эффективности внутреннего шлифования в условиях пониженной жесткости технологической системы: дис. ... д-ра техн. наук: 05.03.01 / С.-Петербург. гос. политехн. ун-т. – СПб, 2007. – 272 с.
2. *Виноградова Т.Г.* Повышение эффективности шлифования глубоких отверстий путем управления перебегом и формой круга при учете теплонапряженности процесса: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / Самар. гос. тех. ун-т. – Самара, 2013. – 170 с.
3. Рациональное использование эльборовых кругов при шлифовании глубоких отверстий / Д.П. Салова, Е.В. Шалунов, С.С. Сайкин и др. // Научно-технический вестник Поволжья. – 2020. – № 1. – С. 59–61.
4. *Прилуцкий В.А.* Технологические методы снижения волнистости поверхностей. – Изд. 2-е перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2012. – Т. 1. – 305 с.
5. *Прилуцкий В.А.* Технологические методы снижения волнистости поверхностей. – Изд. 2-е перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2012. – Т. 2. – 276 с.
6. *Кремень З.И., Юрьев В.Г., Бабошкин А.Ф.* Технология шлифования в машиностроении. – СПб.: Политехника, 2007. – 424 с.
7. *Захаров О.В.* Формообразование сложных поверхностей с применением адаптивных систем контроля. – Саратов: СГТУ, 2014. – 256 с.
8. *Rezchikov A.F., Kochetkov A.V., Zakharov O.V.* Mathematical models for estimating the degree of influence of major factors on performance and accuracy of coordinate measuring machines // MATEC Web of Conferences. – 2017. – Vol. 129: International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment, ICMTMTE 2017. – Art. 01054.
9. *Chen X., Lui Q.* Exploration of superabrasive wheels in high efficiency precision grinding // INTERTECH 2003: Conference Proceedings, Canada, Vancouver, July-August 2003

10. Hobensee V. Feinbearbeitung faserverstärkter Elastomere durch Schleifen // *Maqazin neue Werkstoffe*. – 1990. – № 2. – P. 93–98.
11. Борисов М.А., Лобанов Д.В., Янюшкин А.С. Гибридная технология электрохимической обработки сложнопрофильных изделий // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2019. – Т. 21, № 1. – С. 25–34. – doi: 10.17212/1994-6309-2019-21.1-25-34.
12. Kremen Z.I. A new generation of high-porous vitrified CBN grinding wheels // *Industrial Diamond Review*. – 2003. – Vol. 63, iss.4. – P. 53–56.
13. Determination of the stress state in the deformation zone under local loading / Y. Melnik, S. Zaides, N. Bodrovskij, et. al. // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2019. – Vol. 315, iss. 5. – Art. 052080.
14. Calculating the process of straightening low-stiff cylindrical parts by cross-rolling with smooth plates / M. Zykova, S. Zaides, N. Bodrovskij, L.H. Quang, O.Levitskih, P.Salov, A.Lukyanov// *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2019. – Vol. 315, iss. 5. – Art. 052044.
15. Kochetkov A.V., Salov P.M, Zakharov O.V. Route Optimization in Measuring Surfaces on Coordinate Measuring Machines // *3 School on Dynamics of Complex Networks and their Application in Intellectual Robotics (DCNAIR): Conference Proceedings*. – IEEE, 2019. – P. 85–88. – DOI 10.1109/DCNAIR.2019.8875602.
16. Zakharov O.V., Balaev A.F., Kochetkov A.V. Modeling Optimal Path of Touch Sensor of Coordinate Measuring Machine Based on Traveling Salesman Problem Solution // *Procedia Engineering*. – 2017. – Vol. 206. – P. 1458–1463.
17. Kempa B. Zahnflankenprofil schleifen mit galvanisch-gebrundenem CBN. – Aachen: Shaker, 2000. – 129 s.
18. Зубарев Ю.М., Приёмщиков А.В. Теория и практика повышения эффективности шлифования материалов: учеб. пособие. – СПб.: Лань, 2010. – 304 с.
19. Salov P.M., Salova D.P., Vinogradova T.G. Increasing the dureducing the wear of its limiting sections of the profile // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2020. – Vol. 709, iss. 3. – Art. 033017.
20. Захаров О.В. Стабильность силового замыкания контакта при безцентровом шлифовании на неподвижных опорах // *СТИН*. – 2011. – № 7. – С. 8–10.
21. Совершенствование технологий обработки внутренних поверхностей ответственных деталей / В.А. Аврелькин, С.В. Солин, О.А. Надеждина и др. // *Современные технологии в машиностроении и литейном производстве: материалы 4 международной научно-практической конференции, Чебоксары, 18–20 дек. 2018 г.* – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2018. – С. 302–306.
22. Салова Д.П. Моделирование профиля рабочей поверхности шлифованного круга с использованием принципов естественной прирабатываемости: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01. – Самара, 2007. – 231 с.

GRINDING COMPENSATION FOR GRINDING DEEP HOLES

Salov P.M., D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: salov-pm@yandex.ru

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

Terentiev E.A., Senior Lecturer, e-mail: Genya_ms@mail.ru

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

Abstract

The paper outlines the problem associated with the low efficiency of the process of internal grinding of deep holes. The analysis of studies on this problem is carried out. In practice, it is accepted that when the interference in the technological system changes, the circle and the workpiece do not move relative to each other. Most theoretical studies also have a significant drawback - they do not take into account constantly changing deformations in technological systems, which in the process of dressing and grinding change the position of the contacted bodies. Changing the relative position of the circle (workpiece) and the workpiece (circle) violates the congruence of the contact lines (zones). Uneven load in the field of theoretical contact violates the stability of the grinding process and the entire operation as a whole. The essence of the proposed processing method is as follows: such a working surface is formed on a circle that, when loaded with the required quasi-constant forces, it provides a contact zone congruent with the surface of the hole, supported by longitudinal and transverse feeds. It has been established that long-term maintenance of process stability is possible with elbor grinding in the regime of stable self-grinding circles. The conditions under which the proposed method is most effective are determined. To implement the method were determined: the rigidity of the technological system, cutting forces, process parameters, accuracy and quality characteristics of the treated surfaces. The conditions for editing circles with the calculated angle of inclination of the generator φ , which is the final parameter necessary for the implementation of the method, were worked out. Compensation of deformations for turning the generatrix of the circle to the position when it becomes parallel to the longitudinal axis of the hole is realized due to the transverse feed supporting the required cutting power.

Keywords

Deep holes, limited stiffness, strain compensation, elbor circles, stability conditions

УДК 621.1

**ВЛИЯНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ИМПУЛЬСОВ ТОКА НА ШЕРОХОВАТОСТЬ
ПРИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОМ ШЛИФОВАНИИ КОРРОЗИОННОСТОЙКОЙ
СТАЛИ 12X18H10T**

*М.А. БОРИСОВ, канд. техн. наук, доцент
Д.В. ЛОБАНОВ, доктор техн. наук, доцент
А.С. ЗВОРЫГИН, магистрант
(ЧГУ им. И.Н.Ульянова, г. Чебоксары)*

Борисов М.А. – 428015, г. Чебоксары, пр-т Московский, д. 15
Чувашский государственный университет им. И.Н.Ульянова,
e-mail: borisovmgou@mail.ru

В условиях повышения требований к конкурентоспособности продукции на мировом рынке уделяется большое внимание разработке и совершенствованию принципиально новых высокоэффективных технологических процессов, обеспечивающих не только снижение трудоемкости изготовления, но и повышение качества и эксплуатационных характеристик современных изделий. Бурное развитие большинства отраслей машиностроения совместно с повышением требований к эксплуатационным характеристикам изделий ведет к использованию высокопрочных материалов, обработка которых традиционными методами лезвийной и абразивной обработки затруднительна. В связи с этим, всё большее применение находят различные виды комбинированной обработки, позволяющие повысить эффективность обработки. К таким процессам относят и электрохимическое шлифование. Повысить эффективность и качество обработки возможно за счет комбинированного воздействия процесса электрохимического шлифования на изделие алмазным инструментом на металлической связке и его непрерывной правки специальным катодом. При этом создается дополнительная электрическая цепь правки. Если же рабочее пространство зоны резания не позволяет разместить в нем правящий катод (труднодоступные, внутренние или фасонные поверхности), то правка инструмента осуществляется периодически, путём смены направления импульса тока (ток обратной полярности) непосредственно в рабочей цепи. Интенсивность съёма материала при использовании указанного метода зависит, в том числе, от продолжительности импульсов рабочего тока и тока правки круга. При этом не установлено влияния продолжительности импульсов тока на шероховатость обработанной поверхности. Целью работы является исследование влияния продолжительности импульсов рабочего тока и тока правки, подаваемого периодически в рабочую цепь, на шероховатость поверхности деталей, изготовленных из коррозионностойкой стали марки 12X18H10T. Установлено, что шероховатость обработанной поверхности деталей из коррозионностойкой стали марки 12X18H10T методом электрохимического шлифования с периодической электрохимической правкой алмазного инструмента на металлической связке зависит от продолжительности импульсов тока правки и продолжительности импульсов рабочего тока. При увеличении продолжительности импульсов рабочего тока и тока правки шероховатость обработанной поверхности деталей увеличивается.

Ключевые слова: Электрохимическое шлифование, шероховатость поверхности, импульс тока, алмазный инструмент, правка инструмента, коррозионностойкая сталь.

Введение

В условиях повышения требований к конкурентоспособности продукции на мировом рынке уделяется большое внимание разработке и совершенствованию принципиально новых высокоэффективных технологических процессов, обеспечивающих не только снижение трудоемкости изготовления, но и повышение качества и эксплуатационных характеристик современных изделий. Бурное развитие большинства отраслей машиностроения совместно с повышением требований к эксплуатационным характеристикам изделий ведет к использованию высокопрочных материалов, обработка которых традиционными методами лезвийной и абразивной обработки затруднительна [1-5]. Особенно это актуально при изготовлении таких деталей из коррозионностойких сталей, как корпусные детали для использования в топливной, пневмо- и гидрораспределительной аппаратуре, сложнопрофильные поверхности турбин и др. В связи с этим, всё большее применение находят различные виды комбинированной обработки, позволяющие повысить эффективность обработки. К таким процессам относят и электрохимическое шлифование [6-15]. Его преимуществом по сравнению с традиционными (не комбинированными) способами абразивной обработки является: улучшение качества поверхностей изделий, резкое повышение производительности шлифования как коррозионностойких сталей, так и других высокопрочных и труднообрабатываемых материалов и сплавов [16-27].

Повысить эффективность и качество обработки возможно за счет комбинированного воздействия процесса электрохимического шлифования на изделие алмазным инструментом на металлической связке и его непрерывной правки специальным катодом. При этом создается дополнительная электрическая цепь правки [5, 6, 28-30]. Если же рабочее пространство зоны резания не позволяет разместить в нем правящий катод (труднодоступные, внутренние или фасонные поверхности), то правка инструмента осуществляется периодически, путём смены направления импульса тока (ток обратной полярности) непосредственно в рабочей цепи [28-30]. В этот момент времени рабочий ток (ток прямой полярности) отключается.

Интенсивность съёма материала при использовании указанного метода зависит, в том числе, от продолжительности импульсов рабочего тока и тока правки круга [6,30]. При этом не установлено влияния продолжительности импульсов тока на шероховатость обработанной поверхности.

Целью работы является исследование влияния продолжительности импульсов рабочего тока и тока правки, подаваемого периодически в рабочую цепь, на шероховатость поверхности деталей, изготовленных из коррозионностойкой стали марки 12X18H10T.

Методика экспериментального исследования

Исследования влияния продолжительности импульсов рабочего тока и тока правки, подаваемого периодически в рабочую цепь, на шероховатость поверхности деталей, изготовленных из коррозионностойкой стали марки 12X18H10T проводились на разработанном и изготовленном нами специальном экспериментальном стенде (рис.1).

Исследовательский стенд представляет собой источник тока, в совокупности с устройством для автоматического управления сменой полярности тока, инструментальным наконечником гравера и приспособлением для закрепления детали. Наконечник гравера при проведении исследований перемещался в горизонтальном направлении с постоянной скоростью. Для настройки глубины резания приспособление для закрепления детали снабжено микрометрическим винтом. Создается, изолированная от других элементов стенда, электрическая цепь из детали, инструмента и источника тока.

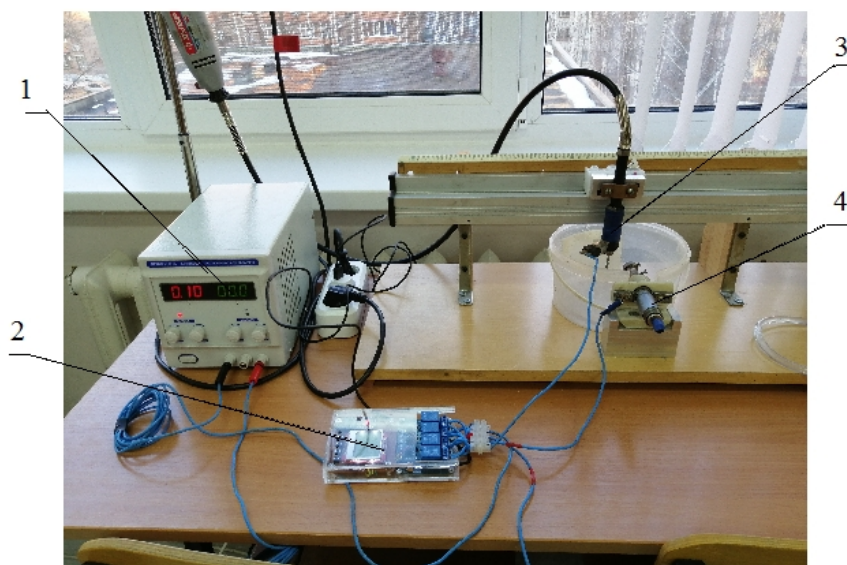


Рис.1. Исследовательский стенд:

1 – источник тока, 2 – устройство для автоматического управления сменой полярности тока, 3 – инструментальный наконечник гравера, 4 – приспособление для закрепления детали

Экспериментальные образцы цилиндрические из коррозионностойкой стали марки 12Х18Н10Т имеют длину 7 мм и диаметр 10 мм. Проводилось электрохимическое шлифование торцов деталей с периодической электрохимической правкой абразивного инструмента.

При проведении экспериментов в качестве технологической среды применялся электролит на основе хлорида натрия ($NaCl$) – 18.7% и дистиллированной воды. Электролит подавался при температуре $42,5^{\circ}C$, в зону обработки струей с помощью насоса из емкости для приготовления СОЖ. Шлифование деталей осуществлялось алмазной головкой диаметром 3 мм. Размер зерна 100...125 мкм. Режимы обработки определялись на основании ранее проведенных предварительных исследований гибридной технологии электрохимической обработки коррозионностойкой стали 12Х18Н10Т: скорость резания $5,5 \text{ м}\cdot\text{сек}^{-1}$, глубина резания 0,1 мм, продольная подача 70 мм/мин [28].

Напряжение в цепи «источник тока – инструмент - деталь» без нагрузки - 12В. Сила тока правки и рабочего тока составила 0,10-0,15 А. Продолжительности импульсов тока в экспериментах соответствовали продолжительностям импульсов тока, устанавливаемым при исследовании их влияния на интенсивность съема материала [30]. Продолжительность импульсов тока правки соответствовала 1с в эксперименте №1 и 2с в эксперименте №2. При этом в каждом эксперименте продолжительности импульса рабочего тока варьировались и принимали поочередно значения равные 1с; 2с; 3с; 4с и 5с.

Результаты экспериментов оценивались путем измерения шероховатости обработанной поверхности деталей, которые проводились с помощью профилометра модели 130.

Результаты и их обсуждение

Эксперимент №1. Продолжительности импульса тока правки – 1 с. Результаты эксперимента представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты эксперимента №1

Продолжительности импульса рабочего тока, с	1	2	3	4	5
Полученное значение шероховатости, Ra	0,260	0,444	0,520	0,522	0,550

Эксперимент №2. Продолжительности импульса тока правки – 2сек.

Результаты эксперимента представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты эксперимента №2

Продолжительности импульса рабочего тока, с	1	2	3	4	5
Полученное значение шероховатости, Ra	0,429	0,461	0,537	0,581	0,455

На основании полученных данных были построены гистограммы, показывающие зависимость шероховатости обработанной поверхности деталей от продолжительности импульсов тока (рис.2).

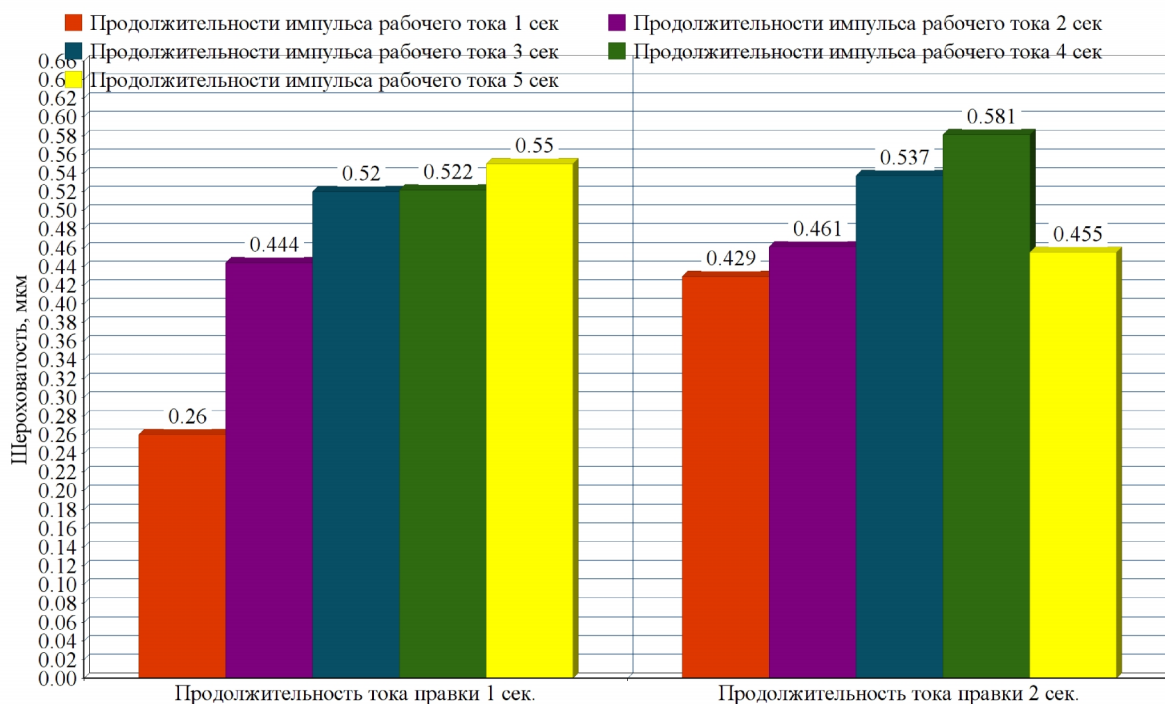


Рис. 2. Зависимость шероховатости обработанной поверхности деталей от продолжительности импульсов тока

Из гистограмм следует, что шероховатость обработанной поверхности деталей зависит от продолжительности импульсов тока правки и продолжительности импульсов рабочего тока. При увеличении продолжительности импульсов рабочего тока и тока правки шероховатость обработанной поверхности деталей увеличивается. Экспериментально установлено, что наименьшее значения шероховатости 0,26 мкм получено при

продолжительности импульса рабочего тока равное 1с и продолжительности импульса тока правки равное 1с.

Выводы

Шероховатость обработанной поверхности деталей из коррозионностойкой стали марки 12Х18Н10Т методом электрохимического шлифования с периодической электрохимической правкой алмазного инструмента на металлической связке зависит от продолжительности импульсов тока правки и продолжительности импульсов рабочего тока. При увеличении продолжительности импульсов рабочего тока и тока правки шероховатость обработанной поверхности деталей увеличивается.

Список литературы

1. *Владимирова Ю.О., Шалунов Е.П., Илларионов И.Е.* Расчет заготовки поршня из объемного наноструктурного материала на основе меди для машин литья под давлением // Теория и технология металлургического производства. – 2019. – № 2. – С. 29–36.
2. *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.
3. *Солер Я.И., Гайсин С.Н., Казимиров Д.Ю.* Прогнозирование микрорельефа шлифованных деталей переменной жесткости из стали 13Х15Н4АМ3 при многопроходном съеме припуска // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2006. – № 1 (25). – С. 64–70.
4. *Григоренко В.Б.* Особенности применения коррозионностойких сталей // Сталь. – 2014. – № 1. – С. 60–65.
5. *Керамические нанокompозиты на основе диборида циркония / Е.Г. Скрипняк, Д.В. Лобанов, В.В. Скрипняк, и др. // Системы. Методы. Технологии. – 2011. – № 2 (10). – С. 95–98.*
6. *Борисов М.А., Мишин В.А.* Управление процессом электрохимического шлифования при отсутствии автономной цепи правки инструмента: монография. – Чебоксары: Политех, 2019. – 134 с. – ISBN 978-5-907132-49-8.
7. *Специальный осевой режущий инструмент для обработки композиционных материалов / Е.В. Васильев, А.Ю. Попов, И.А. Бугай, П.В. Назаров // СТИН. – 2015. – № 4. – С. 9–11.*
8. *Плоское шлифование торцов колец крупногабаритных подшипников с требуемым качеством поверхности / В.А. Носенко, В.Н. Тышкевич, С.В. Орлов, А.В. Саразов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. – 2014. – Т. 14, № 4. – С. 67–78.*
9. *Прогрессивные машиностроительные технологии, оборудование и инструменты = Advanced mechanical engineering techniques, equipment and tools: коллективная монография / А.С. Верещагин, А.П. Возняковский, Т.Ф. Григорьева, О.Н. Кирилов, А.М. Козлов, А.А.*

Козлов, В.А. Лиопо, А.В. Мандрыкин, Б.Я. Мокрицкий, А.В. Морозова, Е.В. Овчинников, В.А. Панайоти, Д.И. Петрешин, С.А. Попов, Д.А. Прушак, А.Ю. Рязанцев, О.В. Скрыгин, В.П. Смоленцев, В.А. Струк, С.Ю. Съянов и др. – М.: Спектр, 2015. – Т. 5. – 464 с.

10. *Иванцовский В.В., Рахимьянов Х.М.* Технологическое обеспечение качества поверхностного слоя деталей машин при интеграции поверхностной термической и финишной механической обработки // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2005. – № 6. – С. 43–46.

11. Integrated processing: quality assurance procedure of the surface layer of machine parts during the manufacturing step «diamond smoothing» / V.Y. Skeebea, V.V. Ivancivsky, D.V. Lobanov, A.K. Zhigulev, P.Y. Skeebea // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 125, iss. 1. – Art. 012031 (8 p.). – DOI: 10.1088/1757-899X/125/1/012031.

