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

Том 10, Номер 1–2 2023

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ

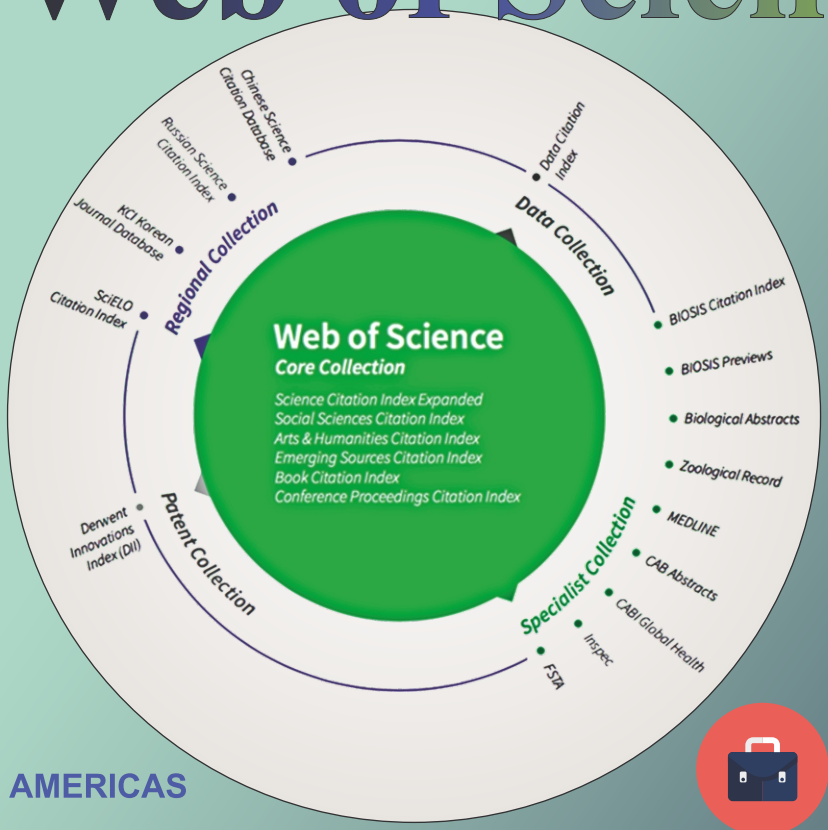
ACTUAL PROBLEMS IN MACHINE BUILDING

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 10 № 1-2 2023 г. НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Председатель совета

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

Члены совета

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

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

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

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

Российская Федерация: **Атапин В.Г.**, доктор техн. наук, профессор, НГТУ, г.Новосибирск, **Балков В.П.**, зам. ген.директора АО «ВНИИинструмент», канд. техн. наук, г.Москва, **Батаев В.А.**, доктор техн. наук, профессор, НГТУ, г. Новосибирск, **Буров В.Г.**, доктор техн. наук, профессор, НГТУ, г. Новосибирск, **Иванцивский В.В.**, доктор техн. наук, доцент, НГТУ, г.Новосибирск, **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, **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 – 2 номера в год

ИЗДАТЕЛЬ ЖУРНАЛА

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»

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

Журнал зарегистрирован в научной электронной библиотеке eLIBRARY.RU.

Адрес редакции и издателя:

630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет (НГТУ), корп. 5,

Тел. (383) 346-17-75

Сайт журнала:

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

E-mail: machine-building@mail.ru
machine-building@corp.nstu.ru

Цена свободная **16+**

ACTUAL PROBLEMS IN MACHINE BUILDING

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

Volume 10 Number 1-2 2023 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:
Vladimir G. Atapin, D.Sc. (Engineering), Professor, Novosibirsk State Technical University, *Novosibirsk*;
Victor P. Balkov, Deputy general director, Research and Development Tooling Institute «VNIIINSTRUMENT», *Moscow*;
Vladimir A. Bataev, D.Sc. (Engineering), Professor, Novosibirsk State Technical University, *Novosibirsk*;
Vladimir G. Burov, D.Sc. (Engineering), Professor, Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk;
Vladimir V. Ivancivsky, D.Sc. (Engineering), Associate Professor, Novosibirsk State Technical University, *Novosibirsk*;
Aleksandr N. Korotkov, D.Sc. (Engineering), Professor, Kuzbass State Technical University, *Kemerovo*;
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*;
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 – 2 numbers a year
Data on the journal are published in eLIBRARY.RU
Edition address: Novosibirsk State Technical University, Prospekt K. Marksa, 20,
Novosibirsk, 630073, Russian Federation
Tel.: (383) 346-17-75
http://journals.nstu.ru/machine-building; E-mail: machine-building@mail.ru, machine-building@corp.nstu.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ

V ВСЕРОССИЙСКАЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

г. Чебоксары, 29…31 мая 2023 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.

ПАРТНЕРЫ

Концерн Тракторные заводы	ЭЛАРА
ФОНД ВЕНЧУРНЫХ ИНВЕСТИЦИЙ В НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СФЕРЕ ЧУВАШСКОЙ РЕСПУБЛИКИ	Музей истории трактора

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; ***Борисов М.А.*** - к.т.н., доцент, ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары; ***Вальтер Хельге*** - генеральный директор компании «Walther schweisstechnik», г. Вена, Австрия; ***Васильев С.А.*** - д.т.н., доцент, ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары; ***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; ***Зайдес С.А.*** - д.т.н., профессор, ИрНИТУ, г. Иркутск; ***Иванцивский В.В.*** - д.т.н., профессор, НГТУ, г. Новосибирск; ***Илларионов И.Е.*** - д.т.н., профессор, ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары; ***Казимиров Д.Ю.*** - к.т.н., доцент, ИрНИТУ, г. Иркутск; ***Киричек А.В.*** - д.т.н., профессор, БГТУ, г. Брянск; ***Киселев Е.С.*** - д.т.н., профессор, УГТУ, г. Ульяновск; ***Козлов А.М.*** - д.т.н., профессор, ЛГТУ, г. Липецк; ***Кольцов В.П.*** - д.т.н., профессор, ИрНИТУ, г. Иркутск; ***Лебедев В.А.*** - д.т.н., профессор, ДГТУ, г. Ростов-на-Дону; ***Леонов С.Л.*** - д.т.н., профессор, АлтГТУ, г. Барнаул; ***Макаров В.Ф.*** - д.т.н., профессор, ВГТУ, г. Воронеж; ***Марков А.М.*** - д.т.н., профессор, АлтГТУ, г. Барнаул; ***Михайлов А.Н.*** - д.т.н., профессор, ДонНТУ, г. Донецк; ***Носов Н.В.*** - д.т.н., профессор, СамГТУ, г. Самара; ***Пашков А.Е.*** - д.т.н., профессор, ИрНИТУ, г. Иркутск; ***Пономарев Б.Б.*** - д.т.н., профессор, ИрНИТУ, г. Иркутск; ***Попов А.Ю.*** - д.т.н., профессор, ОмГТУ, г. Омск; ***Реченко Д.С.*** - д.т.н., доцент, АГНИ, г. Альметьевск; ***Секлетина Л.С.*** - ст. преподаватель, ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары; ***Смоленцев В.П.*** - д.т.н., профессор, ВГТУ, г. Воронеж; ***Сорилов М.Ю.*** - д.т.н., профессор, КнАГУ, г. Комсомольск-на-Амуре; ***Смирнов В.М.*** - к.ф.-м.н., доцент, ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары; ***Стрельников И.А.*** - к.т.н., доцент, ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары; ***Табаков В.П.*** - д.т.н., профессор, УГТУ, г. Ульяновск; ***Тамаркин М.А.*** - д.т.н., профессор, ДГТУ, г. Ростов-на-Дону; ***Федонин О.Н.*** - д.т.н., профессор, БГТУ, г. Брянск; ***Чен Лоусон*** – генеральный директор компании «Shanghai Hiwave Advanced Materials Technology Co., Ltd.», г. Шанхай, Китай; ***Шалунов Е.П.*** - к.т.н., профессор, ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары; ***Шеров К.Т.*** - д.т.н., профессор, КарГТУ, г. Караганда.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Лобанов Д.В. - д.т.н., доцент, ЧГУ им. И.Н. Ульянова, зам. гл. редактора научно-технического и производственного журнала «Актуальные проблемы в машиностроении», г. Чебоксары; ***Владимирова Ю.О.*** - ассистент, ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары; ***Федорова А.А.*** - ассистент, ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары; ***Голюшов И.С.*** - ассистент, ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары; ***Рафанова О.С.*** – **ответственный секретарь конференции**, ассистент, зав. межкаф. учеб. лаб. МСФ ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары.

ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦИИ

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

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

IMPROVEMENT OF TECHNOLOGICAL PROCESSES IN MECHANICAL ENGINEERING

V Russian National with International Participation Scientific and Technical Conference

Cheboksary, 29…31 May 2023

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 mechanical engineering", Ph.D. (Engineering), Associate Professor, NSTU (Novosibirsk, Russia), ***Gartfelder V.A.***, Ph.D., Associate Professor, ChSU (Cheboksary, Russia).

PARTNERS

Концерн Тракторные заводы	ЭЛАРА
ФОНД ВЕНЧУРНЫХ ИНВЕСТИЦИЙ В НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СФЕРЕ ЧУВАШСКОЙ РЕСПУБЛИКИ	Музей истории тракторов

HONORARY COMMITTEE

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

ORGANIZING COMMITTEE

Lobanov D.V., D.Sc. (Engineering), Associate Professor, Deputy Ch. editor of the Scientific, Technical and Manufacture journal "Actual Problems in Mechanical Engineering", ChSU (Cheboksary, Russia); ***Vladimirova Yu.O.***, Assistant, ChSU (Cheboksary, Russia); ***Fedorova A.A.***, Assistant, ChSU (Cheboksary, Russia); ***Golyushov I.S.***, Assistant, ChSU (Cheboksary, Russia); ***Rafanova O.S.***, Head of Laboratory MBF ChSU (Cheboksary, Russia).

SUBJECT OF THE CONFERENCE

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

СОДЕРЖАНИЕ

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Некрасов Р.Ю., Путилова У.С., Писарев Д.Е. Проблемы терморегулирования при точении жаропрочных сталей 7

Жирухин К.С., Киселев Е.С. Изготовление тонкостенных жаропрочных нежестких деталей фрезами с покрытием на основе нитрида кремния и титана 14

Лобанов Д.В., Рафанова О.С. Последовательность и критерии выбора оптимального варианта производственной системы 21

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ОСНАСТКА И ИНСТРУМЕНТЫ

Борисов М.А., Зворыгин А.С. Устройство для автоматической смены полярности тока при заточке баровых резцов 28

Керженцев В.А., Перова Н.В. Основы теории расчета молотковых дробилок. Определение главных параметров структурно-функциональной схемы 36

Борисов М.А., Лимонов С.Е. Совершенствование конструкции роботизированного сборочно-сортировочного стенда 44

Подкругляк Л.Ю. Моделирование прохождения теплового потока через плоский стык 51

Захаров О.В., Сулейманова Ф.Д. Анализ погрешностей 3D принтера со схемой дельта 57

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Земцова Н.В., Евдокимова С.Ю., Кобелева В.А., Щегольков А.В. Структурные свойства электроактивных наномодифицированных эластомеров для систем автоматического управления и тензометрии 63

Смирнов В.М., Балмин А.Е. Исследование влияния технологических режимов получения дисперсно-упрочненной медной связки алмазного инструмента на её механические свойства 68

Рекомендации по написанию научной статьи 74

Подготовка аннотации 76

Правила для авторов 78

CONTENTS

Innovative Technologies in Mechanical Engineering

Nekrasov R.Yu., Putilova U.S., Pisarev D.E. Problems of thermal control in the process of hard turning of heat-resistant steels 7

Zhirukhin K.S., Kiselev E.S. Manufacture of thin-walled heat-resistant non-rigid parts with milling cutters coated with silicon and titanium nitride 14

Lobanov D.V., Rafanova O.S. Sequence and criteria for choosing the optimal variant of the production system 21

Technological Equipment, Machining Attachments and Instruments

Borisov M.A., Zvorygin A.S. Device for automatic change of current polarity when sharpening bar cutters 28

Kerzhencev V.A., Perova N.V. Fundamentals of the theory of hammer crushers calculation. Determination of the main parameters of structural and functional scheme 36

Borisov M.A., Limonov S.E. Improving the design of a robotic assembly and sorting stand 44

Podkrugljak L.Y. Simulation of the passage of heat flow through a flat joint 51

Zakharov O.V., Suleimanova F.D. Error analysis of delta kinematics 3D printer 57

Materials Science in Machine Building

Zemtsova N.V., Evdokimova S.Y., Kobeleva V.A., Shchegolkov A.V. Structural properties of electroactive nanomodified elastomers for automatic control and strain measurement systems 63

Smirnov V.M., Balmin A.E. Study of the effect of technological modes for production of dispersion-strengthened copper bond for diamond tools on its mechanical properties 68

Guidelines for Writing a Scientific Paper 74

Abstract requirements 76

Rules for authors 78

PROBLEMS OF THERMAL CONTROL IN THE PROCESS OF HARD TURNING OF HEAT-RESISTANT STEELS

R. Yu. NEKRASOV, Ph.D. (Engineering), Associate Professor
U. S. PUTILOVA, Ph.D. (Engineering), Associate Professor
D. E. PISAREV, Student of bachelor
(IUT, Tyumen)

Nekrasov R. Yu. – 38 Volodarsky str., Tyumen, 625000, Russia
Tyumen Industrial University,
e-mail: nekrasovrj@tyuiu.ru

The cutting temperature plays an important role in the processing of heat-resistant steels. It leads to rapid cutting tool wear, which in turn leads to high economic expenditures. The solution to this problem is the use of coolant; the most promising is the internal cooling of the cutting tool, but its use has several disadvantages.

This paper discusses existing methods that compensate for the disadvantages of coolant or completely help to get rid of it when cutting metal.

Keywords: heat-resistant steels, thermal regulation, turning processing.

Introduction

The main direction of development of modern mechanical engineering is to increase labor productivity. A basic factor hindering the introduction of eco-mode machining is the early wear of the tool, including due to the increased cutting temperature during machining. The significant amount of heat generated during metal cutting shortens tool life, reduces workpiece surface quality and dimensional accuracy, especially for hard-to-reach materials such as titanium, nickel and composites. Traditionally, a cutting fluid (coolant) is used to reduce the cutting temperature, lubricate the contact between the tool and the layer of material being cut, and extend the life of the tool. But coolants are expensive to store and dispose of, as well as pollute the environment and harm the health of operators. So, in some cases, processing without the use of a coolant is necessary.

Theory

To compensate for the disadvantages associated with the use of coolant, a number of cooling methods have been undertaken for dry or quasi-dry machining, such as thermal control with minimal lubrication, pressure coolant, cryogenic cooling, compressed air cooling and heat pipe cooling, as well as internal cooling systems.

Among these cooling methods, internal cooling is the most promising. Cooling occurs due to the indirect removal of thermal energy from the cutting zone, by creating internal structures inside the tool. In addition, this leads to a new approach to measuring the temperature of the tool during machining by measuring the temperature of the fluid flowing in the built-in internal system of the tool [1-5].

Temperature plays a key role in metal machining; there are studies to measure cutting temperature during metal cutting. *Stephenson* used instrumental (dynamic) thermocouple

technology to measure temperature in tests on cast iron and aluminium using *WC* instruments [6]. *Kitagawa* and others are using inline thermocouple technology to investigate the effect of cutting temperature on tool wear in high-speed machining of *Inconel 718* and grinding of *Ti-6Al-6V-2Sn* alloy [7]. Another main way to measure cutting temperature is the use of infrared thermal cameras or pyrometers [8, 9], but these methods have a drawback — this is the limited penetrating ability of the camera.

In 1940 *M.P. Levitsky* excluded from consideration the heat entering the material being processed, assuming that only the cutter and chips are involved in the heat exchange. *Levitsky* considered the work of deformation and the work of chip friction against the front surface of the cutter to be sources of heat generation.

American scientists *Trigger* and *B.Ts. Chao* conducted analytical studies of temperatures at the contact surfaces of the tool with chips and with the material being machined, gradually improving the approaches to calculations. In 1951 they published a *paper* called "*An Analytical Evaluation of Metal Cutting Temperatures*".

The researchers took into account two sources of heat release (plastic shear and friction of chips on the front surface of the cutter), neglecting the heat of friction on the back surface of the tool. Using force and speed ratios developed by *G. Ernst* and *M. Merchant* [7], *Chao* and *Trigger* received formula (1) for calculating the average temperature θ_S chips leaving the shear zone:

$$\theta_S=\theta_o+\frac{A\left[F_c V_c(1-B_1)-FV_f\right]}{JC\rho V_c tw} \tag{1}$$

where θ_O is the ambient temperature; A is a part of the deformation energy that is spent on chip heating; B_1 is the part of the total heat remaining in the workpiece; J is the mechanical equivalent of heat; C is the specific heat capacity of the heated chips; ρ is the density of the chip material; t is the feed; w is the depth of cut;

Formula (2) for calculating cutting temperature:

$$\theta_t=\theta_s+\frac{B_2}{9(5\pi)^{1/2}}\cdot\frac{F}{JKl}\left(\frac{kV_f}{m}\right)^{1/2} \tag{2}$$

In subsequent work, the researchers analyzed the effect of temperature on the wear of the cutter along the front surface, making the appropriate temperature calculations. To simplify the calculations, *Chao* and *Trigger* assumed a uniform distribution of the heat release intensity q (Fig. 1a, straight line 3) along the length of the chip-cutter contact. This led to the fact that the highest temperature turned out to be near the departure of the chip from the cutter (Fig. 1a, curve 1), which did not correspond to the position of the wear hole on its front surface. By specifying the heat flux power distribution in the form of curve 5 (Fig. 1b), the researchers obtained a more satisfactory agreement between the temperatures calculated from the side of the chip and the cutter (curves 4 and 1).

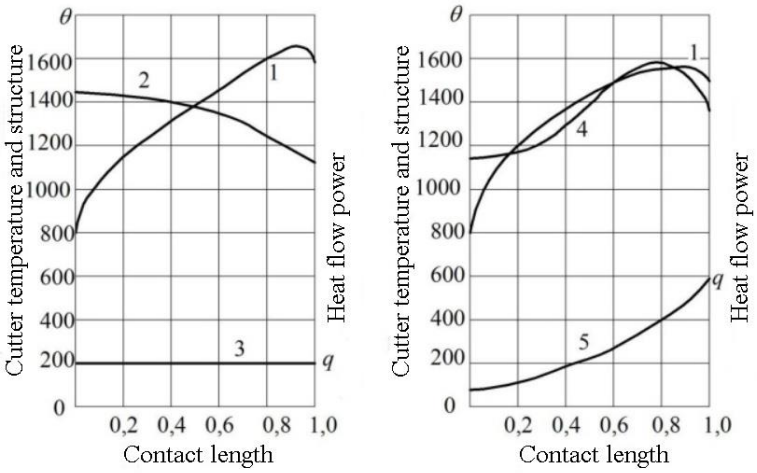


Fig. 1. Temperature θ and heat flow power q depending on the relative length of chip contact with the front surface of the cutter

Methodology

To clarify the level and nature of the temperature distribution on the surfaces of the cutter, *Chao*, *Trigger* and *Lee* [8] in 1961 presented a method for measuring temperatures on the rear surface of the cutter during turning using lead sulfide photoresistors (Fig. 2); a tubular workpiece, inside which the block of photoresistance was laid at a distance of not more than 1 inch (25.4 mm) from the surface being machined, was used. A 0.094-inch (2.38 mm) diameter hole was drilled into the pipe wall. When turning the outer surface of the workpiece, whenever the cutter was in the zone of this hole, the thermal radiation from the rear surface of the cutter was captured by the detector, and the recording device provided information about the average temperature of the rear surface.

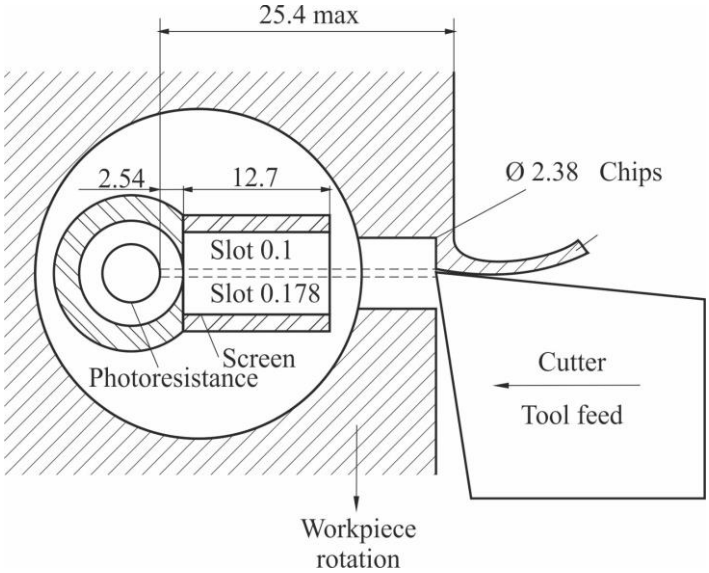


Fig. 2. Scheme for measuring temperature using photoresistance.

To determine the heat flow entering the tool, *Chao* and *Trigger* used the electrical simulation method proposed in 1955 by *Jacques Bonneville* and based on analogy in distribution heat flow and

electric current (later on, the method of electrical modelling was significantly developed by *A.N. Reznikov*).

Simultaneously with *Chao* and *Trigger*, a large group of American researchers were engaged in the analytical study of temperatures. Each of them solved a specific problem, which made it possible to determine the temperature at a certain point or on a surface that is directly related to the cutting zone. So, *E. Loewen* and *M. Shaw*, based on the method developed by *J. Jaeger*, presented the solution to problems about temperatures in the shear plane and on the front surface of the cutter. *D. Weiner* derived formulas for calculating the amount of heat entering the workpiece. *F. Ling* and *E. Seybel* in 1955 theoretically determined the relationship between friction and temperature at the contact surface of the chip with the cutter.

At the same time, domestic scientists theoretically investigated the direction and intensity of heat flows during cutting, temperatures on the contact surfaces and temperature fields in the tool and workpiece, and the mechanism of action of the cutting fluid. In 1952 *B.Ya. Borisov*, using the method of point sources, tried to calculate the temperature of the cutter at the place where the chips came off the front surface and investigate its temperature field. In 1954 *P.I. Bobrik*, using the *Rykalin method*, obtained a formula for calculating the temperature at a separate point of the chip. In 1956 *N.V. Talantov*, using the method of imposing instantaneous heat sources, obtained a formula for calculating the cutting temperature as a sum, taking into account the temperature from the heat released as a result of plastic deformation and the temperature from the heat released during the friction of the chips on the front surface of the cutter.

The most comprehensive and in-depth studies of thermal physics of cutting were carried out by *A.N. Reznikov*, who worked in Kuibyshev Polytechnic Institute, and then (since 1967) in Togliatti Polytechnic Institute. From the beginning of the 1950s *A.N. Reznikov* developed and supplemented the theory of fast-moving heat sources developed by *Rykalin* as applied to welding processes and by *Eger* as applied to the friction process.

In 1958 A.N. *Reznikov* published [9-10] the results of a three-year-old study of the temperature field in the chip, which arises under the action of the friction force on the front surface of the cutter. The theoretical formula (3) for determining the temperature at the point of the chip with coordinates *x*, *y* had the form:

$$\theta_{(x,\,y)}=\frac{0.54\sqrt{a}}{\lambda\sqrt{k}}\sigma_o\sqrt{vl_c}\sum_{n=-\infty}^{n=+\infty}\tau_n, \tag{3}$$

where λ and α are the coefficients of heat and thermal diffusivity; k is chip shrinkage; v is the cutting speed; σ_o is the specific friction force at the cutting edge; l_c is the length of contact between the chip and the cutter; τ is a function that depends on temperature fields for instantaneous point sources during turning, milling, drilling and abrasive processing, which was obtained by *A.N. Reznikov*.

He believed that the temperature field from the action of a heat source of any form, the duration of action and the speed of movement can be obtained as a result of the superposition of temperature fields that arise under the action. *A.N. Reznikov* considered the cutter as an endless wedge, the chips as an endless rod, and the part as a half-space. In the system of these bodies, there were heat sources from deformation in the shear plane q_d, from friction at the contact area of the chip with the cutter q_{mn} and from friction at the contact area of the tool with the product q_{m3}, as well as heat sinks, reflecting the heat exchange between the cutter and the chip q_n and product q_3, (Fig. 3).

A.N. Reznikov adopted a combined (uniform power law) distribution of tangential stresses along the length l_c of the contact pad of the chip with a cutter, as a result of which the calculated temperature reached a maximum at a distance of (0.35 ... 0.55) l_c from the tip of the cutter. Thus, the temperature maximum was in the zone of wear dimple formation on the front surface.

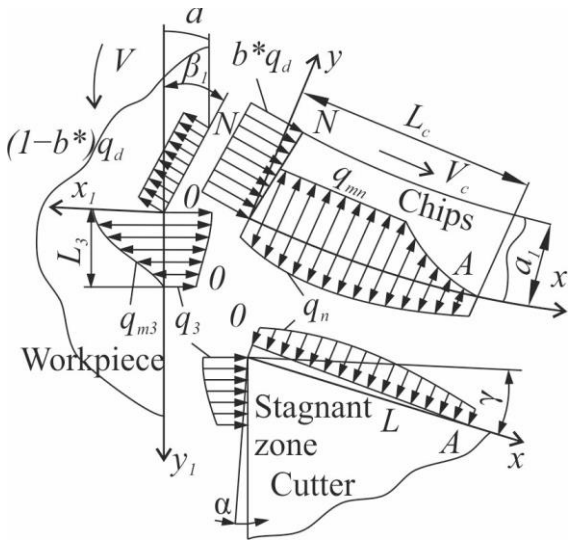


Fig. 3. Scheme of heat flows during cutting according to *A.N. Reznikov*.

To empirically confirm the calculated temperatures on the front and rear surfaces of the cutter, *A.N. Reznikov* proposed his own method for measuring temperature, which he called a “running thermocouple” (Fig. 4). Two dissimilar conductors 2 and 3, isolated from each other, inserted into a copper tube *1*, were installed in a hole in the material being processed [11]. When cutting this tube with a cutter, the conductors closed, forming two artificial thermocouples, one of which, together with the chips, moved along the front surface of the cutter, and the second, which remained in the product, along its rear surface. Through contacts $K_1 – K_2$ and $K_3 – K_4$, the electrical signal from the thermocouples was transmitted to the oscilloscope.

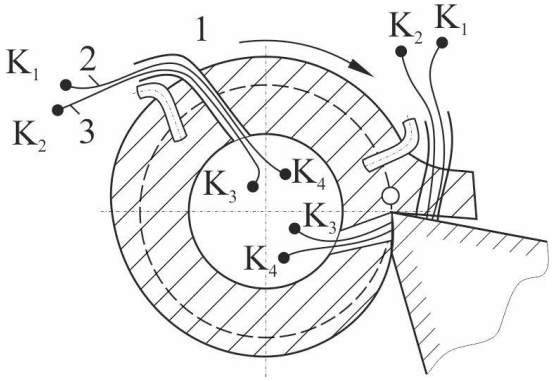


Fig. 4. Schematic diagram of a “running thermocouple”

The “running thermocouple” method made it possible to register temperatures both in a thin notch layer of the chip and on the contact area “cutter-workpiece”. Using this method, *A.N. Reznikov* was able to directly measure the temperatures at the contact of the chip with the front surface of the cutter, which *Chao* and *Trigger* failed to do.

In the 1960s, in the absence of a computer, it was impossible theoretically to construct temperature fields in complex cases of heat transfer or with a complex tool profile. To avoid insurmountable analytical difficulties, it was necessary to significantly simplify the mathematical model of the process, neglecting a number of important factors, and this significantly reduced the reliability of the results obtained. Understanding this, *A.N. Reznikov* in 1959–60 began to use analog

computers and devices for electrical modeling of temperature fields. As already mentioned, the electrical simulation method is based on the similarity of differential equations describing the processes of heat propagation in a solid and the passage of electric current in a conducting medium. There is an analogy between temperature and electric potential, intensity of heat flow and current density, amount of heat and amount of electricity, etc. Combining theoretical studies with experiments and modeling, *A.N. Reznikov* managed to solve a complex of complex problems of thermal physics of scientific and practical interest.

Conclusions

To level the shortcomings of the coolant, several options were considered: cutting temperature measurements with reduction and elimination of coolant use. In order to meet the requirements of modern *CNC* machining, reducing, measuring and controlling cutting temperatures is critical to optimize the cutting process. Therefore, it is very important to develop new technologies by actively integrating these three functions. It is promising to develop an easy-to-use and accurate method for measuring and reducing cutting temperature during machining in real time using a closed cooling system.

References

1. A sustainable alternative for cooling the machining processes using a refrigerant fluid in recirculation inside the toolholder / G.C. Vicentin, L.E.A. Sanchez, V. L. Scalon, G.G.C. Abreu // Clean Technologies and Environmental Policy. – 2011. – Vol.13, iss. 6. – P 831–840. – DOI: 10.1007/s10098-011-0359-z.

2. Internally-cooled tools and cutting temperature in contamination-free machining / C. Ferri, T. Minton, S.B.C. Ghani, K. Cheng // Journal of Mechanical Engineering Science. – 2014. – Vol. 228, iss. 1. – P. 135–145. – DOI: 10.1177/0954406213480312.

3. The Analysis of speed increase perspectives of nanostructuring burnishing with heat removal from the tool / V.P. Kuznetsov, A.S. Skorobogatov, V.G. Gorgots, A.S. Yurovskikh // IOP Conftrence Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 124. – Art. 012127124. – DOI: 10.1088/1757-899X/124/1/012127.

4. *Das S.R., Panda A., Dhupal D.* Experimental investigation of surface roughness, flank wear, chip morphology and cost estimation during machining of hardened AISI 4340 steel with coated carbide insert // Mechanics of Advanced Materials and Modern Processes. – 2017.| – Vol. 3. – Art. 9. – DOI: 10.1186/s40759-017-0025-1.

5. Predictive modeling for the cryogenic cooling condition of the hard turning process / D.M. Kim, D.Y. Kim, N. Banerjee, H.W. Park // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2018. – Vol. 99, iss. 9-12. – P. 2877–2891. – DOI: 10.1007/s00170-018-2660-z.

6. *Chao B.T., Trigger K.J.* Temperature distribution at the tool-chip and tool work interface in metal cutting // Transactions of the American Society of Mechanical Engineers. – 1958. – Vol. 80. – P. 311–320.

7. *Ernst H., Merchant M.E.* Chip Formation, Friction and High-Quality Machined Surfaces // Surface Treatment of Metals. – 1941. – Vol. 29. – P. 299–378.

8. *Chao B., Li G., Trigger K.* Experimental studies of temperature distribution on the rear surface of the cutter // Design and engineering technology. – 1961. – Vol. 3. – P. 21–31.

9. *Reznikov A.N.* Temperature field in the chip, arising under the action of friction force on the front face of the cutter // Journal of Siberian technical physics. – 1958. – Vol. 1. – P. 207–217.

10. *Reznikov A.N.* Temperature and cooling of cutting tools. – Kuibyshev: Kuibyshev book publishing house, 1959. – 82 p.

УДК 621.9.08

ПРОБЛЕМЫ ТЕРМОРЕГУЛИРОВАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ ЖАРОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ

Некрасов Р. Ю., канд. техн. наук, доцент, e-mail: nekrasovrj@tyuiu.ru
Путилова У.С., канд. техн. наук, доцент, e-mail: putilovaus@tyuiu.ru
Писарев Д.Е., студент бакалавриата, e-mail: pisarevde@tyuiu.ru

Тюменский индустриальный университет, ул. Володарского, д. 38, г. Тюмень, 625000, Россия

Аннотация

Температура резания играет важную роль при обработке жаропрочных сталей. Это приводит к быстрому износу режущего инструмента, что, в свою очередь, ведет к высоким экономическим затратам. Решением этой проблемы является использование СОЖ - наиболее перспективным является внутреннее охлаждение режущего инструмента, но его использование имеет ряд недостатков.

В данной статье рассмотрены существующие способы, компенсирующие недостатки СОЖ или полностью помогающие избавиться от нее при резке жаропрочных сталей.

Ключевые слова

жаропрочные стали, терморегулирование, токарная обработка.

УДК 621.9.02

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ТОНКОСТЕННЫХ ЖАРОПРОЧНЫХ НЕЖЕСТКИХ ДЕТАЛЕЙ ФРЕЗАМИ С ПОКРЫТИЕМ НА ОСНОВЕ НИТРИДА КРЕМНИЯ И ТИТАНА

К.С. ЖИРУХИН[1], инженер,
Е.С. КИСЕЛЕВ[2], доктор техн. наук, профессор
([1] ООО «ХАЛТЕК-ДоАЛЛ», г. Ульяновск,
[2]УлГТУ, г. Ульяновск)

Жирухин К.С. – 432071, г. Ульяновск, пр-т Нариманова, 1Б,
ООО «ХАЛТЕК - ДоАЛЛ»,
e-mail: kirill.zhirukhin@haltec.ru

Введение. Изготовление тонкостенных нежестких деталей из жаропрочных сплавов (например - лопаток) газотурбинных двигателей и газоперекачивающих агрегатов осуществляется в условиях крупносерийного производства. Одним из путей повышения эффективности изготовления подобных деталей является создание условий для их формообразования при минимальной теплосиловой напряженности. Для этого в настоящее время на предприятиях широко используется режущие инструменты с износостойкими покрытиями. **Цель.** Установить наиболее эффективный тип современного износостойкого покрытия для повышения производительности обработки и периода стойкости режущего инструмента при обработке тонкостенных жаропрочных нежёстких деталей из жаропрочных сплавов. **В работе исследован** один из методов повышения производительности обработки тонкостенных нежестких заготовок из жаропрочных сплавов на никелевой основе путем применения твердосплавных монолитных фрез с покрытием на основе титана – кремния. **Методы.** Исследования проводились на действующем технологическом оборудовании в условиях механических цехов, осуществляющих изготовление нежестких деталей летательных аппаратов с оценкой временных и экономических затрат при изменении элементов режима резания и величин снимаемых припусков. **Результаты и их обсуждение.** Установлено, что использование инструментов с новыми покрытиями увеличивает период стойкости по сравнению с традиционными на основе нитрида титана *AlTiN* до 60 раз при черновой и получистовой обработке. Одновременно снижается вероятность возникновения короблений и обеспечивается существенное повышение производительности обработки.

Ключевые слова: Износостойкое покрытие, жаропрочные сплавы, высокопроизводительная обработка, период стойкости, монолитная фреза

Введение

Повышение производительности обработки заготовок из жаропрочных сплавов было и остаётся самой насущной проблемой современных производств газотурбинных двигателей. Особенно остро эта проблема возникает при необходимости изготовления тонкостенных нежестких деталей, в которых после снятия их из станочного приспособления из-за высокой теплосиловой напряженности формообразования, как правило, возникают технологические остаточные напряжения, вызывающие коробления. Их устранение на последующих операциях абразивной обработки сопряжено с необходимостью удаления повышенных припусков, что увеличивает трудоемкость изготовления тонкостенных нежестких деталей и длительность

технологического процесса в целом. Низкая производительность обработки заготовок из жаропрочных сплавов с высоким содержанием никеля связана, прежде всего, с физико-механическими свойствами обрабатываемых материалов, недостаточной температуро- и теплопроводностью, высокими скоростями износа инструмента и др. причинами.

Применение в качестве режущей части режущего инструмента минерало-керамики позволяет повысить период стойкости и увеличить режимы обработки. Однако, наиболее её эффективное использование достигается при высоких скоростях механической обработки и съема припусков, когда контактная температура в зоне резания близка к интервалу пластичности (~800-850 град. Цельсия) [1]. Это ограничивает её применение предварительной (черновой) обработкой массивных заготовок из-за большой вероятности возникновения дефектов поверхностного слоя (прежде всего растягивающих технологических остаточных напряжений), что недопустимо при изготовлении тонкостенных нежестких деталей.

Некоторое повышение производительности обработки заготовок из труднообрабатываемых материалов может быть получено при использовании фрез с неравномерным шагом расположения режущих пластин по рабочей окружности инструмента [2]. Известны многочисленные попытки по использованию для этих целей инструментов с покрытиями [3].

Несмотря на многообразие геометрий, форм и покрытий режущего инструмента от ведущих мировых производителей под данные задачи, в реальных технологических процессах приживаются немногие решения, и, как правило, продолжается применение наиболее традиционных из них (покрытия на основе нитрида титана *Ti-TiN-AlTiN*) [3]. Скорости резания при этом составляют до 20 м/с, что немного по современных меркам. Важно понимать, что весь потенциал того или иного покрытия раскрывается при правильном применении по типу обрабатываемого материала, соблюдении режимов резания и требований к оборудованию, шпиндельной и зажимной оснастке.

Теория

Покрытие, способное эффективно работать по жаропрочным сплавам на никелевой основе, должно соответствовать условиям:

- Обладать высокотемпературными свойствами
- Быть стойким к окислению
- Обладать высокой твердостью при высоких температурах
- Быть микропластичным

В покрытиях *AlTiN* на основе алюминия в результате воздействия высоких температур во время механической обработки образуется тонкий, но плотный слой оксида алюминия. Этот слой постоянно и независимо обновляется, защищая покрытие и твердый сплав от окислительного распада (см. рис.1).

Однако, данный тип покрытий не лишён недостатков, и как правило их износ происходит из-за хрупкости, пластических деформаций и расслоения. Повышение твердости и стойкости покрытия может быть достигнуто за счёт изменения содержания алюминия и морфологии слоёв [4]. Сопротивление окислению может быть улучшено за счет повышенного содержания алюминия, наноструктурирования или микролегирования (т.е. легирование с низким процентным

содержанием элементов). В дополнение к возможности изменения химического состава материала, изменение структуры слоёв покрытия может существенно улучшить его качество и стойкость.

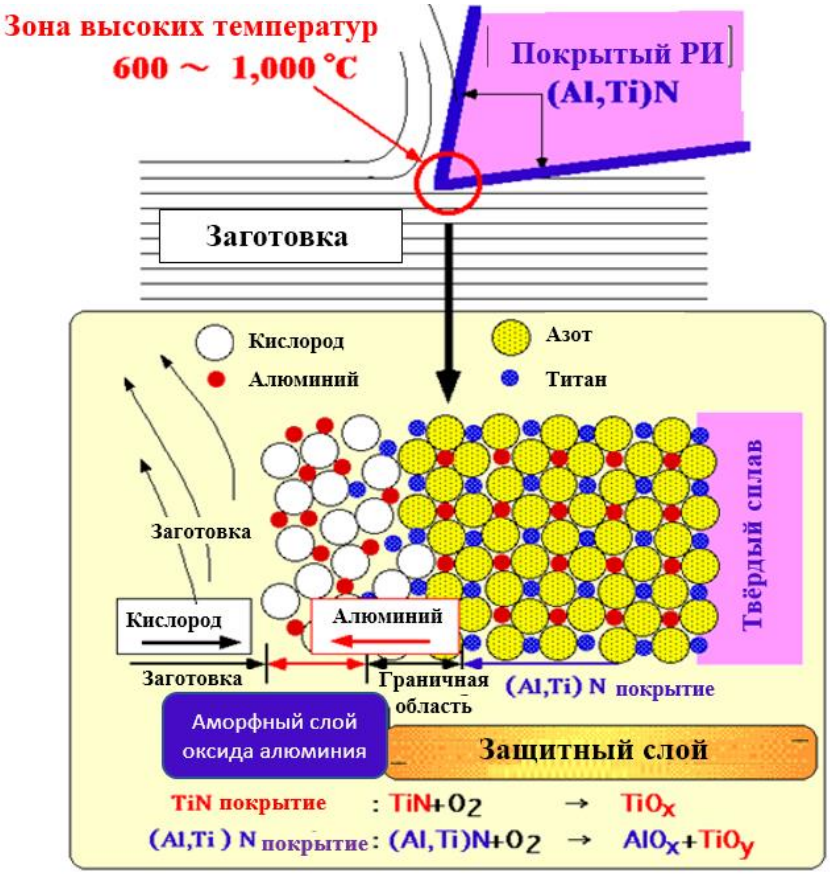


Рис. 1. Принцип работы покрытия *AlTiN*

Такие функциональные характеристики покрытия, как твердость, фазовая стабильность и трибологические свойства регулируются различным распределением элементов внутри слоя (Рис.2).

Рис. 2. Типы микроструктур покрытий

Современные технологии позволяют комбинировать несколько отдельных слоев с разным химическим составом для получения специального покрытия (Рис.3).

Использование нанокомпозитного покрытия на основе титана кремния(*TiSiN*) по верх традиционного алюмо-нитрид титана (*AlTiN*) позволяет значительно поднять стойкость покрытия в целом [5].

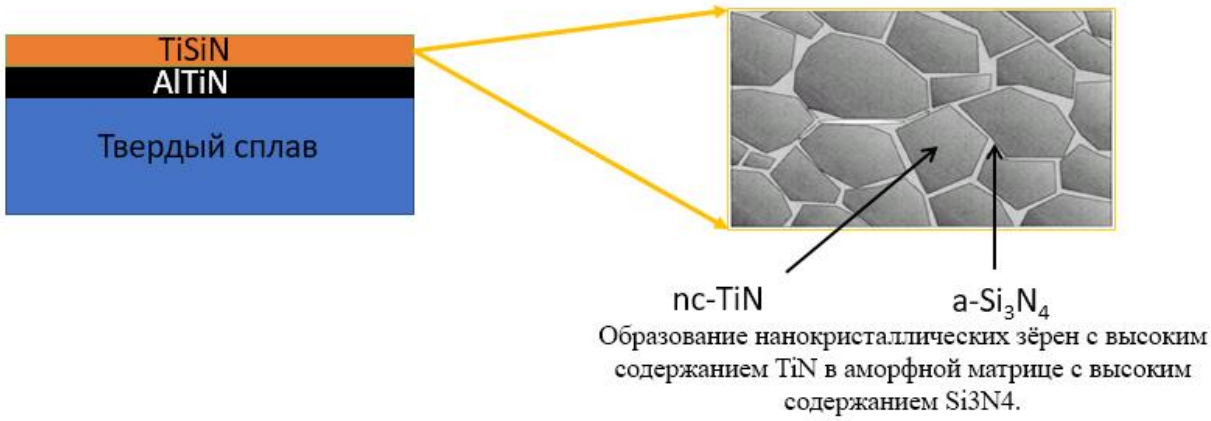


Рис. 3. Принцип работы покрытия *TiSiN* поверх *AlTiN*.

Данное покрытие обладает твердостью 3600 *HV*, работает при температуре до 1150°С, имеет толщину 1-3 мкм [5].

В процессе исследований эффективности нового покрытия была проведена экспериментальная проверка ранее выполненных научных изысканий в производственных условиях на операциях изготовления нежестких жаропрочных деталей с использованием твердосплавных монолитных фрез отечественного производителя ГК «ХАЛТЕК» с традиционным покрытием на основе *AlTiN* (*Latuma©*) и покрытием титана-кремния *TiSiN* (*VioletPro©*) соответственно.

Результаты и обсуждение

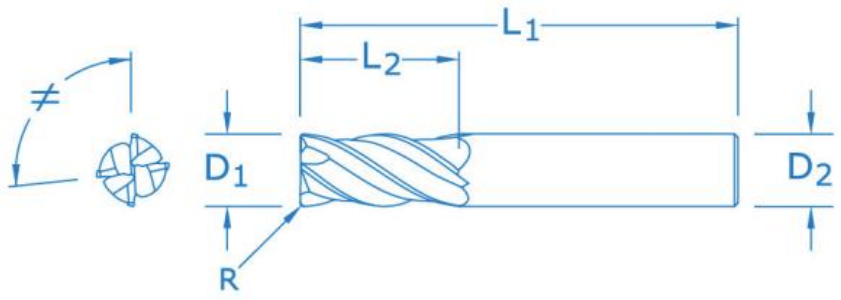
Для раскрытия полного потенциала нового покрытия и получения объективных результатов эксперимента при обработке стремились создать максимально жесткую технологическую систему, для чего были использованы современное оборудование жёсткой конструкции, жёсткая зажимная оснастка, гидравлические виброгасящие оправки. Учитывая плохие характеристики температуро-и теплопроводности жаропрочных сплавов в качестве образцов для исследований использовалась достаточно жесткая заготовка. В данном случае толщина нагретого до температуры поверхностного слоя в 300°С не превышала 0.2 мм. Поэтому результаты экспериментальных исследований оценки эффективности современных нано-покрытий инструмента на основе TiSiN с некоторыми допущениями вполне можно было распространить на изготовление нежестких тонкостенных заготовок.

Испытания проводились:

- На станке *MAZAK HCN*-6000
- Зажим заготовки осуществлялся в стационарный токарный клино-реечный патрон *SCHUNKROTA-Splus* 2.0
- Режущий инструмент был закреплен в гидравлическую виброгасящую оправку *SCHUNKTENDOE-compact*

Материал заготовки (прокат круглого сечения) в процессе экспериментов: жаропрочный сплав ХН60.

Геометрические параметры испытываемой твердосплавной фрезы MS4RXP 100 072 005 представлены на Рис.4.



D_1 =10 мм, D_2=10 мм, L_2=22 мм, L_1=72 мм, R=0,5 мм, 4 зуба
Рис.4. Параметры инструмента

Вылет инструмента из оправки составил 35 мм.

Марка твердого сплава – специализированная для обработки жаропрочных сплавов [6].

Сравнение работоспособности покрытий проводили при сравнении объёма снимаемого материала в единицу времени и времени работы фрезы (периода стойкости) на режимах резания: скорость резания V = 50 м/мин, скорость подачи f_z=0,08 мм/зуб, величины перекрытия a_e=1 мм, глубина резания a_p=20 мм, минутная подача F=764 мм/мин.

Стратегия обработки: съём припуска осуществлялся по спиральной траектории.