12. *Скиба В.Ю., Иванцовский В.В.* Гибридное металлообрабатывающее оборудование: повышение эффективности технологического процесса обработки деталей при интеграции поверхностной закалки и абразивного шлифования = Hybrid metal working equipment: improving the effectiveness of the details processing under the integration of surface quenching and abrasive grinding: монография. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2018. – 312 с. – ISBN 978-5-7782-3690-5.

13. Deep grinding of incomplete-cycle surfaces, with periodic straightening of the wheel / V.A. Nosenko, S.V. Nosenko, V.K. Zhukov, A.A. Vasilev // Russian Engineering Research. – 2008. – Vol. 28, iss. 5. – P. 442–449.

14. *Popov V.Yu., Arkhipov P.V., Rychkov D.A.* Adhesive wear mechanism under combined electric diamond grinding // MATEC Web of Conferences. – 2017. – Vol. 129: International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2017). – Art. 01002 (5 p.).

15. *Bratan S., Roshchupkin S., Revenko D.* Probabilistic approach for modeling electroerosion removal of grinding wheel bond // Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 206. – P. 1426–1431.

16. Моделирование процесса стохастического взаимодействия инструмента и заготовки на операциях шлифования / С.М. Братан, В.Б. Богущкий, Ю.К. Новоселов, С.И. Рошупкин // Научные технологии в машиностроении. – 2017. – № 5 (71). – С. 9–18.

17. *Nosenko V.A., Nosenko S.V.* Deep grinding of titanium alloy with continuous wheel correction // Russian Engineering Research. – 2010. – Vol. 30, iss. 11. – P. 1124–1128.

18. *Захаров О.В.* Бесцентровое шлифование конических поверхностей на станках с продольной подачей // Автоматизация и современные технологии. – 2006. – № 7. – С. 14–16.

19. Влияние сож на момент трения при обработке резанием стали У8 / А.А. Ражковский, А.Г. Кисель, А.А. Фёдоров, Д.С. Реченко // Омский научный вестник. – 2013. – № 2 (120). – С. 111–114.

20. *Kozlov A.M., Kozlov A.A.* Shaping the surface topology of cylindrical components by means of an abrasive tool // Russian Engineering Research. – 2009. – Vol. 29, iss. 7. – P. 743–746.

21. *Смирнов В.М., Тимофеев Д.А., Шалунов Е.П.* Дисперсно-упрочненная связка на основе порошковой меди для алмазного инструмента // Современные технологии в машиностроении и литейном производстве: материалы 2 международной научно-

практической конференции, Чебоксары, 11–14 окт. 2016 г. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2016. – С. 317–320.

22. *Bratan S., Roshchupkin S., Novikov P.* Modeling the grinding wheel working surface state // *Procedia Engineering*. – 2017. – Vol. 206. – P. 1419–1425.

23. *Солер Я.И., Казимиров Д.Ю., Гайсин С.Н.* САПР оптимизации чистового шлифования плоских деталей 13X15H4AM3 переменной жесткости по критерию шероховатости // *Новые материалы и технологии в машиностроении*. – 2005. – № 4. – С. 127–134.

24. *Soler Ya.I., Kazimirov D.Yu., Prokop'eva A.V.* Optimizing the grinding of high-speed steel by wheels of cubic boron nitride // *Russian Engineering Research*. – 2007. – Vol. 27, iss. 12. – P. 916–919.

25. *Popov V., Rychkov D., Arkhipov P.* Defects in diamonds as the basic adhesion grinding // *MATEC Web of Conferences*. – 2017. – Vol. 129: International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2017). – Art. 01003 (5 p.).

26. *Архипов П.В., Потанова Г.Е.* Твердосплавные материалы и методы их обработки // *Механика XXI века*. – 2012. – № 11. – С. 220–222.

27. Деформации в технологической системе при шлифовании / П.М. Салов, В.Н. Цай, С.С. Сайкин, Д.А. Юрпалов, Т.Г. Виноградова, Н.В. Мулюхин, Е.А. Андреева, Е.В. Антонова, Д.П. Салова // *Научно-технический вестник Поволжья*. – 2016. – № 3. – С. 44–46.

28. *Борисов М.А., Лобанов Д.В., Яньюшкин А.С.* Гибридная технология электрохимической обработки сложнопрофильных изделий // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2019. – Т. 21, № 1. – С. 25–34. – DOI 10.17212/1994-6309-2019-21.1-25-34.

29. Исследование процесса автоматического управления сменой полярности тока в условиях гибридной технологии электрохимической обработки коррозионно-стойких сталей / М.А. Борисов, Д.В. Лобанов, А.С. Яньюшкин, В.Ю. Скиба // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2020. – Т. 22, № 1. – С. 6–15. – DOI 10.17212/1994-6309-2020-22.1-6-15.

30. *Борисов М.А., Мишин В.А.* Влияние продолжительности импульсов тока на интенсивность электрохимического шлифования // *Актуальные проблемы в машиностроении*. – 2019. – Т. 6, № 1-4. – С. 48–52.

**INFLUENCE OF DURATION OF CURRENT PULSES ON ROUGHNESS
AT ELECTROCHEMICAL GRINDING
OF CORROSION-RESISTANT STEEL 12X18H10T**

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

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

Zvorygin A.S., Graduate students, e-mail: zvor95@yandex.ru

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

Abstract

In the context of increasing requirements for the competitiveness of products on the world market, much attention is paid to the development and improvement of fundamentally new highly efficient processes that provide not only a reduction in the complexity of manufacturing, but also an increase in the quality and operational characteristics of modern products. The rapid development of most engineering industries together with increased requirements for the operational characteristics of products leads to the use of high-strength materials, the processing of which by traditional methods of blade and abrasive processing is difficult. In this regard, various types of combined processing are finding increasing application, allowing to increase the processing efficiency. Such processes include electrochemical grinding. It is possible to increase the efficiency and quality of processing due to the combined effect of the electrochemical grinding process on the product with a diamond tool on a metal bond and its continuous dressing with a special cathode. This creates an additional electrical editing circuit. If the working space of the cutting zone does not allow placing the ruling cathode in it (hard-to-reach, internal or shaped surfaces), then the tool is edited periodically by changing the direction of the current pulse (reverse polarity current) directly in the working circuit. The intensity of material removal when using this method depends, inter alia, on the duration of the pulses of the working current and the current dressing circle. At the same time, the influence of the duration of current pulses on the roughness of the treated surface has not been established. The aim of the work is to study the influence of the duration of the operating current pulses and the dressing current supplied periodically into the working circuit on the surface roughness of parts made of stainless steel grade 12X18H10T. It was established that the roughness of the machined surface of parts made of stainless steel grade 12X18H10T by electrochemical grinding with periodic electrochemical dressing of a diamond tool on a metal bond depends on the duration of the dressing current pulses and the duration of the operating current pulses. With an increase in the duration of the pulses of the working current and the dressing current, the roughness of the machined surface of the parts increases.

Keywords

Electrochemical grinding, surface roughness, current pulse, diamond tools, dressing tools, stainless steel

УДК 539.3:666.9-16;621.9

МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

*Д.В. ЛОБАНОВ, доктор техн. наук, доцент
М.В. КУПЦОВ, аспирант
Н.В. МУЛЮХИН, аспирант
(ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары)*

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

В статье рассмотрены проблемы автоматизации подготовки и выбора конструкционных материалов на производстве как заменяющие традиционные материалы, по причине того, что последние не всегда удовлетворяют возрастающим требованиям. Показаны перспективы использования мобильных приложений в машиностроительном секторе в качестве решения проблемы. Представлен один из вариантов приложения для автоматизации организационно-технологической подготовки производства на примере задачи поиска и/или выбора рационального конструкционного материала взамен традиционного. Благодаря этому примеру был рассмотрен основной функционал мобильного приложения, подтверждена его практичность в применении, по сравнению с приложениями на персональных компьютерах. Создание таких приложений позволит значительно повысить эффективность автоматизации организационно-технологической подготовки производства.

Ключевые слова: Композиционные материалы, автоматизация производства, подготовка производства, систематизация данных, современные материалы, программное обеспечение, мобильное приложение, программный продукт.

Введение

Автоматизация основных этапов жизненного цикла изделий – одна из актуальных задач современного производства. Большинство машиностроительных предприятий стремятся автоматизировать не только технологии и оборудование для их реализации, но и этапы организационной и технологической подготовки производства [1-19]. Автоматизация подготовки и выбора конструкционных материалов, лезвийного режущего инструмента, режимов обработки - это одна из сложнейших задач с которыми сталкиваются на предприятиях. Разработка различных алгоритмов и программного обеспечения для персональных компьютеров в помощь конструкторам и технологам при решении этих задач ведется многими авторами [1-8]. Однако, при решении задач такого рода, зачастую возникает необходимость проверки, сверки, фиксации данных об объектах производства непосредственно на рабочих местах. При наличии оснащённости рабочих мест сетевыми коммуникациями это не вызывает затруднений, информация передается достаточно оперативно. При отсутствии такой оснащённости передача информации становится значительно длительнее, что ведет к снижению эффективности процесса автоматизации производства, стремление повысить ее – актуальная задача.

В современном мире наблюдается увеличение пользователей мобильных приложений и мобильного интернета в целом. Все это обосновывается удобством и мобильностью

пользователей в их сферах деятельности. Само устройство (мобильный телефон, смартфон, планшет) - не более, чем аппаратура, обладающая процессором с объемом оперативной и встроенной памяти, пользу приносят мобильные приложения, которые мы устанавливаем в зависимости от наших потребностей и задач. Такие приложения становятся значимыми в различных сферах деятельности за счет своих возможностей: обмен и хранение данных, взаимодействие за счет чатов и трансляций, проведения дистанционного общения и обучения. Внедрение мобильных приложений не обошло стороной и производство. Развитие современного производства невозможно представить без применения новых технологий в различных направлениях. Новый взгляд на предприятие и его развитие дает нам в совокупности конкурентоспособное гибкое производство, готовое к вызовам и изменениям ситуации в мире. В связи с этим, целью данной работы является создание мобильного приложения для автоматизации организационно-технологической подготовки производства.

Методика экспериментального исследования

В качестве примера рассмотрим задачу поиска и/или выбора рационального конструкционного материала взамен традиционному, так как последний не удовлетворяет возрастающим требованиям к возрастающим эксплуатационным свойствам изделий. Так во многих отраслях промышленности широкое применение находят композиционные неметаллические материалы, которые обладают высокими удельными физико-механическими свойствами [2-7].

Обоснованный выбор рационального композиционного материала затрудняется по причине постоянного увеличения номенклатуры таких материалов, а также по причине того, что информация о свойствах таких материалах разрознена и находится в различных источниках. В результате этого необходимо обработать большой объем информации, потратить значительное количество времени, а это все ведет к снижению продуктивности работы. Решением проблемы является систематизация данных о материале, его физико-механических свойствах и других характеристиках. Для этого необходимо создать программное обеспечение по систематизации композиционных материалов. Тут же мы сталкиваемся с тем, что такие программы разработаны, но только для персональных компьютеров [3, 7-14], а так как все мы стремимся к удобству и мобильности в работе, то перемещаться и работать с тем же самым ноутбуком не всегда удобно, и в этой ситуации целесообразнее использовать смартфоны и планшеты.

Мобильное приложение для формирования базы данных композиционных неметаллических материалов предпочтительнее делать с сетевой формой регистрации данных. В отличие от локальной базы данных, которая привязана только к одному устройству и одному приложению, в такую базу данных будет вноситься и сохраняться информация о композиционных неметаллических композитах большим количеством пользователей. Одним из плюсов такой базы является синхронизация со всеми устройствами, подключенными к этой базе, мгновенный отклик и все пользователи будут иметь возможность видеть изменения в ходе работы. Другим преимуществом является то, что не будет заполняться память устройств, на которых происходит работа мобильного приложения. Кроме того, удаленное администрирование позволит отслеживать работу, предоставлять и/или ограничивать доступ пользователям, которые будут работать с приложением, сохраняя авторские права разработчиков. И вся эта работа при этом может вестись не только на стационарных рабочих местах (в офисе), но и непосредственно на производственной площадке или удаленно.

Результаты и обсуждение

На базе ранее созданного нами программного обеспечения (программы для ЭВМ) для формирования базы данных неметаллических композиционных материалов (*Composite Materials Database* (CMDv.1)), разработано мобильное приложение, в котором имеется возможность внесения, изменения и удаления данных о композиционных неметаллических материалах, а также отслеживания полученных результатов. Модуль для работы с базой данных на мобильных приложениях создан нами в среде *MITappInventor*. Результат для смартфонов можно увидеть на рис. 1, а для планшетов на рис.2



Рис. 1. Модуль для работы с базой данных на смартфон



Рис. 2. Модуль для работы с базой данных на планшет

В данное приложение пользователь имеет возможность вносить, удалять, корректировать данные о композиционных материалах, так же доступен поиск среди уже имеющихся данных. Порядок работы с мобильным приложением следующий. Первоначально пользователь вносит индекс, числовое значение, которое будет присвоено строке, в которую будут записываться данные в базу. После присвоения индекса (номера строки), пользователь вносит данные, описывающие (характеризующие) материал: вид материала, его обозначение и маркировка, а также характеристики, которые отображают его физико-механические и эксплуатационные свойства. После внесения данных во все строки формы при нажатии кнопки «Добавить» все данные записываются в базу данных, которая находится на сервере. Для поиска информации по имеющимся в базе материалам достаточно ввести информацию об индексе, виде материала или обозначении и нажать кнопку «Поиск», после чего под записью «Результат поиска» выводится результат по данному запросу. Если возникает потребность в удалении данных из списка, необходимо указать индекс, под которым внесены данные, и нажать кнопку «Удалить». При нажатии кнопки «Очистить строки» происходит очищение строк для последующего заполнения данными. Также в этом приложении присутствует возможность просмотра списка при помощи переключения между строками. При помощи них мы можем просмотреть предыдущую строку или следующую и мгновенно переключиться в начало или конец списка.

Выводы

Разработана мобильная версия программы для работы с базой данных композиционных материалов. Приложение позволяет систематизировать данные и проводить действия по добавлению, изменению и удалению информации о композиционных материалах не только, находясь непосредственно на рабочем месте (в офисе), но и при проверке или приемке новых материалов непосредственно на площадке предприятия, в складских помещениях, или же, проводя испытания при получении и изучении новых образцов, не отходя от лабораторных стендов, не записывая информацию на промежуточные бумажные или электронные носители. Это позволит значительно повысить эффективность автоматизации организационно-технологической подготовки производства изделий из композиционных неметаллических материалов.

Список литературы

1. Организация инструментального хозяйства при обработке композиционных материалов / Д.В. Лобанов, А.С. Янюшкин, Д.А. Рычков, Н.П. Петров // СТИН. – 2010. – № 11. – С. 2–4.
2. Рычков Д.А., Янюшкин А.С., Лобанов Д.В. Критериальная оценка конструкции режущего инструмента на примере сборной фрезы для обработки композиционных материалов // Главный механик. – 2011. – № 5. – С. 48–54.
3. Янюшкин А.С., Лобанов Д.В., Рычков Д.А. Программные продукты для автоматизации подготовки инструментального производства на предприятиях // Ползуновский альманах. – 2008. – № 4. – С. 214–216.
4. Янюшкин А.С., Лобанов Д.В. Организационно-технологическая подготовка инструмента для обработки композиционных неметаллических материалов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2012. – № 2/2 (292). – С. 17–23.
5. Методика выбора композиционных материалов взамен общепринятых

конструкционных / Д.В. Лобанов, С.А. Сидоренко, Д.А. Ющенко, А.В. Большешапова // Современные материалы, техника и технология: материалы 4 международной научно-практической конференции, Курск, 25–26 дек. 2014 г. – Курск: Университетская книга, 2014. – С. 255–261.

6. Лобанов Д.В., Янюшкин А.С. Автоматизация организационной подготовки инструмента для обработки композиционных материалов // Автоматизация. Современные технологии. – 2013. – № 3. – С. 3–9.

7. Анализ и рациональный выбор полимерных композиционных материалов для изделий по их физико-механическим свойствам / Д.В. Лобанов, С.А. Сидоренко, Д.А. Ющенко, А.В. Большешапова // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2015. – № 2. – С. 206–213.

8. Аврелькин В.А., Купцов М.В. Использование усовершенствованных технологий, разработанных учеными Поволжья, на машиностроительных предприятиях Чувашской республики = The use of improved technologies developed by scientists of the Volga region on the machine building enterprises of the Chuvash republic // Инновационные технологии в металлообработке: Всероссийская научно-практическая заочная конференция с международным участием, посвящается 90-летию заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, д. т. н., профессора Л.В. Худобина, Ульяновск, 25 нояб. 2018 г.: сборник научных трудов. – Ульяновск: УлГТУ, 2019. – С. 158–163.

9. Сидоров Д.Е., Братан С.М., Ярошенко А.А. Разработка САУ ТП плоского шлифования // Вісник СевНТУ. – 2014. – № 151. – С. 170–177.

10. Бржозовский Б.М., Захаров О.В. Профилирование дискового инструмента для обработки винтовых поверхностей в среде MATLAB // Автоматизация и современные технологии. – 2012. – № 10. – С. 7–11.

11. Тинников Д.В., Иванцовский В.В. Автоматизированное проектирование деталей сложной геометрии с использованием программного продукта PowerShare: [справочное пособие]. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007. – 67 с.

12. Солер Я.И., Казимиров Д.Ю., Гайсин С.Н. САПР оптимизации чистового шлифования плоских деталей 13X15H4AM3 переменной жесткости по критерию шероховатости // Новые материалы и технологии в машиностроении. – 2005. – № 4. – С. 127–134.

13. Soler Ya.I., Prokopenko 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.

14. Стрельцов П.А. Повышение эффективности высокоскоростного фрезерования сложнопрофильных заготовок путем совершенствования управляющих программ для станков с ЧПУ в САМ-системе // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2016. – Т. 18, № 1/2. – С. 416–420.

15. Леонов, С.Л., Иконников А.М., Гребеньков Р.В. Автоматическое регулирование рабочего зазора при магнитно-абразивной обработке пространственных сложных поверхностей // Актуальные проблемы в машиностроении: материалы 1 международной научно-практической конференции. – Новосибирск, 2014. – С. 162–166.

16. 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.

17. Автоматизация конструкторско-технологической подготовки производства на основе синхронного подхода / В.Ф. Макаров, В.Р. Туктамышев, С.В. Масленков, В.В. Катаев, И.И. Койнов, О.И. Трепезаева // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2014. – № 9 (39). – С. 35–39.

18. Доц М.В., Марков А.М. Автоматизация проектирования токарной обработки композиционных материалов // Инновации в машиностроении: труды 2 международной научно-практической конференции, Кемерово, 6–8 окт. 2011 г. – Кемерово: КузГТУ, 2011. – С. 112–115.

19. Рычков Д.А., Янюшкин А.С. Технология механической обработки композиционных материалов: монография. – Старый Оскол: ТНТ, 2017. – 224 с.

MOBILE APP FOR AUTOMATION OF ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL PREPARATION OF PRODUCTION

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

Kuptsov M.V., Post-graduate Student, e-mail: all-qsim@yandex.ru

Muliukhin N.V., Post-graduate Student, e-mail: muliukhin@mail.ru

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

Abstract

The article discusses the problems of automation of the preparation and selection of structural materials in production as a substitute for traditional materials, because the latter do not always satisfy the growing requirements. The prospects of using mobile applications in the engineering sector as a solution to the problem are shown. One of the application options for the automation of organizational and technological preparation of production is presented using the example of the task of searching and / or choosing rational structural material instead of the traditional one. Thanks to this example, the main functionality of a mobile application was considered, its practicality in use was confirmed, compared with applications on personal computers. The creation of such applications will significantly increase the efficiency of automation of organizational and technological preparation of production.

Keywords

Composite materials, automation of production, preparation of production, systematization of data, modern materials, software, mobile application, software product

УДК 621.9

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ
ДЛЯ СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ МЕТОДОВ АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ**

*Д.В. ЛОБАНОВ, доктор техн. наук, доцент
А.С. НИКИФОРОВ, аспирант
Н.В. МУЛЮХИН, аспирант
(ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары)*

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

В статье представлена методика для сравнительной оценки методов алмазного шлифования металлокерамических твердых сплавов, учитывающая при сравнительном анализе мощность резания, расход алмазного круга, шероховатость, микротвердость, затраты на инструмент и электроэнергию. С учетом использования однотипных: оборудования, оснастки, режимов обработки, квалификации рабочих, параметров обрабатываемого изделия и его характеристик. Разработанная методика позволит сделать обоснованный выбор рационального метода обработки твердосплавных изделий, как на стадии предварительных исследований, для выбора технологии обработки, так и для анализа уже полученных данных в сравнении с другими методами.

Ключевые слова: Твердый сплав, шлифование, обработка, качество, инструмент, себестоимость, показатель, формообразование, оценка, точность, работоспособность.

Введение

Металлокерамические твердые сплавы являются одними из наиболее распространенных материалов, применяющихся в различных отраслях машиностроения, где изделие должно обладать повышенными эксплуатационными характеристиками: высокая твердость, повышенная прочность, коррозионная стойкость, сопротивление абразивному изнашиванию, термостойкость и другие [1, 2, 3]. Широкое использование данные материалы нашли при изготовлении: режущего инструмента, оснастки для различных методов обработки металлов давлением, измерительного инструмента и многом другом [4, 5]. В виду своих высоких физико-механических свойств, такие материалы относят к группе труднообрабатываемых. Поэтому одна из задач машиностроения — это определение метода механической обработки твердого сплава, позволяющего вести изготовление продукции с достижением требуемой точности, шероховатости и микротвердости.

На сегодняшний день известны различные методы формообразования изделий из твердосплавных материалов (лезвийная, абразивная, электрохимическая, электроэрозионная, ультразвуковая, магнитно-абразивная и другие виды обработки). Наибольшую значимость имеют заключительные (финишные) операции технологического процесса - завершающий этап производства изделия, где деталь (изделие) формируются окончательно: геометрические параметры, шероховатость поверхностей, свойства поверхностного слоя и другое [6, 7, 8, 9].

Из всех известных методов обработки в технологическом процессе изделий из твердого сплава, алмазное шлифование является одним из наиболее применяемых способов

финишной обработки. Применение алмазного абразивного инструмента обусловлено лучшим качеством обработки и повышенной производительностью [10].

В наши дни на машиностроительных предприятиях начали широко применяться комбинированные методы финишной обработки, сочетающие в себе механическое резание алмазными кругами вместе с электрофизическими и электрохимическими процессами. Наиболее известными из них являются [11, 12] электрохимическое алмазное шлифование, алмазное шлифование с электрохимической правкой инструмента, комбинированное электроалмазное шлифование с одновременной непрерывной правкой круга.