На данных режимах механической обработки и обрабатываемом материале (жаропрочный сплав ХН60) при использовании инструмента данной геометрии с покрытием AlTiN произошла его поломка после 1 мин работы или после съёма 10,2 см^3 материала (см. Рис. 5).

Применение фрезы с нано-покрытием на основе TiSiN демонстрирует беспрецедентный прирост работоспособности относительно AlTiN (до 60 раз). Можно отметить, что за свой жизненный цикл она успевает осуществить в разы больший съем металла, чем с традиционным покрытием.

Выводы

Таким образом, применение современных нано-покрытий инструмента на основе TiSiN является весьма перспективным средством повышения производительности при изготовлении нежестких тонкостенных деталей из жаропрочных сплавов и уменьшения длительности технологического процесса.

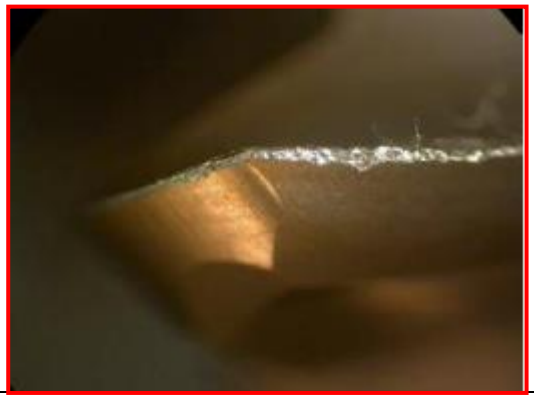
	С покрытием AlTiN	С покрытием TiSiN
		
Объём снятого припуска	10,2 см^3	917,2 см^3
Период стойкости	1 мин	60 мин
Характер износа	Поломка фрезы	Выкрашивание режущей кромки

Рис. 5. Характер износа режущей кромки испытываемого инструмента

Список литературы

1. *Храмов А.В. Горшков М.Г., Киселев Е.С.* Фрезерная обработка заготовок из жаропрочных сплавов на никелевой основе монолитными и корпусными керамическими фрезами // Вестник РГАТУ имени П. А. Соловьева. – 2017. – № 2 (42). – С. 219–223.

2. *Киселев Е.С., Лексин Е.Н.* Высокопроизводительное изготовление лопаток при пятикоординатной обработке заготовок концевыми фрезами // СТИН. – 2013. – № 8. – С. 35–38.

3. *Табаков В.П.* Применение покрытий на основе нитрида титана для повышения стойкости режущего инструмента // Станки и инструмент. – 1991. – № 11. – С. 18–19.

4. *Табаков В.П.* Износостойкие покрытия на основе нитрида титана, легированного железом и алюминием // Станки и инструмент. – 1991. – № 3. – С. 29–30.

5. *Sundgren J. E.* Structure and properties of TiN coatings // Thin Solid Films. – 1985. – Vol. 128. – P. 21–44.

6. *Veprek S., Veprek-Heijman M.* Industrial applications of superhard nanocomposite coatings // Surface and Coatings Technology. – 2008. – Vol. 202. – P. 5063–5073. – DOI: 10.1016/j.surfcoat.2008.05.038.

MANUFACTURE OF THIN-WALLED HEAT-RESISTANT NON-RIGID PARTS WITH MILLING CUTTERS COATED WITH SILICON AND TITANIUM NITRIDE

[1]**Zhirukhin K.S.,** Engineer, e-mail: kirill.zhirukhin@haltec.ru
[2]**Kiselev E.S.,** D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: kec.ulstu@mail.ru

[1]HALTEC-DoALL LLC, 1B Narimanova, Ulyanovsk, 432071, Russian Federation
[2]Ulyanovsk Technical State University, 32 Severny Venets st., Ulyanovsk, 432027, Russian Federation

Abstract

One of the methods to improve the productivity of processing thin-walled non-rigid parts from heat-resistant nickel-based alloys is using carbide monolithic milling cutters with a coating based on titanium-silicon. **Purpose of the work** is to establish the most effective type of modern wear-resistant coating to improve the process efficiency and durability of the cutting tool when processing thin-walled heat-resistant non-rigid parts made of heat-resistant alloys. **The paper investigates** one of the methods for increasing the process efficiency of thin-walled non-rigid parts made of heat-resistant nickel-based alloys by using carbide monolithic cutters coated with titanium-silicon. **Methods.** The studies were carried out on existing technological equipment in the conditions of machining departments engaged in the manufacture of non-rigid parts of aircraft with an assessment of time and economic costs when changing the elements of the cutting mode and the values of the allowances to be removed. **Results and discussion.** It has been established that the use of tools with new coatings increases the durability period compared to traditional ones based on titanium nitride *AlTiN* up to 60 times during roughing and semi-finishing processing. At the same time, the likelihood of warping is reduced and a significant increase in process efficiency is ensured.

Keywords

Wear-resistant coating, heat-resistant alloys, high-performance processing, resistance period, monolithic milling cutter.

УДК 658.511

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ И КРИТЕРИИ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ

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

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

Стремительное развитие техники и технологий чаще создает большой спектр ситуаций, при которых создаются риски для всей деятельности предприятия. Именно в современных условиях рынка необходима эффективно подобранная и построенная производственная система, которая позволит выжить в условиях жесткой конкуренции и обеспечит прибыльность. Для таких ситуаций необходимо иметь модель, которая имеет возможность учитывать такие риски для оперативного реагирования. Проблему эту можно решить за счет применения средств автоматизации на основе применения информационных технологий. Целью исследования является анализ характеристик производственных систем промышленного предприятия, а также этапов их развития для последующего применения многокритериального анализа и оптимального выбора эффективной производственной системы в целом.

Ключевые слова: подготовка производства, производственная система, моделирование, автоматизация, многокритериальный анализ, сравнение.

Введение

Тенденции развития науки и техники накладывает свои сложности в организации процесса работы производственных систем многих промышленных предприятий. При этом понятие производственной системы и этапов ее развития до сих пор остаются не до конца раскрытыми и проработанными [1-4]. Чем и обуславливает актуальность данного исследования.

Основные трудности оптимизации решения проектирования производственных систем зависит от сложных технологических задач – большого количества влияющих факторов и отсутствия закономерностей. Математическое моделирование при проектировании производственных систем может играть очень важную роль, т.к. оно не требует больших затрат на проведение расчетов, тем более с увеличением производительности вычислительной техники, это происходит с минимальными затратами времени. Математическое моделирование позволяет сберечь ресурсы реальной системы, но при этом виртуально воспроизвести циклы производства [5-8]. Естественно наличие одной лишь модели на фоне постоянно изменяющейся внешней инфраструктуры не позволит быстро реагировать во времени, поэтому необходимо определить комплекс решений и конкретных действий в быстро изменяющемся мире и определять приоритетные на данный момент условия работы производственных систем. При этом это определяется с условием имеющихся ресурсов, или же обоснованными экономически затратами.

При организационно-технологической подготовке производственной системы возникают задачи, которые ориентированы на экономические критерии, которые накладывают определенные ограничения и переменные функции. Принятие любых решений сводится к расчету значения экстремума (максимума или минимума) числовой функции, называется задачей оптимизации. Задачи, которые встречаются в экономике в целом или же процессе организации любого производства, связаны с нахождением условного экстремума, когда нам необходимо найти максимум или минимум некоторой функции, называемой функционалом или целевой функцией, при известных ограничениях, накладываемых на ее переменные [9-10]. При этом в качестве целевой функции при решении экономических задач могут приняты объем производства, количество затрат на изготовление готовой продукции, сумма прибыли в зависимости от капиталовложений и вспомогательного и основного времени производства и т.д.

В связи с этим, целью исследования является анализ характеристик производственных систем промышленного предприятия, а также этапов их развития для последующего применения многокритериального анализа и оптимального выбора эффективной производственной системы в целом.

Теория

Последовательность выбора оптимального варианта производственной системы определяются перечисленными задачами проектирования: экономическими, техническими и организационными. Как правило, изначально решают экономические задачи – установление производственной программы подразделения (участка, цеха) и номенклатуры выпускаемых изделий, а потом переходят к решению технических задач в комплексе с организационными, т.е. параллельно с разработкой технологических процессов, выбором и размещением оборудования (основного и вспомогательного) должны решаться вопросы взаимосвязи как отдельных модулей в составе производственной системы, так и проектируемой производственной системы с другими цехами и службами предприятия, должна разрабатываться организационная структура управления производственными подразделениями. Затем вновь возвращаются к экономическим задачам оценки и сравнения основных и оборотных средств, себестоимости продукции, эффективности производства по альтернативным вариантам производственных систем. В ходе решения экономических задач могут корректироваться или даже меняться технические и организационные разработки с целью выбора оптимального варианта производственной системы для конкретных производственных условий.

Критерием оптимальности проекта производственной системы является рациональное для конкретных производственных условий сочетания основных показателей:

1) производительности;
2) уровня автоматизации;
3) надежности;
4) гибкости;
5) экономической эффективности.

Последний показатель является обобщенным, он определяется первыми четырьмя показателями и влияет на них.

Современный уровень развития техники позволяет достичь высоких показателей производительности, автоматизации и надежности производственной системы в целом и входящего в них оборудования. При проектировании любой системы следует исходить не из максимального, а из экономически целесообразного уровня производительности, автоматизации и надежности, которые в совокупности должны обеспечить достаточно

высокую эффективность данной производственной системы в конкретных производственных условиях.

Производительность является основным показателем, определяющим технико-экономическую эффективность производственной системы. От того, насколько больше деталей выдает система по сравнению с аналогичным числом эксплуатируемых раздельно станков, зависят затраты, связанные с реализацией сравниваемых вариантов.

Значение производительности неодинаково для производств с различной серийностью. Для мелкосерийного и единичного производства более важным показателем является гибкость системы, которая дает экономию времени (в результате сокращения вспомогательного и подготовительно-заключительного времени, а также потерь времени по организационно-техническим причинам), как правило, это время превышает экономию времени, получаемую путем интенсификации режимов обработки и сокращения производственного цикла станков.

Для среднесерийного производства высокая производительность системы более важна, чем гибкость, поскольку число переналадок в этом случае значительно меньше, чем в мелкосерийном производстве. Благодаря ограниченной номенклатуре изготавливаемых деталей в среднесерийном производстве, можно более тщательно отработать технологию и режимы резания, тем самым дополнительно повысить производительность станков.

При крупносерийном производстве создаются условия для применения в производственных системах многоинструментальных и многопозиционных станков, что обеспечивает требуемую в этом случае высокую производительность.

Уровень автоматизации технологического оборудования производственных систем, работающих в условиях мелкосерийного и единичного производства, определяется широкой номенклатурой изделий, малыми размерами партий запуска, непостоянством и разнообразием видом заготовок и материалов, возможностью появления внеочередных и срочных заказов и др. Контроль за общим состоянием ресурса режущего инструмента и его замена, переналадка оборудования, общий контроль за процессов обработки с последующим измерениями изделий и состоянием оборудования выполняется оператором, так как в условиях мелкосерийного и единичного производства автоматизация перечисленных операций экономически не выгодна [11-15]. Поэтому производственные системы с таким производством целесообразно комплектовать универсальными станками и полуавтоматами с ЧПУ. Для таких систем характерны: ручная (или механизированная) загрузка – выгрузка обрабатываемых деталей и автоматизированная доставка деталей (вместе с требуемыми режущим инструментом и оснасткой) к станкам.

В среднесерийном производстве возможно дальнейшее повышение уровня автоматизации и сведение к минимуму или полное исключение участия человека в производственном процессе. Сокращение номенклатуры обрабатываемых изделий и увеличение объема партий запуска позволяют компоновать такие производственные системы из модулей, в том числе автоматически переналаживающихся.

В крупносерийном производстве выгоднее использовать специализированные модули, состоящие из многоинструментных и многопозиционных станков с ЧПУ и программируемыми командоаппаратами. Для такого производства свойственны автоматизированные линии с организацией транспортно-технологического потока от станка к станку, которые обслуживаются промышленными роботами. В таком производстве операции переналадки станков выполняются редко, поэтому автоматизация в таких условиях не дает положительного эффекта.

Значимость показателя надежности производственной системы и ее оборудования тем больше, чем выше уровень автоматизации системы.

В мелкосерийном и единичном производстве надежная работа оборудования обеспечивается с участием человека, контролирующего производственный процесс и

имеющего возможность внести в него соответствующие коррективы или своевременно прервать его, не допуская отказов оборудования.

В средне- и крупносерийном производстве значительная часть оборудования работает в автоматическом режиме. В этом случае обязательно автоматическое поддержание его надежности работы, поскольку отказы приводят к длительным простоям [16]. Надежность производства в целом зависит не только от надежности производственного модуля, но и от надежности систем, обеспечивающих производственный модуль обрабатываемыми деталями, режущим инструментом, оснасткой и управляющей информацией.

Производственная система не должна останавливаться и прекращать выпуск продукции при выходе из строя и остановке отдельных производственных модулей и вспомогательных систем [17, 18]. Этому способствует модульный принцип построения системы: каждый модуль имеет индивидуальный накопитель заготовок, инструмента и оснастки и поэтому может автономно функционировать в автоматическом режиме в течение определенного времени. Автоматический производственный модуль должен иметь возможность функционирования и в полуавтоматическом режиме, например, при выходе из строя промышленного робота, измерительных установок и др.

Результаты и обсуждения

Таким образом, обеспечение высоких эксплуатационных показателей и экономичности производственной системы в конкретных производственных условиях достигаются системным подходом к обоснованному выбору показателей производительности, автоматизации, надежности и гибкости (переналаживаемости) входящего в производственную систему оборудования и подсистем.

Проектирование технологических процессов и систем является важнейшим этапом подготовки производства. Это сложный и творческий процесс, который основывается на использовании систематизированных справочных данных и определенных показателей каждой производственной системы. Эти данные должны соответствовать современному развитию технологии и техники. Поэтому проблемы выбора оптимального варианта проектирования любой производственной системы является важной и является актуальной. При проектировании мы должны понимать, что любые технологические решения могут и должны изменяться, корректироваться в ходе их осуществления на исполнительной фазе производства. Отсутствие плана действий в ходе проектирования производственных систем приводит изначально к провальному исходу. Сложность и трудоемкость всего процесса проектирования производственной системы заключается в сопоставлении эффективности и рентабельности нескольких вариантов. При этом сопоставление даже равноценных вариантов целесообразно производить и на промежуточных стадиях проектирования. Степень углубленности и структура производственной системы зависит от типа производства.

Вопрос о выборе вида того или иного типа производства зависит от выбора критерия оптимальности. Подобные экстремальные задачи возможно решить с помощью применения методов математического программирования. Ограничениями при решении подобных задач являются средства (ресурсы) конкретного производства на данный момент принятия решения, например, материальные, человеческие, финансовые. Применение методов математического программирования позволяет решать сложные задачи в короткие сроки и с наименьшей погрешностью. Математическое программирование дает возможность производству производить более качественный анализ с наименьшими затратами, при этом повысит его уровень и действенность. Все это приводит к улучшению планирования производства и повышению экономической эффективности системы.

На сегодняшний день существует множество систем анализа, основанных на оценке с использованием коэффициентов, учитывающих тот или иной вид производства и технологии. Однако они обладают недостатками, связанными с, например, варьированием показателей производства непосредственно в процессе или адаптацией под меняющиеся условия. Это ведет к повышению трудозатрат, расхода времени и ресурсов.

Систем, учитывающих конкретные условия производства, и ограниченные по времени и ситуации вариативного производства крайне мало. В связи с этим для решения таких систем нами предложена методика, основанная на многокритериальном анализе систем, имеющих различный приоритет для производства на момент принятия обоснованного решения, в зависимости от заданных пользователем показателей [19]. Выбор оптимального варианта решения основывается на ранжировании показателей по приоритетности конкретного производства и вида рассматриваемого объекта и системы. Использование данной методологии, позволяет учесть выше перечисленные факторы в различных условиях сопоставимости производства, алгоритмизировать их, а далее этот процесс автоматизировать [20].

Выводы

Современная технология машиностроения охватывает мультидисциплинарные области. В связи с этим подготовительная стадия производственной системы имеет важнейшее значение для любого предприятия, т.к. на этой стадии можно предварительно оценивать эффективность будущего производства и принимать стратегические решения, которые напрямую связаны с большими капиталовложениями. Знание основных закономерностей построения производственной системы и использование математических методов позволяет находить оптимальные решения с помощью автоматизированного проектирования. Применение предлагаемой методики позволяет учитывать критерии, характерные для определенных условий производства, оптимизировать процесс создания и формирования эффективной производственной системы с требуемыми свойствами, что значительно сократит временные показатели и материальные ресурсы.

Список литературы

1. *Амелин С.В.* Организация производства в машиностроении в условиях цифровой трансформации // Организатор производства. – 2020. – Т. 28. – № 1. – С. 17–23. – DOI: 10.25987/VSTU.2019.37.63.002.

2. Сравнительный многокритериальный анализ сложных технических и социальных систем в экономико-управленческом аспекте / Д.В. Панов, В.В. Малышев, С.А. Пиявский, Д.В. Ковков // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). – 2016. – Т. 7, № 2 (26). – С. 74–83. – DOI: 10.18184/2079-4665.2016.7.2.74.83.

3. *Родионова В.Н., Луценко М.С.* Организационные основы обеспечения гибкости производства в условиях развития инновационной деятельности // Организатор производства. – 2012. – № 4 (55). – С. 17–22.

4. *Лобанов Д.В. Никифоров А.С., Мулюхин Н.В.* Определение показателей и разработка методики для сравнительной оценки методов алмазного шлифования // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2020. – Т. 7, № 3-4. – С. 32–38.

5. Прогнозирование технических характеристик интегрального технологического оборудования / В.Н. Пушнин, Д.Ю. Корнев, Н.В. Вахрушев [и др.] // Труды Братского

государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. – 2014. – Т. 2. – С. 97–101.

6. *Борисов М.А., Лимонов С.Е.* Анализ и совершенствование роботизированного оборудования для исследований в области автоматизации производственных процессов // Современные технологии: проблемы и перспективы: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции для аспирантов, студентов и молодых ученых, Севастополь, 19–22 апр. 2022 г. – Севастополь, 2022. – С. 112–115.

7. *Лобанов Д.В. Рычков Д.А., Сидоренко С.А.* Повышение эффективности процесса подготовки производства изделий из композитов // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2017. – № 1 (74). – С. 20–29. – DOI: 10.17212/1994-6309-2017-1-20-29.

8. Автоматизация конструкторско-технологической подготовки производства на основе синхронного подхода / В.Ф. Макаров, В. Р. Туктамышев, С.В. Масленков [и др.] // Наукоемкие технологии в машиностроении. – 2014. – № 9 (39). – С. 35–39.

9. *Лобанов Д.В., Рафанова О.С., Владимирова Н.А.* Оценка экономичности лезвийной обработки композиционных материалов // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2021. – Т. 8. – № 3-4. – С. 30–35.

10. *Янюшкин А.С., Лобанов Д.В., Рычков Д.А.* Автоматизация инструментальной подготовки в условиях действующего производства // Актуальные проблемы современного машиностроения: сборник трудов международной научно-практической конференции, Юрга, 11–12 дек. 2014 г. – Юрга, 2014. – С. 42–46.

11. *Лобанов Д.В., Купцов М.В.* Этапы создания автоматизированного комплекса для систематизации и выбора режущего инструмента // Вестник современных технологий. – 2020. – № 2 (18). – С. 14–18.

12. *Лобанов Д.В., Янюшкин А.С., Мулюхин Н.В.* Этапы моделирования алмазного затачивания твердосплавного инструмента для обработки композитов // Вестник современных технологий. – 2018. – № 1 (9). – С. 47–52.

13. *Рычков Д.А., Лобанов Д.В., Алтангэрэл Г.* Расчет критериальных показателей производства при проведении сравнительного анализа конструкций режущих инструментов для обработки композиционных материалов // Механики XXI веку. – 2014. – № 13. – С. 51–55.

14. Формообразование режущего лезвия твердосплавного инструмента для обработки полимерных композиционных материалов традиционным алмазным шлифованием / Д.В. Лобанов, Н.В. Мулюхин, М.В. Купцов, А.С. Никифоров // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2020. – Т. 7, № 3-4. – С. 51–58.

15. *Лобанов Д.В., Янюшкин А.С., Рычков Д.А.* Автоматизированная система создания баз данных и многокритериального сравнительного анализа конструкций сборного фрезерного инструмента для обработки композиционных материалов // САПР и графика. – 2011. – № 3 (173). – С. 71–73.

16. Influence of the duration of current pulses on the roughness in the combined processing of corrosion steel 12H18N10T / D. Lobanov, M. Borisov, A. Yanyushkin, V. Skeeba // Key Engineering Materials. – 2022. – Vol. 910. – P. 397–402. – DOI: 10.4028/p-gu270a.

17. *Рычков Д.А., Лобанов Д.В., Смирнова Д.А.* Методика оптимизации режимов резания в интеллектуальной системе проектирования технологических процессов // Современные материалы, техника и технологии. – 2018. – № 4 (19). – С. 18–24.

18. *Лобанов Д.В., Владимирова Н.А., Рафанова О.С.* Особенности процесса лезвийной обработки полимерных композиционных материалов и формообразования режущего инструмента // Электрофизические методы обработки в современной промышленности: материалы IV международной научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Пермь, 14–15 дек. 2020 г. – Пермь, 2021. – С. 141–144.

19. *Lobanov D.V, Rafanova O.S.* Methodology for criteria analysis of multivariant system // Obrabotka metallov – Metal Working and Material Science. – 2023. – Vol. 25, iss. 1. – P. 85–97. – DOI: 10.17212/1994-6309-2023-25.1- 85-97. (In Russian).

20. *Янюшкин А.С., Рычков Д.А., Лобанов Д.В.* Повышение эффективности производства за счет автоматизации подготовки режущего инструмента // Наукоемкие технологии в машиностроении. – 2015. – № 4 (46). – С. 25–30.

SEQUENCE AND CRITERIA FOR CHOOSING THE OPTIMAL VARIANT OF THE PRODUCTION SYSTEM

Lobanov D.V., D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: lobanovdv@list.ru
Rafanova O.S., Post-graduate Student, e-mail: olesya-karamaeva89@mail.ru

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

Abstract

The rapid development of engineering and technologies often creates a wide range of situations, in which risks are created for the entire activity of the enterprise. It is in modern market conditions that an efficiently selected and created production system is needed, which will allow to survive in the face of fierce competition and ensure profitability. For such situations, it is necessary to have a model that has the ability to take into account such risks for a prompt response. This problem can be solved through the use of automation tools based on the use of information processing technology. The purpose of the study is to analyze the characteristics of the production systems of an industrial enterprise, as well as the stages of its development for the subsequent application of multi-criteria analysis and the optimal choice of an effective production system as a whole.

Keywords

Preparation of production, production system, modeling, automation, multi-criteria analysis, comparison.