Комбинированные методы имеют свои достоинства и недостатки, в зависимости от области и цели их применения. На сегодняшний день нет четкого разграничения того, где и какой метод применить, так как один и тот же материал можно обрабатывать и тем и другими способами.

Известны несколько методик сравнения экономичности вариантов технологических процессов [13, 14, 15], однако все они рассматривают способы обработки, учитывая только определенное количество параметров.

В связи с этим, целью данной работы является разработка методики, позволяющей произвести анализ и выбор метода комбинированной электроалмазной обработки с учетом качественных и экономических показателей.

Методика

Основополагающим для прогрессивных комбинированных методов шлифования является применение алмазных кругов на металлической связке. Прежде всего, это объясняется электропроводностью таких абразивных инструментов, так как комбинированные методы связаны с электрическими процессами, а круги на органической и керамической связках таким свойством не обладают.

Еще одним из преимуществ кругов на металлической связке является высокая теплостойкость и износостойкость, но, не смотря на свои достоинства, данные круги имеют один существенный минус, связан он с таким явлением, как засаливание, что негативно влияет на работоспособность круга и качество обрабатываемой поверхности изделия.

Для того чтобы восстановить работоспособность круга проводят его правку (съем засаленного слоя с помощью химико-физических процессов, или специального инструмента), давая возможность вести обработку обновленным алмазным слоем, тем самым повышая производительность труда, но снижая ресурс инструмента и повышая себестоимость обработки.

Выполнение технических требований к точности, шероховатости и микротвердости поверхности детали (изделия), требует решения ряда проблем [16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23], одной из таковых является повышенная себестоимость и трудоёмкость.

В целях проведения сравнительного анализа комбинированных методов алмазного шлифования воспользуемся характеристиками, которые будут включать качественные показатели (точность размеров, шероховатость, микротвёрдость поверхности, отсутствие дефектов и т.д.) и экономические (расход абразивного инструмента, производительность, энергозатратность, ресурсоемкость и т.д.).

Результаты и их обсуждение

При создании методики были приняты следующие допущения: обработка материалов производится с использованием одного вида оборудования с применением идентичной технологической оснастки, одинакового абразивного инструмента, режимов резания, изделия имеют одинаковые размеры и форму, обработку выполняет рабочий одинаковой квалификации.

После i -ого метода комбинированной алмазной обработки затраты на изменение исходного качества $Z_{\text{кач.}i}$ определим по формуле:

$$Z_{\text{кач.}i} = \frac{Z_{\text{обр.}}}{K_{\text{кач.}}}, \quad (1)$$

где $Z_{\text{кач.}}$ – общие затраты на изменение качественных параметров изделия (до и после обработки), руб.; $Z_{\text{обр.}}$ – общие затраты, приходящиеся на обработку изделия/материала i -ым методом, руб.; $K_{\text{кач.}}$ – коэффициент, определяющий качество обработки материала.

Общие затраты на изменение качественных параметров изделия (до и после обработки) состоят из затрат на задействованную в процессе обработки электроэнергию и затрат на задействованный в процессе обработки абразивный инструмент:

$$Z_{\text{обр.}} = Z_{\text{эл.энерг.}} + Z_{\text{инстр.}}, \quad (2)$$

где $Z_{\text{эл.энерг.}}$ – затраты на задействованную в процессе обработки электроэнергию, руб.; $Z_{\text{инстр.}}$ – затраты на задействованный в процессе обработки абразивный инструмент, руб.

Затраты на задействованную в процессе обработки электроэнергию, в свою очередь, определим по формуле:

$$Z_{\text{эл.энерг.}} = N_{\text{рез.}} \cdot T_o \cdot C_{\text{эл.энерг.}}, \quad (3)$$

где $N_{\text{рез.}}$ – мощность резания при обработке материала, кВт; T_o – основное время (машинное время), затраченное на обработку материала, ч; $C_{\text{эл.энерг.}}$ – рыночная стоимость электрической энергии в регионе, руб/кВт·ч.

Затраты на задействованный в процессе обработки абразивный инструмент:

$$Z_{\text{инстр.}} = C_{\text{инстр.}} \cdot q \cdot V_{\text{мат.}}, \quad (4)$$

где $C_{\text{инстр.}}$ – стоимость алмазоносного слоя абразивного инструмента, принимаемая как отношение полной стоимости алмазного круга к объему алмазоносного слоя, руб/мм³; q – удельный расход алмазоносного слоя круга при обработке, мм³/см³; $V_{\text{мат.}}$ – объем материала, удаленного в процессе обработки, см³.

Подставив (3) и (4) в выражение (2) получим:

$$Z_o = N_{\text{рез.}} \cdot T_o \cdot C_{\text{эл.энерг.}} + C_{\text{инстр.}} \cdot q \cdot V_{\text{мат.}}, \quad (5)$$

Коэффициент, определяющий качество обработки материала имеет вид:

$$K_{\text{кач.обр.}} = K_{Ra} \cdot K_{HV}, \quad (6)$$

где K_{Ra} – коэффициент изменения шероховатости поверхности (до и после обработки); K_{HV} – коэффициент изменения микротвердости поверхностного слоя (до и после обработки).

Коэффициент шероховатости, меняющейся в процессе обработки, где приоритетным является снижение показателя, определяется по формуле:

$$K_{Ra} = \frac{Ra_{исх.}}{Ra_{обр.}}, \quad (7)$$

где $Ra_{исх.}$ - шероховатость до обработки (исходная), мкм; $Ra_{обр.}$ – шероховатость после обработки, мкм.

Коэффициент микротвердости поверхностного слоя, меняющейся в процессе обработки, где приоритетным является повышение показателя, определяется как:

$$K_{HV} = \frac{HV_{обр.}}{HV_{исх.}}, \quad (8)$$

где $HV_{обр.}$ – микротвердость после обработки; $HV_{исх.}$ – микротвердость до обработки.

Подставив (7) и (8) в формулу (6) получим

$$K_{кач.обр.} = \frac{Ra_{исх.}}{Ra_{обр.}} \cdot \frac{HV_{обр.}}{HV_{исх.}}, \quad (9)$$

Подставив (5) и (9) в выражение (1), то получим:

$$Z_{кач.} = \frac{(N_{рез.} \cdot T_o \cdot C_{эл.энер.} + C_{инст.} \cdot q \cdot V_{мат.}) \cdot Ra_{обр.} \cdot HV_{исх.}}{Ra_{исх.} \cdot HV_{обр.}}, \text{ руб.}$$

Выводы

Конечная формула отражает не только стоимостные, но и качественные показатели метода обработки твердого сплава. Использование полученной формулы позволяет нам, при наличии исходных данных по каждому из сравниваемых методов обработки, определить величину затрат на изменение исходного качества, давая нам возможность в дальнейшем производить анализ и выбор рационального метода комбинированной электроалмазной обработки с достижением требуемых качественных характеристик.

Предложенная методика ориентирована на анализ технологий обработки твердых сплавов с использованием электроалмазной обработки. При желании она может быть доработана и адаптирована для анализа других процессов обработки.

Методика позволяет сделать обоснованный выбор рационального метода обработки твердосплавных изделий, как на стадии предварительных исследований, для выбора технологии обработки, так и для анализа уже полученных данных в сравнении с другими методами.

Список литературы

1. Борисов М.А., Мишин В.А., Дементьев Д.А. Способ электрохимической обработки труднодоступных поверхностей без применения правящего электрода // Современные технологии в машиностроении и литейном производстве: материалы 2 международной научно-практической конференции, Чебоксары, 11–14 окт. 2016 г. – Чебоксары, 2016. – С. 234–237.

2. 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: материалы 9 международной научно-технической конференции, Казань, 05–07 дек. 2018 г. – Казань, 2018. – Ч. 1. – С. 23–27.

3. *Владимирова Ю.О., Шалунов Е.П.* Разработка жаро- и износостойкого нанокпозиционного материала на основе порошковой меди и технологии его изготовления для поршней машин литья под давлением // Новые материалы и перспективные технологии: 4 междисциплинарный научный форум с международным участием, Москва, 27–29 нояб. 2018 г. – М., 2018. – С. 106–110.

4. Механические свойства наноструктурной керамики на основе диборида циркония / В.А. Скрипняк, Е.Г. Скрипняк [и др.] // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2012. – Т. 55, № 7-2. – С. 119–123.

5. Hard-alloy metal-cutting tool for the finishing of hard materials / Rechenko D.S., Popov A.Y., D.Y. Belan, A.A. Kuznetsov // Russian Engineering Research. – 2017. – Vol. 37, iss. 2. – P. 148–149.

6. *Борисов М.А., Лобанов Д.В., Янюшкин А.С.* Гибридная технология электрохимической обработки сложнопрофильных изделий // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – Новосибирск, 2019. – Т. 21, № 1. – С. 25–34.

7. Плоское шлифование торцов колец крупногабаритных подшипников с требуемым качеством поверхности / В.А. Носенко, В.Н. Тышкевич, С.В. Орлов, А.В. Саразов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер.: Машиностроение. – Челябинск, 2014. – Т. 14, № 4. – С. 67–78.

8. Пат. RU 2440229 С2. Способ обработки сверхтвердых материалов / Д.С. Реченко, А.Ю. Попов ; патентообладатель Омский государственный технический университет. – № 2010104343/02 ; заявл. 08.02.2010 ; опубл. 20.01.2012, Бюл. № 2. – 5 с.

9. *Soler Ya.I., D.Yu. Kazimirov, A.V. Prokop'eva* Optimizing the grinding of high-speed steel by wheels of cubic boron nitride // Russian Engineering Research. – 2007. – Vol. 27, iss 12. – P. 916–919.

10. *Янюшкин А.С.* Технология комбинированного электроалмазного затачивания твердосплавных инструментов. – М.: Машиностроение, 2003. – 242 с.

11. Hybrid processing: the impact of mechanical and surface thermal treatment integration onto the machine parts quality / V.Yu. Skeebe, V.V. Ivancivsky, A.V. Kutyshkin, K.A. Parts // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 126. – Art. 012016. – DOI: 10.1088/1757-899X/126/1/012016.

12. *Захаров О.В.* Бесцентровое шлифование конических поверхностей на станках с продольной подачей // Автоматизация и современные технологии. – 2006. – № 7. – С. 14–16.

13. *Маталин А.А.* Технология машиностроения: учебник для машиностроительных вузов по специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты». – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1985. – 496 с.: ил.

14. Методика оценки комбинированных методов электроалмазной обработки твердых сплавов / Д. В. Лобанов, Е. Д. Лосев, Е. И. Кирипкова, А. С. Янюшкин // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2012. – Т. 1, № 8. – С. 152–153.

15. Сравнительный анализ методов комбинированной алмазной обработки твердых сплавов / Д. В. Лобанов, А. С. Янюшкин, Е. И. Кирипкова [и др.] // Механики XXI века. – 2012. – № 11. – С. 155–159.

16. Коновалов Д.А., Никифоров А.С., Купцов М.В. Пути повышения эффективности плоского шлифования за счет комбинированной электроалмазной обработки // Современные технологии: проблемы и перспективы: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции для аспирантов, студентов и молодых ученых, Севастополь, 20–23 мая 2019 г. – Севастополь, 2019. – С. 33–37.

17. Повышение эффективности алмазного инструмента на металлической связке при шлифовании высокопрочных материалов / А.С. Янюшкин, Д.В. Лобанов, В.Ю. Скиба [и др.] // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2017. – № 3 (76). – С. 17–27.

18. Лобанов Д.В., Мулюхин Н.В., Купцов М.В. Предварительная оценка качества затачивания высокопрочных инструментальных материалов // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2019. – Т. 6, № 1–4. – С. 85–90.

19. Rychkov D.A., Yanyushkin A.S., Popov V.Y. Specificity of cutting tool wear in processing of polymer composite materials // Lecture Notes in Mechanical Engineering. – 2019. – Vol. 137: Proceedings of the 4 International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2018). – P. 1219–1224. – DOI: 10.1007/978-3-319-95630-5_127.

20. Никифоров А.С., Рафанова О.С., Мулюхин Н.В. Проблемы трещинообразования при финишной обработке высокопрочных материалов // Современные технологии: проблемы и перспективы: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции для аспирантов, студентов и молодых ученых, Севастополь, 20–23 мая 2019 г. – Севастополь, 2019. – С. 77–82.

21. Bratan S., Roshchupkin S., Novikov P. Modeling the grinding wheel working surface state // Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 206. – P. 1419–1425. – DOI: 10.1016/j.proeng.2017.10.655.

22. Skeebe 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.

23. Popov V.Yu. Yanyushkin A.S., Zamashchikov Y.I. Diffusion phenomena in the combined electric diamond grinding // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Vol. 799–800. – P. 291–298.

DEFINITION OF INDICATORS AND DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR THE COMPARATIVE EVALUATION OF DIAMOND GRINDING METHODS

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

Nikiforov A. S., Post-graduate Student, e-mail: antonsenna510@gmail.com

Muliukhin N.V., Post-graduate Student, e-mail: muliukhin@mail.ru

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

Abstract

The article presents a methodology for the comparative assessment of diamond grinding methods for cermet hard alloys, which takes into account the cutting power, diamond wheel consumption, roughness, microhardness, tool and electric energy costs in a comparative analysis. Given the use of the same type: equipment, tooling, processing modes, qualifications of workers, parameters of the processed product and its characteristics. The developed methodology will make it possible to make a reasonable choice of a rational method for processing carbide products, both at the stage of preliminary research, for choosing a processing technology, and for analyzing data already obtained in comparison with other methods.

Keywords

Carbide, grinding, processing, quality, tool, cost, indicator, shaping, evaluation, accuracy, performance

УДК 621.7.09

**ПРИМЕНЕНИЕ ВИБРАЦИОННОЙ СТАБИЛИЗИРУЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ДЕТАЛЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

*В.А. ЛЕБЕДЕВ, канд. техн. наук, профессор
М.А. БЕЛОЗЕРОВ, аспирант
(ДГТУ, г. Ростов-на-Дону)*

Лебедев В.А. - 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1,
Донской государственный технический университет,
e-mail: va.lebidev@yandex.ru

В работе показано, что одним из наиболее значимых факторов, оказывающим влияние на снижение достигнутой в процессе механической обработки точности деталей, является возникновение технологических остаточных напряжений, которые приводят к существенным изменениям их геометрической формы. Раскрыты технологические аспекты вибрационной стабилизирующей обработки деталей, представлены способы её реализации, рассмотрены возможные методы его осуществления и её влияние на изменение остаточных напряжений деталей малой жесткости. Предложены пути повышения эффективности вибрационной стабилизирующей обработки, обеспечивающие её применение для стабилизации качества деталей и, как следствие, ресурса эксплуатации летательных аппаратов.

Ключевые слова: вибрационная стабилизирующая обработка, остаточные напряжения, технология, качество деталей.

Введение

Повышение надежности и долговечности изделий авиационной техники является основой для повышения конкурентоспособности этих изделий как внутри российского рынка, так и за рубежом. В конструкцию таких типов изделий входят группы высоконагруженных деталей, которые имеют сложную форму, большие размеры, ограниченную жесткость и высокие требования к параметрам качества поверхности и подповерхностного слоя. В качестве примеров такого рода деталей можно представить следующие: лонжерон лопасти несущего винта вертолета, элементы крыла и фюзеляжа (панели) самолета, детали турбореактивных двигателей и энергосиловых установок и другие (рис. 1).

На снижение достигнутой в процессе механической обработки точности этих деталей влияет множество факторов. Одним из наиболее значимых факторов является возникновение технологических остаточных напряжений, которые приводят к существенным изменениям их геометрической формы [1, 2]. Для исключения этого фактора применяются термические,

деформационные и комбинированные технологические методы, стабилизирующие их объёмно- напряжённое состояние [3, 4].

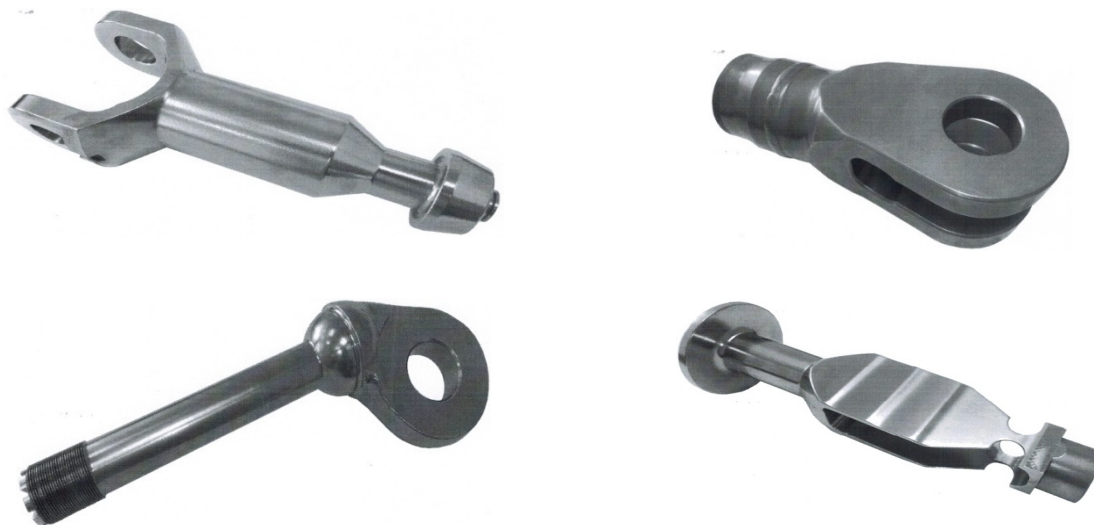


Рис. 1. Примеры силовых деталей авиационной техники

Результаты теоретических и экспериментальных исследований, проведённых в этом направлении [5, 6], позволяют в качестве перспективного метода стабилизирующей обработки деталей летательных аппаратов выделить вибрационную стабилизирующую обработку (ВиСО), обладающую рядом преимуществ по сравнению с другими технологическими методами, раскрытие которых является целью настоящей статьи.

Теория

На рисунке 2 представлена технологическая система ВиСО, разработанная в НИИ «Вибротехнология» ДГТУ для стабилизации геометрических параметров деталей, основными элементами которой являются: деталь 1, подвергаемая стабилизации; источник периодического ударного возбуждения акустических колебаний 2; блок управления 4; опоры 3.

Функционально процесс стабилизации в технологической системе может быть реализован или путём установки детали на вибрирующую платформу с креплением в одной (двух) точках или путём прикрепления источника колебаний к детали, установленной консольно или путём ударно-импульсного воздействия на деталь, устанавливаемой на упругие опоры, обуславливая при этом её колебание.

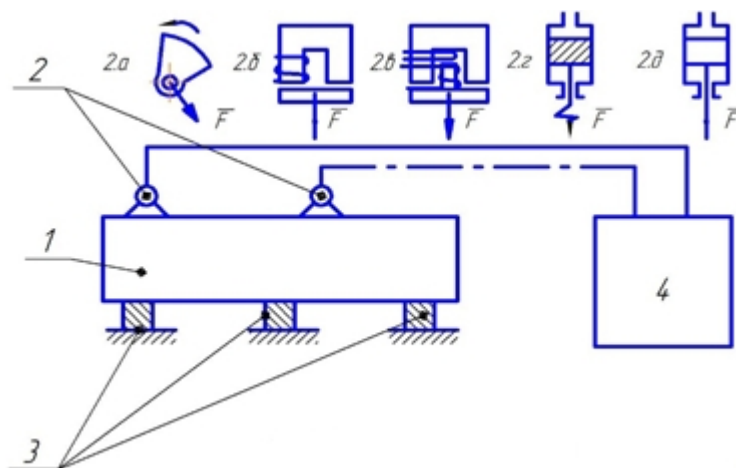


Рис. 2. Технологическая система ВиСО:

1 - деталь, 2 – источник виброколебаний (а - дебалансный, б - электромагнитный, в - электродинамический, г - гидравлический, д - пневматический), 3 - опоры, 4 - блок управления

Управляющими параметрами, определяющими технологический эффект ВиСО являются частота и амплитуда вибровозбуждающей силы, характер и направление ее распределения, сдвиг по фазе источников колебаний, расположение опорных точек детали при установке на опоры.

Представленная технологическая схема, как показали проведенные исследования [7], позволяет обеспечить создание значительных циклических нагрузок во всем теле обрабатываемой детали за счет использования резонансных свойств ее конструкции. Установлено, что ВиСО на резонансных частотах не дает отрицательных эффектов и не затрагивает таких свойств, как показатели усталостной прочности, а также не вызывает явлений трещинообразования. В условиях обработки с нерезонансными частотами, из-за того, что амплитуда действующих напряжений, создаваемых источником вибрации, мала, скорость процесса релаксации невелика. Это приводит к значительному увеличению продолжительности обработки и, как правило, к непредсказуемости эффекта снижения напряжений.

Рассматривая механизм стабилизирующего воздействия вибрации на материал, большинство исследователей склоняются к тому, что процесс ВиСО, как и другие, относящиеся к классу деформационных, снижает уровень остаточных напряжений (ОН) и повышает релаксационную стойкость структуры за счет ее упрочнения при микропластической деформации виброползучести.

Анализ исследований процесса на литых деталях из серого чугуна [8], на деталях (в том числе сварных) из малоуглеродистых сталей, деталях из сплавов алюминия, горячекатаных и холоднотянутых малоуглеродистых сталей показал, что ВиСО сравнительно нежестких деталей, обладающих большой деформационной способностью (сварные конструкции, длинномерные валы, протяженные отливки и т.п.), была, как правило, успешной, то есть предотвратила коробления. Этот факт объясним тем, что собственные частоты изгибных колебаний названных деталей лежали в рабочем диапазоне применяемых вибровозбудителей. Практически все известные методики [9, 10, 11] предполагают возможность возбуждения при ВиСО хотя бы первой собственной частоты детали. Не рассматривая подробно содержание этих методик, следует отметить, что они применимы к ВиСО сравнительно нежестких деталей. Между тем, существует большое число деталей, в том числе и в вертолётостроении, имеющих собственные частоты, превышающие предельные частоты дебалансных вибровозбудителей. С другой стороны, большая жесткость

и масса этих деталей требуют для возбуждения их интенсивных колебаний приложения сил, недостижимых другими типами вибровозбудителей.

В работах [12, 13] показано, что применение вибрационной стабилизирующей обработки при изготовлении нежестких деталей различной конфигурации, позволило достичь показателей по геометрической точности, которые невозможно было обеспечить с помощью других методов стабилизирующей обработки. Помимо существенного повышения геометрической точности деталей, было отмечено и снижение остаточных напряжений. Результат работ был применен при производстве фрикционных дисков многодисковых масло охлаждаемых тормозов (ММОТ) на заводе БелАЗ.