УДК 621. 1

УСТРОЙСТВО ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СМЕНЫ ПОЛЯРНОСТИ ТОКА ПРИ ЗАТОЧКЕ БАРОВЫХ РЕЗЦОВ

М.А. БОРИСОВ[1], канд. техн. наук, доцент
А.С. ЗВОРЫГИН[2], инженер-технолог
([1] ЧГУ им. И. Н. Ульянова, г. Чебоксары,
[2]ФГУП "РФЯЦ - ВНИИЭФ", г. Саров)

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

В строительстве, при прокладке городских коммуникаций, а также иных земляных работах используются буровые машины, траншеекопатели основным рабочим инструментом которых является, например, резец марки РП-3 с напаянной на стальную державку твердосплавной пластиной. При длительной работе без заточки баровых резцов происходит катастрофический износ твердосплавной режущей пластины. Таким образом, резец подлежит замене на новый резец. Переточка резцов известными методами не рациональна, так как нужно обрабатывать разные материалы: стальную державку и твердосплавную пластину. Для этого требуется применение разных заточных кругов, например, алмазных кругов для обработки твердосплавной пластины и электрокорундовых кругов для обработки стальной державки, что увеличивает трудоемкость и стоимость заточки резцов, используемых в земляных работах. Этот недостаток можно устранить, если применить комбинированный метод электрохимического шлифования алмазным инструментом и изменять полярность тока при переходе от обработки твердого сплава к обработке стали. При обработке твердосплавной пластины она будет являться анодом, что позволит производить её разупрочнение. При обработке стальной державки анодом будет являться алмазный токопроводящий круг, что предотвратит его засаливание и позволит провести его электрохимическую правку. Цель работы - разработка программируемого устройства для автоматической смены полярности тока при заточке баровых резцов. Проведенные тестовые испытания подтвердили, что разработанное программируемое устройство автоматически управляет сменой полярности тока согласованно с работой станка с ЧПУ.

Ключевые слова: Электрохимическое шлифование, комбинированная обработка, электрохимическая правка инструмента, источник тока, алмазный инструмент, электрод, станок с ЧПУ.

Введение

В строительстве, при прокладке городских коммуникаций, а также иных земляных работах используются буровые машины, траншеекопатели основным рабочим инструментом которых является, например, резец марки РП-3 с напаянной на стальную державку твердосплавной пластиной.

В настоящее время отсутствует механизм восстановления работоспособности резцов РП-3 буровых и траншее-копательных машин. При длительном использовании резцы приходят в негодность ввиду высоких нагрузок при эксплуатации и работе в различных

типов грунта и почв. Режущая часть резцов затупляется. Ухудшается качество рабочих поверхностей инструмента [1-16]. Это влечет за собой снижение эффективности работы всего бурового инструмента и как следствие, повышению затрат на его эксплуатацию.

При длительной работе без заточки баровых резцов происходит катастрофический износ твердосплавной режущей пластины. Таким образом, резец подлежит замене на новый. Переточка резцов известными методами не рациональна, так как нужно обрабатывать разные материалы: стальную державку и твердосплавную пластину. Для этого требуется применение разных заточных кругов, например, алмазных кругов для обработки твердосплавной пластины и электрокорундовых кругов для обработки стальной державки, что увеличивает трудоемкость и стоимость заточки резцов, используемых в земляных работах.

Для уменьшения шероховатости поверхности и увеличения производительности заточки твердосплавных резцов применяют электрохимическое шлифование алмазными шлифовальными кругами на металлической связке с одновременной непрерывной правкой шлифовальных кругов [17-25].

Правка может быть периодической, если изменять полярность тока при переходе от обработки твердого сплава к обработке стали [26-29]. При обработке твердосплавной пластины она будет являться анодом, что позволит производить её разупрочнение. При обработке стальной державки анодом будет являться алмазный токопроводящий круг, что предотвратит его засаливание и позволит провести его электрохимическую правку.

Для автоматической смены полярности тока при переходе от обработки твердосплавной пластины к обработке стальной державки необходимо разработать программируемое устройство управления токовыми режимами электрохимической обработки и управляющую программу его функционирования.

Цель работы - разработка программируемого устройства для автоматической смены полярности тока при заточке баровых резцов.

Методика экспериментального исследования

В качестве объекта исследований выбрано устройство для электроабразивной заточки баровых резцов с электрохимической правкой абразивного токопроводящего инструмента. Методика проведения исследований предусматривает разработку устройства для автоматической смены полярности тока при заточке баровых резцов. Оценкой работоспособности разработанного устройства является возможность автоматического управления сменой полярности тока по заданной программе при переходе от обработки твердого сплава к обработке стали.

Схема функционирования разработанного нами устройства для автоматической смены полярности тока при заточке баровых резцов представлена на рис.1.

Источник тока 1 используется при электрохимической обработке металлического изделия 9. Источник тока 2 используется при электрохимической правке абразивного токопроводящего инструмента 8, установленного в инструментальную оправку 7. Блок коммутации токов 3, снабженный двумя твердотельными реле 4 и 5, предназначен для периодической подачи импульсов тока в электрические цепи для электроабразивной обработки изделия и электрохимической правки абразивного инструмента. В зону обработки подается электролит (на схеме не показан). Блок управления коммутацией токов 10 связан с блоком коммутации 3 и снабжен программируемым микроконтроллером. Вход твердотельного реле 5 соединен с отрицательным полюсом источника тока 1 для электроабразивной обработки изделия 9. Вход твердотельного реле 4 соединен с

отрицательным полюсом источника тока 2 для электрохимической правки абразивного токопроводящего инструмента 8 посредством электрода 6, установленного с зазором.

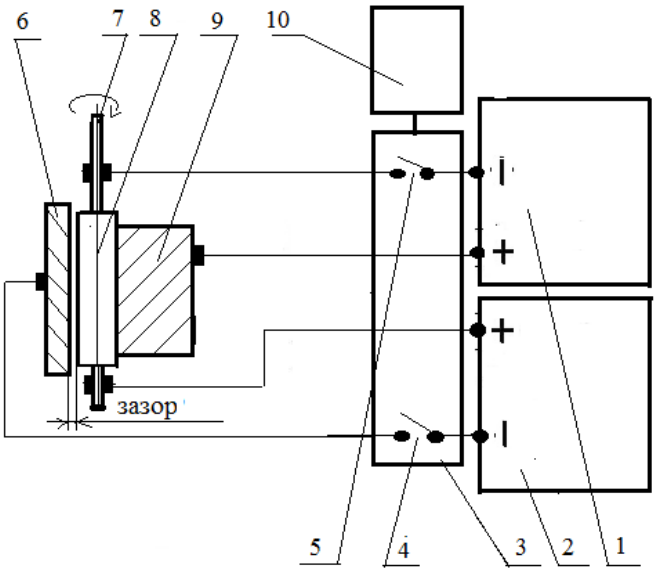


Рис. 1. Схема функционирования устройства
для автоматической смены полярности тока при заточке баровых резцов:
1, 2 – источники тока; 3 – блок коммутации токов; 4, 5 – реле;
6 – электрод; 7 – инструментальна оправка; 8 – инструмент; 9 – изделие.

На рис. 2 представлена фотография варианта исполнения блока реле устройства автоматического управления сменой полярности тока.

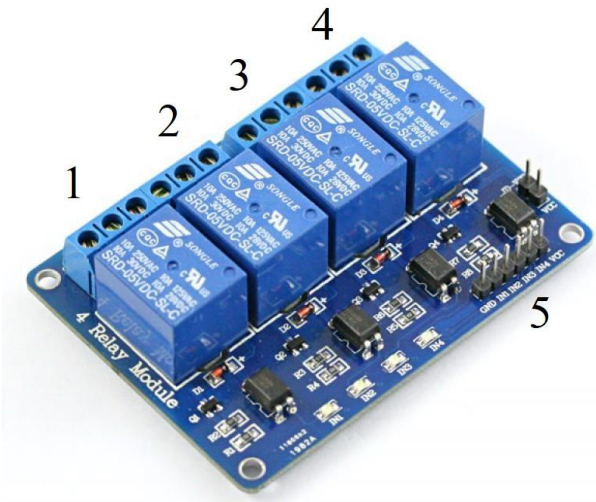


Рис. 2. Фотография блока реле устройства управления
сменой полярности тока:
1, 2, 3, 4 – реле; 5 – контактная группа подключения устройства.

В таблице приведены основные технические характеристики устройства для автоматической смены полярности тока при заточке баровых резцов.

Таблица

Основные технические характеристики устройства
для автоматической смены полярности тока при заточке баровых резцов

Наименование	Значение
Тип управления	электронное
Напряжение питания устройства	12-24 В.
Максимальная сила тока	3 А
Количество сохраняемых программ	Не ограничено
Масса устройства	1 кг
Габаритные размеры устройства	150x100x100 мм
Платформа программирования	Arduino
Язык программирования	C++
Способ изменения числовых параметров программы	клавишами с лицевой панели устройства или с помощью предустановленного «ПО» на ПК
Оборудование для программирования	персональный компьютер, USB-соединение
Диапазон температур использования устройства	от +10 до +50 градусов
Степень защиты оболочки	ГОСТ 14254-96, IP20

Результаты и их обсуждение

Исследования работоспособности устройства для автоматической смены полярности тока при заточке баровых резцов проводилось путем тестирования рабочей платы устройства управления, имеющую связь с ЧПУ станка. На рис.3 представлена фотография станка с ЧПУ для заточки баровых резцов. Он снабжен устройством для электроабразивной заточки баровых резцов с электрохимической правкой абразивного токопроводящего инструмента.

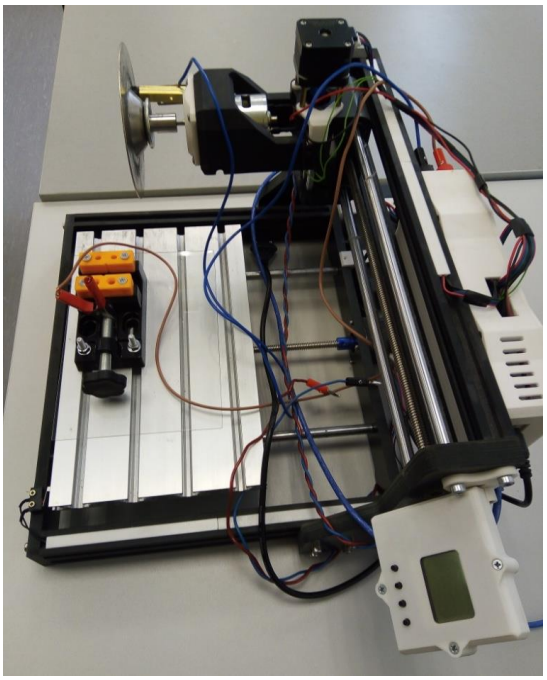


Рис.3. Фотография станка для заточки баровых резцов

Микроконтроллер передает сигналы от станка с ЧПУ к блоку реле по ранее назначенным командам (ретранслированный G-код). Имитируя процесс автоматической смены полярности тока при заточке баровых резцов, микроконтроллер по сигналу, через указанное время включает и выключает реле. Для контроля полярности тока и измерения напряжения был использован цифровой мультиметр. К блоку реле подключен источник питания напряжением 13,3В. Показания мультиметра при подключении одной пары реле соответствуют значению +13,3В. На рис. 4 представлены показания цифрового мультиметра в режиме «заточка».

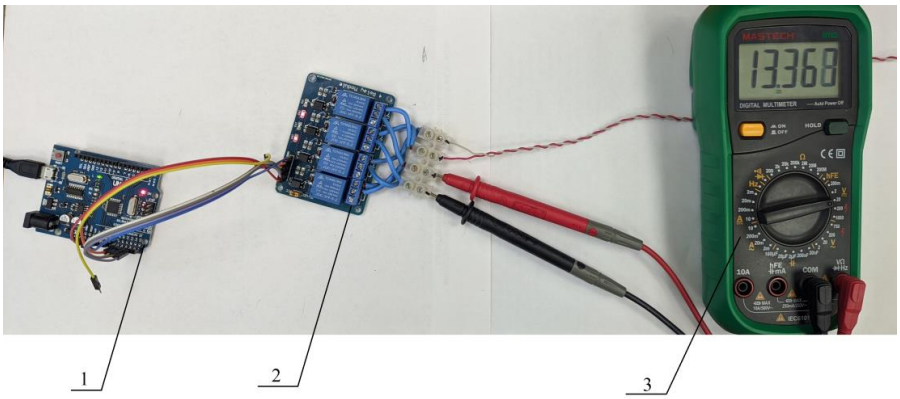


Рис. 4. Показания цифрового мультиметра в режиме «заточка»:
1 - микроконтроллер - ретранслятор команд; 2- блок реле;
3 - цифровой мультиметр.

Показания мультиметра при подключении другой пары реле соответствуют значению -13,3В. На рис. 5 представлены показания цифрового мультиметра в режиме «правка».

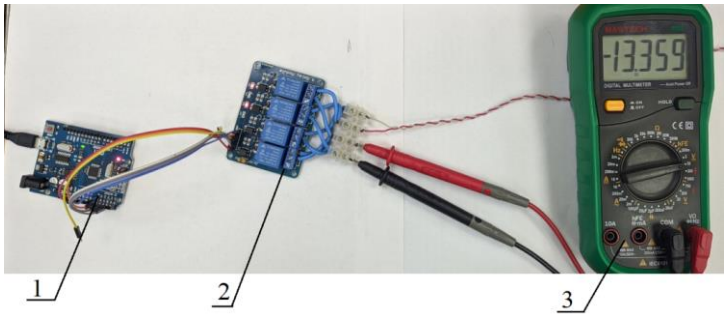


Рис. 5. Показания цифрового мультиметра в режиме «правка»:
1- микроконтроллер - ретранслятор команд; 2- блок реле;
3- цифровой мультиметр.

Результаты проведенных экспериментов подтверждают возможность использования разработанного устройства для автоматической смены полярности тока при заточке баровых резцов на станке с ЧПУ. Управление сменой полярности тока осуществляется согласованно с работой приводов станка.

Вывод

Проведенные тестовые испытания подтвердили, что разработанное программируемое устройство автоматически управляет сменой полярности тока согласованно с работой станка с ЧПУ. Это позволяет изменять полярность тока в требуемый момент времени, в том числе и при переходе от обработки твердосплавной пластины к обработке стальной державки баровых резцов.

Список литературы

1. *Борисов М.А., Николаев В.В.* Влияние режимов резания на шероховатость поверхности при электрохимическом шлифовании коррозионностойкой стали 12Х18Н10Т // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2021. – Т. 8, № 3-4. – С. 19–24.

2. *Борисов М.А., Зворыгин А.С.* Влияние электропроводности электролита на шероховатость при электрохимическом шлифовании стали 12Х18Н10Т // Современные технологии: проблемы и перспективы: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции для аспирантов, студентов и молодых ученых, Севастополь, 19–22 апр. 2021 г. – Севастополь, 2021. – С. 18–22.

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. *Янюшкин А.С., Лобанов Д.В., Рычков Д.А.* Автоматизация технологической подготовки производства при выборе режущего инструмента // Мир техники и технологий. – 2013. – № 6. – С. 36–38.

5. Исследование влияния электрических режимов на качественные и экономические показатели комбинированной электроалмазной обработки твердосплавных материалов / А.С. Янюшкин, Д.В. Лобанов, П.В. Архипов, В.Ю. Попов // Наукоемкие технологии в машиностроении. – 2015. – № 3 (45). – С. 22–29.

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. Integrated processing: quality assurance procedure of the surface layer of machine parts during the manufacturing step «diamond smoothing» / V.Y. Skeeba, V.V. Ivancivsky, A.K. Zhigulev [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 125. – Art. 012031. – DOI: 10.1088/1757-899X/125/1/012031.

8. Numerical simulation of temperature field in steel under action of electron beam heating source / V.Yu. Skeeba, V.V. Ivancivsky, N.V. Martyushev [et al.] // Key Engineering Materials. – 2016. – Vol. 712. – P. 105–111. – DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.712.105.

9. *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: сборник материалов II международной научно-практической конференции, Чебоксары, 11–14 окт. 2016 г. – Чебоксары, 2016. – С. 234–237.

10. *Иванцивский В.В., Рахимянов 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. *Скиба В.Ю. Иванцивский В.В.* Гибридное металлообрабатывающее оборудование: повышение эффективности технологического процесса обработки деталей при интеграции поверхностной закалки и абразивного шлифования: монография. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2018. – 312 с. – ISBN: 978-5-7782-3690-5.

12. 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. – DOI: 10.3103/S1068798X08050109.

13. *Popov V.Yu., Arkhipov P.V., Rychkov D.A.* Adhesive wear mechanism under combined electric diamond grinding // MATEC Web of Conferences. – 2017. – Vol. 129. – Art. 01002. – DOI: 10.1051/matecconf/201712901002.

14. *Bratan S., Roshchupkin S., Revenko D.* Probabilistic approach for modeling electroerosion removal of grinding wheel bond // Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 206. – P. 1426–1431. – DOI: 10.1016/j.proeng.2017.10.656.

15. *Yanyushkin A.S., Lobanov D.V., Arkhipov P.V.* Research of influence of electric conditions of the combined electro-diamond machining on quality of grinding of hard alloys // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2015. – Vol. 91. – Art. 012051. – DOI: 10.1088/1757-899X/91/1/012051.

16. *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. – DOI: 10.3103/S1068798X10110110.

17. *Борисов М.А., Лимонов С.Е.* Разработка программно-аппаратного комплекса для осуществления автоматической ориентации правящего катода // Современные технологии: проблемы и перспективы: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции для аспирантов, студентов и молодых ученых, Севастополь, 19–22 апр. 2021 г. – Севастополь, 2021. – С. 37–41.

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

19. *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. – DOI: 10.3103/S1068798X09070223.

20. *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.

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. *Солер Я.И., Казимиров Д.Ю., Гайсин С.Н.* САПР оптимизации чистового шлифования плоских деталей 13Х15Н4АМ3 переменной жесткости по критерию шероховатости // Новые материалы и технологии в машиностроении. – 2005. – № 4. – С. 127–134.

23. *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. – DOI: 10.3103/S1068798X07120180.

24. *Popov V., Rychkov D., Arkhipov P.* Defects in diamonds as the basic adhesion grinding // MATEC Web of Conferences. – 2017. – Vol. 129. – Art. 01003. – DOI: 10.1051/matecconf/201712901003.

25. *Архипов П.В., Потапова Г.Е.* Твердосплавные материалы и методы их обработки // Механики XXI веку. – 2012. – № 11. – С. 220–222.

26. *Борисов М.А., Лобанов Д.В.* Программируемое устройство для управления электрическими параметрами комбинированной обработки высокопрочных материалов // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2021. – Т. 8, № 1-2. – С. 14–21.

27. Патент 213906 U1 Российская Федерация, МПК B23H 5/08. Устройство для электроабразивной обработки металлического изделия с электрохимической правкой абразивного токопроводящего инструмента / М.А. Борисов, А.С. Зворыгин. – № 2022105238; заявл. 25.02.2022; опубл. 04.10.2022.

28. Исследование процесса автоматического управления сменой полярности тока в условиях гибридной технологии электрохимической обработки коррозионно-стойких сталей / М.А. Борисов, Д.В. Лобанов, А.С. Янюшкин, 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.

29. *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.

DEVICE FOR AUTOMATIC CHANGE OF CURRENT POLARITY WHEN SHARPENING BAR CUTTERS

Borisov M.A.[1], Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: borisovmgou@mail.ru
Zvorygin A.S.[2]**,** Advanced manufacturing engineer, e-mail: zvor95@yandex.ru

[1]I.N. Ulianov Chuvash State University, 15 Moskovsky Prospekt, Cheboksary, 428015, Russian Federation
[2]All-Russian Research Institute of Experimental Physics FSUE RFNC-VNIIEF, 37 Mira Ave., Sarov, 607188, Russian Federatio

Abstract

In the construction industry, when laying urban communications, as well as other earthworks, drilling machines and trenchers are used, whose main working tool is, for example, a cutter of the *RP-3* brand with a hard-alloy insert soldered onto a steel holder. With long-term work without bar cutters sharpening, catastrophic wear of the carbide cutting insert occurs. Thus, the cutter requires to be replaced with a new one. Regrinding of cutters by known methods is not rational, since it is necessary to process different materials: a steel holder and a carbide insert. This requires the use of different grinding wheels, for example, diamond wheels for processing a carbide insert and electrocorundum wheels for processing a steel holder, which increases the labor intensity and cost of cutters sharpening used in trenchers. This shortcoming can be eliminated by applying the combined method of electrochemical grinding with a diamond tool and changing the polarity of the current during the transition from hard alloy machining to steel machining. When processing a hard-alloy insert, it will be an anode, which will allow its softening. When processing a steel holder, the anode will be a diamond conductive wheel, which will prevent its clogging and allow its electrochemical dressing. **The purpose of the work** is to develop a programmable device for automatic change of current polarity when sharpening bar cutters. A device for electroabrasive sharpening of bar cutters with electrochemical dressing of an abrasive conductive tool was chosen as **the object of research**. **The research methodology** provides for the development of a device for selfacting changing the polarity of the current when sharpening bar cutters. Evaluation of the working capacity of the developed device consists in the possibility of automatic control of the current polarity reversal according to a given program during the transition from hard alloy processing to steel processing. The tests carried out confirmed that the developed programmable device automatically controls the current polarity reversal in accordance with the operation of the *CNC* machine.

Keywords
Preparation of production, production system, modeling, automation, multicriteria analysis, comparison.

УДК 621. 927:664

ОСНОВЫ ТЕОРИИ РАСЧЕТА МОЛОТКОВЫХ ДРОБИЛОК. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛАВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ

В.А. КЕРЖЕНЦЕВ, канд. техн. наук, доцент
Н.В. ПЕРОВА, ст. преподаватель
(НГТУ, г. Новосибирск)

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

Приведено обоснование проектирования молотковых дробилок при использовании их математической модели. Определены размеры дробильного механизма по ударному фактору, способному раскалывать частицы, и рассчитаны плотности в секторах, являющимися зонами измельчения. Исследование проведено на основе реального разложения дисперсного состава частиц по фракциям, получаемым на выходе из дробилки. Представлена функционально-структурная схема движения потока частиц при их дроблении по стадиям процесса изменения плотности. Соединены уравнения механики методом функционально-логических связей с уравнениями плотности частиц в секторах, что позволило скорректировать производительность дробилки непосредственно в процессе расчетов. Представлена методика проектирования молотковых дробилок в соответствии с заданными исходными параметрами.

Ключевые слова: дробилка, частица, зона дробления, молоток, ударный фактор, диаметр ротора, плотность массы.

Введение

Проектирование дробилок связано с определением размеров частиц после их измельчения. Реальные размеры частиц определяют на выходе из дробилки по их фракционному составу. В учебнике по пищевой инженерии [1] указано, «что в настоящее время не существует теории для расчета молотковых дробилок и мельниц» и нет общей методики для такого расчета. В данной статье предложено проектирование дробилок на основе применения метода функционально-логических связей [2]. Метод предлагает разработку функций, связующих между собой процесс измельчения частиц с уравнениями классической механики, приводящих к определенному составу частиц на выходе дробилки.

При измельчении образуются массы частиц со своими свойствами. Одно из свойств – изменение плотности масс частиц при уменьшении их размеров. Другое свойство – изменение «удельного пространства» в зонах дробления по мере заполнения секторов вновь образуемыми частицами. Эти свойства формируют состав частиц на выходе из дробилки, что дает возможность введения моделирующих функций в методику расчетов.