Проблемы и пути обеспечения размерной стабильности деталей

Поскольку главный элемент технологической системы ВиСО - деталь представляет собой находящуюся в нестационарном сложном напряженном состоянии несовершенную упругую систему с распределенными параметрами, характеризующуюся конструктивной анизотропией и структурной неоднородностью, при анализе качества процесса ВиСО возникают определённые трудности, которые усугубляются тем обстоятельством, что непосредственный контроль его результата - размерной стабильности, может быть осуществлен только после наработки деталью ресурса до предельного состояния (нарушения норм точности).

Вопросы синтеза управляющих воздействий процесса ВиСО, позволяющих создавать в обрабатываемой детали вибрационные поля требуемой амплитуды и конфигурации (в том числе, с заданными локальными характеристиками в зонах концентрации эксплуатационных и остаточных напряжений), требуют дальнейшей проработки в части обоснования выбора схемы закрепления детали, числа и расположения на ней источников колебаний с учётом геометрии конкретной детали и ее колебательных свойств. В этой связи, для эффективного внедрения вибрационной стабилизирующей обработки должен быть разработан конструкторско-технологический классификатор деталей и рекомендаций по использованию различных схем нагружения, который позволит проектировать наиболее рациональные конструкции установок динамической стабилизации.

Выводы

Анализ работ посвящённых исследованию и применению с вибрационной стабилизирующей обработки, свидетельствует о перспективности его использования в технологии изготовления деталей машин с целью обеспечения их качества и повышения эксплуатационных свойств. Несмотря на то, что большая часть исследований в этом направлении была проведена еще в 70-80 годах, они не потеряли своей актуальности и на сегодняшний день.

Метод вибрационной стабилизирующей обработки уже подтвердил свою высокую эффективность на различных предприятиях при изготовлении фрикционных дисков, торсионных и коленчатых валов, а также других маложестких деталей. Однако, из-за недостаточной проработанности, он не получил должного применения на предприятиях по изготовлению деталей летательных аппаратов отличающихся малой жесткостью конструкции и склонностью к образованиям остаточных напряжений, несмотря на то, что к этому, как показал проведённый анализ, есть все объективные предпосылки.

Список литературы

1. Подзей А.В. Технологические остаточные напряжения. – М.: Машиностроение, 1973. – 180 с.
2. Технология вибрационной стабилизирующей обработки изделий машиностроения / М.А. Тамаркин [и др.] // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2018. – № 3. – С. 20–26.
3. Шаповалов И.И. Опыт и экономические аспекты промышленного внедрения стабилизирующей обработки // Прогрессивная отделочно-упрочняющая обработка: сборник научных трудов – Ростов-н/Д: РИСХМ, 1985. – С. 96–101.
4. Бабенко М.Г., Слесарев С.В. Оценка технологических способов стабилизации точности деталей машин // Научно-технический прогресс: актуальные и перспективные направления будущего: сборник научных трудов – Саратов: СГТУ им. Ю.А. Гагарина, 2015. – С. 75–77.
5. Бабичев А.П., Бабичев И.А. Основы вибрационной технологии. – Ростов-н/Д: ДГТУ, 1999. – 620 с.
6. Бабичев А.П. Выбор оптимальных режимов вибрационной стабилизирующей обработки корпусных деталей балочной конструкции // Прогрессивная отделочно-упрочняющая обработка: сборник статей – Ростов-н/Д: РИСХМ, 1982. – С. 3–18.
7. Белозеров М.А., Лебедев В.А. Предпосылки применения вибрационной стабилизирующей обработки для обеспечения макрогеометрии деталей летательных аппаратов // Технические и естественные науки: инновации и перспективы: материалы международной научно-практической конференции, Белгород, 30 янв. 2020 г. – Белгород: АПНИ, 2020. – С. 96.
8. Антонюк В.Е. Динамическая стабилизация и остаточные напряжения при изготовлении нежестких деталей // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: наука и транспорт. – 2016. – № 1 (32). – С. 292–294.
9. Баскаков В.А. Анализ распространения и динамического воздействия ударных волн на деформируемое твердое тело: автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. наук: 01.02.04. – Чебоксары, 1991. – 37 с.
10. Бабичев И.А. Модель передачи ударного импульса в системе ШСУ // Вопросы вибрационной технологии: межвузовский сборник – Ростов-н/Д: ДГТУ, 1991. – С. 9–21.
11. Инженерные методы исследования ударных процессов / Г.С. Батуев, Ю.В. Голубков, А.К. Ефремов, А.А. Федосов. – 2-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1977. – 240 с.
12. Ударные волны и явления высокоскоростной деформации металлов: [труды международной конференции, США, 1980 г. / под ред. М.А. Мейерса, Л.Е. Мурра ; пер. с англ. Л.М. Бернштейна и др. под ред. Г. Н. Эпштейна]. – М.: Металлургия, 1984. – 512 с.
13. Ферзуллаев Ф.М., Бабенко М.Г. Технологические методы стабилизации точности деталей машин // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации: сборник научных трудов – Саратов: СГТУ им. Ю.А. Гагарина, 2019. – С. 200–204.
14. Антонюк В.Е., Дечко Э.М. Технологическая классификация принципов динамической стабилизации параметров деталей // Вестник Полоцкого государственного университета. – 2006. – № 12. – С. 12–18.

**APPLICATION OF VIBRATION STABILIZING TREATMENT
TO IMPROVE THE QUALITY OF AIRCRAFT PARTS**

Lebedev V.A., Ph.D. (Engineering), Professor, e-mail: va.lebidev@yandex.ru

Belozerov M.A., Ph.D. student, e-mail: m-belozjorov2016@yandex.ru

Don State Technical University, 1 Gagarina square, Rostov-on-Don, 344000, Russian Federation

Abstract

The paper shows that one of the most significant factors affecting the reduction of the accuracy of parts achieved in the process of machining is the occurrence of technological residual stresses, which lead to significant changes in their geometric shape. The article reveals the technological aspects of vibration stabilizing processing of parts, presents the ways of its implementation, considers possible methods of its implementation and its influence on the change of residual stresses of low-rigidity parts. The work suggests ways to improve the efficiency of vibration stabilizing processing, ensuring its use for stabilizing the quality of parts and, as a result, the service life of aircraft.

Keywords

Vibration-stabilizing treatment, residual stresses, technology, quality of parts.

УДК 621.715

**АЛГОРИТМ СИЛОВОГО РАСЧЕТА ПРОЕКТИРУЕМОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ
ОСНАСТКИ В CAD-СИСТЕМАХ****В.Б. БОГУЦКИЙ**, канд. техн. наук, доцент
(СевГУ, г. Севастополь)**Богущий В.Б.** – 299053, г. Севастополь, ул. Университетская 33,
Севастопольский государственный университет,
e-mail: bogutskivb@yandex.ru

Введение. В статье показана актуальность использования CAD-систем для проектирования компоновок технологической оснастки. Отмечено, что процесс проектирования включает в себя выполнение ряда расчетов, таких как силовой расчет, не входящих в состав большинства CAD-систем и поэтому создание подпрограммы силового расчета оснастки для CAD-системы является актуальной задачей, требующей на первом этапе, разработки алгоритма ее работы. **Цель работы:** создание алгоритма силового расчета технологической оснастки для разработки подпрограммы выполнения силового расчета в CAD-системе. **В работе,** на основе базовых теоретических положений и практические рекомендации, в формализованном виде описана последовательность выполнения силового расчета технологической оснастки, включающая в себя операции анализа предложенной схемы базирования; выбора схем действующих сил и моментов, зажимного устройства и силового привода; расчеты усилия закрепления детали и характеристик привода, а так же расчет деформации обрабатываемой заготовки. **Результаты и обсуждение.** Алгоритм позволяет использовать индивидуальный опыт конструктора и предусматривает контроль конструктором всех этапов выполнения расчета и, при необходимости, решение, на основе своего опыта и подготовленных на предыдущих стадиях расчета данных, возникающих в процессе расчета сложных пространственных геометрических задач. На основе описанного в статье алгоритма может быть создана подпрограмма для силового расчета технологической оснастки при ее проектировании с применением CAD-системы.

Ключевые слова: технологическая оснастка; силовой расчет, зажимное устройство, алгоритм силового расчета.

Введение

В настоящее время при проектировании технологической оснастки (ТО) особенно в условиях мелкосерийного и серийного производства, широко применяются универсальные конструкторские CAD-системы (например, Autodesk Inventor), позволяющие создавать 3D модели ТО [1-6 и др.]. Необходимо отметить, что процедура проектирования ТО включает в себя не только непосредственно процесс конструирования, но и выполнение ряда расчетов, характерных именно для этого процесса и не реализованных на данном этапе в CAD-системах. К таким расчетам следует отнести и силовой расчет (расчет необходимого усилия закрепления заготовки и последующий выбор привода с расчетом его характеристик) проектируемой ТО, поэтому создание подпрограммы силового расчета ТО для CAD-системы является актуальной задачей, требующей на первом этапе, разработки алгоритма ее работы.

Изложение основного материала

В основу алгоритма заложены теоретические положения и практические рекомендации выполнения силового расчета ТО, достаточно подробно описанные в [7-10 и др.]. Так как процесс расчета ТО при конструировании во многом основывается на индивидуальных знаниях и опыте конструктора, то расчет выполняется в диалоговом режиме. Работая в диалоговом режиме, конструктор участвует в расчете, в основном, на этапах принятия решений (например – выбор схемы силового привода) и освобождается, как от построения схем (схемы базирования, действующих сил и моментов, схемы зажимного устройства и др.), так и от выполнения расчетов.

Предлагаемый алгоритм силового расчета ТО (рис. 1) предусматривает следующие действия конструктора:

Этап 1 – ввод исходных данных (блок 1): рабочий чертеж обрабатываемой заготовки; 3D-модель детали (например, выполненной в программе Autodesk Inventor); программа выпуска деталей; описание операции и режимы обработки; назначенная технологом схема базирования; модель станка, на котором производится обработка и др. [11-13];

Этап 2 – анализ предложенной технологом схемы базирования (блок 2) и, при необходимости, ее замена на другую из библиотеки (блок 3) схем базирования (см. пример на рис. 2);

Этап 3 – выбор схемы действующих сил и моментов (блок 4) из библиотеки (блок 5) характерных схем действующих сил и моментов (см. пример на рис. 3, а). Предлагаемая в библиотеке схема действующих сил и моментов должна содержать: схему установки заготовки с указанием направлений действующих сил и моментов резания, сил закрепления; сил и моментов трения в местах контакта заготовки с установочными и зажимными элементами ТО. Схема выбирается конструктором для наиболее неблагоприятных условий обработки на данной операции;

Этап 4 – расчет величин действующих сил и моментов (блок 6);

Этап 5 – выбор схемы зажимного устройства (блок 7) (см. пример на рис. 3, б) из библиотеки (блок 8) типовых схем зажимных устройств;

Этап 6 – выбор уравнения равновесия (блок 10) из библиотеки уравнений равновесия (блок 9) для выбранной на этапе 3 (блок 4) схемы действующих сил и моментов;

Этап 7 – расчет необходимого усилия закрепления детали (блок 11) с учетом коэффициента запаса. Коэффициент запаса (блок 12) рассчитывается исходя из анализа условий обработки с применением справочных таблиц;

Этап 8 – выбор схемы силового привода (блок 13) из библиотеки схем силовых приводов (блок 14);

Этап 9 – расчет характеристик выбранного силового привода (блок 15) и их корректировка с учетом библиотеки конструкций силовых приводов (блок 16);

Этап 10 – расчет возможной деформации обрабатываемой детали (блок 19). При механической обработке детали, возможна ее деформация в результате одновременного воздействия на нее сил резания и сил закрепления, что может сказаться на ее точностных и эксплуатационных характеристиках. Выполняются такие расчеты, как правило, в применяемых для проектирования ТО конструкторских САПР. Методика выполнения таких расчетов приведена в [14-16 и др.]. Необходимые для выполнения расчетов физико-механические характеристики материала обрабатываемой детали и установочных элементов ТО принимаются по справочным таблицам (блок 18). Пример расчета деформации обрабатываемого вала в программе Autodesk Inventor показан на рис. 4;

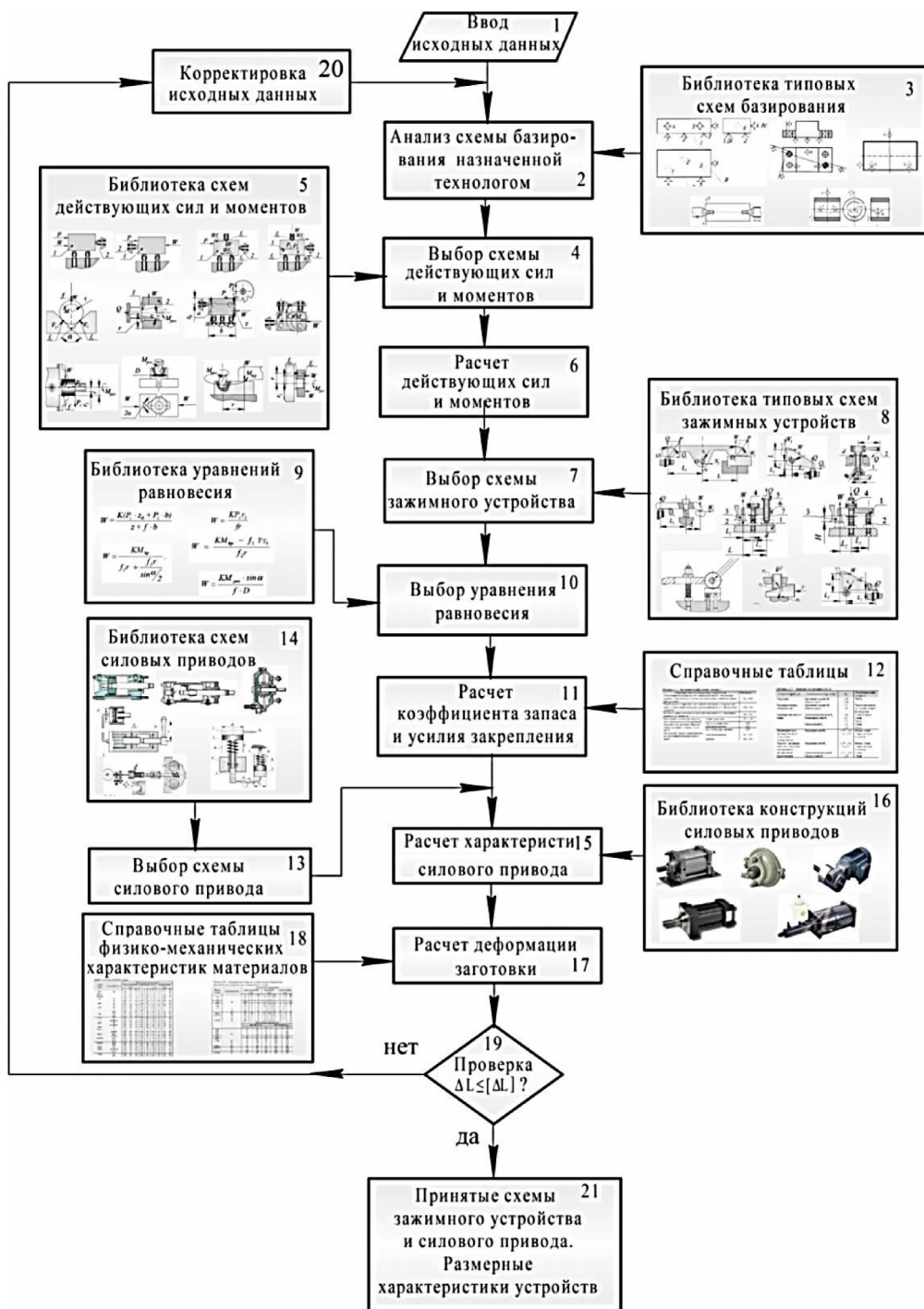


Рис. 1. Блок-схема алгоритма подпрограммы «Силовой расчет ТО»

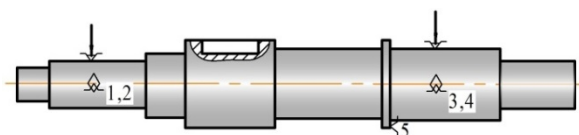


Рис. 2. Пример типовой схемы базирования детали из библиотеки типовых схем

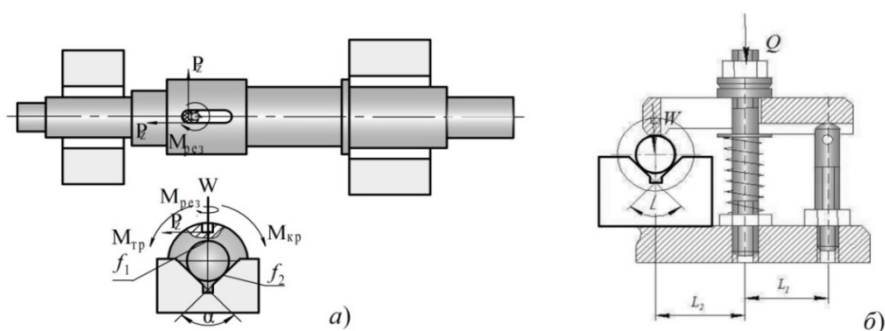


Рис. 3. Примеры выбранных из библиотек: а – типовой схемы действующих сил и моментов при обработке детали; б – конструкции зажимного устройства

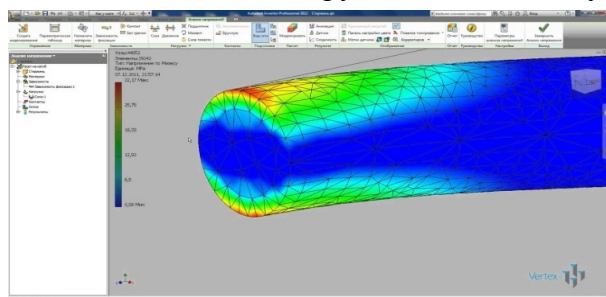


Рис. 4. Пример расчета деформации обрабатываемого вала в программе Autodesk Inventor

Этап 11 – сравнение расчётной деформации детали ΔL , возникающей под действием сил резания и сил закрепления, с величиной допустимой деформации $[\Delta L]$ (блок 19). Если оно не выполняется, то необходимо выполнить корректировку исходных данных (блок 20) и повторить процедуру расчета;

Этап 12 – формирование отчета о результатах расчета. В отчете приводятся расчетная схема действующих сил и моментов, результаты расчетов, принятая схема зажимного устройства, принятая схема силового привода и их размерные характеристики.

Выводы

Рассмотренный в статье алгоритм учитывает основные теоретические положения, существующие практические рекомендации и позволяет использовать индивидуальный опыт конструктора при выполнении необходимого при проектировании ТО силового расчета. Его реализация возможна в виде подпрограммы силового расчета ТО в среде Microsoft®Excel связанной макросом с программой Autodesk Inventor и для которой необходима разработка справочных электронных библиотек, которые позволят значительно снизить затраты времени на выполнение расчетов и обеспечить их точность при проектировании оснастки с применением CAD-систем.

Список литературы

1. Кульга К.С., Половинкин А.В. Применение CAD/CAE-систем для автоматизированного проектирования станочных приспособлений // CAD/CAM/CAE Observer. – 2016. – № 2 (102). – С. 51–56.
2. Maniar N.P., Vakharia D.P. Design development of fixture for CNC – reviews, practices future directions // International Journal of Scientific & Engineering Research. – 2013. – Vol. 4, iss. 2. – P. 1–11.

3. Андрусевич А.А., Фомовский Ф.В., Сотник С.В. Исследование современных средств проектирования технологической оснастки // Вісник КрНУ ім. Михайла Остроградського. – 2014. – Вып. 3 (86). – С. 104–109.
4. Myasnikov Yu.I., Pimenov D.Y. Systems approach to the design of technological equipment for metal-cutting machines // Russian Engineering Research. – 2016. – Vol. 36, iss. 11. – P. 951–955.
5. Prabhakaran G., Padmanaban K.P., Krishnakumar R. Machining fixture layout optimization using FEM and evolutionary techniques // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2007. – Vol. 32, iss. 11–12. – P. 1090–1103. – DOI: 10.1007/s00170-006-0441.
6. Богуцкий В.Б. Автоматизированная система проектирования приспособлений для металлорежущих станков // Вестник науки и образования Северо-Запада России. – 2019. – Т. 5, № 2. – С. 43–49.
7. Проектирование технологической оснастки машиностроительного производства / под ред. Ю.М. Соломенцева. – М.: Высш. шк., 1999. – 415 с.
8. Гусев А.А., Гусева И.А. Проектирование технологической оснастки: учебник. – М.: Машиностроение, 2013. – 416 с.
9. Зубарев Ю.М. Расчет и проектирование приспособлений в машиностроении: учебник. – СПб.: Лань, 2015. – 320 с.
10. Леонов Е.Е., Богуцкий В.Б. Информационное обеспечение для проектирования технологической оснастки с использованием AUTODESK INVENTOR // Современные технологии: проблемы и перспективы: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции для аспирантов, студентов и молодых ученых, Севастополь, 20–23 мая 2019 г. – Севастополь, 2019. – С. 53–58.
11. A method of body parts force displacements calculation of metal-cutting machine tools using CAD and CAE technologies / T. Chetverzhuk, O. Zabolotnyi, V. Sychuk [et al.] // Annals of Emerging Technologies in Computing. – 2019. – Vol. 3, iss. 4. – DOI: 10.33166/AETiC.2019.04.004.
12. Тарабарин О.И., Абызов А.П., Ступко В.Б. Проектирование технологической оснастки в машиностроении: учебное пособие. – СПб.: Лань, 2013. – 304 с.
13. Youssef H.A., El-Hofy H. Machining technology: machine tools and operations. – [Boca Raton]: CRC Press Publ., 2008. – 672 p.
14. Кульга К.С. Применение CAD/CAE-систем для статического исследования компоновок мехатронного станочного оборудования // CAD/CAM/CAE Observer. – 2014. – № 2 (86). – С. 61–67.
15. Пянковская М.В., Богуцкий В.Б. Применение программы Solidworks Simulation при проектировании приспособлений для закрепления тонкостенных деталей // Молодежный научный форум: технические и математические науки. – 2016. – № 8 (37). – С. 36–40.
16. Zlotnikov E.G., Khalimonenko A.D., Kazakov D.Yu. Modeling and calculation of load on cutting inserts of disk milling cutters in software environment of Autodesk Inventor // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2018. – Vol. 194. – Art. 022048. – DOI: 10.1088/1755-1315/194/2/022048.