Предпосылками применения функционально-логического метода исследования к дробилкам служат классические уравнения механики [1, стр. 429], [2-4], содержащие формулы по расчету производительности дробилок, диаметра их ротора, размеров молотков и др., приводящие к неверным результатам. Предлагаемая в данной статье методика проектирования разработана по математической модели дробилки [5]. В результате классические уравнения механики вводятся составной частью в предлагаемый метод

исследования с помощью логических связей в механических устройствах, что приводит к более широким функциональным исследованиям устройств.

Рассмотрим схему молотковой дробилки ЕНД-9114, применяемую для дробления сыпучего твердого продукта (например, сахарного песка в пудру, рис. 1), аналогичной дробилке А2-ШИМ.

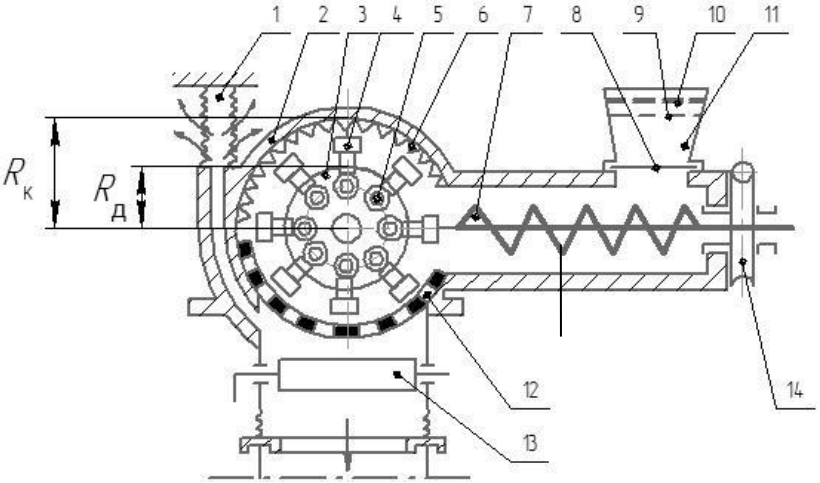


Рис. 1. Общая схема молотковых дробилок:
1 – тканный фильтр; 2 – камера; 3 – диск ротора; 4 – молотки; 5 – ось подвеса молотков; 6 – дека с зубцами; 7 – подающий шнек; 8 – шибер; 9 – сетка; 10 – решетка; 11 – загрузочная воронка;12 – ситовая (рамка); 13 – сборная емкость; 14 – червячная передача

Цель исследования: Определить главные параметры структурно-функциональной схемы молотковой дробилки по ее математической модели и разработать расчетные уравнения для проектирования.

Теория

Как показали предварительные исследования молотковых дробилок, требуется новый подход к их проектированию для ответа на вопросы: как молотки взаимодействуют с частицами разных продуктов, какой силы должен быть удар молотка, какие воздействия возникают между молотками и частицами в момент удара, как формируются потоки частиц разных степеней измельчения, какие взаимосвязи существуют между этими степеням и плотностями масс частиц и какие расчеты необходимо провести? Для этого в статье разработаны теоретические основы построения процесса измельчения молотками, базирующиеся на анализе реального дисперсного состава частиц, получаемого на выходе из дробилки.

Поток частиц в дробилке схематично изображен на рис. 2, на котором показано изменение массовой производительности $Q_{мас}$ (кг/ч) при изменении объемной $Q_{об}$ (м^3/ч). При этом на разных стадиях процесса производительность $Q_{мас}$ и плотность частиц ρ (кг/м^3), приобретают соответствующие значения.

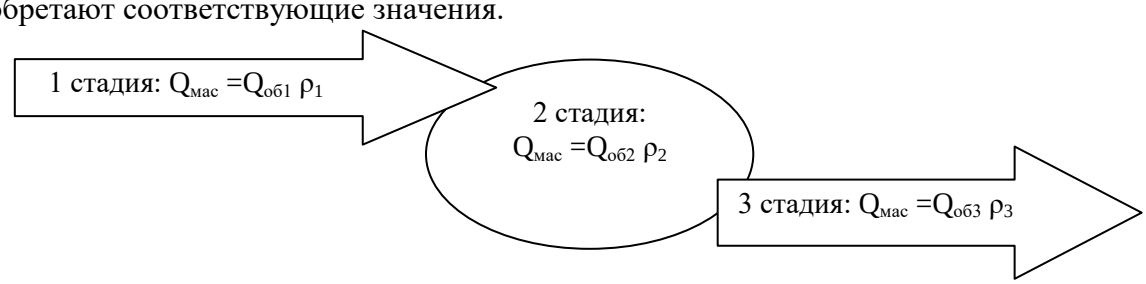


Рис. 2. Функциональная схема изменения производительности при изменении плотности на разных стадиях процесса измельчения

Процесс измельчения можно представить так, что производительность будет иметь одну и ту же величину, но разные плотности на разных стадиях измельчения:

$$Q_{мас}=Q_{об1}\rho_1 =Q_{об2}\rho_2= Q_{об3}\rho_3 \quad (1)$$

Плотность ρ частиц в дробилке может быть выражена в двух размерностях: (кг/м^3) или (г/дм^3), отличающихся одна от другой на 1000 единиц: $1\cdot\rho$ (кг/м^3) = $1000\cdot\rho$ (г/дм^3). Используя эту схему и необходимые размерности, можно разработать расчетные уравнения, учитывая, что расчеты по новым уравнениям приведут к реальному дисперсному составу. Здесь проявляются элементы обратной связи, расширяющие расчетные возможности проектирования методами функционально-логических связей. Приведем расчеты, разработанные с использованием этих методов, [2]. Рассмотрим техническую характеристику молотковой дробилки ЕНД-9114, [1, стр. 431], табл. 1.

Таблица 1

Параметры дробили ЕНД-9114 при дроблении сахарного песка в пудру

Исходные параметры ТХ дробилки ЕНД-9114		Начальные параметры, рассчитанные по данным ТХ, необходимые для расчетов дробилки ЕНД-9114					
1	2	3	4	5	6	7	8
Произво-дитель-ность, Q, кг/ч	Частота вращения, ω $n=30\omega/\pi$	Время оборота, $t_{об}$, с	Число оборотов ротора в секунду	Объем камеры V_k, дм^3	Объем сектора, дм^3	Масса частиц в камере, г	Масса частиц в секторе, г
1000 кг/ч =278 г/с	420 рад/с =4012,5 *мин*$^{-1}$	$t_{об}$=0,015 с	n_c=66.9 об/с	$V_к$=5,2 дм^3	$V_с$ =0,65 дм^3	$M_к$=4,155 г	$M_с$=0,519 г

Значения производительности Q дробилки заданы в графе 1 таблицы 1 и проверены расчетом по классической формуле, имеющей вид:

$$Q = k_1\rho D^2 L\omega \quad (2)$$

где D, L – диаметр и длина ротора, м; ρ – плотность исходного продукта, кг/м^3; ω – частота вращения ротора, рад/с; k_1 – опытный коэффициент, зависящий от диаметра (для отверстий до 3 мм равен (1,3…1,7)10^{-4}) и от типа отверстий, расположенных в ситовой рамке 12, рис. 1.

Результаты расчетов по формуле (1) показывают, что величины параметров, требуемые для раскола частиц, не соответствуют закону, именуемому в теории удара «законом изменения количества движения», [6]. Расчет показывает, что для раскола частицы сахарного песка молоток должен иметь силу удара P = 357 Н и скорость удара v = 80 м/с [7], но сила удара на плече $R = D/2$ не соответствует этому. В формуле (1) не хватает связующего элемента между плечом удара и величиной производительности. Следует пересмотреть формулу (1) с учётом ввода такого элемента, как «ударный фактор (J)», соответствующий указанным условиям дробления сахарного песка. Пересмотр формул приведен в табл. 2, в которой рассчитан ударный фактор J и приведены преобразования формулы (1), обеспечивающие выполнение закона сохранения количества движения при дроблении.

Таблица 2

Результаты расчета конструктивных параметров дробильного механизма ЕНД-9114 по ударному фактору *J* (для частиц сахарного песка)

Параметр (действующая Функция)	Функция и ее численное значение	Пояснения при действии функции
1.Ударный фактор *J* раскола частицы. Рассчитывается согласно закону сохранения количества движения при разрушении частицы ударом молотка.	$J = \frac{P}{v}$ = 4,46 кг/с	Фактор *J* равен второй части указанного закона $J = \frac{m}{\tau}$ (кг/с) и при соответствующих значениях *m* (кг) и *τ* (с) имеет ту же величину.
2.Плечо удара $R_б$, зависящее от величины фактора *J* . Определяется на рабочем конце молотка по максимальной линейной скорости его *v* = 80 (м/с) и при обеспечении силы удара *P*=357, Н, см. рис.1	$R_б = \frac{P}{J_б \omega_б}$ =0.190 м	Размер плеча удара определяет диаметр ротора *D* по соотношению *D*=2*R* и новую формулу производительности, см. строку 4.
3.Частота вращения ротора. Определяется размером плеча удара по частице.	$\omega_б = \frac{P}{J_б R_б}$ = 420 рад/с	Частота соответствует заданной величине, см. табл.1.
4.Расчетная производительность дробилки. Она получена по условиям дробления, указанных в строках 1, 2, 3 и при исходной плотности частиц смеси $\rho_и$ = 900 (кг/м^3), поступившей на измельчение извне, k_2 – коэффициент длины ротора.	$Q_б = \rho_и (2R_б)^3 \frac{P}{J_б R_б} k_1 k_2$ $Q_б = 1{,}505$ кг/с	Расчетная производительность оказалась больше заданной (см. табл. 1). Требуется ее коррекция (см. строку 5) путем изменения плотности $\rho_и$ шнеком 7; k_2 = 0,48– коэффициент длины ротора, равный отношению *L*/*D*
5.Коэффициент *λ* коррекции производительности, рассчитываемый по соотношению производительностей.	$\lambda = Q / Q_б$ = 5,42	Коэффициент коррекции является числом, снижающим *исходную* плотность смеси до *начальной*
6. Плотность смеси, вводимой в секторы в 1-м шаге цикла измельчения вместо *исходной* плотности $\rho_и$ = 900 г/дм^3 , корректируемой по коэффициенту *λ,* рассчитанный в строке 5.	$\rho_н = \frac{\rho_и}{\lambda}$ $\rho_н$ =166,1 г/дм^3.	Новая плотность $\rho_н$ = 166,1 г/дм^3 обеспечивают коррекцию производительности до заданной (см. строку 7) при подаче шнеком продукта
7.Формула расчета нового значения производительности по *начальной* плотности $\rho_н$ частиц, подаваемой шнеком в секторы на 1-м шаге процесса измельчения.	$Q_б = \rho_и (2R_б)^3 \frac{P}{J_б R_б} k_1 k_2$ $Q_б = Q$ = 278 г/с	Проверка новой формулы, производительности, скорректированной по коэффициенту *λ*, (соответствует заданной, см. табл.1).
8.Проверка диаметра ротора, рассчитанного в соответствии с новой *начальной* плотностью ($\rho_б$ = 166,1 г/дм$^{3)}$.	$D_б = (\frac{Q_б J_б}{2\rho_н k_1 k_2 P \cdot 1000})^{0,5}$ $D_б$=0,381 м	Радиус ротора (*D*/2) равен значению строки 2, но рассчитанной по новой (*начальной*) плотности $\rho_б$. Вывод – *начальную* плотность 166,2 г/дм можно вводить в расчет.

Приведенные в табл. 2 результаты расчетов, показывают, что для ударного фактора *J*, способного раскалывать частицы сахарного песка, диаметр ротора должен иметь размер *D* =

$2 \cdot R$ = 0,381 м. Однако в этом случае расчетная производительность получается больше заданной (1505 г/с – строка 4). Вводим в расчет коэффициент λ, изменяющий плотность *исходной* смеси продукта, подаваемую в секторы, с $\rho_и$ = 900 г/дм^3 на $\rho_н$ = 166,1 г/дм^3 (*начальную*). Такое изменение плотности приводит значение производительности на выходе из дробилки к заданной (278 г/с, табл.1). Если необходимо иметь на выходе из дробилки другую производительность, то нужно ввести соответствующее значение коэффициента λ. *Начальную* плотность можно обеспечить подающим шнеком 7 (рис.1), спроектированной на подачу продукта с такой плотностью (166,1 г/дм^3) на входы секторов.

Расчет плотности в секторах связан с определением объема секторов и зависит от диаметра ротора *D*. Функционально-логический метод позволяет вычислить этот объем как функцию $V_с = f(D)$ по одним и тем же формулам для любого значения *D*. В этом проявляется сущность функционально-логического метода, достоинством которого является то, что вместо сахарного песка можно рассчитывать по тем же формулам процесс измельчения частиц любого другого вещества, с другими физико-механическими свойствами (другое значение фактора *J*). При этом размеры звеньев механизма дробления пропорционально изменятся при замене диаметра ротора *D* новым его значением. В табл. 3 приведен результат расчета объема камеры и секторов как зон измельчения.

Таблица 3

Результат расчета объемов камеры и сектора

Параметры и зависимости между ними	Формула	Дробилка ЕНД-9114	Значения коэффициентов
1.Радиус камеры ротора *R*	$R_к = R$	0,195 м	$H = k_2 \cdot D$ = 0,48·*D* – длина ротора
2.Радиус диска ротора от оси подвеса до центра вращения диска (приближенный расчет)	$R_д = 2R/3$	$R_д$= 0,137 м	
3.Размер пространства между декой и диском	$\theta = R - R_д$	$\theta = 0{,}058$ м	
4.Объем пространства между декой и диском (объем камеры дробилки)	$V_к = \pi\theta H \cdot (2R_д + \theta)$	$V_к$=0,0052м^3 =5,2 дм^3	
5.Объем сектора (8 секторов в камере)	$V_с = V_к/8$	0,65 дм^3	

В строке 4, табл. 3, приведены результаты расчета объема свободного пространства между декой и диском 3 (рис.1). Но так как в камере размещено 8 секторов (8 зон измельчения), то каждый сектор имеет объем, равный 1/8 камеры, то есть $V_с$=0,65 дм^3.

Интересен результат наполнения секторов массами частиц при подаче в них шнеком продукта плотностью 166,1 г/дм^3. Так как в секторы за 1 секунду поступает из шнека смесь частиц, массой 278 г, имеющая плотность 166,1 г/дм^3, а в одну секунду осуществляется 66,9 оборотов (табл.1) ротора, то в камеру будет подано 278/66,9 = 4,15 г массы. Тогда в один сектор поступает 4,15/8=0,519 г продукта. Если сравнить этот результат с данными табл. 1, то он соответствует *начальным* параметрам, указанным в табл.1. Рассчитанная плотность продукта, подаваемая шнеком, вполне соответствует теории измельчения частиц молотковыми дробилками. Следовательно, при проектировании дробилки можно оперировать величиной производительности, корректируя ее в ходе расчетов в соответствии с заданной в ТХ. Другие размеры дробильного механизма могут быть рассчитаны по методике [8].

Приступая к расчетам плотности масс частиц в секторах, можно предположить, что плотность увеличивается, так как увеличивается густота частиц за счет прибавки дополнительного их числа при измельчении. Расчет плотностей довольно сложен, но можно предложить упрощенный вариант расчета при небольшой потери точности. Дальнейшее исследование позволило обе системы: механическое измельчение и «удельную плотность массы частиц» связать моделирующими функциями в единую систему динамического потока и представить эти функции в виде числовых рядов. [2]. Числовые ряды для дробилок – это распределение по шагам измельчения значений фракций дисперсного состава частиц.

Исходя из этого, можно ввести замену опытного коэффициента k_1 в формуле производительности (1), на функцию:

$$k_1 = \frac{\rho_{\text{н}}}{(I_m)^x} \tag{3}$$

Тогда изменённая формула производительности примет вид:

$$Q = (2R_{\text{б}})^2 \; k_2 \frac{P}{J} \frac{\rho_{\text{н}}}{(I_m)^x} \tag{4}$$

где k_2 – отношение L/D (см. строку 4 в табл. 2); I_m – суммарная степень измельчения по числу шагов m (например, в [2, табл. 4] – это число шагов или степеней измельчения, i = 5); x – коэффициент перевода линейных размеров частиц в объемные при расчете фракционного состава.

Важно: степень измельчения вычисляется или по линейным размерам частиц или по объемному (процентному) содержанию масс частиц во фракциях; при этом не всегда между ними существует чисто линейная зависимость. Здесь требуются дополнительные исследования по прохождению частиц через отверстия сита, и как влияет размерность частиц на величину производительности.

Результаты и обсуждение

Проектирование основано на расчете диаметра ротора по ударном фактору J и на определении дисперсного состава фракций частиц на выходе из дробилки. Расчетные формулы, теоретически выведенные в статье, приводят к такому же дисперсному составу частиц на выходе из дробилки, который является первоначальным для разработки данного метода проектирования с применением функционально-логических связей. Расчет параметров структурно-функциональной схемы дробилки можно выполнить по такой методике:

1. Формируют табл. 1. с заданными параметрами ТХ.
2. Определяют ударный фактор для частиц измельчаемого вещества (табл. 2).
3. Определяют размеры дробильного механизма и рассчитывают объемы секторов как зон измельчения, (табл. 3).
4. Находят значение плотности частиц, подаваемых шнеком на 1–м шаге процесса для приведения производительности к заданному в ТХ значению (строка 6, табл. 2).

Определяют в формуле (3) неизвестные величины I, m – как факторы структурой схемы проектируемой дробилки; и далее формируют показатель x степени измельчения частиц в формуле (4).

Вывод

Приведенные выше математические расчеты подтверждают возможность проектирования молотковых дробилок функционально-логическими методами и могут служить основой для теории числового расчета параметров.

Список литературы

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

2. *Керженцев В.А., Перова Н.В* Особенности структуры молотковой дробилки, определяемые по моделирующим функциям процесса измельчения пищевых смесей // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2022. – Т. 9, № 1-2. – С. 38–46.

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

4. *Курочкин А.А.* Основы расчета и конструирования машин и аппаратов перерабатывающих производств. – М.: КолосС, 2006. – 316 с.

5. *Керженцев В.А., Перова Н.В.* Математическое моделирование процесса измельчения сыпучего продукта по структурным составляющим молотковой дробилки // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2022. – Т. 9, № 1-2. – С. 54–60.

6. *Березкин Е.Н.* Курс теоретической механики. – М.: Изд-во Московского университета. – 1974. – 648 с.

7. Лабораторный практикум по технологическому оборудованию пищевых производств: учебное пособие / С.Т. Антипов, А.М. Гавриленков, В.Е. Добромиров [и др.]. – Воронеж: Воронеж. гос. технол. акад., 1999. – 439 с.

8. Технологическое оборудование пищевых производств. Механическое оборудование: методические указания к выполнению лабораторно-практических работ для студентов 3–4-х курсов МТФ направления 15.03.02 «Технологические машины и оборудование» всех форм обучения / сост. В.А. Керженцев. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2019. – 86 с.

FUNDAMENTALS OF THE THEORY OF HAMMER CRUSHERS CALCULATION. DETERMINATION OF THE MAIN PARAMETERS OF STRUCTURAL AND FUNCTIONAL SCHEME

Kerzhencev V.A., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: kerjencev46@ngs.ru
Perova N.V., Senior Lecturer, e-mail: perova@corp.nstu.ru

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

Abstract

The rationale for the design of hammer crushers with using its mathematical model is given. The dimensions of the crushing mechanism are determined by the impact factor capable of splitting particles. The densities in sectors that are breakage zones are calculated. The study is carried out on the basis of real decomposition of the dispersed composition of particles into fractions obtained at the outlet of the crushers. The functional-structural scheme of the particles flow during its crushing according to the stages of the process of changing the density is presented. The equations of mechanics are connected by the method of functional-logical connections with the equations of particle density in sectors, which made it possible to correct crusher performance directly in the calculation process. A method for designing hammer crushers in accordance with the given initial parameters is presented.

Keywords
Crusher, particle, crushing zone, hammer, impact factor, rotor diameter, mass density.

УДК 62.52

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ РОБОТИЗИРОВАННОГО СБОРОЧНО-СОРТИРОВОЧНОГО СТЕНДА

М.А. БОРИСОВ[1], канд. техн. наук, доцент
С.Е. ЛИМОНОВ[2], аспирант
([1]ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары,
[2] НГИЭУ Княгининский университет, г. Княгинино)

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

По мере развития технологий традиционные области инженерии сливаются и адаптируются к новым задачам. Мехатроника находит применение во многих областях, включая автомобильную промышленность, энергетику, медицину, производство и многие другие отрасли. Робототехника является очень динамично развивающейся областью, и сегодня роботы находят применение во многих отраслях. Мехатроника и робототехника тесно связаны друг с другом и составляют важную область современной техники и науки, которая продолжает развиваться и находить все новые применения в различных отраслях. Следовательно, формирование и использование робототехники и мехатроники должно быть продумано с первых этапов инженерных учебных программ, чтобы инженеры были готовы в короткое время освоить профессиональную деятельность и умело обращаться с инновационными роботизированными системами. В качестве объекта исследований был выбран сборочно-сортировочный стенд. Целью работы является усовершенствование конструкции сборочно-сортировочного стенда для расширения его технологических возможностей и применения оборудования для теоретических и практических исследований в области робототехники. В ходе выполнения работы разработана схема управления стендом, проведена модернизация его конструкции и проведены испытания его работоспособности. Установлено, что усовершенствованная конструкция роботизированного сборочно-сортировочного стенда позволяет использовать его в качестве учебного стенда по робототехнике.

Ключевые слова: Роботизированный комплекс, мехатроника, робототехника, системное наблюдение, программируемое устройство, микроконтроллер, управляющая программа, программирование

Введение

По мере развития технологий традиционные области инженерии сливаются и адаптируются к новым задачам. Мехатроника – это совмещение механики, электроники и программного обеспечения в системах автоматического управления, используемых в машиностроении, электронике, робототехнике и других отраслях [1-9]. Она объединяет знания и навыки механики, электроники, информационных технологий, робототехники, автоматизации производственных процессов и разработке программных комплексов [10-14].

Робототехника – это область техники и науки, занимающаяся проектированием, разработкой, конструированием и созданием роботов. Роботы - это автоматические

устройства, способные выполнять различные задачи вместо человека или совместно с ним. Робототехника является очень динамично развивающейся областью, и сегодня роботы находят применение во многих отраслях. Например, промышленные роботы могут выполнять опасные или тяжелые виды работ, что улучшает условия труда для человека. В образовании робототехника помогает развивать навыки программирования и технического творчества у обучающихся.

Мехатроника и робототехника тесно связаны между собой, так как роботы являются примером комплексной мехатронной системы. Роботы, как правило, содержат множество компонентов, таких как механизмы, электроника, сенсоры, приводы и программное обеспечение. Все эти компоненты должны работать совместно, чтобы робот мог выполнять свои функции.

Таким образом, оптимальная работа роботизированных систем требует, как на этапе проектирования, так и на уровне эксплуатации, чтобы все компоненты были полностью изучены. Это требует соответствующих знаний различных инженерных наук. Следовательно, формирование и использование робототехники и мехатроники должно быть продумано с первых этапов инженерных учебных программ, чтобы инженеры были готовы в короткое время освоить профессиональную деятельность и умело обращаться с инновационными роботизированными системами.