ALGORITHM FOR POWER CALCULATION OF DESIGNED TECHNOLOGICAL EQUIPMENT IN CAD-SYSTEMS

Bogutsky V.B., Ph.D (Engineering), Associate Professor, e-mail: bogutskivb@yandex.ru

Sevastopol State University, 33 Universitetskaya street, Sevastopol, 299053, Russian Federation

Abstract

Introduction. The article shows the relevance of using CAD systems for the design of technological equipment layouts. It is noted that the design process includes a number of calculations, such as force calculation, not included in most CAD systems, and therefore the creation of a force calculation subroutine for a CAD system is an urgent task that requires the development of an algorithm for its operation at the first stage. **The purpose of the work:** creation of an algorithm for the force calculation of technological equipment for the development of a subroutine for performing force calculation in a CAD system. In the work, on the basis of basic theoretical principles and practical recommendations, the sequence of performing force calculations of technological equipment is described in a formalized form, including the analysis of the proposed basing scheme; selection of schemes of acting forces and moments, clamping device and power drive; calculations of the efforts to fix the part and the characteristics of the drive, as well as the calculation of the deformation of the workpiece. **Results and discussion.** The algorithm allows you to use the individual experience of the designer and provides for the designer to control all stages of the calculation and, if necessary, to solve, based on their experience and data prepared at previous stages of calculation, arising in the process of calculating complex spatial geometric problems. Based on the algorithm described in the article, a subroutine can be created for the force calculation of technological equipment when it is designed using a CAD system.

Keywords

technological equipment; power calculation, clamping device, force calculation algorithm.

УДК 539.3:666.9-16;621.9

**ФОРМООБРАЗОВАНИЕ РЕЖУЩЕГО ЛЕЗВИЯ ТВЕРДОСПЛАВНОГО
ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ ТРАДИЦИОННЫМ АЛМАЗНЫМ ШЛИФОВАНИЕМ**

*Д.В. ЛОБАНОВ, доктор техн. наук, доцент
Н.В. МУЛЮХИН, аспирант
М.В. КУПЦОВ, аспирант
А.С. НИКИФОРОВ, аспирант
(ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары)*

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

В статье обозначены перспективы использования полимерных композиционных материалов в различных конструкциях и способы их обработки. Приведен краткий сравнительный анализ методов обработки полимерных композитов, выявлено что механический (лезвийный) метод более универсален и широк в применении для обработки неметаллических композитов. В работе приведено исследование формирования зазубренности, на режущем лезвии инструмента, предназначенного для обработки полимерных композиционных материалов. Установлено, что обеспечить требуемое качество инструмента, оснащенного твердосплавными режущими элементами, с использованием традиционных методов, описанных в различной справочной литературе, либо невозможно, либо достаточно трудоемко. В описанных случаях результат не постоянен и не стабилен, т.к. получаемые разрушения на режущем лезвии в данном случае не лежат в допустимом диапазоне 0,004...0,007 мм. Следовательно, необходимо дальнейшее развитие в направлении использования новых прогрессивных, комбинированных методов для обработки инструмента из высокопрочных инструментальных материалов. Выявлен характер влияния режимов резания при шлифовании твердосплавных режущих элементов инструмента, предназначенного для обработки полимерных композиционных материалов, на формирование зазубренности лезвия и напряженно-деформированного состояния твердосплавной пластины после обработки современными комбинированными методами. Сформулированы выводы и перспективы дальнейших исследований.

Ключевые слова: Шлифование, зазубренность, твердый сплав, режущий инструмент, качество, полимерные композиты

Введение

При современном развитии техники и технологий к физико-механическим, эксплуатационным и химическим свойствам конструкционных материалов предъявляются все более повышенные, жесткие и порой даже противоречивые требования. Характеристики традиционных конструкционных материалов не всегда способны соответствовать всем критериям повышенных запросов, в этих случаях используют композиционные материалы. Особое широкое распространение получили полимерные композиционные материалы, так как они, с одной стороны, по своим прочностным свойствам не уступают металлам, а, с другой стороны, сохранили преимущества полимеров: низкая плотность и сравнительная

простота переработки, относительно невысокая стоимость.

Часто готовые изделия из полимерных композиционных материалов получают на заготовительной стадии. Но некоторым изделиям, которые используются в конструкциях различных машин, предъявляются особые требования по качеству поверхностей, такие как шероховатость и размерная точность, добиться которых на заготовительной стадии не всегда возможно или, же это экономически не эффективно, например, при единичном и мелкосерийном производстве. В этом случае прибегают к дополнительной лазерной, гидроабразивной, ультразвуковой и механической обработке деталей из полимерных композитов. Однако, лазерная и гидроабразивная обработка имеют некоторые ограничения по применению: первый метод – из-за температурного воздействия на обрабатываемый материал, что оплавляет полимерную матрицу в местах обработки, а второй метод – из-за того, что некоторые композиты активно впитывают воду и теряют свои первоначальные свойства. Ультразвуковой метод обработки малопроизводителен. Механическое резание лишено указанных недостатков, но имеет особенности, которые связаны в основном со спецификой материалов и с технологической подготовкой инструмента для их обработки.

Для резания полимерных композитов применяются инструменты с несколько другими геометрическими характеристиками, чем при обработке металлов (с меньшими углами при вершине режущего клина, например для фрезерного инструмента, используются углы при вершине 50...60°) [1, 2]. Так для обработки стеклопластиков, углепластиков, древопластика и т.д. в качестве инструментального материала рекомендован к использованию твердый сплав групп ВК, ТК и ТТК [3-5]. К инструменту для обработки полимерных композитов предъявляют повышенные требования по качеству режущего лезвия: шероховатость $Ra=0,16...0,32$ мкм, радиус округления режущей кромки не более 3...5 мкм, также режущий клин не должен иметь дефектов в виде, зазубренности (образуемой сколами, вырывами и другими разрушениями), трещин, прижогов и т.д [6, 7, 8]..

На практике оперировать радиусом округления режущей кромки достаточно неудобно, т.к. проблематично, а порой невозможно, провести прямые измерения данного параметра, либо эти измерения требуют весьма дорогостоящих, узкоспециализированных измерительных приборов. Для удобства и простоты будем использовать величину зазубренности, которую в этом случае определим, как наибольшее разрушение вдоль режущей кромки, которое было выявлено на передней поверхности режущего лезвия. Радиус округления режущей кромки и зазубренность между собой взаимосвязаны и определяются из расчетной схемы, изображенной на рис.1.

Исходя из расчетной схемы данная зависимость будет определяться следующим уравнением:

$$r_{\text{дон}} = \frac{h_{\text{з,дон}} \cdot \left(1 + \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}\right)}{2} = \frac{Q_{\text{дон}} \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}}{1 - \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}}$$

где $h_{\text{з,дон}}$ – допустимый износ по задней поверхности, мкм; $r_{\text{дон}}$ – допустимый радиус округления режущей кромки, мкм; $Q_{\text{дон}}$ – допустимая зазубренность, мкм; β – угол при вершине режущей пластины.

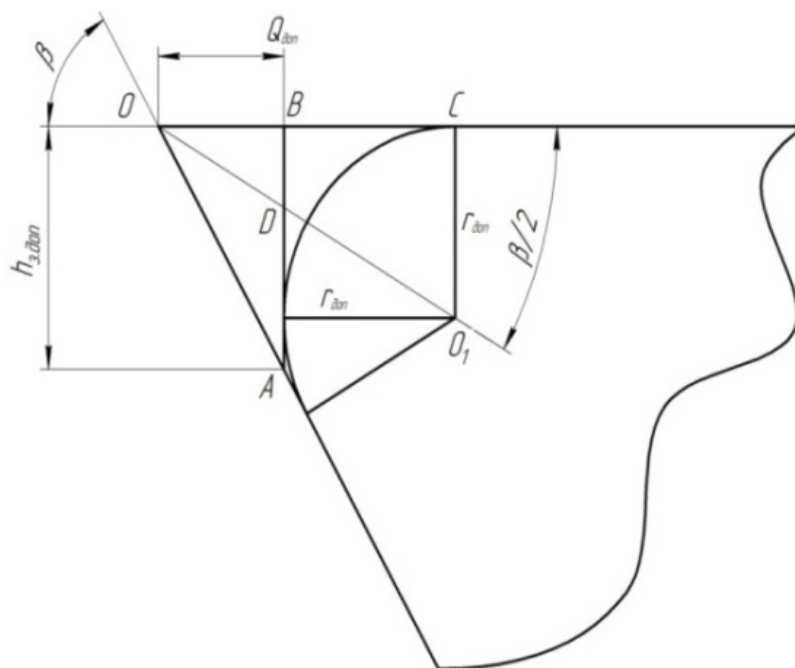


Рис. 1. Расчетная схема для определения взаимосвязи между величиной зазубренности и радиусом округления режущей кромки

Используя приведенную формулу, нетрудно определить теоретически допустимый диапазон зазубренности для режущей пластины с углом при вершине 50° и допустимом износе по задней поверхности $0,3$ мм он составляет $0,004 \dots 0,007$ мм.

В научной, справочной литературе [9-12] существуют множество рекомендаций, которые весьма разрознены и порой противоречивые, по выбору режимов затачивания (шлифования) твердосплавных пластин, обеспечивающих минимальную зазубренность. Следовательно, исследования, направленные на определение благоприятных режимов резания при традиционном методе шлифования, с целью минимизации зазубренности режущего лезвия, является актуальной задачей.

Целью данного исследования является определение закономерности формирования зазубренности на режущем лезвии твердосплавного инструмента для обработки полимерных композитов при алмазной абразивной обработке. Также необходимо оценить традиционный метод затачивания режущего инструмента оснащенным твердым сплавом и определить оптимальные режимы затачивания.

Методика экспериментального исследования

В качестве параметра оптимизации выберем величину зазубренности (Q). С целью выбора оптимальных режимов резания для минимизации разрушений был проведен полнофакторный эксперимент типа 2^3 . Уровни и интервалы варьирования факторов были выбраны исходя из рекомендаций [13,14] и приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Уровни и интервалы варьирования

Факторы	Уровни			Интервалы варьирования
	верхний +1	основной 0	нижний -1	
X1 – V скорость резания, м/с	45	30	15	15
X2 – t подача, м/мин	6	4	2	2
X3 – S глубина резания, мм	0,03	0,02	0,01	0,01

Входящими параметрами системам выбраны скорость v , глубина резания t и подача s , т.к. предполагается, что эти элементы режимов резания оказывают решающую роль на разрушения режущего лезвия. В качестве критерия оптимизации примем величину зазубренности режущего лезвия.

Исследования проводились с использованием инструмента, оснащенного режущими элементами из твердого сплава марки ВК6. Исследования выполнялись на модернизированном алмазно-заточном полуавтомате ЗЕ624, суть модернизации заключалась в расширении диапазона скоростей резания. Затачивание твердосплавного режущего элемента происходит в две операции чистовая и черновая. Для достижения наименьшей поврежденности режущей кромки по рекомендациям [15, 16] применяются чашечные алмазные шлифовальные круги формы 12А2 с геометрическими характеристиками 150х20х5х42х32 из материала АС 6 с зернистостью F70 с величиной концентрации 100 %.

Полный факторный эксперимент типа 2^3 позволяет получить отдельные оценки для коэффициентов уравнения регрессии вида:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3$$

Обработав данные эксперимента, проверив полученное уравнение на адекватность и преобразовав полученную зависимость из кодированных значений в натуральные, получили следующую уравнение, описывающую зависимость критерия оптимизации от режимов шлифования при традиционном алмазном шлифовании:

$$Q = 0,2027 - 0,0037V - 0,0053S - 2,82t + 0,094Vt.$$

Результаты и обсуждение

По результатам серии экспериментов выявилось, что диапазон разрушений составляет 0,012...0,116 мм, т.е. ни одно значение не лежит в допустимом диапазоне 0,004...0,007 мм. Это позволяет сделать вывод, что при формировании режущего лезвия инструмента для обработки композиционных полимерных материалов традиционное алмазное шлифование не рекомендуется.

Однако, несмотря на отрицательный результат, полученная закономерность позволяет оценить влияние механических режимов резания на формирования зазубренности на режущем лезвии при алмазном шлифовании.

Для исследования закономерности формирования зазубренности на режущем лезвии инструмента при традиционной алмазной обработке проанализируем полученную зависимость и частные графики функции при некоторых постоянных V скорости, S подачи, t глубины резания (рис. 2, 3, 4).

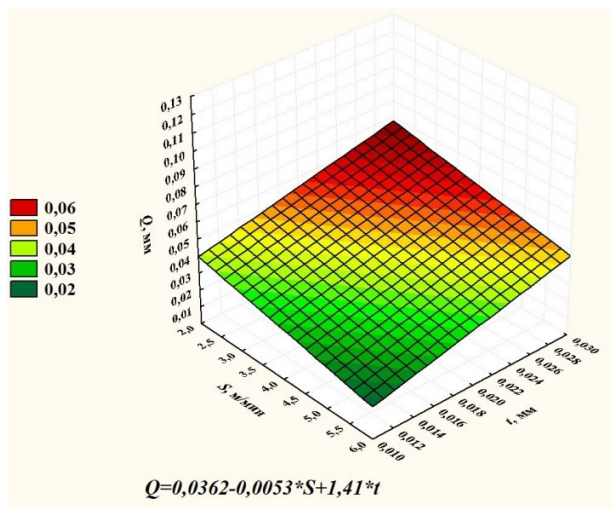


Рис. 2. График зависимости величины зазубренности от режимов резания при постоянной скорости $V=45$ м/с

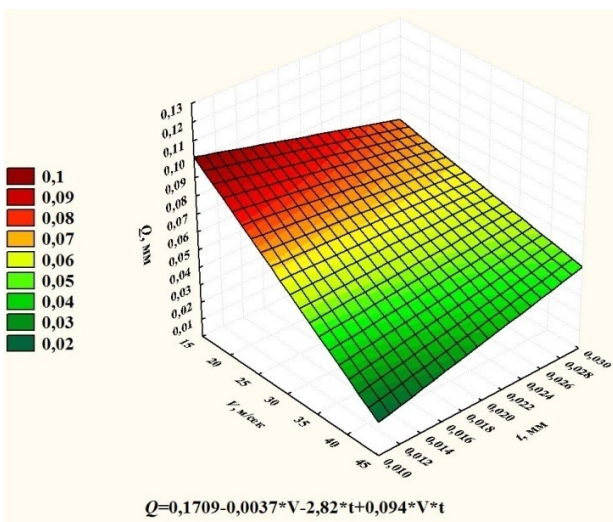


Рис. 3. График зависимости величины зазубренности от режимов резания при постоянной подаче $S=6$ м/мин

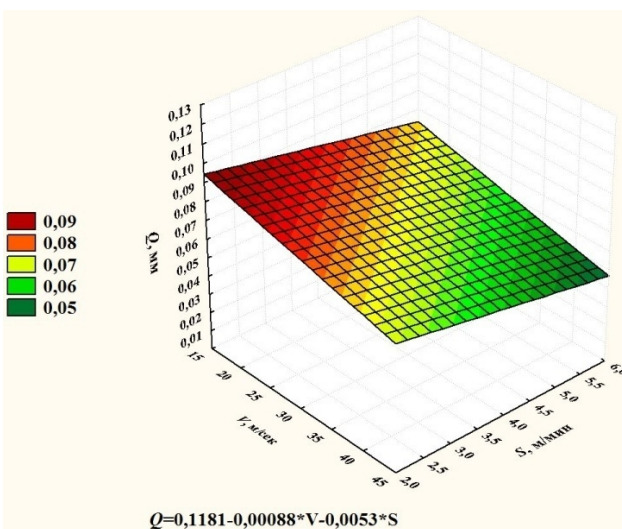


Рис. 4. График зависимости величины зазубренности от режимов резания при постоянной глубине резания $t=0,03$ мм.

С увеличением скорости резания алмазного шлифования уменьшаются разрушения режущего лезвия инструмента для обработки полимерных композиционных материалов, оснащенного твердым сплавом. Предположительно, это связано с влиянием скорости деформации на характер формирования и величину растягивающих напряжений.

С возрастанием подачи уменьшается величина разрушений, возможно, это связано с тем, что с увеличением подачи происходит интенсификация съема металла в единицу времени и продолжительность времени контактного взаимодействия шлифовального круга на участок обрабатываемой заготовки уменьшается и на всей зоне контакта заготовки и круга происходит съем металла, в отличие от варианта, когда подача минимальна. При минимальной подаче характерны одновременно снятие основного припуска с выхаживанием уже обработанной контактной поверхности, это связано с малыми скоростями перемещения заготовки относительно абразивного инструмента и жесткостью технологической системы. Вследствие чего увеличиваются касательные (растягивающие) напряжения, что приводит к возрастанию разрушений.

С увеличением глубины резания возрастает и величина разрушений режущего лезвия, возможно, это связано с увеличением сил резания и как следствие возрастание растягивающих напряжений, что приводит к увеличению разрушений.

Выводы

В ходе исследования был выявлен характер влияния механических режимов резания на формирование качества режущего элемента при алмазном шлифовании кругами на металлической связке.

Оценив традиционный метод алмазного затачивания режущего инструмента, оснащенного твердым сплавом, выяснилось, что подобным способом невозможно обеспечить требуемое качество режущего лезвия предназначенного для обработки полимерных композиционных материалов. Требуется дальнейшее изучение данной проблемы с использованием комбинированных методов обработки, например электрохимическое шлифование, комбинированная электроалмазная обработка и т.д. [17-21].

Список литературы

1. Формирование режущей кромки фрезерного инструмента для обработки слоистых композиционных материалов, армированных стеклянными волокнами / Д.А. Рычков, В.А. Скрипняк, А.С. Янюшкин, Д.В. Лобанов // Системы. Методы. Технологии. – 2014 – № 2 (22). – С. 42–46.
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. Особенности фрезерования полимерных композиционных материалов / А.С. Янюшкин, Д.А. Рычков, Д.В. Лобанов, Е.В. Ткаченко, Н.А. Ткаченко // Системы. Методы. Технологии. – 2013. – №2 (18). – С. 88–90.
4. Rychkov D.A., Yanyushkin A.S., Popov V.Y. Specificity of cutting tool wear in processing of polymer composite materials // Lecture Notes in Mechanical Engineering. – 2019. – Vol. 137: Proceedings of the 4 International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2018). – P. 1219–1224. – DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-95630-5_127.
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: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.576>
6. Никифоров А.С., Рафанова О.С., Мулюхин Н.В. Проблемы трещинообразования при

финишной обработке высокопрочных материалов // Современные технологии: проблемы и перспективы: сборник статей всероссийской научно–практической конференции для аспирантов, студентов и молодых учёных, Севастополь, 20–23 мая 2019 г. – Севастополь: изд-во СевГУ, 2019. – С. 77–82.

7. Лобанов Д.В., Мулюхин Н.В., Купцов М.В. Предварительная оценка качества затачивания высокопрочных инструментальных материалов // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2019. – Т. 6, №1–4. – С. 85–90.

8. Виды износа твердосплавных пластин при лезвийной обработке и методы борьбы с ними / Д.С. Реченко, А.А. Ежов, Д.Г. Балова, И.А. Царенко, А.Г. Кисель, Р.У. Каменов // Омский научный вестник. – 2015. – № 3 (143). – С. 83–87.

9. Салов П.М., Салова Д.П., Купцов М.В. Длительность воздействия тепловых импульсов при шлифовании // Инновационные технологии в металлообработке: Всероссийская научно-практическая заочная конференция «Инновационные технологии в металлообработке», Ульяновск, 12 ноября 2016 г.: сборник научных трудов. – Ульяновск: УлГТУ, 2017. – С. 118–122.

10. Захаров О.В. Бесцентровое шлифование конических поверхностей на станках с продольной подачей // Автоматизация и современные технологии. – 2006. – № 7. – С. 14.

11. Bratan S., Roshchupkin S., Novikov P. Modeling the grinding wheel working surface state // Procedia Engineering – 2017. – Vol. 206. – P. 1419–1425. – DOI: 10.1016/j.proeng.2017.10.655.

12. Bratan S., Vladetskaya E., Kharchenko A. Improvement of quality of details at round grinding in the conditions of a floating workshop // MATEC Web of Conferences. – 2017. – Vol. 129: International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment, ICMTMTE 2017. – Art. 01083. – DOI: 10.1051/mateconf/201712901083.

13. Реченко Д.С. Влияние скорости резания на качество затачивания твердосплавного инструмента // Системы. Методы. Технологии. – 2014. – № 2 (22). – С. 47–49.

14. Hard-alloy metal-cutting tool for the finishing of hard materials / D.S. Rechenko, A.Y. Popov, D.Y. Belan, A.A. Kuznetsov // Russian Engineering Research. – 2017. – Vol. 37, N. 2. – P. 148–149.

15. Theoretical–probabilistic model of the rotary belt grinding process / S. Bratan, A. Kolesov, S. Roshchupkin, T. Stadnik // MATEC Web of Conferences. – 2017. – Vol. 129: International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment, ICMTMTE 2017. – Art. 01078. – DOI: 10.1051/mateconf/201712901078

16. Skeebe 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.

17. Hybrid processing: the impact of mechanical and surface thermal treatment integration onto the machine parts quality / V.Yu. Skeebe, V.V. Ivancivsky, A.V. Kutyshkin, K.A. Parts // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 126, iss. 1: 7th International Scientific and Practical Conference on Innovations in Mechanical Engineering, ISPCIME 2015. – Art. 012016. – DOI: 10.1088/1757-899X/126/1/012016.

18. Носенко С.В., Носенко В.А., Байрамов А.А. Влияние правки абразивного инструмента и направления движения стола на шероховатость обработанной поверхности при глубинном шлифовании заготовок из титановых сплавов // СТИН. – 2015. – № 1. – С. 21–26.

19. Плоское шлифование торцов колец крупногабаритных подшипников с требуемым качеством поверхности / В.А. Носенко, В.Н. Тышкевич, С.В. Орлов, А.В. Саразов // Вестник Южно–Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. – 2014. – Т. 14, № 4. – С. 67–78.

20. Bratan S., Vladetskaya E. Flat grinding model, considering internal dynamics of the process // MATEC Web of Conferences – 2018. – Vol. 224: International Conference on Modern

Trends in Manufacturing Technologies and Equipment, ICMTMTE 2018. – Art. 01002. – DOI: 10.1051/mateconf/201822401002.

21. Popov V.Yu., Yanyushkin A.S., Zamashchikov Y.I. Diffusion phenomena in the combined electric diamond grinding // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Vol. 799–800. – P. 291–298.