Робототехника требует разграничения ролей практикующих и опытных инженеров. Практикующие инженеры должны уметь эксплуатировать и/или адаптировать роботизированные системы в определённых областях. Инженеры-эксперты должны иметь возможность внедрять инновации в такие системы. Эти два уровня компетентности относятся к разным уровням формирования: краткосрочный с практическими способностями и долгосрочный с изобретательскими и инновационными способностями.

Целью работы является усовершенствование конструкции сборочно-сортировочного стенда для расширения его технологических возможностей и применения оборудования для теоретических и практических исследований в области робототехники.

Методика экспериментального исследования

В качестве объекта исследований выбрана конструкция роботизированного сборочно-сортировочного стенда (РСС УР). РСС УР - это комплексное оборудование, предназначенное для автоматизации процессов сборки и сортировки деталей или изделий. Недостаток имеющегося роботизированного сборочно-сортировочного стенда состоит в том, что у него низкая скорость перемещения менее 20 мм/с, нет возможности ориентировать объекты, отсутствие системы наблюдения, концевых ограничителей и рабочей области стенда. Методика проведения исследований предусматривает совершенствование конструкции роботизированного сборочно-сортировочного стенда и его тестирование. Оценкой работоспособности разработанного сборочно-сортировочного стенда является возможность автоматического управления манипулятором по заданной программе с точностью линейного позиционирования манипулятора 2 мм, углового позиционирования манипулятора 2 градуса.

В ходе работы, конструкция роботизированного сборочно-сортировочного стенда была усовершенствована. Для более надежного закрепления стенда был разработан и изготовлен специальный стол, на котором была размещена карта с областью работы манипулятора, а также нанесены метки расположения объектов для контроля их положения. Были установлены ходовые винты с более крупным шагом на осях кареток X и Z для увеличения скорости перемещения. Установлены концевые ограничители для калибровки подвижных звеньев робота. В роботизированный сборочно-сортировочный стенд была интегрирована система наблюдения для мониторинга процесса сборки и сортировки деталей. Разработано и установлено дополнительное подвижное звено захвата для улучшения ориентации объектов.

Схема усовершенствованной нами конструкции роботизированного сборочно-сортировочного стенда представлена на рис. 1.

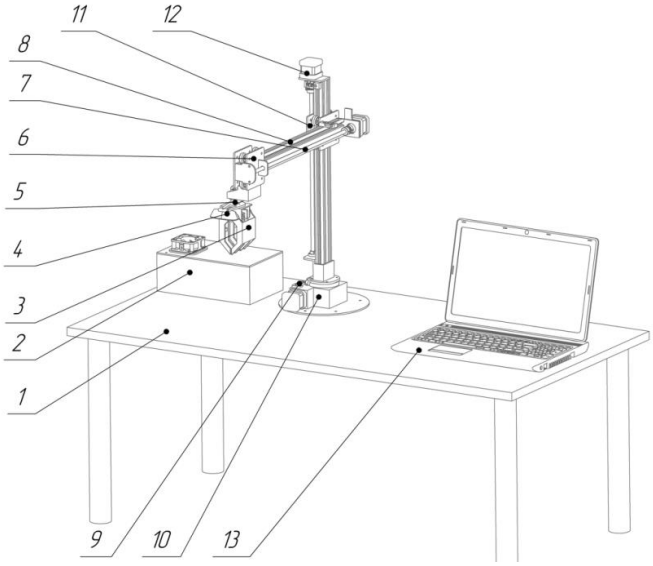


Рис. 1. Схема роботизированного сборочно-сортировочного стенда:
1 – ученическая парта; 2 – пульт стенда; 3 – захват; 4 – система наблюдения; 5 – сервопривод; 6 – каретка оси X; 7 – ходовой винт; 8 – профиль; 9 – концевой ограничитель; 10 – червячный редуктор оси Y; 11- каретка оси Z; 12 – шаговый двигатель; 13 – персональный компьютер;

Стенд работает следующим образом. При помощи персонального компьютера 13 и его программы функционирования, задаются координаты для управлениями органами роботизированного стенда. Система наблюдения 5 позволяет РСС УР работать в автономном режиме. При использовании технического зрения, робот в своей рабочей области сможет находить и взаимодействовать с объектами. На рис. 2. приведены степени подвижности манипулятора.

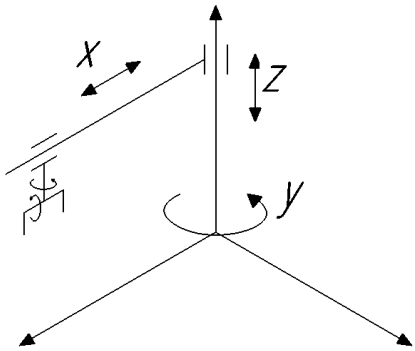


Рис. 2. Степени подвижности манипулятора

На рис. 3 приведена фотография изготовленного нами роботизированного сборочно-сортировочного стенда.

Рис. 3. Роботизированный сборочно-сортировочный стенд

В таблице приведены основные технические характеристики роботизированного сборочно-сортировочного стенда.

Таблица

Основные технические характеристики роботизированного сборочно-сортировочного стенда.

Наименование	Значение
Тип управления	ручное / автоматическое
Питание	220В
Количество подвижных звеньев	5
Габаритные размеры	140 x 80 x 130 мм
Система наблюдения	Logitech C210
Точность позиционирования	± 2 мм
Масса устройства	15 кг
Платформа программирования	Arduino
Язык программирования	C++
Оборудование для программирования	персональный компьютер, USB- соединение
Диапазон температур использования устройства	от +10° до +40°

Результаты и обсуждение

Исследования работоспособности роботизированного сборочно-сортировочного стенда проводились путем его тестирования. Манипулятор стабильно выполнял различные команды перемещения со скоростью 100 мм/с как по заданным координатам, так и с использованием системы наблюдения. Во время испытаний определили точность позиционирования при помощи многократного тестирования перемещения в заданные координаты, которая составила ± 2 мм. Были также проведены исследования алгоритма системы наблюдения для определения точности распознавания угла поворота объекта квадратной формы. Для измерения угла поворота относительно начальных координат применялся электронный

угломер *ADA*. На рис. 4. изображена схема для измерения угла поворота. Из рисунка видно, что показания электронного угломера составили 24.0°, алгоритм программы определил угол поворота 25.0°. Расхождение составило 0.3 градуса.

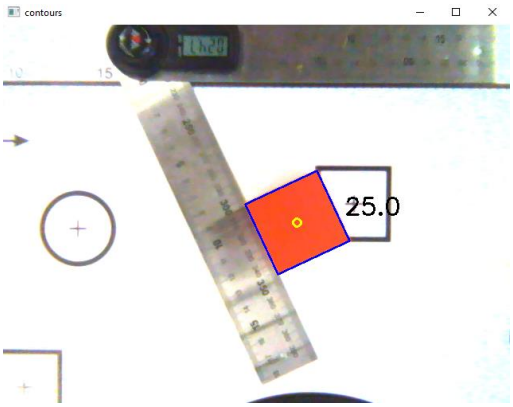


Рис. 4. Схема для измерения угла поворота

На рис. 5. приведены графики, показывающие отклонения фактического угла поворота объекта от показания алгоритма программы.

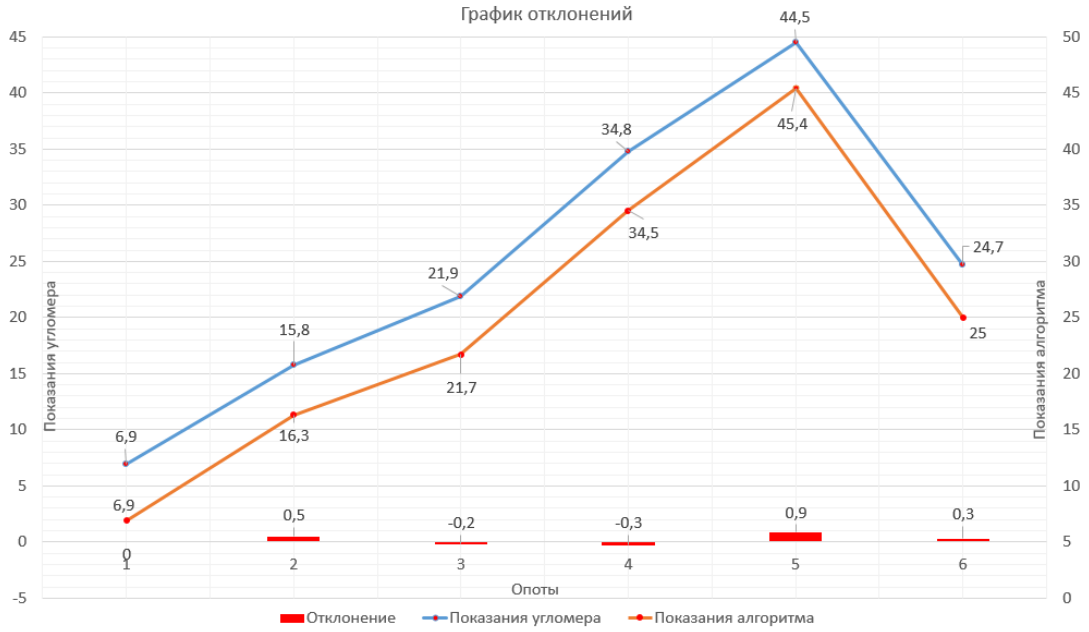


Рис. 5. Графики, отклонения фактического угла поворота объекта от показания алгоритма программы

Из графика следует, что отклонения между показания алгоритма программы и фактическими углами поворота объекта находится в диапазоне до 1°. Проведенные испытания подтвердили работоспособность разработанного нами роботизированного сборочно-сортировочного стенда. Точность линейного и углового позиционирования соответствует заданным значениям.

Выводы

Усовершенствование конструкции сборочно-сортировочного стенда позволило расширить его технологические возможности и создает условия для решения задач, связанных с использованием интегрированной системы наблюдения для мониторинга процесса сборки и сортировки деталей с точностью позиционирования манипулятора ±2 мм., ориентации объекта до 1 градуса.

Список литературы

1. *Лимонов С.Е., Борисов М.А.* Разработка программно-аппаратного комплекса для осуществления автоматической ориентации правящего катода // Современные технологии: проблемы и перспективы: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции для аспирантов, студентов и молодых ученых, Севастополь, 19–22 апр. 2021 г. – Севастополь, 2021. – С. 37–41.

2. *Борисов М.А., Мишин В.А., Дементьев Д.А.* Разработка программируемого устройства для управления параметрами тока при электрохимической обработке // Проектирование и перспективные технологии в машиностроении, металлургии и их кадровое обеспечение: материалы III Всероссийской научно-практической конференции, Чебоксары, 20–21 апр. 2017 г. – Чебоксары, 2017. – С. 188–192.

3. *Назаров М.В., Попович А.В., Киселев Е.С.* Автоматизированный выбор технологии изготовления деталей летательных аппаратов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2017. – № 8-1. – С. 147–153.

4. *Михалев О.Н., Янюшкин А.С., Попов А.Ю.* Современный подход к автоматизации технологической подготовки производства // Автоматизация и современные технологии. – 2011. – № 4. – С. 39–43.

5. *Янюшкин А.С., Лобанов Д.В., Рычков Д.А.* Автоматизация технологической подготовки производства при выборе режущего инструмента // Мир техники и технологий. – 2013. – № 6. – С. 36–38.

6. *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.

7. *Yanyushkin A.S., Lobanov D.V., Rychkov D.A.* Automation tool preparation in the conditions of production // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Vol. 770. – P. 739–743. – DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.788.17.

8. *Янюшкин А.С., Лобанов Д.В., Рычков Д.А.* Автоматизация инструментальной подготовки в условиях действующего производства // Актуальные проблемы современного машиностроения: сборник трудов международной научно-практической конференции. – Юрга, 2014. – С. 42–46.

9. *Nazarov M.V., Savelev K.S., Kiselev E.S.* Automatically search of a rational cutting mode for milling non-rigid blanks with the specified quality parameters // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 709, iss. 4. – Art. 044069. – DOI: 10.1088/1757-899X/709/4/044069.

10. *Лобанов Д.В., Янюшкин А.С., Рычков Д.А.* Автоматизированная система создания баз данных и многокритериального сравнительного анализа конструкций сборного фрезерного инструмента для обработки композиционных материалов // САПР и графика. – 2011. – № 3 (173). – С. 71–73.

11. *Лобанов Д.В., Янюшкин А.С.* Автоматизация организационной подготовки инструмента для обработки композиционных материалов // Автоматизация и современные технологии. – 2013. – № 3. – С. 3–9.

12. Механика современных специальных систем / Н.В. Василенко, Н.И. Галибей, В.К. Гупалов [и др.]. – Красноярск: Печатные технологии, 2004. – Т. 3. – 558 с. – ISBN 5-98-027-026-4.

13. *Борисов М.А., Лимонов С.Е.* Анализ и совершенствование роботизированного оборудования для исследований в области автоматизации производственных процессов // Современные технологии: проблемы и перспективы: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции для аспирантов, студентов и молодых ученых, Севастополь, 19–22 апр. 2022 г. – Севастополь, 2022. – С. 112–115.

14. *Лимонов С.Е., Борисов М.А.* Разработка программируемого устройства для моделирования процесса управления транспортным роботом в автоматической линии термообработки виртуальных деталей // Современные технологии: проблемы и перспективы: сборник статей всероссийской научно-практической конференции для аспирантов, студентов и молодых ученых, Севастополь, 19–22 мая 2020 г. – Севастополь, 2020. – С. 97–101.

IMPROVING THE DESIGN OF A ROBOTIC ASSEMBLY AND SORTING STAND

Borisov M.A.[1], Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: borisovmgou@mail.ru
Limonov S.E.[2], Postgraduate, e-mail: limonov.mbf@gmail.com

[1]I.N. Ulianov Chuvash State University, 15 Moskovsky Prospekt, Cheboksary, 428015, Russian Federation
[2] Nizhny Novgorod State Engineering and Economic University (Knyagininsky University), 22A Oktyabrskaya str., Knyaginino, 606340, Russian Federation

Abstract

As technology evolves, traditional areas of engineering merge and adapt to new challenges. Mechatronics is used in many fields, including the automotive industry, energy, medicine, manufacturing and many others. Robotics is a very dynamically developing field, and today robots are used in many industries. Mechatronics and robotics are closely related to each other and constitute an important area of modern technology and science, which continues to develop and find new applications in various industries. Therefore, the formation and use of robotics and mechatronics should be thought out from the first stages of engineering training programs so that engineers are ready to master professional activity in a short time and skillfully handle innovative robotic systems. An assembly and sorting stand was chosen as the object of research. **The aim of the work** is to improve the design of the assembly and sorting stand to expand its technological capabilities and the use of equipment for theoretical and practical research in the field of robotics. In the course of the work, a control scheme for the stand is developed, its design is modernized and its operability is tested. It is established that the improved design of the robotic assembly and sorting stand allows it to be used as a robotics training stand.

Keywords
Electrochemical grinding, electrochemical polishing, combined machining, electrochemical tool editing, power supply, diamond tool, electrode.

УДК 621. 892

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОХОЖДЕНИЯ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА ЧЕРЕЗ ПЛОСКИЙ СТЫК

Л.Ю. ПОДКРУГЛЯК, аспирант
(СамГТУ, г. Самара)

Подкругляк Л.Ю. – 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244,
Самарский государственный технический университет,
e-mail: podkruglak@mail.ru

Моделирование распространения тепловых потоков в конструкции металлорежущего станка вызывает необходимость учета в тепловой модели прохождения тепловых потоков от источников не только через сплошные детали, но и через контакты деталей между собой. Поскольку в реальных контактах присутствуют макроотклонения, волнистость и шероховатость, это приводит к возникновению контактного термического сопротивления (КТС), которое необходимо учитывать в тепловых моделях.

В статье изложены исходные данные и схема создания экспериментального стенда для измерения перепада температуры в плоском контакте. Для дополнения натурных испытаний на экспериментальном стенде предложено численное моделирование методом конечных элементов в среде *Workbench (WB) Ansys*. Представлена последовательность решения задачи. Построена геометрическая конечно-элементная модель с учетом граничных условий. Проведен анализ результатов расчетов, которые с одной стороны позволяют визуализировать тепловые поля и деформации исследуемой экспериментальной установки, а с другой – хорошо согласуются с опытными данными, полученными при экспериментах на разработанном стенде.

Ключевые слова: метод конечных элементов, междисциплинарный анализ, градиент температуры, тепловые деформации.

Введение

Одной из основных тенденций совершенствования конструкций современных металлорежущих станков (МРС) является повышение их быстроходности, обеспечивающей рост производительности обработки. Однако сдерживающим фактором при этом выступает увеличение температуры рабочих органов станка (шпиндельных узлов и приводов подач). Согласно многочисленным исследованиям тепловая погрешность МРС составляет 40-70% от общего баланса погрешностей и она тем больше, чем выше требования, предъявляемые к точности обрабатываемых деталей [1-3]. Распространение тепловых потоков от источников тепла (зона резания, подшипники качения, электродвигатели и т.д.) проходит не только через детали, но и их соединения, т.е. контакты деталей между собой [4].

Из-за того что в реальных контактах присутствуют макроотклонения, волнистость и шероховатость нарушается сплошной контакт по соединению. Это приводит к возникновению контактного термического сопротивления (КТС), которое необходимо учитывать в используемых тепловых моделях [5, 6]. Для проведения натурных экспериментов влияния давления и качества контакта деталей на контактное термическое сопротивление был разработан экспериментальный стенд.

Исследования температурных полей и деформаций являются необходимой задачей для определения теплового режима станка. Одним из методов оценки теплового состояния узлов станка является численный метод – метод конечных элементов [7].

Методика экспериментального исследования

Экспериментальный стенд состоит из пары образцов-параллелепипедов, материал Сталь 15 размерами 40x20x10 мм, контактирующих по сторонам 20x10 мм. Для снижения конвекции образцы помещены в тепловую защиту, созданную с помощью трехслойной намотки асбестового шнура Ø 3 мм, склеенного жидким стеклом, и зажатых в машинные тиски [8]. Тепловая защита оставляет открытыми на образцах две зоны измерения: в месте расположения источника тепла и в месте окончания движения теплового потока во втором образце. Измерение температуры на открытых участках образцов осуществляется бесконтактным методом с помощью поверенного пирометра DT-8833 [9].

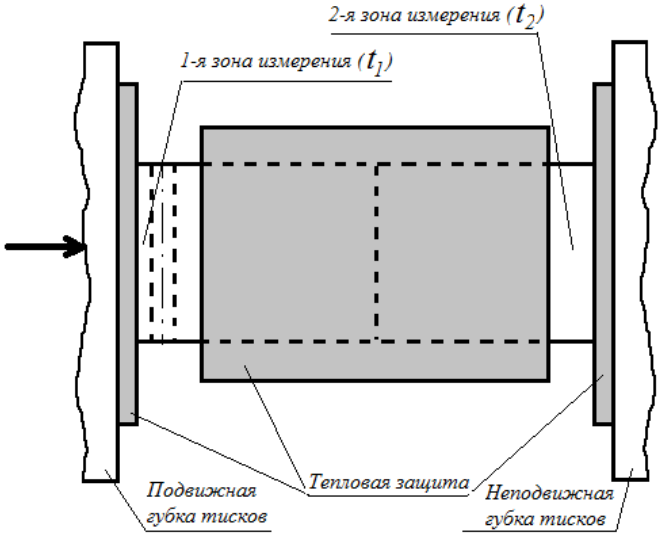


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

На данной экспериментальной установке могут учитываться разные микроотклонения (шероховатости), макроотклонения и давление в стыке от 2 до 40 мПа.

В результате экспериментов замеряется температура на входе на выходе теплового потока. По величине разницы температур Δt, можно было судить о контактном термическом сопротивлении.

Результаты и обсуждения

Для того чтобы дополнить и расширить возможности натурных экспериментов эта задача была решена в среде *Workbench (WB) Ansys*, которая позволяет моделировать разнообразные физические процессы [10]. Метод конечных элементов (МКЭ), который используется в *CAE*-системах, представляет собой эффективный численный метод решения инженерных и физических задач. Предполагается, что цельная конструкция рассматривается как совокупность отдельных конечных элементов [11, 12]. Был проведен междисциплинарный анализ *Thermal-Stress* – термопрочностной стационарный.

Решение задачи МКЭ производилось в следующей последовательности [13, 14]:

1. Построение геометрической модели объекта исследования. Была решена осесимметричная задача. 3-*d* модель, представленная на рис. 2, была создана с использованием стандартных команд (*WB*) на основании исходных данных, также были созданы контактные пары в модуле *Design Modeler*.

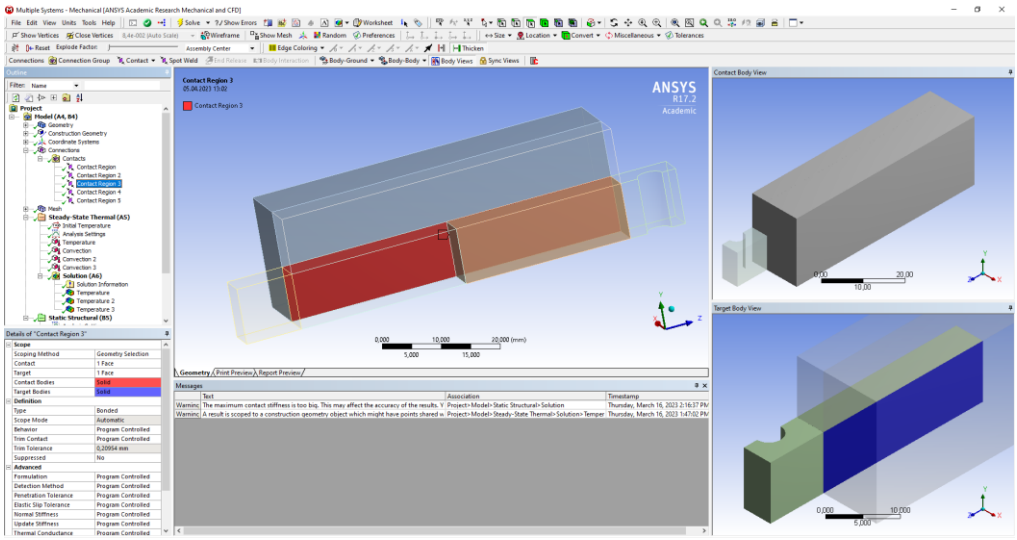


Рис. 2. Геометрическая модель образцов в среде Workbench

2. Покрытие расчетной области сеткой конечных элементов, аппроксимирующей геометрию конструкции (рис.3).

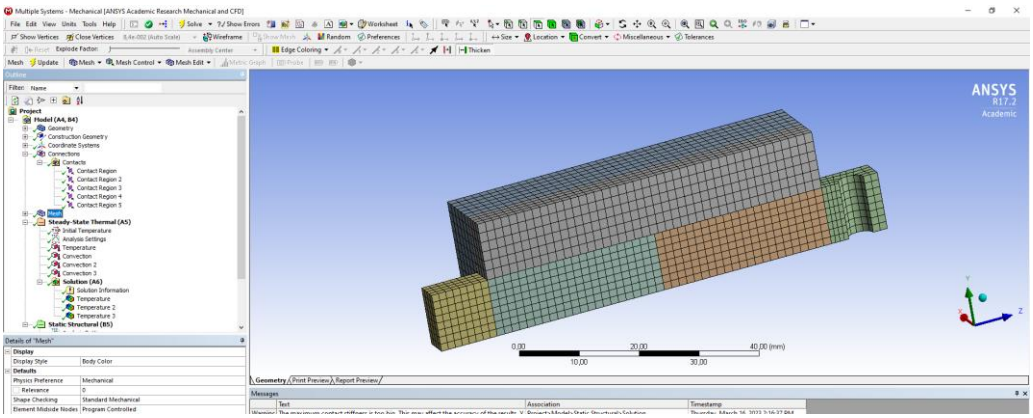


Рис.3. Конечно-элементная модель

3. Задание граничных условий представлены на рис. 4: материал образцов – сталь, тепловой защиты – асбест (со своими физическими параметрами, такими как плотность, модуль упругости и др.); температура на поверхности *A* (источник тепла) – 100°С; на внешних теплоотводящих поверхностях *B*, *C* и *D* конвективный теплообмен с температурой окружающей среды 22°С и рассчитанными коэффициентами конвекции [15]; к торцевой поверхности *B* приложена нагрузка, а та часть образца, где находится тепловой источник, жестко закреплена.

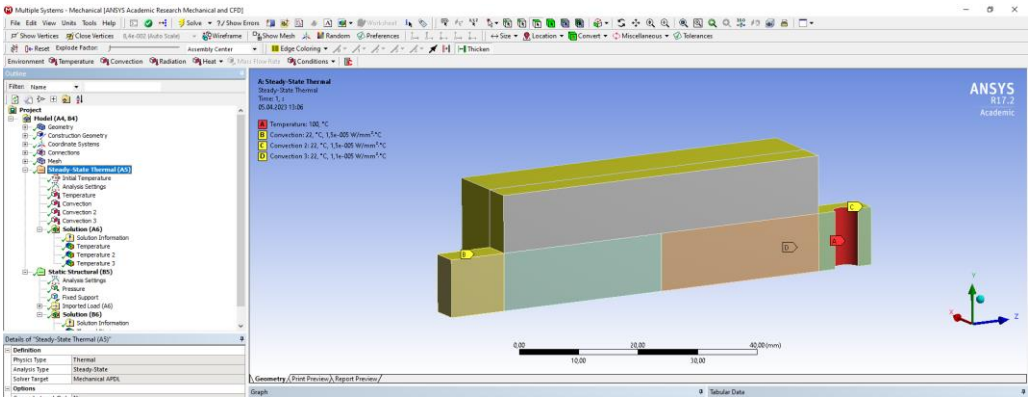


Рис.4. Граничные условия для решения

4. Процесс решения задачи, контроль за сходимостью решения. В результате получаем температурные поля экспериментальной установки, как самих образцов, так и тепловой защиты (рис. 5).

5. Обработка и анализ результатов. В процессе расчета в модуле *Solution* получены результаты для решения тепловой задачи – это градиент температуры вдоль выбранного пути по оси *Z* и график изменения температуры по длине образцов (рис. 6). Из рисунка 6 можно видеть, что максимальная температура в месте расположения теплового источника в первом образце составляет 100°С, а минимальная – 83,6°С в месте окончания движения теплового потока во втором образце. В процессе натурного эксперимента получен диапазон температур: на входе 98-105°С и на выходе 80-85°С. Кроме того по температурному графику можно определять температуры в зоне контакта образцов, что в натурном эксперименте нельзя сделать из-за наличия тепловой защиты. Разработанная модель позволяет также получать температурные деформации исследуемых образцов.

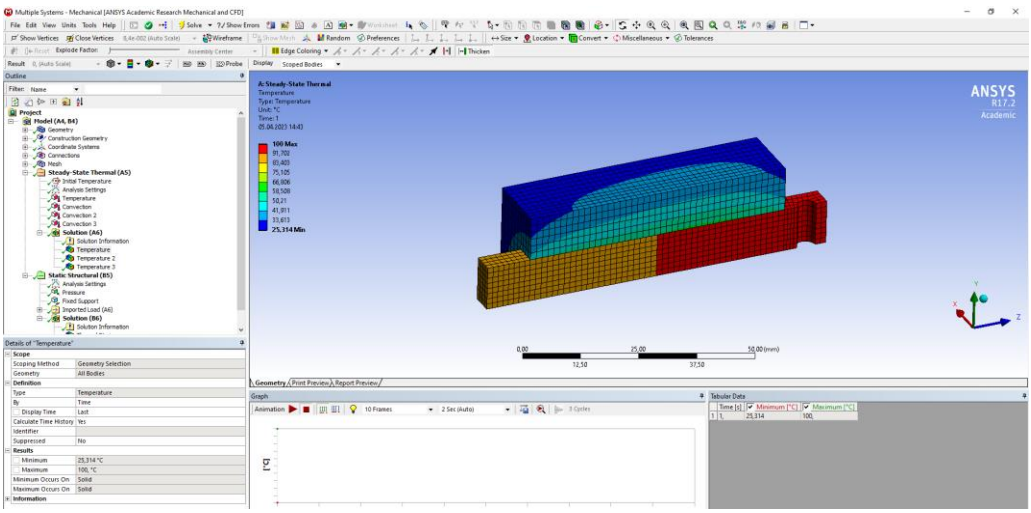


Рис. 5. Температурные поля установки

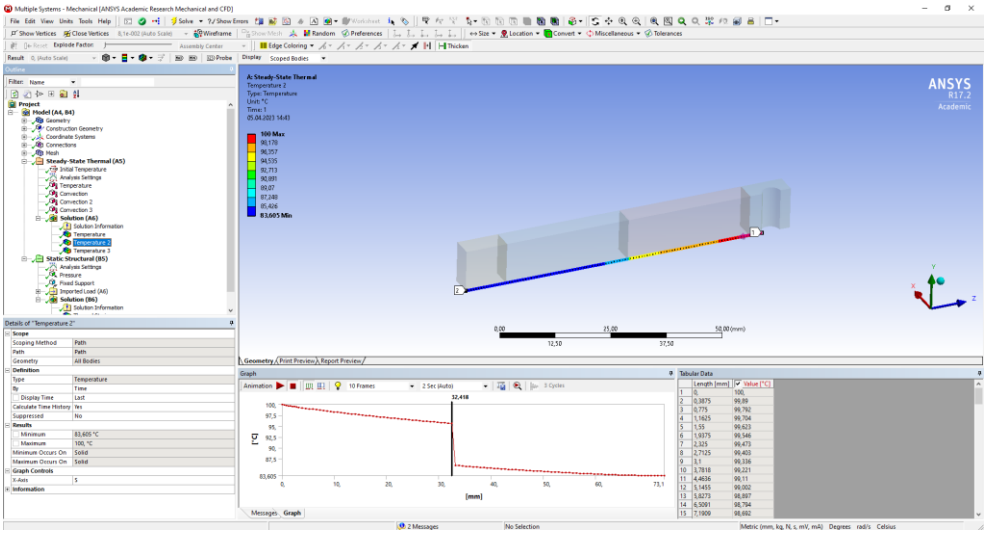


Рис. 6. Результаты решения тепловой задачи

Выводы

Предложенный экспериментальный стенд позволяет исследовать прохождение теплового потока через плоский контакт. Проведенный численный эксперимент МКЭ позволяет визуализировать тепловые поля и расширить варьирование исходных данных предложенной экспериментальной установки. Результаты расчетов хорошо согласуются с опытными данными, погрешность составляет 3%.

Список литературы

1. *Кузнецов А.П.* Тепловые процессы в металлорежущих станках. – М.: Техносфера, 2019. – 488 с. – ISBN: 978-5-94836-477-3.

2. *Поляков А.Н., Парфенов И.В.* Актуальность тепловых проблем и состояние теплового моделирования в металлорежущих станках // Вестник ОГУ. – 2001. – № 3. – С. 96–100.

3. Влияние температурных деформаций на технологическую точность станков / А.М. Альмохаммад, М.В. Брунгардт, Е.А. Сорокин, И.А. Хорош, А.В. Брунгардт // Технология машиностроения. – 2022. – № 5. – С. 29–31.

4. *Шлыков Ю.П., Ганин Е.А., Царевский С.Н.* Контактное термическое сопротивление. – М.: Энергия, 1977. – 328 с.

5. *Дорняк О.Р., Попов В.М.* Условия неидеального теплового контакта при моделировании температурных полей в разъемных соединениях твердых тел // Тепловые процессы в технике. – 2021. – Т. 13, № 11. – С. 488–494.

6. *Денисенко А.Ф., Подкругляк Л.Ю.* Разработка тепловой модели шпиндельной опоры металлорежущего станка // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2020. – Т. 22, № 3. – С. 49–55.

7. *Каменев С.В., Марусич К.В.* Современные методы компьютерного моделирования и инженерного анализа тепловых характеристик шпиндельных узлов // Интернет-журнал Науковедение. – 2017. – Т. 9, № 5. – С. 26–30.

8. *Денисенко А.Ф., Подкругляк Л.Ю.* Стенд и метрологическое обеспечение экспериментального определения контактного термического сопротивления плоских стыков

// Высокие технологии в машиностроении: материалы Всероссийской научно-технической конференции. – Самара, 2022. – С. 95–98.

9. Карманное практическое руководство по термографии. – М.: Тэсто Рус, 2009. – 55 с.

10. Основы работы в ANSYS 17 / Н.Н. Федорова, С.А. Вальгер, М.Н. Данилов, Ю.В. Захарова. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 210 с. – ISBN: 978-5-97060-425-0.

11. *Оголихин Д.А*. Метод конечных элементов. – М.: Литрес, 2018. – 100 с.

12. *Сегерлинд Л.* Применение метода конечных элементов. – М.: Мир, 1979. – 392 с.

13. *Пронин В.А., Жигновская Д.В., Цветков В.А.* Введение в расчетную платформу ANSYS Workbench: учебно-методическое пособие. – СПб: Университет ИТМО, 2019. – 46 с.

14. ANSYS Student. Free Student Software. – URL: https://www.ansys.com/academic/free-student-products (accessed: 24.04.2023).

15. *Авчухов В.В., Паюсте Б.Я.* Задачник по процессам тепломассообмена. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 144 с.

SIMULATION OF THE PASSAGE OF HEAT FLOW THROUGH A FLAT JOINT

Podkrugljak L.Y., Post-graduate Student, e-mail: podkruglak@mail.ru

Samara State Technical University (Samara Polytech), 244 Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

Abstract

Modeling the propagation of heat flows in the construction of a metal-cutting machine generate a need for taking into account in the thermal model the passage of heat flows from sources not only through solid parts, but also through the contacts of parts with each other. Since macro-deviations, undulation and roughness are present in real contacts, this leads to the appearance of contact thermal resistance (*CTR*), which must be taken into account in thermal models.

The paper presents the initial data and a scheme for creating an experimental stand for measuring the temperature drop in a flat contact. To supplement field tests on an experimental stand, numerical simulation by the finite element method in the *Workbench* (*WB*) *Ansys* environment is proposed. The solution sequence is presented. A geometric finite element model is developed taking into account boundary conditions. The analysis of the calculation results is carried out, which on the one hand allow visualizing the thermal fields and deformations of the experimental setup under study, and on the other hand, it is in good agreement with the experimental data obtained during experiments on the developed stand.

Keywords

Finite element method, interdisciplinary analysis, temperature gradient, thermal deformations.

УДК 621. 81

АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТЕЙ 3*D* ПРИНТЕРА СО СХЕМОЙ ДЕЛЬТА

О.В. ЗАХАРОВ, доктор техн. наук, профессор,
Ф.Д. СУЛЕЙМАНОВА, лаборант
(*СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов*)

Захаров О.В. – 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77,
Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
e-mail: zov20@mail.ru

Совершенствование оборудования для аддитивного производства идет по пути увеличения точности и производительности. 3*D* принтеры с кинематической схемой дельта имеют преимущества перед традиционными принтерами, использующими последовательную кинематику. Главное преимущество заключается в высокой скорости экструдера за счет параллельного перемещения от трех двигателей. Однако схема дельта получила применение только в недорогих моделях 3*D* принтеров. Основной причиной можно считать недостаточную точность позиционирования экструдера. Результирующая ошибка позиционирования нелинейно складываются из погрешностей трех параллельных приводов. В настоящей статье исследовано влияния систематических погрешностей перемещений и длин рычагов на точность позиционирования экструдера. Полученные данные позволяют разработать методику компенсации ошибок 3*D* принтера с кинематической схемой дельта.

Ключевые слова: аддитивное производство, 3*D* принтер, дельта кинематика, погрешности позиционирования.

Введение

На практике нашли применение несколько разновидностей 3D принтеров. С точки зрения кинематики можно выделить 3D принтеры с традиционной последовательной и параллельной кинематикой. В зависимости от конструктивного исполнения 3D принтеры применяют декартову, цилиндрическую или сферическую системы координат [1-3]. Последовательная кинематика конструктивно реализована в основном с помощью линейных приводов, реже с помощью манипуляторов. Параллельная кинематика представлена схемами дельта и гексапод. Последняя кинематическая схема не получила широкого применения ввиду высокой стоимости.

Изначально дельта кинематика была разработана для роботов манипуляторов, предназначенных для сортировки изделий [4, 5]. Затем кинематическую схему дельта стали применять для аддитивных технологий. 3*D* принтеры на основе дельта кинематики имеют преимущества перед традиционной последовательной. Основное преимущество – высокая скорость перемещения экструдера за счет параллельного движения от трех пар тяг. Другое преимущество – сравнительно невысокая стоимость из-за небольшого количества деталей. Несмотря на это, дельта кинематика получила ограниченное применение по сравнению с традиционной. Причиной, по нашему мнению, является недостаточно высокая точность позиционирования экструдера. Ошибки изготовления и сборки деталей механизма с параллельным приводом вызывают ошибку позиционирования экструдера.

В настоящей статье представлено исследование влияния двух групп погрешностей приводов на точность позиционирования экструдера. Первая группа погрешностей связана с перемещениями рычагов. Эти ошибки вызваны несколькими причинами: погрешностью вращения шагового двигателя, погрешностями размеров и сборки шкива, растяжением зубчатого ремня, и могут быть отнесены к систематическим. Вторая группа геометро-кинематических погрешностей вызвана отклонениями длины рычагов из-за ошибок изготовления, сборки и регулировки.

Теория

Общий подход к расчету механизмов параллельной кинематики изложен в [6, 7]. Однако решение обратной задачи кинематики 3D принтера по схеме дельта можно упростить, если положить в основу расчета положения, описанные в [8, 9]. 3D принтер состоит из двух платформ (неподвижной и небольшой подвижной), соединённых тремя штангами, по которым перемещаются три пары рычагов (рис. 1). Каждый рычаг представляет собой параллелограмм, с одной стороны которого установлены сферические шарниры, а с другой – карданные шарниры. Верхнее плечо рычагов через зубчатый ремень соединено с двигателем, расположенным на неподвижной платформе. Нижнее плечо рычагов соединено с подвижной платформой. Каждый параллелограмм соединён таким образом, чтобы его верхняя сторона всегда оставалась параллельной плоскости неподвижной платформы. Благодаря этому подвижная платформа будет всегда параллельной неподвижной платформе.

Обратная задача кинематики заключается в расчете аппликат *h* точек крепления трех рычагов на стержнях. Исходными данными являются декартовы координаты *Xc, Yc, Zc* центра окружности *C* подвижной платформы, а также геометрические размеры платформ и длины рычагов *l*. Результат решения обратной кинематической задачи используется для управления 3D принтером в реальном времени, а также для калибровки.

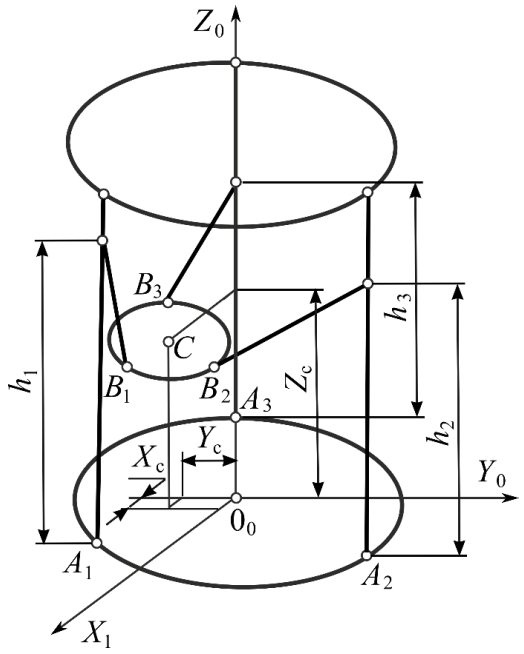


Рис. 1. Схема дельта 3D принтера

Формулы для расчета аппликат трех точек крепления трех рычагов на стержнях:

$$h_1 = \sqrt{l^2 - (X_{A1} - X_{B1})^2 + (Y_{A1} - Y_{B1})^2} + Z_c;$$
$$h_2 = \sqrt{l^2 - (X_{A2} - X_{B2})^2 + (Y_{A2} - Y_{B2})^2} + Z_c;$$
$$h_3 = \sqrt{l^2 - (X_{A3} - X_{B3})^2 + (Y_{A3} - Y_{B3})^2} + Z_c,$$

где l – длина пассивного рычага, X_{A1}, X_{A2}, X_{A3}, Y_{A1}, Y_{A2}, Y_{A3} – абсцисса и ордината точек крепления 1, 2, 3-го рычага на штанге (неподвижной платформе) соответственно, X_{B1}, X_{B2}, X_{B3}, Y_{B1}, Y_{B2}, Y_{B3} – абсцисса и ордината точек крепления 1, 2, 3-го рычага на подвижной платформе соответственно, r – радиус малой подвижной платформы, R – радиус большой неподвижной платформы.

Результаты

На основе задачи обратной кинематики, а также метода Монте-Карло проведено моделирование погрешности позиционирования экструдера. Детерминированные исходные данные для моделирования взяты следующие: радиус неподвижной платформы 150 мм, радиус подвижной платформы 25 мм, длины штанг 450 мм, длины рычагов l = 200 мм. Погрешности перемещения рычагов по штангам (величины h) складываются из нескольких составляющих: погрешность вращения шагового двигателя, погрешности размеров и сборки шкива, растяжение зубчатого ремня. В расчетах нами принято, что эти погрешности распределены по нормальному закону с нулевым средним арифметическим значением и со стандартным отклонением 0,015 мм. Рычаги, как правило, имеют длину с допуском ±IT12/2. Для длины 200 мм допуск по 12 квалитету составляет 0,46 мм. В расчетах нами принято, что эти погрешности распределены по нормальному закону с нулевым средним арифметическим и со стандартным отклонением 0,047 мм.

Согласно методу Монте-Карло, независимо моделировались два типа данных: 1) исходные позиции экструдера в пределах рабочей зоны 3D принтера, 2) исходные погрешности перемещения рычагов (рис 2 а) и погрешности длины рычагов (рис 2 в). Длины трех рычагов моделировались независимо друг от друга. Вначале выполнено моделирования исходных позиций экструдера. Далее для каждой из этих позиций рассчитаны аппликаты h точек крепления трех рычагов на стержнях по формулам обратной кинематики. Затем выполнены две серии расчетов по формулам прямой кинематики. В первой серии перемещения рычагов задавались с погрешностью по нормальному распределению. Во второй серии длины рычагов задавались с погрешностью по нормальному распределению. Результаты расчетов в каждой серии были статистически обработаны.

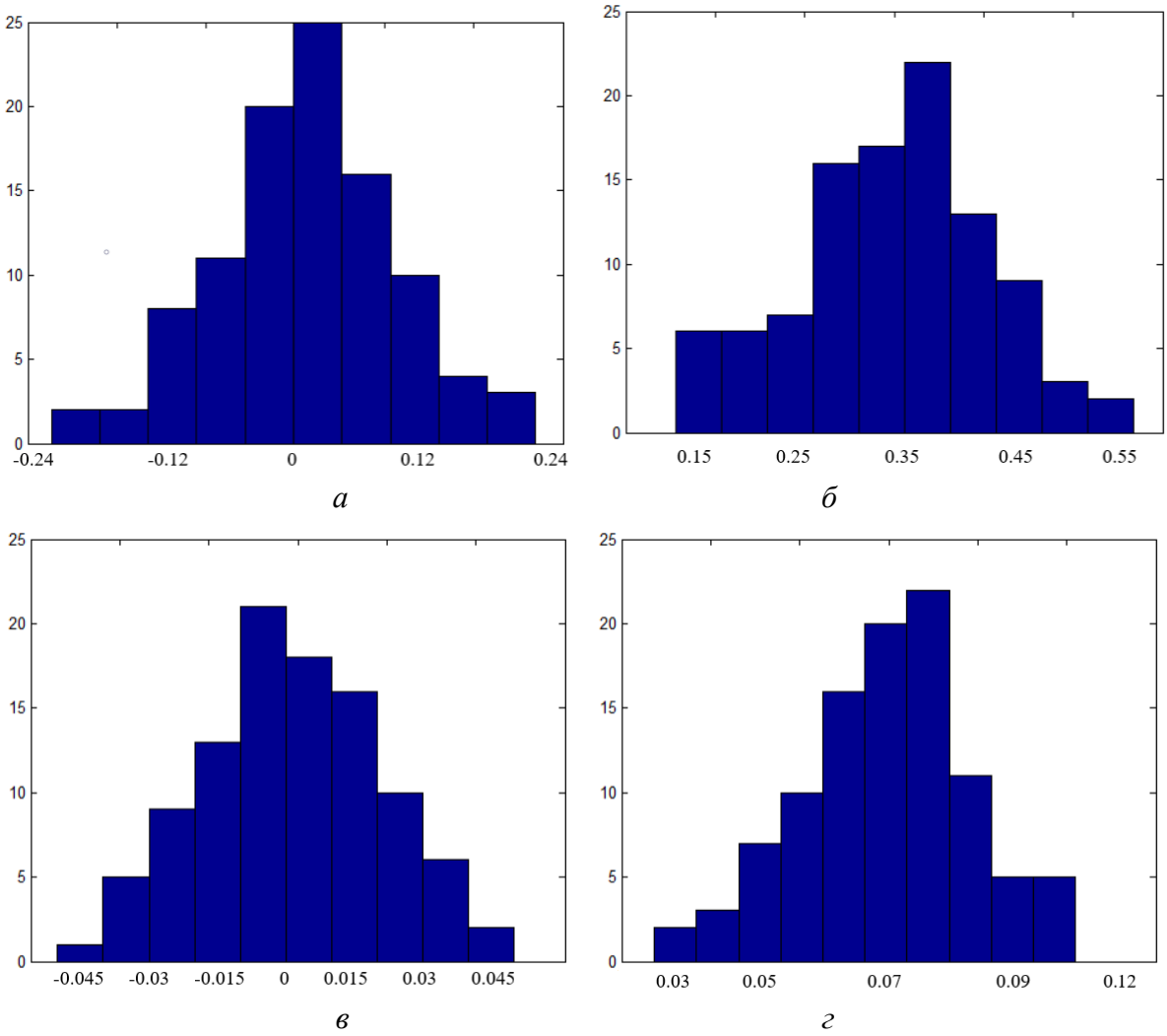


Рис. 2. Распределение исходных погрешностей и расчетных погрешностей конечного эффектора:
а – погрешности перемещений рычагов, в – погрешности длины рычагов,
б, г – погрешности конечного эффектора

Выводы

Исследовано влияние погрешностей перемещений и длин рычагов на погрешность позиционирования экструдера. Для этого решены задачи прямой и обратной кинематики 3D принтера со схемой дельта. С целью получения статистически устойчивых данных использован метод моделирования Монте-Карло.