FORMING A CUTTING BLADE OF A HARD-ALLOY TOOL FOR PROCESSING POLYMERIC COMPOSITE MATERIALS BY TRADITIONAL DIAMOND GRINDING

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

Muliukhin N.V., Post-graduate Student, e-mail: muliukhin@mail.ru

Kuptcov M.V., Post-graduate Student, e-mail: all-qsim@yandex.ru

Nikiforov A.S., Post-graduate Student, e-mail: antonsenna510@gmail.com

Chuvash State University named after I.N. Ulyanov, 15 Prospect Moskovsky, Cheboksary, 428015, Russian Federation

Abstract

The article outlines the problems of the prospects of using polymer composite materials in various designs and processing methods. A brief comparative analysis of the processing methods of polymer composites is given, revealed. that the mechanical (blade) method is more versatile and widespread in application for cutting non-metallic composites. The study of the formation of serration on the cutting blade of a tool designed for processing polymer composite materials. It has been established that it is either not possible or quite laborious to ensure the required quality for a tool equipped with carbide cutting elements using the traditional methods described in various references, where the result is not constant and not stable, because the resulting damage to the cutting blade in this case does not lie in the permissible range of 0.004 ... 0.007 mm. Therefore, the research subject needs further study in the direction of using new progressive, combined methods of processing high-strength tool materials. The nature of the influence of cutting conditions during grinding of carbide cutting elements of a tool intended for processing polymer composite materials on the formation of serration and stress-strain state of the plate after processing is revealed. The conclusions and prospects of further research are formulated.

Keywords

Grinding, serration, carbide, cutting tools, quality, polymer composites

УДК 621.7.09

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА
ШЛИФОВАНИЯ КРУГАМИ ИЗ КЛАССИФИЦИРОВАННОГО ПО ФОРМЕ
АБРАЗИВНОГО ЗЕРНА**

*С.Е. САЗОНОВ, канд. техн. наук, доцент
Е.А. ЕМЧЕНКО, канд. техн. наук, доцент
Ю.О. СТРЕЛЯНАЯ, канд. техн. наук
(СевГУ, г. Севастополь)*

Сазонов С.Е. – 299053, г. Севастополь, ул. Университетская 33,
Севастопольский государственный университет,
e-mail: sesazonov@sevsu.ru

Шлифование является финишным методом обработки, на котором окончательно формируются показатели качества готового изделия. В статье приведены результаты исследований шлифовальных кругов изготовленных из классифицированного по форме абразивного зерна. У кругов, изготовленных из зерен изометрической формы, повышается режущая способность, за счет уменьшения нагрузки на зерно. Проведенные исследования показали, что использование таких кругов позволяет повысить стойкость инструмента (на 20–25 %) и производительность обработки. Круги, изготовленные из абразивных зерен изометрической формы, имеют меньший износ и, соответственно, обеспечивают лучшую точность и качество обработки.

Ключевые слова: абразивная обработка, абразивное зерно, шлифование, шлифовальный круг.

Введение

Основной задачей машиностроительных предприятий является выпуск высококачественной продукции с минимальной себестоимостью. Окончательное качество выпускаемой продукции: точность, шероховатость поверхности и физико-механические свойства, формируются при финишной обработке. Одним из эффективных и высокопроизводительных видов обработки является шлифование. На различных производствах шлифованием в среднем обрабатывается 30–70% выпускаемой продукции [1]. Процесс шлифования протекает при высоких скоростях резания и имеет большое разнообразие методов реализации, что позволяет использовать его наиболее эффективно [2].

На эффективность процесса шлифования влияет множество факторов, одним из которых является форма абразивных зерен. Шлифовальный инструмент, изготовленный по типовой технологии, состоит из связки и хаотично расположенных в ней абразивных зерен пластинчатой, промежуточной и изометрической конфигурации [3].

Целью данной работы является исследование повышения эффективности процесса шлифования кругами изготовленными из классифицированного по форме абразивного зерна.

Материал исследований

Согласно ГОСТ 9206-70 оценка формы зерна производится с помощью «коэффициента формы». В работах А.Н. Короткова зерно рассматривается как эллипсоид вращения, а «коэффициент формы» определяется как отношение диаметра описанной окружности d_{on} вокруг проекции зерна к диаметру вписанной окружности d_{en} :

$$K_{\phi} = \frac{d_{on}}{d_{en}} \quad (1)$$

Для зерен изометрической конфигурации $K_{\phi}=1,0 - 1,4$; промежуточной – $K_{\phi}=1,4 - 2,2$; пластинчатой – $K_{\phi}=2,2 - 3,0$.

Абразивные частицы изометрической формы имеют близкую по форме объемную конфигурацию, неизометрические зерна представляют собой набор пластинок имеющих разную толщину и форму. Физико-механические свойства и режущая способность таких частиц в инструменте будет отличаться друг от друга.

Выбор характеристик абразивных кругов зависит от обрабатываемого материала, вида шлифования, величины снимаемого припуска, точности обработки, режимов шлифования. При выборе характеристик учитывались рекомендации Г.И. Грановского, А.Н. Резникова, Ю.В. Барановского и др.

Исследования проводились для шлифовальных кругов изготовленных из классифицированного по форме абразивного зерна различной зернистости при шлифовании пластин из закаленных сталей.

Режимы шлифования:

Скорость круга	$V_{KP} = 15$ или 35 м/с
Продольная подача	$S_{ПРОД} = 10$ и 16 м/мин
Поперечная подача	$S_{ПОП} = 2 - 8$ мм/ход
Подача на глубину	$t = 0,01$ до $0,04$ мм/проход

Результаты и обсуждения

Исследования режущей способности шлифовальных кругов, изготовленных из зерен различной формы с зернистостью 63, 50, 40, показали, что форма и размер абразивного зерна существенно влияют на съем материала и качество получаемой поверхности. Для зерен изометрической формы режущая способность практически не зависит от пространственного расположения зерна в связке инструмента, а сама форма обеспечивает близкие геометрические характеристики для всех зерен находящихся в рабочем слое инструмента. Одной из основных геометрических характеристик является передний угол зерна, который существенно влияет на процесс резания. Так для изометрических зерен величина переднего угла составляет $\gamma = 69 - 72^\circ$, а угол резания $\delta = 159 - 162^\circ$. Для зерен пластинчатой формы угол резания δ может достигать 180° , при их расположении продольной осью к поверхности связки. В результате процесс резания такими зернами сводится к трению и вырыванию зерна из связки.

Уменьшение разновысотности абразивных зерен в рабочем слое инструмента также приводит к улучшению режущей способности, из-за снижения нагрузки на отдельное зерно. Все это улучшает условия работы зерен и повышает стойкость инструмента.

Анализ зависимостей приведенных на рисунке 1 показывает, что внешний вид кривых для кругов зернистостью 80, 63, 50 и 40 существенно отличается друг от друга. Это можно объяснить, тем, что с увеличением глубины резания t увеличивается толщина срезаемой

отдельным зерном стружки. Коэффициент шлифования $K_{ш} = m_M / m_{КР}$ определяется как отношение массы срезанного материала с детали к массе изношенной части круга.

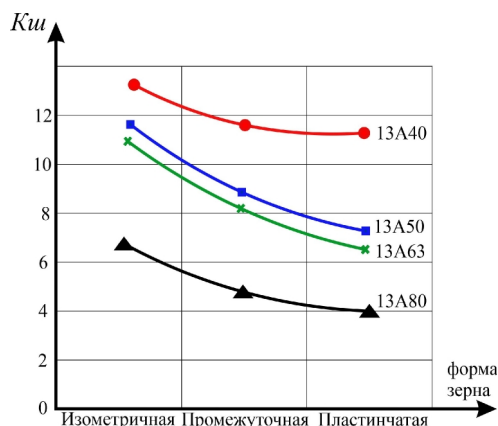


Рис. 1. Зависимость коэффициента шлифования стали 40X от формы зерна.

При шлифовании стали 40X с маркой зерна 13A40 получены следующие результаты: при изменении формы зерна от изометрической к пластинчатой плавно снижается режущую способность кругов (в 2,1-2,9 раза). При последовательном шлифовании этой же стали кругами с зёрнами изометричной формы, с промежуточной и с пластинчатой коэффициент шлифования постепенно (60-75%) уменьшался. Такой характер кривых объясняется тем, что круги работали при всех формах зерна в одном режиме износа – самозатачивание. При шлифовании кругами зернистостью 40 преобладал режим частичного самозатачивания. То есть при работе кругов в одном режиме износа изменение формы зерна привело к наращиванию режущей способности круга. Для кругов с зернистостью 63 и 50 изменение формы зерна привело к переходу из режима частичного самозатачивания в режим самозатачивания.

Для исследования влияния формы зерна на работоспособность шлифовальных кругов в качестве количественной оценки использовался критерий интенсивности съема материала:

$$Q_M = \frac{V_M \cdot \rho_M}{\tau}, \text{ г/мин} \tag{2}$$

где V_M – объем снятого слоя материала; ρ_M – плотность металла, г/см³; τ – время шлифования, мин.

Данный критерий характеризует съем металла в единицу времени в зависимости от параметров абразивного инструмента, режимов, шлифования, характеристики обрабатываемого материала.

На рисунке 2 приведены графики зависимостей интенсивности съема материала от формы зерна и глубины резания для зернистости 50.

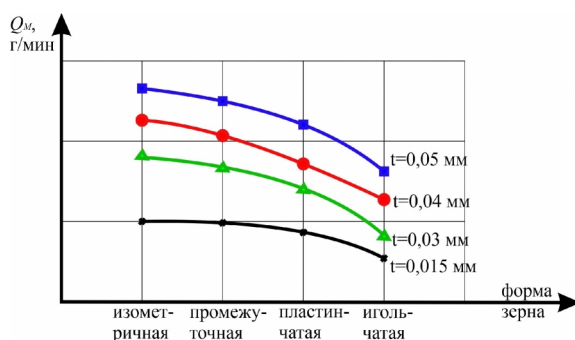


Рис. 2. Зависимость интенсивности съема металла от формы и глубины резания.

Из графиков видно, что с увеличением глубины резания t с 0,015 до 0,05 мм интенсивность металла возрастает в 2,6-3,4 раза, а с изменением формы зерна от изометричной до игольчатой интенсивность съема металла уменьшается примерно в 1,6-2,0 раза. Наибольшую величину Q_M показали круги, изготовленные из зерна изометричной формы. Это можно объяснить тем, что интенсивность съема металла абразивными зёрнами в единицу времени определяется толщиной стружки снимаемой одним зерном.

Для определения влияния формы абразивного зерна на износ шлифовальных кругов проводились исследования при трех режимах износа: затупления, частичного самозатачивания, самозатачивания.

Исследования показали, что использование крупнозернистых кругов из классифицированного зерна изометрической формы совместно с уменьшением толщины снимаемой стружки позволяет уменьшить линейный износ инструмента. С увеличением глубины резания увеличиваются площадь зоны контакта круга с деталью, съём материала и нагрузка на зерно. В результате линейный износ увеличивается (рис. 3).

При изменении формы зерна от изометричной до пластинчатой износ кругов также увеличивается в 1,7 – 2,3 раза.

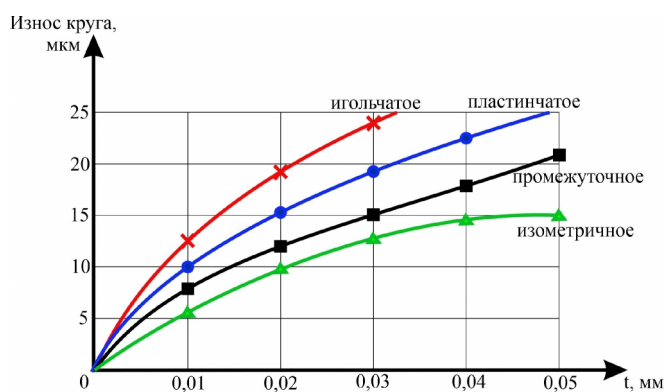


Рис. 3. Влияние формы зерна на линейный износ шлифовальных кругов с зернистостью 80

Круги, изготовленные из зерна с изометричной формой, при плоском шлифовании показали наименьший радиальный износ и, следовательно, лучшую точность обработки деталей, а круги с зёрнами пластинчатой формы изнашивались в 1,17 – 2,4 раза больше.

Выводы

При использовании шлифовальных кругов изготовленных из зерен изометрической формы по сравнению с обычными кругами:

- повышается стойкость абразивного инструмента;
- уменьшается количество правок инструмента;
- улучшается качество обработанных поверхностей.

Список литературы

1. Современные конкурентно способные технологии абразивно-алмазной обработки заготовок / Ю.М. Зубарев, З.И. Кремень, Ю.М. Ермаков, Ю.С. Степанов // Справочник. Инженерный журнал. – 2011. – Вып. 5. – С. 39–42.

2. Абразивная и алмазная обработка материалов: справочник / Под ред. А.Н. Резникова. – М.: Машиностроение, 1977. – 390 с.

3. Байдакова Н.В., Байдакова Т.А. Влияние формы абразивного зерна на эксплуатационные свойства инструментов для шлифования // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы. Шлифабразив-2009: сборник статей международной научно-технической конференции, Волгоград. – Волгоград: ВолГАСУ, 2010. – С. 21–23.

STUDY OF INCREASING EFFICIENCY OF THE CIRCULAR GRINDING PROCESS FROM CLASSIFIED BY THE FORM OF ABRASIVE GRAIN

Sazonov S.E., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: sesazonov@sevsu.ru

Emchenko E.A., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: ellis05@mail.ru

Strelyanaya Yu.O., Ph.D. (Engineering), e-mail: joulia.bayrakova@mail.ru

Sevastopol State University, 33 Universitetskaya street, Sevastopol, 299053, Russian Federation

Abstract

Grinding is the finishing method of processing, on which the quality indicators of the finished product are finally formed. The article presents the results of studies of grinding wheels made of graded abrasive grains. Circles made of isometric-shaped grains increase their cutting ability by reducing the load on the grain. Studies have shown that the use of such circles improves the tool life (by 20-25%) and processing performance. Circles made of isometric abrasive grains have less wear and, accordingly, provide better accuracy and quality of processing, the surface roughness is reduced, which ensures higher performance properties of parts.

Keywords

abrasive processing, abrasive grain, grinding, grinding wheel

УДК 621.9.06:518.4

**КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ
ВИБРАЦИОННЫХ МАШИН**

*С.А. ВАСИЛЬЕВ, доктор техн. наук, доцент
А.Г. МИХАЙЛОВ, магистрант
(ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары)*

Васильев С.А. – 428015, г. Чебоксары, пр-т Московский, 15,
Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова,
e-mail: vsa_21@mail.ru

Статья посвящена конструктивным особенностям гидравлических систем вибрационных машин. В статье рассматриваются ударно-вибрационные установки использующие энергию как электрическую, так и гидравлическую. Выявлены особенности конструкции виброустановок на различных источниках питания. Особое внимание необходимо уделить вибропогружающим устройствам, использующих гидравлическую систему транспортно-технологической машины (ТТМ). Анализ преимуществ позволил разработать оригинальный вибропогружатель, использующий гидравлическую энергию ТТМ.

Ключевые слова: Ударно-вибрационный молоток, свая, вибровозбудитель, привод, эксцентрик, зажим, агрегат

Введение

Термин "ударно-вибрационный молоток" относится к типу вибрационного свайного забойника, который придает свае как вибрации, так и удары во время работы. На основе теоретических работ, выполненных в годы Второй мировой войны им самим и другими учеными, С. А. Цаплин в 1949 году подготовил первый в Советском Союзе экспериментальный ударно-вибрационный молот. Чертеж молота приведен на рисунке 1. При натурных испытаниях его ударно-вибрационный молоток был приварен к верхней части металлической трубы диаметром 110 мм, толщиной стенки 8 мм, длиной 2,6 м и массой 200 кг. Затем молоток вгонял трубу в различные песчаные, супесчаные и глинистые почвы. Здесь было проведено сравнение эффекта движения по ударно-вибрационному режиму с вибрационным режимом, последний из которых достигался полной блокировкой пружин. Проведенные испытания позволили установить, что эффективность ударно-вибрационного забивания существенно выше как в отношении максимально возможной глубины забивки, так и скорости погружения сваи, а также что эффективность забивания возрастает с увеличением амплитуды колебаний вибровозбудителя.

Первое широкое практическое применение ударно-вибрационного молотка имело место при строительстве Волгоградской электростанции, где при строительстве противофильтрационной стены под плотиной «Ларсен-5» сваи забивались на глубину 13 м с забивкой на последнем участке в песчаник средней твердости. На этой и других рабочих площадках ударно-вибрационные молотки были способны превзойти обычные вибрационные молотки, воздушные / паровые и дизельные молотки. Успех этой и других рабочих и лабораторных ситуаций привел к распространению применения ударно-

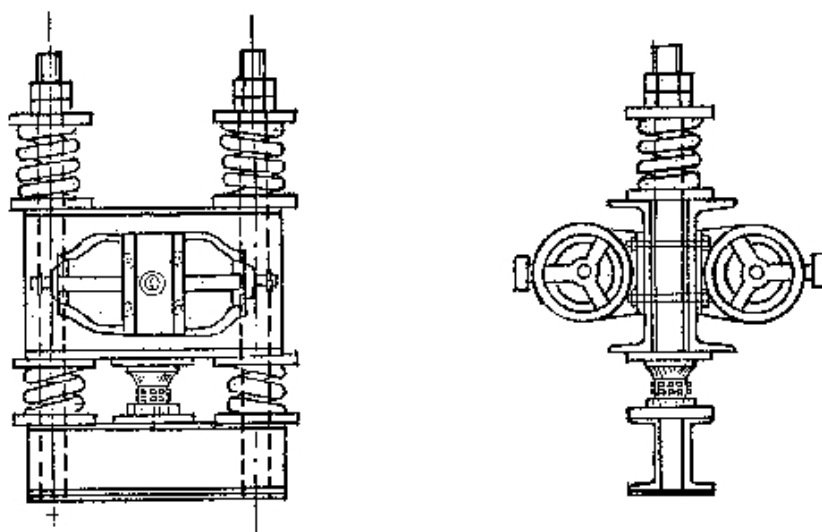


Рис. 1. Ударно-вибрационный молоток С.А. Цаплина

вибрационных молотков не только в России, но и в других странах, особенно в странах ЕС, где такие производители, как Menck и PTC, взяли за производство этих установок.

Широкое распространение находят вибрации и в сельском хозяйстве при разработке различных сельскохозяйственных технологий при обработке тяжелых почв склоновых земель [1-4, 9].

Цель исследований – провести анализ гидравлических систем вибрационных машин, выявить особенности и преимущества этих систем для создания оригинального вибропогружателя, использующего гидравлическую энергию транспортно-технологической машины.

Методы

Ударно-вибрационные возбудители молотов хотя имеют общие конструктивные особенности со своими вибрационными родственниками, но существуют важные различия. Как и более обычные вибрационные молотки, они содержат встречные эксцентрики, которые создают вертикальные колебания; однако расположены в головке, которая не жестко связана со сваей, и в некоторой степени свободна. Эта свобода позволяет блоку ударить по свае со скоростью более высокой, чем обычные ударные молотки. Переменная сила эксцентриков занимает место воздуха, пара, дизельного топлива или гидравлической жидкости в движении головки вверх и вниз, как таран, с ударом либо сверху, либо снизу, либо с обоих концов ее «хода». Хотя это может привести к изменению эксцентричной скорости вращения до 40% (в отличие от 5% или около того, обычных для вибрационных молотков), это изменение, как правило, не препятствует непрерывной, стабильной работе оборудования.

Переходя к силовому агрегату, несколько вибраторов, таких как резонансные приводы Бодина-Гильдии, некоторые из ранних советских вибродренажеров и японские агрегаты, приводят вращающиеся эксцентрики прямо от дизельных или бензиновых двигателей с помощью механических муфт. Однако большинство вибрационных или ударно-вибрационных молотков передают энергию от первичного двигателя к эксцентрикам через электрические или гидравлические системы [5, 6]. Поскольку строительные площадки, как правило, являются удаленными, были разработаны переносные источники питания для вибрационных молотков. Они называются силовыми блоками (для гидравлических

агрегатов) или генераторными установками (для электрических агрегатов). Эти агрегаты аналогичны как для вибрационного, так и для ударно-вибрационного оборудования.

Электрические системы: они обычно используют трехфазные асинхронные двигатели, приводимые в движение на одной частоте, что способствовало развитию многих систем для изменения эксцентрикового момента и, следовательно, движущей силы. В некоторых случаях электрические вибрационные молотки могут приводиться в движение от близлежащей трехфазной сети, что исключает необходимость в генераторной установке. Молоток, таким образом, требует только распределительной коробки для управления им. Для приведения в действие гидравлического зажима, если таковой имеется, требуется отдельный небольшой блок питания, приводимый в действие электрическим двигателем. Это может быть либо на земле, либо установлено на статическом избыточном весе. Электрические системы становятся все менее популярными из-за соображений технического обслуживания и надежности.

Гидравлические системы: по целому ряду причин гидравлические системы стали доминирующими, и крупные производители, такие как Vulcan, ICE и MKT, используют гидравлический привод почти исключительно [7, 8]. Эти системы используют дизельный двигатель для привода гидравлического насоса, который в свою очередь приводит в действие двигатель на возбудителе. Резервуар различного размера используется для хранения гидравлической жидкости, для восполнения ее в случае утечки и для ее охлаждения. Система клапанов используется для управления потоком жидкости, как при запуске и остановке машины, так и во время работы.

Результаты и обсуждение

Помимо этих основ, существуют определенные различия между разными имеющимися гидравлическими блоками питания; они заключаются в следующем:

1) привод насоса и / или коробки передач: гидравлический насос соединен с двигателем через привод насоса; иногда этот привод насоса также является коробкой передач, действующей в качестве преобразователя скорости для оптимизации насоса, в то время как в других случаях используется прямая передача, устраняющая потери передачи.

2) зажимные насосы: некоторые агрегаты имеют отдельные насосы для гидравлических зажимов, а некоторые интегрируют их в основной источник питания. Ударно-вибрационные молотки, на которых нет зажима, не нуждаются в зажимной цепи.

3) изменение частоты и силы: оба они могут быть изменены либо с помощью насосов переменного объема в силовом блоке, либо просто изменяя частоту вращения двигателя. Насосы с переменным рабочим объемом могут иметь очень сложные механизмы регулирования потока.

4) тип управления: эти блоки могут использовать воздушное, электрическое или ручное управление для гидравлической схемы. Ручное управление является самым простым; однако оно ограничивает оператора местом расположения силового агрегата, которое, в зависимости от видимости и других факторов, может быть не самым удобным местом для управления машиной. Дистанционное управление обеспечивает большую гибкость для оператора, но является дополнительным расходом и источником неприятностей для машины.

5) корпус: некоторые блоки питания имеют корпус из листового металла или другого материала. Главное преимущество закрытого блока питания - это защита от непогоды и преступной деятельности. Корпуса также полезны, если они обеспечивают шумопоглощения. Открытые блоки питания более экономичны и имеют лучший доступ к деталям для обслуживания.

б) гидравлические системы с открытым и замкнутым контуром: оба они появляются на блоках питания в этом приложении. Системы с замкнутым контуром позволяют лучше контролировать запуск, запуск и остановку машин, но традиционно они были более сложными, а блоки питания менее адаптируемыми к другим приложениям.

В некоторых случаях гидравлическая система крана может быть использована для приведения в действие вибрационного молотка. Хотя это исключает внешний блок питания и дизельный двигатель, все функции управления и эксплуатации этих интегральных силовых агрегатов одинаковы [10, 11].

В результате анализа конструкций вибрационной техники, установлены отличительные конструктивные особенности гидравлических систем вибрационных машин применяемых для погружения свайных элементов в почвогрунт при строительстве или в сельском хозяйстве. Учитывая особенности гидравлических систем нами разработан оригинальный вибропогружатель (Патент на изобретение RU 2711484).

Выводы

В данной статье нами были рассмотрены особенности гидравлических систем вибрационных машин. Выявлены особенности конструкции виброустановок, использующие электрическую энергию и энергию гидросистемы ТТМ. Особое внимание уделено вибропогружающим устройствам, использующих гидравлическую систему. Поставленная цель исследований достигнута, анализ преимуществ вибропогружателей на гидравлическом приводе позволил разработать оригинальный вибропогружатель, использующий гидравлическую энергию ТТМ (Патент на изобретение RU 2711484).

Список литературы

1. *Васильев А.А., Васильев С.А.* Устройство для внесения в почву жидких мелиорантов при плоскорезной обработке // Труды ГОСНИТИ. – 2013. – Т. 111, № 1. – С. 181–184.
2. *Васильев А.А., Максимов И.И., Алексеев В.В.* Разработка рабочего органа для внесения жидких мелиорантов в почву при плоскорезной обработке // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2014. – № 1. – С. 55–58.
3. *Васильев С.А., Васильев А.А., Затылков Н.И.* Противозерозионная контурная обработка почвы машинно-тракторными агрегатами на агроландшафтах склоновых земель // Вестник НГИЭИ. – 2018. – № 5 (84). – С. 43–54.
4. Вибрационное и ударно-вращательное бурение / Ф.Ф. Воскресенский, А.В. Кичигин, В.М. Славский, Э.И. Тагиев. – М.: Гостоптехиздат, 1961. – 243 с.
5. *Долгачев Ф.М., Лейко В.С.* Основы гидравлики и гидропривода. – М.: Стройиздат, 1970. – 215 с.
6. *Иванов Ю.В.* Исследование вибраций и результаты работ по их снижению в кузнечных цехах // Технология машиностроения. – 2008. – № 10. – С. 56–57.
7. *Абросимов К.Ф., Бромберг А.А., Катаев Ф.П.* Машины для строительства дорог. – М.: Машиностроение, 1971. – 617 с.
8. *Климов И.В., Кошелев В.П., Носов В.С.* Виброизоляция штамповочных молотов. – М.: Машиностроение, 1979. – 134 с.

9. Константинов П.В., Мардарьев С.Н., Зайцев С.П. К вопросу о технике и технологии глубокого рыхления склоновых земель // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2018. – № 2 (50). – С. 310–316.

10. Проектирование, строительство и эксплуатация виброизолированных фундаментов для штамповочных и ковочных молотов с весом падающих частей до 16 т.: руководящий материал. – Воронеж: ЭНИКМАШ, 1967. – 83 с.

11. Стиваковский А.О., Гончаревич И.Ф. Вибрационные и волновые машины. – М.: Наука, 1983. – 288 с.

CONSTRUCTION FEATURES OF HYDRAULIC SYSTEMS OF VIBRATION MACHINES

Vasiliev S.A., D.Sc. (Engineering), Associate Professor, e-mail: vsa_21@mail.ru

Mikhailov A.G., Graduate students, Master's Degree student, e-mail: artemka17mih@mail.ru

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

Abstract

The article is devoted to the design features of hydraulic systems of vibrating machines. The article uses shock-vibration installations. Design features of vibroinstallations on various power sources are revealed. Particular attention must be paid to vibration damping devices using the hydraulic system of the transport-technological machine (TTM).

Keywords

Shock-vibration hammer, pile, exciter, drive, cam, clamp, assembly

УДК 621.822

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАИБОЛЕЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ИЗ НИХ ДЛЯ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА ВЫСОКОФОРСИРОВАННЫХ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

*П.Г. ДАНИЛОВ, магистрант
Ю.О. ВЛАДИМИРОВА, ассистент
Е.П. ШАЛУНОВ, к. т. н., профессор
(ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары)*

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

В работе описаны условия эксплуатации подшипников скольжения коленчатого вала высокофорсированных дизельных двигателей, а так же сформулированы требования, предъявляемые к материалам для таких подшипников. Приведено обоснование необходимости использования металлических композиционных материалов на основе меди для несущего и антифрикционного слоев подшипников скольжения. В качестве материала для несущего слоя рекомендован дисперсно-упрочненный композиционный материал системы Cu-Al-C-O марки C0/97 ДИСКОМ® (ТУ 1479-002-13092819-2001), а в качестве материала для антифрикционного слоя – вновь разработанный нанокоспозиционный материал системы Cu-Sn-Al-MoS₂-C-O. Технология получения указанных материалов основана на использовании метода реакционного механического легирования в атриторах, а так же технологий порошковой и гранульной металлургии.

Ключевые слова: подшипники скольжения, коренной и шатунный вкладыши, антифрикционный материал, твердость, предел текучести, триботехнические свойства.

Введение

Современное дизелестроение характеризуется постоянным увеличением мощности двигателей и, соответственно, возрастанием нагрузок, приходящихся на единицу площади подшипника, значение которых в отдельных высокофорсированных дизелях может составлять 100 МПа и выше [1]. Однако стандартные подшипники, имеющие биметаллические вкладыши, на которые гальваническим методом нанесен антифрикционный слой, как правило, не выдерживают такой высокой удельной нагрузки [2]. В связи этим особую актуальность приобретает вопрос применения материалов, которые способны оказывать сопротивление усталостным нагрузкам и износу. Необходимо, чтобы материал обладал антикоррозионной устойчивостью при высоких температурах. Таким образом, важно, чтобы материал для несущего слоя подшипников скольжения мог выдерживать такие условия эксплуатации, когда внешнее давление \bar{p} имеет значение не менее 100 МПа при температуре нагрева до 200 °С. При этом, значение предела текучести на сжатие материала должно быть не менее 280 МПа [1].

Целью настоящей работы является подбор наиболее оптимальных материалов для использования в несущем и антифрикционном слоях подшипников скольжения коленчатого вала высокофорсированных двигателей. Для достижения данной цели необходимо провести

анализ современных материалов, используемых в этих слоях, и выбрать наиболее оптимальные из них применительно к указанным двигателям.

Опыт производства дизельных двигателей показывает, что несущий слой биметаллических подшипников скольжения, чаще всего, изготавливается из конструкционной стали типа сталь 10, сталь 15, сталь 25, на которую впоследствии в качестве антифрикционного слоя наносятся антифрикционные сплавы, такие как свинцовый баббит БК2, высокооловяный баббит Б83, баббиты Б88Д, БН или алюминиево-оловянные сплавы типа АО20-1. Так же широкое распространение в качестве антифрикционных сплавов получили свинцовые и свинцово-оловянные бронзы, такие как БрС-30, БрОС-1-22 [3].

Например, в трехслойных шатунных и коренных вкладышах подшипников скольжения, применяемых в четырехтактных двигателях разработки ОАО «Ярославский моторный завод», свинцовая бронза используется в качестве антифрикционного слоя толщиной 0,35...0,65 мм, а свинцово-оловянная бронза наносится на этот слой толщиной 0,011...0,015 мм и служит в качестве прирабочного слоя.

Новые возможности в области получения материалов для подшипников скольжения обеспечивают технологии, позволяющие получать принципиально новые материалы с гетерофазной структурой - металлические композиционные материалы (МКМ), в которых искусственно объединены пластичная матрица, например, из сплавов меди или алюминия, и прочные тугоплавкие наполнители [4-7]. Именно при такой комбинации фаз удается достичь такие показатели несущей способности подшипниковых материалов, как высокая теплопрочность, износостойкость, задиростойкость в условиях сухого трения скольжения, а так же стойкость против абразивного изнашивания [8, 9].

В качестве материала для матрицы наиболее целесообразно использовать медь. Это объясняется тем, что данный материал обладает высокой теплопроводностью, теплоемкостью, высокими технологическими свойствами, что в свою очередь позволяет варьировать механическими свойствами и износостойкостью за счет выбора систем легирования, а так же режимов термических и термомеханических обработок. Присутствующие в медной матрице упрочняющие частицы микронных или еще лучше – нанодиапазонного размеров, благодаря резко отличающейся от матрицы твердости, позволяют повысить износостойкость таких материалов и, вследствие возросшей гетерогенности, способствуют расширению области существования вторичных структур во фрикционном контакте.

Необходимо так же отметить, что постель под подшипники в картере (или в головках шатунов), как правило, изготавливается из сталей и чугунов и для того, чтобы подшипник, расширяясь на большую, чем постель величину, запрессовывался в постель (предотвращая, тем самым, возможность его проворота в постели), необходимо несущий слой изготовить из материала, у которого коэффициент температурного линейного расширения (КТЛР) не менее чем в 1,5 раза больше, чем у сталей и чугунов. К таким материалам относятся медные сплавы, у которых КЛТР в 1,8...2,3 больше, чем у сталей и чугуна.

Антифрикционные материалы, чаще всего, подчиняются принципу Шарпи [10], суть которого заключается в том, что в материале, имеющем высокие показатели пластичности и теплопроводности, равномерно распределяются тугоплавкие твердые армирующие частицы. Во время эксплуатации материалов с такой структурой сначала наблюдается интенсивное изнашивание матрицы. Это происходит до тех пор, пока не произойдет выступание присутствующих армирующих включений из общей массы. Впоследствии твердые частицы взаимодействуют с контртелом (валом) и вал начинает полностью опираться на эти твердые включения. Таким образом, в результате быстрого изнашивания мягкой основы между выступающими частицами материала образуется сеть каналов (микрорельеф), по которым происходит циркулирование смазочного материала.

Источники [11] показывают, что наиболее перспективные современные антифрикционные материалы для тяжело нагруженных подшипников скольжения имеют строение, изображенное на рисунке 1.

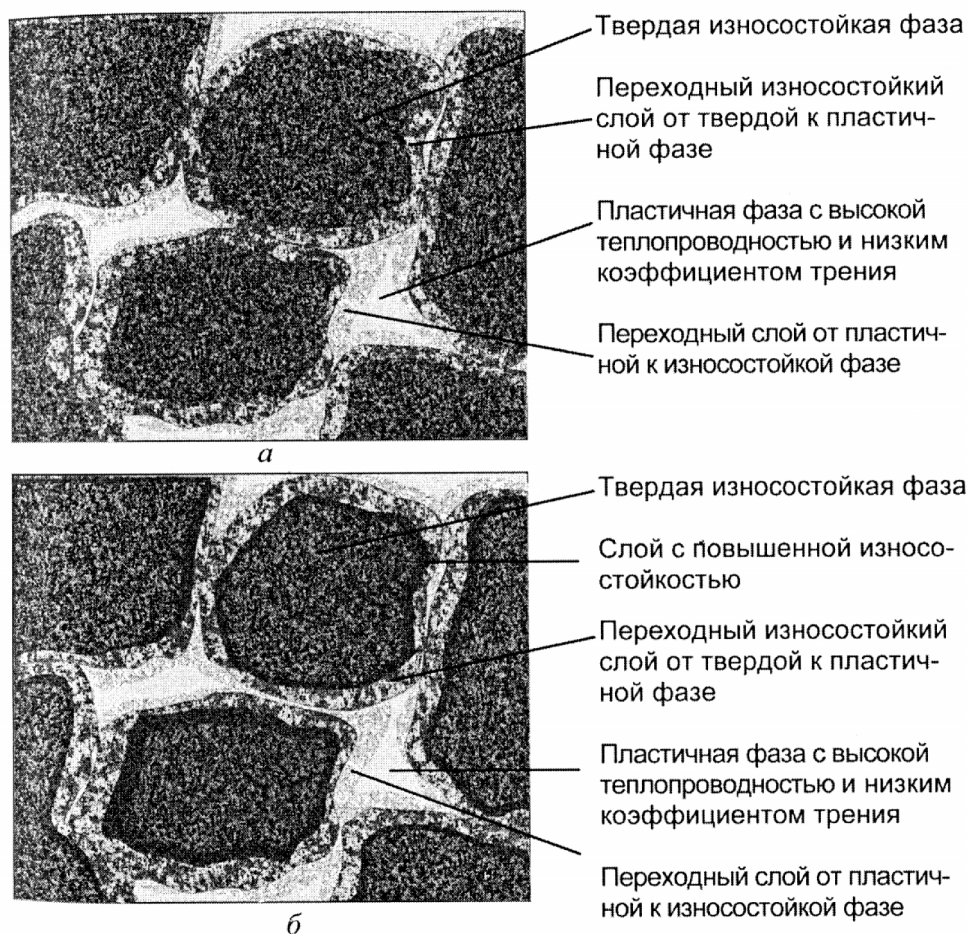


Рис.1. Модель строения антифрикционного материала с переходными слоями в железной и медной фазах (а) и с переходными слоями в железной и медной фазах и твердым износостойким слоем в железной фазе (б) [11]

Высокие показатели прочности и износостойкости материала достигаются за счет твердой и износостойкой фазы, которая играет роль каркаса, а высокую теплопроводность и низкий коэффициент трения обеспечивает материалу пластичная фаза, которая располагается в межзеренном пространстве каркаса. При этом между этими фазами происходит диффузионное взаимодействие, которое формирует переходные слои на межфазной границе (см. рисунок 1) [11-12].

Анализ имеющихся на данный момент технологий показывает, что большими возможностями в создании металлических композиционных материалов обладают технологии порошковой и гранульной металлургии. С помощью таких технологий, а так же благодаря методу реакционного механического легирования в атриторах [13-16], появляется возможность получения материалов с заданными характеристиками, высокой фазовой и структурной стабильностью при одновременно чрезвычайно высокой температуре рекристаллизации, достигающей до 0,92 от температуры плавления меди (1083°C), что объясняется, прежде всего, характером взаимодействия тонкодисперсных частиц с движущимися дислокациями. При этом определяется линейная зависимость прироста прочности такого материала от обратной величины среднего межчастичного расстояния.

Необходимо отметить, что в случае, когда расстояние между частицами равно 100...500 нм, а средний размер таких частиц находится в пределах 10...50 нм, наблюдается наибольший эффект упрочнения [17-19].

Таких высоких температур рекристаллизации невозможно достичь у материалов, которые получают классическим способом – путем легирования металлической матрицы элементами с различной растворимостью, т.к. структурные изменения, предшествующие полному растворению упрочняющих фаз в таких материалах, происходят уже при $(0,75...0,80)T_{пл}$.

Анализ имеющихся на данный момент металлических композиционных материалов показал, что с точки зрения обеспечения высоких прочностных и пластических свойств, а также хорошей теплопроводности наиболее подходящим материалом для изготовления из него несущего слоя (основы) подшипников скольжения коленчатого вала высокофорсированных дизельных двигателей является дисперсно-упрочненный композиционный материал (ДУКМ) системы Cu-Al-C-O марки C0/97 ДИСКОМ® (ТУ 1479-002-13092819-2001), который разработан учеными Чувашского госуниверситета. Выбор именно этого материала обусловлен высокими прочностными характеристиками при растяжении (превышающими прочностные характеристики большинства применяемых для основы подшипников сталей) и, особенно, при сжатии (предел прочности – выше 1400 МПа), высокой теплопроводностью (примерно, 90% от электропроводности меди), а так же высокой пластичностью, которая необходима для изготовления вкладышей подшипника методом гибки ленточной заготовки в холодном состоянии и последующей механической обработки [20].

Согласно проведенным расчетам, для гибки таких заготовок толщиной 3,5...5,0 мм на радиусы от 40 мм до 120 мм необходимо, чтобы материал имел относительное удлинение не менее 7%. Данный показатель у выбранного материала составляет 20%.

Таким образом, дисперсно-упрочненный композиционный материал системы Cu-Al-C-O марки C0/97 ДИСКОМ® (ТУ 1479-002-13092819-2001) может быть рекомендован для изготовления из него несущего слоя (основы) подшипников скольжения коленчатого вала дизельного двигателя. Указанный медный ДУКМ и способ его получения защищены патентами РФ [21, 22].

Методика экспериментального исследования

Для обеспечения работоспособности вкладышей подшипников скольжения коленчатого вала высокофорсированных двигателей при указанных выше удельных нагрузках и температурах их нагрева в Чувашском государственном университете в сотрудничестве с ОАО «НИИД» был разработан антифрикционный композиционный материал (АКМ), для изготовления которого в качестве основы использовалась порошковая медь в виде порошка меди ПМС-1 (ГОСТ 4960-2009), а в качестве легирующих элементов – порошок олова ПОЭ (ГОСТ 9723-73), порошок алюминия ПП-1 (ГОСТ 5592-71), порошок дисульфида молибдена (ТУ 48-19-133-90) и углерод в виде порошка графита ГК-3 (ГОСТ 4404-78). Для получения АКМ использовался метод реакционного механического легирования в атриторе и технологии порошковой металлургии.

На основании проведенных исследований разных композиций материалов системы Cu-Sn-Al-MoS₂-C, в качестве наиболее подходящей композиции была выбрана композиция со следующим исходным составом, % мас.: Sn – 7,9...8,1; Al – 0,45...0,55; MoS₂ – 0,18...0,22; C – 0,38...0,42; прочие – не более 0,02; Cu – остальное. В итоге был получен материал, в качестве основы которого являлась порошковая оловянная бронза, а в качестве наполнителей – полученные в атриторе гранулы трех химических составов.

Для определения механических свойств разработанного антифрикционного материала системы Cu-Sn-Al-MoS₂-C-O получали методом порошковой металлургии цилиндрические образцы диаметром 15 мм и высотой 20 мм, которые затем подвергали сжатию согласно ГОСТ 25.503—80 на универсальной испытательной машине 1958У-10 при двух температурах: при комнатной температуре и при 200 °С.

Для определения твердости применяли метод Бринелля ГОСТ 9012-59 с использованием твердомера марки ТШ-2М.

Триботехнические испытания с целью определения коэффициента трения производили в соответствии с рекомендациями ГОСТ 26614 и Р 50-54-62-88 по схеме «вал – частичный вкладыш» («ролик – колодка»), используя модернизированную машину трения СМЦ-2.

Микроструктуру материала исследовали на шлифах с использованием металлографического микроскопа Альтами MET1 и фотографировали ее с помощью фотоприставки PowerShot A640 Canon.

Размеры упрочняющих частиц в разработанном антифрикционном материале определяли путем приготовления из материала шлифов на шлифовально-полировальном станке модели ПОЛИЛАБ-П22Д с последующим травлением 5%-ым раствором хлорного железа (FeCl₃) в спирте, последующего изготовления фольги и дальнейшему просвечиванию ее на электронном микроскопе ЭМВ-100Л.

Результаты и обсуждение

Предел текучести при сжатии разработанного антифрикционного материала был равен 370 МПа, а значение предела прочности материала при сжатии составило 680 МПа. Согласно проведенным испытаниям, разрушение материала происходит при осадке на 30% от первоначальной толщины (высоты). Предел текучести данного материала при температуре 200°С равен 325 МПа, что говорит о том, что материал сохраняет высокие прочностные свойства и при температуре 200°С.

Такие свойства материала обеспечены не только благодаря сбалансированно подобранному составу, но и применением для его получения реакционного механического легирования в атриторах, а так же технологий порошковой и гранульной металлургии, позволяющих получить структуру материала (рис. 2), максимально приближенную к структуре перспективных антифрикционных материалов (см. рис. 1).

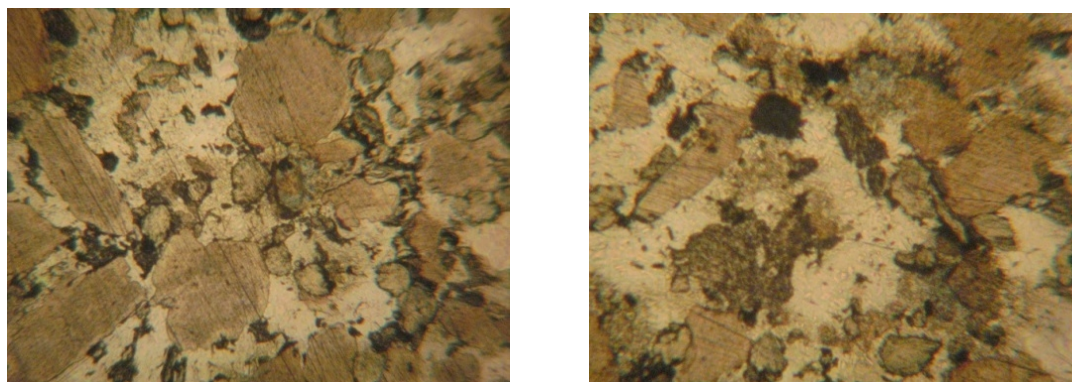


Рис. 2. Микроструктура композиционного порошкового антифрикционного материала системы Cu-Sn-Al-MoS₂-C-O

Из фотографий шлифов микроструктуры (см. рисунок 2) разработанного композиционного материала системы Cu-Sn-Al-MoS₂-C-O следует, что он состоит из гранул на основе порошковой меди, распределенных в порошковой оловянной бронзе. Исследования тонкой структуры материала показали, что материал гранул имеет субзеренную структуру с размером субзерен в интервале от 86 нм до 212 нм. В материале гранул, содержащих в исходном составе алюминий, также имеются упрочняющие частицы оксида алюминия

γ – Al₂O₃, средний размер которых равен 52 нм. Благодаря полученным значениям размеров структурных составляющих, разработанный материал можно отнести к классу объемных наноструктурных материалов [11].

Необходимо так же отметить, что разработанный материал обладает высокой твердостью, равной 120 НВ. Данное значение превышает твердость большинства известных антифрикционных медных материалов для подшипников скольжения коленчатого вала средне- и высокооборотных двигателей, при этом, имеет достаточно низкий коэффициент трения (0,06...0,08) по закаленной стали в условиях граничной смазки и высокого давления (не менее 100 МПа) на испытуемый материал во время испытаний трибосопряжения.

Выводы

В результате проведенных исследований передовых тенденций в современном материаловедении подшипниковых, прежде всего, антифрикционных материалов обоснованно показана целесообразность использования для подшипников скольжения коленчатого вала высокофорсированных дизельных двигателей композиционных материалов на основе меди, в том числе в качестве их несущего слоя (основы), для чего рекомендован жаропрочный дисперсно-упрочненный композиционный материал (ДУКМ) системы Cu-Al-C-O марки С 0/98 ДИСКОМ[®] (ТУ 1479-002-57368174-2004), серийно изготавливаемый на российских предприятиях с использованием реакционного механического легирования и технологий порошковой и гранульной металлургии.

В связи с отсутствием на настоящий момент стандартных подшипниковых материалов для антифрикционного слоя подшипников скольжения, способных выдерживать условия эксплуатации, когда внешняя удельная нагрузка достигает 100 МПа и более. и температуре нагрева до 200 °С, был разработан новый антифрикционный материал системы Cu-Sn-Al-MoS₂-C-O, который, благодаря своему комплексу физико-механических и эксплуатационных свойств, может быть рекомендован в качестве материала для антифрикционного слоя подшипников скольжения коленчатого вала высокофорсированных дизельных двигателей.

Список литературы

1. 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 2 республиканской научно-практической конференции, Чебоксары, 22 апр. 2016 г. – Чебоксары: Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, 2016. – С. 166–173.
2. Тарельник В.Б., Марцинковский В.С. Проблемы изготовления и эксплуатации подшипников скольжения // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. – 2004. – № 2 (61). – С. 151–156.

3. *Илюшин В.В., Потехин Б.А., Христюбов А.С.* Направление создания сплавов скольжения с повышенными технологическими свойствами // Леса России и хозяйство в них. – 2013. – № 1 (44). – С. 169–171.
4. Pat. US20030173000 A1. Tin-nickel-copper alloy containing hard particles of WC, W₂C, Mo₂C, W or Mo; grain size of matrix is not larger than 0,070 mm / K. Sakai, H. Sugawara, H. Ishikawa, M. Sakamoto. – Appl. No. 10/367,753 ; pub. date 18.03.2002. – 6 p.
5. *Дьячкова Л.Н., Керженцева Л.Ф.* К вопросу о повышении физико-механических свойств порошковых инфильтрированных материалов на основе железа // Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы и защитные покрытия, сварка: материалы докладов 6 международной научно-технической конференции, Минск, 6–7 апр. 2004 г. – Минск: Научная думка, 2004. – С. 85–86.
6. *Ashby M.F.* The hardening of metals by non-deforming particles // Zeitschrift für Metallkunde. – 1964. – № 55. – S. 5–17.
7. *Khawaja K.* Development of Conform™ extrusion gas sensing and control technology // J. Aluminium. – 2004. – № 3. – P. 110–112.
8. *Jangg G., Kutner F., Korb G.* Herstellung und Eigenschaften von dispersionsgehärtetem Aluminium // Z. Aluminium. – 1975. – № 51. – S. 641–645.
9. *Slesar M., Jangg G., Besterci M.* Festigkeit und Bruch dispersionsgehärteter Cu–Al₂O₃–Werkstoffe // Zeitschrift für Metallkunde. – 1981. – Vol. 72, iss. 6. – S. 423–427.
10. *Крагельский И.В.* Трение и износ. – изд. 2-е перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1968. – 480 с.
11. *Витязь П.А., Ильющенко А.Ф., Савич В.В.* Новые разработки в области металлургии в Беларуси (2011–2012 гг.) // Порошковая металлургия: инженерия поверхности, новые порошковые композиционные материалы. Сварка: сборник докладов 8 международного симпозиума, Минск, 10–12 апр. 2013 г. – Минск: Беларус. навука, 2013. – Ч. 1. – С. 366–371.
12. *Ксенович И.П.* Триботехника и проблемы прикладной механики наземных мобильных машин // Приводная техника. – 2003. – № 5. – С. 2–5.
13. *Шалунов Е.П., Смирнов В.М.* Особенности формирования объемных наноструктурных материалов на основе меди методом реакционного механического легирования // Вестник Чувашского университета. – 2009. – № 2. – С. 291–299.
14. *Шалунов Е.П., Смирнов В.М., Матросов А.Л.* Реакционное механическое легирование порошковой меди кислородом и углеродом // Вестник Чувашского университета. Естественные и технические науки. – 2012. – № 3. – С. 252–259.
15. Углеродные материалы в литейном производстве и порошковой металлургии / И.Е. Илларионов, О.В. Кузьмина, Д.Л. Кузьмин [и др.] // Проектирование и перспективные технологии в машиностроении и металлургии: материалы II республиканской научно-практической конференции, Чебоксары, 22 апр. 2016 г. – Чебоксары: Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, 2016. – С. 90–97.
16. *Шалунов Е.П., Данилов Н.В., Липатов Я.М.* Разработка научных основ, технологии и оборудования для получения и обработки полуфабрикатов из дисперсно-упрочненных композиционных материалов // Охрана труда и прогрессивные технологические процессы в литейном производстве, порошковой металлургии и машиностроении: тезисы межреспубликанской научно-практической конференции, Чебоксары, 26–28 июня 1990 г. – Чебоксары: Чуваш. Гос. ун-т, 1990. – С. 287–289.
17. *Andrievski R. A.* Review of thermal stability of nanomaterials // Journal of Materials Science. – 2014. – Vol. 49, N. 4. – P. 1449–1460.
18. *Sabirov I., Murashkin M. Y., Valiev R. Z.* Nanostructured aluminium alloys produced by severe plastic deformation: new horizons in development // Materials Science and Engineering A. – 2013. – Vol. 560. – P. 1–24.

19. Kozlov G. V., Yanovskii Yu. G., Zaikov G. E. Composites and Nanocomposites Polymers // Polymer Yearbook-2011: Polymers, Composites and Nanocomposites. – New York: Nova Science Publishers Inc, 2011. – P. 218.

20. Никифоров А.С., Рафанова О.С., Мулюхин Н.В. Проблемы трещинообразования при финишной обработке высокопрочных материалов // Современные технологии: проблемы и перспективы: сборник статей всероссийской научно-практической конференции для аспирантов, студентов и молодых учёных Севастополь, 20–23 мая 2019 г. – Севастополь, 2019. – С. 77–82.

21. Пат. РФ 2195511 С2. Дисперсно-упрочненный композиционный материал для электроконтактных деталей / Е.П. Шалунов, А.Л. Матросов, Я.М. Липатов, В.Я. Берент. – № 2001103228/02 ; заявл. 05.02.2001 ; опубл. 27.12.2002. – 7 с.

22. Пат. РФ 2116370 С2. Способ получения дисперсно-упрочненных материалов на основе меди / Е.П. Шалунов. – № 97104859/02 ; заявл. 27.03.1997 ; опубл. 27.07.1998. – 13 с.

ANALYSIS OF MODERN MATERIALS AND USE OF THE MOST OPTIMAL OF THEM FOR THE CRANKSHAFT SLIDING BEARINGS OF HIGHLY FORCED DIESEL ENGINES

Danilov P.G., Undergraduate, e-mail: danilov211@mail.ru

Vladimirova Yu.O., Assistant, e-mail: yulivladimirova@mail.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 paper describes the operating conditions of the crankshaft sliding bearings of high-powered diesel engines, as well as formulates the requirements for materials for such bearings. The justification of the need to use metal composite materials based on copper for the bearing and anti-friction layers of sliding bearings is given. As a material for the carrier layer, dispersion - strengthened composite material of the Cu-Al-CO system of the C0/97 DISCOM[®] brand (TU 1479-002-13092819-2001) is recommended, and as a material for the antifriction layer, the newly developed nanocomposite material of the Cu-Sn-Al-MoS₂-C-O system. Both of these materials are manufactured using the method of reaction mechanical alloying in attritors and technologies of powder and granular metallurgy.

Keywords

Plain bearings, root and connecting rod inserts, antifriction material, hardness, yield strength, tribotechnical properties.

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 указываются сокращенное название организации, город. Ниже – данные для переписки: Фамилия И.О. основного автора, почтовый адрес и полное название организации, e-mail.

3. Аннотация (реферат)

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

4. Ключевые слова

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

5. Введение

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

6. Описание экспериментальной части и теоретической/вычислительной работы

6.1. Материал, испытываемые образцы и порядок проведения испытаний

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

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

При проведении испытаний приводится следующая информация.

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

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

6.2. Результаты экспериментов

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

6.3. По теоретической/вычислительной работе

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

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

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

7. Обсуждение

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

8. Выводы

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

9. Список литературы

Прежде чем составить список литературы, необходимо ознакомиться с правилами оформления ссылок в журнале «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 resonance spectroscopic imaging (MRSI) measured abnormalities of mitochondrial and energetic dysfunction (via ^1H or ^3P spectroscopy) are related to several pathophysiologic indices of epileptic dysfunction. With patients undergoing hippocampal resection, intraoperative ^{13}C -glucose turnover studies show a profound decrease in neurotransmitter (glutamate-glutamine) cycling relative to oxidation in the sclerotic hippocampus. Increased extracellular glutamate (which has long been associated with increased seizure likelihood) is significantly linked with declining energetics as measured by ^3P MRSI, as well as with increased EEG measures of Teager energy, further arguing for a direct role of glutamate with hyperexcitability.

Discussion: Given the important contribution that metabolic performance makes toward excitability in brain, it is not surprising that numerous aspects of mitochondrial and energetic state link significantly with electrophysiologic and microdialysis measures in human epilepsy. This may be of particular relevance with the self-propagating nature of mitochondrial injury, but may also help define the conditions for which interventions may be developed. © 2008 International League Against Epilepsy.

Фрагменты из рекомендаций авторам журналов издательства Emerald

Авторское резюме (реферат, abstract) является кратким резюме большей по объему работы, имеющей научный характер, которое публикуется в отрыве от основного текста и, следовательно, само по себе должно быть понятным без ссылки на саму публикацию. Оно должно излагать существенные факты работы и не должно преувеличивать или содержать материал, который отсутствует в основной части публикации. Авторское резюме выполняет функцию справочного инструмента (для библиотеки, реферативной службы), позволяющего читателю понять, следует ли ему читать или не читать полный текст.

Авторское резюме включает следующее.

1. Цель работы в сжатой форме. Предыстория (история вопроса) может быть приведена только в том случае, если она связана контекстом с целью.

2. Кратко излагая основные факты работы, необходимо помнить следующие моменты:

– следовать хронологии статьи и использовать ее заголовки в качестве руководства;

– не включать несущественные детали;

– вы пишете для компетентной аудитории, поэтому можете использовать техническую (специальную) терминологию вашей дисциплины, четко излагая свое мнение и имея также в виду, что вы пишете для международной аудитории;

– текст должен быть связным с использованием слов «следовательно», «более того», «например», «в результате» и т. д. («consequently», «moreover», «for example», «the benefits of this study», «as a result» etc.), либо разрозненные излагаемые положения должны логично вытекать один из другого;

– необходимо использовать активный, а не пассивный залог, т. е. "The study tested", но не "It was tested in this study" (частая ошибка российских аннотаций);

– стиль письма должен быть компактным (плотным), поэтому предложения, вероятнее всего, будут длиннее, чем обычно.

Примеры, как не надо писать реферат, приведены на сайте издательства (<http://www.emeraldinsight.com/authors/guides/write/abstracts.htm?part=3&>).

На сайте издательства также приведены примеры хороших рефератов для различных типов статей (обзоры, научные статьи, концептуальные статьи, практические статьи):

<http://www.emeraldinsight.com/authors/guides/write/abstracts.htm?part=2&PHPSESSID=hdac5rtkb73ae013ofk4g8nrv1>.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Научно-технический и производственный журнал «Актуальные проблемы в машиностроении» (*Print ISSN: 2313-1020; Online ISSN: 2542-1093*) публикует статьи, содержащие новые и оригинальные результаты исследований. Журнал представлен на сайте НГТУ: <http://journals.nstu.ru/machine-building> и <http://machine-building.conf.nstu.ru/>. Электронная версия издания доступна на платформе eLIBRARY. Научно-технические статьи, направленные в адрес журнала, проходят рецензирование и редактирование. Публикация статей бесплатная.

Для того, чтобы подать статью, автор и все соавторы должны быть зарегистрированы на сайте журнала (при регистрации профиля автора должны быть заполнены все поля). Автор (один из соавторов) в своем кабинете выбирает в меню пункт «Подать статью» и вводит все необходимые данные. Своих соавторов при этом он выбирает из списка зарегистрированных пользователей.

Для регистрации перейдите по ссылке: <http://journals.nstu.ru/machine-building/registration>

Обращаем Ваше внимание! Если Вы зарегистрированы на сайте научно-технического и производственного журнала «Обработка металлов (технология · оборудование · инструменты)», то для подачи своей работы на сайте журнала «Актуальные проблемы в машиностроении» необходимо использовать тот же логин и пароль.

ПОДГОТОВКА РУКОПИСИ

Рукопись статьи готовится в соответствии с правилами оформления журнала (см. ниже) «Актуальные проблемы в машиностроении» в редакторе MS Word и прикрепляется в формате *.doc, *.docx.

Сканированные Лицензионный договор с подписями авторов, Экспертное заключение о возможности открытого опубликования статьи и Заключение внутривузовской комиссии по экспортному контролю о возможности использования научных материалов при международном сотрудничестве (если предусмотрено ВУЗом) (цветной режим сканирования, разрешение не менее 300 dpi) необходимо также прикрепить на сайте журнала в разделе «Подать статью» в формате *.pdf, *.jpg, *.jpeg. Поскольку, в оболочке при подаче статьи существует только одна опция «Скан экспертного заключения», необходимо «Экспертное заключение о возможности открытого опубликования статьи» и «Заключение внутривузовской комиссии по экспортному контролю о возможности использования научных материалов при международном сотрудничестве» объединить в один документ (многостраничный) и загрузить сформированный файл.

По окончании всех работ обязательно нажать кнопку «Отправить в редакцию».

Обращаем внимание, что авторы должны дополнительно отправить заявку на участие, в которой указать фамилию, имя и отчество (Ф.И.О. полностью), должность, ученую степень, звание, тематика доклада (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, 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;

Аффiliation (Affiliation).

Для каждого автора указывается: *Фамилия* и первые буквы *Имени* и *Отчества, степень, звание, должность, адрес электронной почты (e-mail)*, адресные данные [*официальное название организации на английском языке, которую он представляет, полный почтовый адрес организации (включая название улицы, город, почтовый индекс, страна)*]. Для указания степени, звания и должности можно воспользоваться справочными материалами, представленными на сайте журнала: http://journals.nstu.ru/files/2_4/affiliation.doc;

Аннотация (Abstract) - по объему больше аннотации на русском языке и включает **100 - 250 слов**, рекомендуется следовать хронологии статьи, использовать англоязычную специальную терминологию, не включать несущественные детали и использовать активный, а не пассивный залог, избегать сложных грамматических конструкций (не применимых в научном английском языке);

Ключевые слова (Keywords);

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

Внимание! Авторам запрещается предоставлять переводы заголовков статей, аннотаций, ключевых слов и информации об источниках финансирования, подготовленные с помощью электронных переводных систем (работы с ошибками и некорректным переводом будут отклонены).

ОФОРМЛЕНИЕ АНГЛОЯЗЫЧНОГО БЛОКА СТАТЬИ В ЖУРНАЛЕ «ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ (ТЕХНОЛОГИЯ • ОБОРУДОВАНИЕ • ИНСТРУМЕНТЫ)»

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 непереводаемых названий собственных имен и др. объектов, имеющих собственные названия; также не используется непереводаемый сленг, известный только русскоговорящим специалистам. Это также касается авторских аннотаций и ключевых слов;

- **Аффилиация (*Affiliation*)**.

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

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

- **Ключевые слова (*Keywords*)**;

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

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

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

Внимание! Авторам запрещается предоставлять переводы заголовков статей, аннотаций, ключевых слов и информации об источниках финансирования, подготовленные с помощью электронных переводных систем (работы с ошибками и некорректным переводом будут отклонены)

Правила подготовки списка литературы в англоязычном блоке статьи*

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

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

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

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

- 2) так как известно, что описания включаемых в зарубежные индексы цитирования и другие базы данных публикаций даются по их англоязычному блоку, то в самом идеальном случае в *References* можно включать переводное название статьи в том виде, как оно указано в журнале (и потом - в базе данных). В таком случае транслитерация заглавия статьи не требуется, но указывается в скобках после ее описания язык публикации (**in Russian**);

* 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.

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 документам;

5) при описании изданий без авторов (сборников, коллективных монографий) допускается вместо авторов писать одного, максимум двух редакторов издания;

6) для неопубликованных документов можно делать самое короткое название с указанием в скобках (**unpublished**), если оно имеет авторство (для учета ссылок автора), либо просто “**Unpublished Source**” или “**Unpublished Report**” и т.д., если авторство в документе отсутствует;

7) так как русскоязычные источники трудно идентифицируются зарубежными специалистами, рекомендуется в описаниях оригинальное название источника выделять курсивом, как в большинстве зарубежных стандартов;

8) если описываемая публикация имеет doi, его обязательно надо указывать в библиографии в *References*, так как этот идентификатор является наиболее точным источником информации о статье и по нему производится связка “ссылка - публикация”;

9) нежелательно в ссылках делать произвольные сокращения названий источников. Это часто приводит к потере связки, 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., Skeebeba V.Yu. Chislennoe modelirovanie beskarkasnykh arochnykh pokrytii [Numerical simulation of frameless arched covers]. *Obrabotka metallov (tehnologiya, oborudovanie, instrumenty) = Metal Working and Material Science*, 2012, no. 4(57), pp. 23–27.

Kiselev E.S., Unyanin A.N., Kurzanova Z.S., Kuznetsova M.A. Sovremennye smazochno-okhlazhdayushchie zhidkosti [Modern coolants]. *Vestnik mashinostroeniya = Russian Engineering Research*, 1996, no. 7, pp. 30-34.

Описание статьи из электронного журнала:

Swaminathan V., Lepkoswka-White E., Rao B.P. Browsers or buyers in cyberspace? An investigation of electronic factors influencing electronic exchange. *Journal of Computer- Mediated Communication*, 1999, vol. 5, no. 2. Available at: <http://www.ascusc.org/jcmc/vol5/issue2/> (Accessed 28 April 2011).

Если статья имеет DOI – обязательно указать его!

Описание статьи с DOI:

Abul'khanov S.R., Goryainov D.S., Skuratov D.L., Shvetsov A.N. Formation of the surface layer in diamond smoothing. *Russian Engineering Research*, 2015, vol. 35, iss. 2, pp. 147-149. doi: 10.3103/S1068798X15020033

Ding H.T., Shin Y.C. Laser-assisted machining of hardened steel parts with surface integrity analysis. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2010, vol. 50, iss. 1, pp. 106-114. doi:10.1016/j.ijmachtools.2009.09.001

Описание статьи из продолжающегося издания (сборника трудов)

Astakhov M.V., Tagantsev T.V. [Experimental study of the strength of joints "steelcomposite"]. *Trudy MGTU «Matematicheskoe modelirovanie slozhnykh tekhnicheskikh sistem»* [Proceedings of the Bauman MSTU "Mathematical Modeling of Complex Technical Systems"], 2006, no. 593, pp. 125–130. (In Russian)

Описание материалов конференций:

Usmanov T.S., Gusmanov A.A., Mullagalina I.Z., Muhametshina R.Ju., Chervyakova A.N., Sveshnikov A.V. [Features of the design of field development with the use of hydraulic fracturing]. *Trudy 6 Mezhdunarodnogo Simpoziuma "Novye resursoberegayushchie tekhnologii nedropol'zovaniya i povysheniya neftegazootdachi"* [Proceedings 6th International Symposium "New energy saving subsoil technologies and the increasing of the oil and gas impact"]. Moscow, 2007, pp. 267–272. (In Russian).

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

Sen'kin A.V. [Issues of vibration diagnostics of elastic spacecraft]. *Problemy teorii i praktiki v inzhenernykh issledovaniyakh. Trudy 33 nauchnoi konferentsii RUDN* [Problems of the Theory and Practice of Engineering Research. Proc. Russ. Univ. People's Friendship 33rd Sci. Conf.]. Moscow, 1997, pp. 223-225. (In Russian)

Описание книги (монографии, сборники):

Nenashev M.F. *Poslednee pravitel'stvo SSSR* [Last government of the USSR]. Moscow, Krom Publ., 1993. 221 p.

Ot katastrofy k 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*. 4th ed. New York, Wiley, 1974. 521 p. (Russ. ed.: Timoshenko S.P., Iang D.Kh., Uiver U. *Kolebaniya v inzhenernom dele*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985. 472 p.).

Brooking A., Jones P., Cox F. *Expert systems. Principles and case studies*. Chapman and Hall, 1984. 231 p. (Russ. ed.: Bruking A., Dzhons P., Koks F. *Ekspertnye sistemy. Printsipy raboty i primery*. Moscow, Radio i sviaz' Publ., 1987. 224 p.).

Если можно выявить оригинал, по которому был сделан перевод книги, тогда полезно описать его как основное название, вместо переводного. Такой вариант описания позволяет найти публикации авторов в действительном представлении их фамилий, а отличии от переводной версии (по все правилам, при переводе описания в латиницу фамилии авторов транслитерируются, что значительно искажает его настоящее написания - пример выше это хорошо демонстрирует).

Когда не 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. (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 ustroystv [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., et al. *Sposob orientirovaniia po krenu letatel'nogo apparata s opticheskoi golovkoi samonavedeniia* [The way to orient on the roll of aircraft with optical homing head]. Patent RF, no. 2280590, 2006.

В описании не все авторы, как дано в основном списке литературы. Если работать с *References* добросовестно, тогда можно найти патент и дополнить авторов.

Описание авторского свидетельства (Inventor's Certificate) – аналогично.

Описание анонимных документов:

Russian Pharmaceutical Market. Results of 2010. The Analytical Review. DSM Group, 2011. 74 p. (In Russian)

Current status of the Russian pharmaceutical industry and international experience. Materials for the working group of the Commission for Modernization and Technological Development of Russia's Economy. Available at: <http://www.strategy.ru>. (In Russian)

Code of Business Conduct of OJSC "LUKOIL". Available at: http://www.lukoil.ru/materials/doc/documents/lukoil_corp_code.pdf. (In Russian)

RF Federal Law "On Protection of Consumers' Rights" of February 07, 1992 N 2300-1 (as amended by Federal Law of January 09, 1996 N 2 FZ, December 17, 1999 N 212 FZ). (In Russian)

Подписано в печать 23.06.2020. Выход в свет 26.06.2020. Формат 60 × 84 1/8. Бумага офсетная.
Тираж 20 экз. Уч.-изд. л. 20,46. Печ. л. 11. Изд. № 114. Заказ № 659.

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)

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.

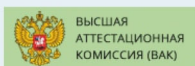
Присутствуют разделы: «Технология», «Оборудование», «Инструменты», «Материаловедение», «Научно-техническая информация» и др.



В 2017 году журнал «Обработка металлов (технология • оборудование • инструменты)» вошел в индекс цитирования *Emerging Sources Citation Index (ESCI) базы Web of Science*. Журналы, представленные в индексе цитирования *ESCI*, отвечают большинству базовых критериев *Core Collection* и расцениваются компанией *Clarivate Analytics* как наиболее влиятельные и востребованные издания, имеющие большую вероятность высокого научного интереса.



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



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 № ФС77-23961 от 05 апреля 2006 г.

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

Индекс журнала в каталоге агентства «Роспечать» – 70590



НОВОСИБИРСК