Установлено, что наибольшую погрешность позиционирования экструдера вызывает отклонение длины рычагов от номинального значения и разность в длине рычагов друг относительно друга. Изготовление и настройка длины рычагов с точностью по 12 квалитету является недостаточной.

Статья дополняет исследования по анализу кинематических погрешностей 3D принтера со схемой дельта и дает теоретические рекомендации по компенсации этих погрешностей. Результаты статьи будут полезны для разработки и калибровки 3D принтеров.

Список литературы

1. *Смелов В.Г., Митрянин А.В.* Основные показатели качества титановых образцов, полученных аддитивными технологиями // Проблемы и перспективы развития двигателестроения: сборник докладов международной научно-технической конференции, Самара, 23–25 июня 2021 г. – Самара, 2021. – С. 297–299.

2. *Зверовщиков А.Е., Шелахаев Д.А., Нестеров С.А.* Исследование точности размеров, обеспечиваемых технологией 3D-печати // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2019. – № 1. – С. 66–78.

3. *Назаров А.П., Окунькова А.А.* Типовые образцы изделий, получаемых методом селективного лазерного спекания // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2012. – Т. 3, № 1 (67). – С. 76–83.

4. *Vischer P., Clavel R.* Kinematic calibration of the parallel Delta robot // Robotica. – 1998. – Vol. 16. – P. 207–218. – DOI: 10.1017/S0263574798000538.

5. *Сапрыкина Н.А., Проскоков А.В., Сапрыкин А.А.* Пространственный синтез линейного дельта-робота с параллельной кинематикой // Системы. Методы. Технологии. – 2020. – № 1. – С. 47–52.

6. К расчету механизмов типа DELTA с линейными приводами и различным числом степеней свободы / П.А. Ларюшкин, К.Г. Эрастова, Г.С. Филиппов, С.В. Хейло // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2019. – № 3. – С. 19–29.

7. *Мирзаев Р.А., Смирнов Н.А.* Исследование кинематики манипулятора параллельной структуры (дельта-механизма) // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. – 2012. – № 4. – С. 46–50.

8. *Захаров О.В.* Исследование дельта-кинематики 3D-принтера // Высокие технологии в машиностроении: материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. – Самара, 2021. – С. 149–153.

9. Kinematic error modeling of delta 3D printer / A.V. Kochetkov, T.N. Ivanova, L.V. Seliverstova, O.V. Zakharov // Materials Science Forum. – 2021. – Vol. 1037. – P. 77–83. – DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.1037.77.

ERROR ANALYSIS OF DELTA KINEMATICS 3D PRINTER

Zakharov O.V., D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: zov20@mail.ru
Suleimanova F.D., Laboratory assistant, e-mail: fainaslm@icloud.com

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, 77 Politechnicheskaya street, Saratov, 410054, Russian Federation

Abstract

Equipment upgrading for additive manufacturing is on the way to increase accuracy and productivity. Delta kinematic 3D printers have advantages over traditional printers. The main advantage lies in the high speed of the extruder due to the parallel movement of the three motors. However, the delta kinematic has been used only in inexpensive models of 3D printers. Insufficient positioning accuracy of the extruder can be considered the main reason. The final positioning error includes contributions from the errors of the three parallel drives. In this paper, the influence of systematic errors of movements and lengths of levers on the positioning accuracy of the extruder is investigated. The data obtained allow developing a method for error compensation in delta kinematic 3D printer.

Keywords
Additive manufacturing, 3D printer, delta kinematics, positioning errors

УДК 541.13

СТРУКТУРНЫЕ СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОАКТИВНЫХ НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ ЭЛАСТОМЕРОВ ДЛЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ И ТЕНЗОМЕТРИИ

Н.В. ЗЕМЦОВА*[1]*, аспирант
С.Ю. ЕВДОКИМОВА*[1]*, студент
В.А. КОБЕЛЕВА*[2]*, студент
А.В. ЩЕГОЛЬКОВ*[1]*, канд. техн. наук, доцент
([1]ТГТУ, г. Тамбов,
[2]МАИ, Москва)

Земцова Н.В. – 392000, г. Тамбов, ул. Советская, 106/5, помещение 2,
Тамбовский государственный технический университет,
e-mail: natasha_paramonova_68@mail.ru

Развитие современного материаловедения направлено на создание эффективных и универсальных материалов, обладающих различными функциональными свойствами. Для этого необходимо применение технологий композитов. Эффективные композиты могут быть получены при введении проводящих наноразмерных добавок в структуру полимерных эластичных матриц, что позволяет получить наномодифицированные эластомеры. Улучшение электро- и физикомеханических характеристик представленных материалов позволяет расширить их функциональные свойства в различных прикладных задачах, где требуется применение исполнительных механизмов в системах автоматического управления и высокий уровень чувствительности для тензометрических измерений. При этом высокий потенциал заложен в возможность оптимизации структурных свойств наномодифицированных эластомеров, что дополняется возможностью применения микроразмерных добавок полученных из различных металлов и в том числе алюминия.

Ключевые слова: электроактивные полимеры, эластомеры, функциональный материал, углеродные нанотрубки.

Введение

Электроактивные полимеры (ЭАП) представляют собой новую развивающуюся категорию материалов. К ним относятся пьезоэлектрические и электрострикционные полимеры [1]. ЭАП при воздействии электрического тока могут менять свою форму и размеры (управляемая деформация), а также положение в пространстве. Происходит преобразование электрической энергии в механическую, в связи с чем их часто называют искусственными мышцами, так как они схожи по деформирующимся усилиям с живыми мускулами. Большую популярность приобрели электроактивные материалы на основе различных типов полимеров [1-4] и в том числе эластомеров (силикона и полиуретана), модифицированных углеродными нанотрубками (УНТ) [5]. Экспериментальные результаты показали, что наполнитель ПАНИ в матрице ПУ улучшает электромеханическую связь, которая связана с межфазными зарядами между этими фазами. При приложении к электродам внешнего электрического поля генерируемый ток возрастал с увеличением содержания ПАНИ. Теоретический анализ мощности подтвердил экспериментальные

результаты, показав, что 2 мас.% ПАНИ в ПУ обеспечивают максимальную выходную мощность в слабом электрическом поле при механической частоте 20 Гц.

В качестве основных критериев при разработке электродов на основе электроактивных эластомеров выступают такие параметры, как высокая электропроводность при конечной деформации в координатах выбранной плоскости, хорошая электромеханическая стабильность и легкость формовки в соответствии с требованиями конструкции [1-4].

Целью данной работы является исследование структурных свойств электроактивных наномодифицированных эластомеров для систем автоматического управления и тензометрии.

Материалы и методы исследований

С целью получения многофункционального электроактивного эластомера с широким диапазоном регулирования и управляющих сигналов для контролируемой деформации в трехмерном пространстве необходимо использовать технологические подходы, которые позволят формировать структуру композитного материала и такие параметры, как удельная объемная и поверхностная электропроводность, а также тангенс угла диэлектрических потерь.

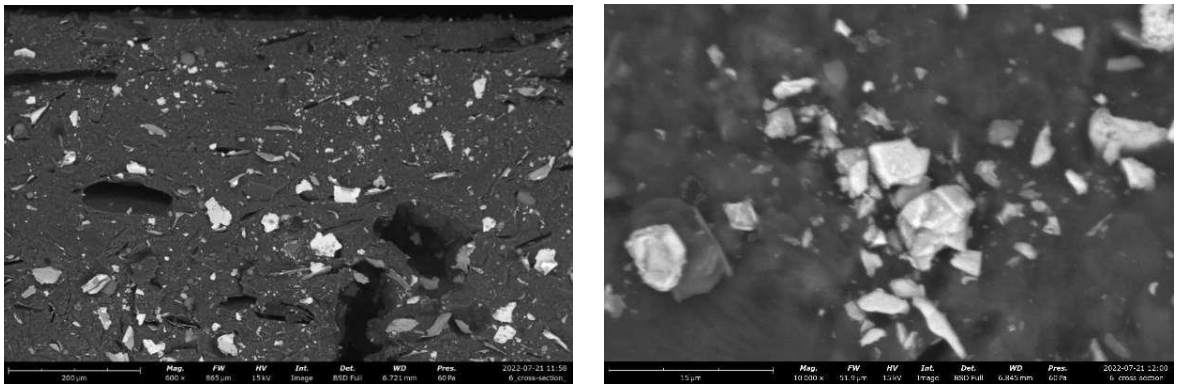
Улучшение свойств электроактивных эластомеров достигается с помощью введения в их структуру элеткропроводящих добавок, полученных при направленном синтезе многослойных углеродных нанотрубок (МУНТ) (СВЧ-синтез), что позволяет менять объёмную электропроводность электроактивного эластомера и формировать его электроактивные свойства при более низких значениях управляющего напряжения.

Внешний вид электроактивного эластомера (модифицированного МУНТ) показан на рисунке 1.

Рис. 1. Внешний вид электроактивного эластомера

Анализ структурных особенностей наномодифицированного эластомера, содержащего микроразмерный алюминий (рис. 2), показывает, что распределение микроразмерных частиц носит хаотичный характер, а частицы в структуре эластомера располагаются под различными углами, таким образом имеют вид пластин. Данное обстоятельство оказывает

влияние на электрофизические свойства и особенно на удельное объемное и поверхностное сопротивление наномодифицированного эластомера (табл.1).



а б

Рис. 2. СЭМ эластомера с алюминием и МУНТ (а, б)

В таблице представлены определяющие свойства, к которым относится удельное объемное и поверхностное сопротивление.

Таблица

Удельное объемное и поверхностное сопротивление

№	Состав	Удельное объемное сопротивление $\delta_м$, Ом·м	Удельное поверхностное сопротивление $R_{уд.нов}$, кОм
№1	Силагерм 8020, МУНТ 3%, алюминий 10%	83	250

Результаты и обсуждение

Эластомеры с добавками МУНТ могут стать основой для различных типов датчиков, приводов, а также преобразователей электрической энергии в механическую, так как имеется возможность, меняя морфологию МУНТ и тип матрицы эластомера, обеспечивать различные параметры для разрабатываемых электроактивных эластомеров. При этом стоит учитывать возможность формирования градиентной проводящей структуры в объеме матрицы эластомера, что позволит изменять модуль сдвига деформации в широком диапазоне значений и формировать большие по значению перестановочные усилия. Изменением массовой концентрации МУНТ и микроразмерного дисперсного алюминия возможно регулировать различные электроактивные свойства наномодифицированных эластомеров.

Выводы

Проведены исследования структурных свойств эластомеров с добавками микроразмерного алюминия. Выявлено, что распределение носит хаотичный характер, а частицы в структуре эластомера располагаются под различными углами, таким образом

имеют вид пластин. Данное обстоятельство оказывает влияние на электрофизические свойства и особенно на удельное объемное (83 Ом·м) и поверхностное сопротивление (250 кОм) наномодифицированного эластомера. Таким образом, измененяя массовую концентрацию МУНТ и микроразмерного дисперсного алюминия возможно регулировать различные электроактивные свойства наномодифицированных эластомеров для различных функциональных задач.

Список литературы

1. *Bar-Cohen Y.* Electroactive polymers as actuators // Advanced Piezoelectric Materials. Science and Technology. – Woodhead Publishing, 2010. – P. 287–317. – DOI: 10.1533/9781845699758.1.287.

2. *Youssef G.* Electroactive polymers // Applied Mechanics of Polymers. Properties, Processing, and Behavior. – Elsevier, 2022. – P. 193–220. – DOI: 10.1016/B978-0-12-821078-9.00010-7.

3. Dielectric elastomer actuators for artificial muscles: a comprehensive review of soft robot explorations / Y. Wang, X. Ma, Y. Jiang, W. Zang, P. Cao, M. Tian, N. Ning, L. Zhang // Resources Chemicals and Materials. – 2022. – Vol. 1, iss. 3-4. – P. 308–324. – DOI: 10.1016/j.recm.2022.09.001.

4. Spatially modulus-patterned dielectric elastomer actuators with oriented electroactuation / Y. Xiao, Y. Song, X. Cao, Z. Chen, X. Lu, J. Mao, Q. Rao, S. Fu, T. Li, Y. Luo // Chemical Engineering Journal. – 2022. – Vol. 449. – Art. 137734. – DOI: 10.1016/j.cej.2022.137734.

5. Enhanced anisotropic response of dielectric elastomer actuators with microcombed and etched carbon nanotube sheet electrodes / X. Fang, A. Li, O. Yildiz, H. Shao, P.D. Bradford, T.K. Ghosh // Carbon. – 2017. – Vol. 120. – P. 366–373. – DOI: 10.1016/j.carbon.2017.05.067.

6. Enhanced strain response and energy harvesting capabilities of electrostrictive polyurethane composites filled with conducting polyaniline / D. Jaaoh, C. Putson, N. Muensit // Composites Science and Technology. – 2016. – Vol. 122. – P. 97–103. – DOI: 10.1016/j.compscitech.2015.11.020.

STRUCTURAL PROPERTIES OF ELECTROACTIVE NANOMODIFIED ELASTOMERS FOR AUTOMATIC CONTROL AND STRAIN MEASUREMENT SYSTEMS

Zemtsova N.V.[1], Ph.D. student, e-mail: natasha_paramonova_68@mail.ru
Evdokimova S.Y. [1], student, e-mail: svetik210102@mail.ru
Kobeleva V.A.[2], student, e-mail: ViktoriaKobeleva2018@yandex.ru
Shchegolkov A.V. [1], Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: Energynano@yandex.ru

[1]Tambov State Technical University, 106/5, Building 2, Sovetskaya Str., Tambov, 392000, Russian Federation
[2]Moscow Aviation Institute (National Research University), 4, Volokolamskoe shosse, Moscow, 125993, Russian Federation

Abstract

The development of modern materials science is directed to the creation of effective and versatile materials with various functional properties. For this purpose it is necessary to apply composite technologies. Efficient composites can be obtained by introducing conductive nanoscale additives into the structure of polymeric elastic matrices, which makes it possible to obtain nanomodified elastomers. Improvement of electrical and physical-mechanical characteristics of the presented materials allows expanding its functional properties in various applied problems, where application of actuating mechanisms in automatic control systems and high level of sensitivity for strain measurement are required. At the same time, the high potential lies in the possibility of optimizing the structural properties of nanomodified elastomers, which is be accompanied with the possibility of using microscale additives derived from various metals, including aluminum.

Keywords

Electroactive polymers, elastomers, functional material, carbon nanotubes.

УДК 621.762:669.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ПОЛУЧЕНИЯ ДИСПЕРСНО-УПРОЧНЕННОЙ МЕДНОЙ СВЯЗКИ АЛМАЗНОГО ИНСТРУМЕНТА НА ЕЁ МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

В.М. СМИРНОВ, канд. физ-мат. наук, доцент
А.Е. БАЛМИН, аспирант
(ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары)

Смирнов В.М. – 428015, г. Чебоксары, пр-т Московский, 15,
Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова,
e-mail: vms53@inbox.ru

В статье приведены результаты исследования влияния времени обработки порошковой смеси Cu-0,3Al-1Ti-0,3C с в аттриторе на средний размер гранул и режима спекания на механические свойства дисперсно-упрочненной медной связки Cu-Ti-Al-C-O-Sn. Показано, что минимальный средний размер гранул Cu-0,3Al-1Ti-0,3C и максимальная твердость материала связки Cu-Ti-Al-C-O-Sn достигается при времени обработки гранул в аттриторе, равном 120 мин. Проведены исследования влияния температуры и времени спекания на твердость и предел прочности на сжатие материала связки Cu-Ti-Al-C-O-Sn, изготовленного с использованием механолегированных гранул Cu-0,3Al-1Ti-0,3C с временем обработки в аттриторе 120 мин. Показано, что предел прочности на сжатие исследуемого материала связки с увеличением температуры спекания увеличивается и особенно сильно, более 2-х раз, при температуре спекания 800 ^{o}C.

Ключевые слова: Дисперсно-упрочненная медная связка, механолегированные гранулы, порошок олова, алмазный инструмент, твёрдость, предел прочности на сжатие.

Введение

Одним из методов повышения физико-механических и эксплуатационных свойств алмазного инструмента является применение дисперсно-упрочненной металлической связки [1-4]. Например, композиционные материалы связки [5-7], получаемые из смеси порошка олова и механолегированных гранул системы Cu-Al-C-O на основе меди обладают высокой твердостью и износостойкостью, высокой температурой разупрочнения, но значительно уступают материалу связки М2-01 [8] по характеристикам прочности и ударной вязкости. Повышение прочностных характеристик дисперсно-упрочненного материала связки актуально в связи с появлением сборных алмазных кругов для высокоскоростного шлифования и заточки инструментов [9].

Наиболее перспективным материалом связки, удовлетворяющим этим требованиям может быть дисперсно-упрочненная связка на основе меди Cu-Ti-Al-C-O-Sn [10], получаемая из смеси механолегированных гранул Cu-1Ti-0,3Al-0,3C(графит) на основе меди и 5% порошка олова. Данный композиционный материал обладает механическими свойствами, например, твердостью и пределом прочности на сжатие, не уступающими механическим свойствам материала связки М2-01, а по значениям теплопроводности и температуры разупрочнения значительно превышает подобные свойства материала связки М2-01. В структуре данного материала содержаться дисперсные частицы в виде карбида титана, оксида алюминия и графита [11-12], которые обеспечивают антифрикционные

свойства материалу связки и могут снижать процесс засаливания поверхности инструмента обрабатываемым материалом.

Для практического применения нового материала связки с повышенными механическими и эксплуатационными свойствами необходимо также обеспечить технологичность процесса изготовления инструмента. Одним из важных требований при изготовлении формовочной смеси для алмазоносного инструмента является соответствие размера частиц (гранул или порошков) компонентов связок размерам фракций порошков алмаза [13]. Однако до сих отсутствуют данные о распределении гранул Cu-1Ti-0,3Al-0,3C по фракциям, которые зависят от режимов обработки порошковой смеси в аттриторе [14-15].

Другими важными технологическими параметрами при изготовлении алмазного инструмента являются температура и время спекания холоднопрессованного алмазоносного слоя. Температура спекания алмазоносного слоя определяется термостойкостью алмазов и жаропрочностью пресс-форм для спекания и горячего прессования, и при этом должно быть не выше 850 ^{o}C [13]. В данном случае, оптимальная температура спекания дисперсно-упрочненного материала может зависеть как от состава материала связки, так и от времени обработки в аттриторе.

Поэтому целью данной работы являются:

– во-первых, исследование влияния времени обработки гранул в аттриторе на средний размер механолегированных гранул Cu-1Ti-0,3Al-0,3C;

– во-вторых, исследование влияния режима спекания материала связки Cu-Ti-Al-C-O-Sn, получаемого методами порошковой металлургии из смеси механолегированных гранул Cu-1Ti-0,3Al-0,3C с добавлением 5-ти % порошка олова, на твердость и временное сопротивление на сжатие.

Материалы и методика исследования

Механолегированные гранулы меди Cu-1Ti-0,3Al-0,3C получали путем обработки в высокоэнергетической шаровой мельнице аттриторе в среде воздуха смеси порошков: порошка титана, 1 масс.%; порошка алюминия марки ПП-1, 0,3 масс.%; порошка графита марки ГК-3, 0,3 масс.%; остальное порошок меди ПМС-1. Предварительно порошки смешивали в «пьяной бочке» в течение 15 мин. Масса шихты составляла 1 кг. Соотношение массы шихты и стальных шарикоподшипниковых шаров диаметром 8 мм составляло 1:20, а время размола – 60, 90, 120 и 150 мин. Скорость вращения вала аттритора – 600 об/мин.

Определение гранулометрического состава частиц, полученных в результате размола порошковой смеси в аттриторе, осуществляли сухим просеиванием их на фракции по ГОСТ 18318-94. Используя экспериментальные данные ситового анализа, средний размер механолегированных гранул [16] рассчитывали по выражению:

$$d_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i d_i}{\sum_{i=1}^{n} m_i},$$

где m_i – массовая доля каждой фракции исследуемого гранулята; d_i – средний размер гранул данной фракции; i – номер фракции;n – число фракций.

Технология изготовления исследуемых образцов материала связки Cu-Ti-Al-C-O-Sn цилиндрической формы диаметром 13 мм и высотой 12…14 мм на основе механолегированных гранул Cu-1Ti-0,3Al-0,3C включала следующие операции:

- получение рабочей шихты (гранульно-порошковой смеси) путём смешивания механолегированных гранул Cu-1Ti-0,3Al-0,3C и 5-ти масс.% порошка олова марки ПОЭ в «пьяной бочке» в течение 30 мин;

- холодное прессование полученной шихты в контейнере с внутренним диаметром 12 мм при давлении 400 МПа;
- выпрессовка полученных цилиндрических образцов из контейнера;
- спекание образцов проводили под слоем твёрдого карбюризатора при различных температурах 700, 750 и 800°С в течение 30 и 60 минут;
- последующее горячее прессование образцов с температуры спекания производили при давлении 300 МПа в контейнере с внутренним диаметром 13 мм, предварительно нагретом до 500°С;
- выпрессовка полученного цилиндрического образца.

Измерение твердости исследуемых образцов проводили методом Роквелла по шкале В на твердомере ТРС 5019МС.

Испытания на сжатие и определение предела прочности на сжатие исследуемого композиционного материала проводили в соответствии с требованиями ГОСТ 25.503 на цилиндрических образцах с диаметром 13 мм и высотой 13 мм на гидравлическом прессе ПГ50.

Результаты и обсуждение

Одним из важнейших требований к гранулам на основе меди, используемых для изготовления алмазных инструментов является их фракционный состав. Размер механолегированных гранул, определяется двумя противоположными процессами, а именно процессом сваривания частиц порошка и их дробления при размоле порошковой смеси в аттриторе. Преобладание того или иного процесса определяется временем обработки порошковой смеси в аттриторе [14-15].

Как видно из рис.1, с увеличением времени размола исследуемой порошковой смеси в аттриторе до 90 мин наблюдается увеличение среднего размера механолегированных гранул, что можно объяснить преобладанием процесса «холодной» сварки гранул над его дроблением. Затем, при увеличении времени размола до 120 мин начинает значительно преобладать процесс дробления гранул, что приводит к уменьшению среднего размера до 0,18 мм. Дальнейшее увеличение времени размола гранул до 150 мин, практически не влияет на средний размер гранул, который при этом составляет 0,17мм.

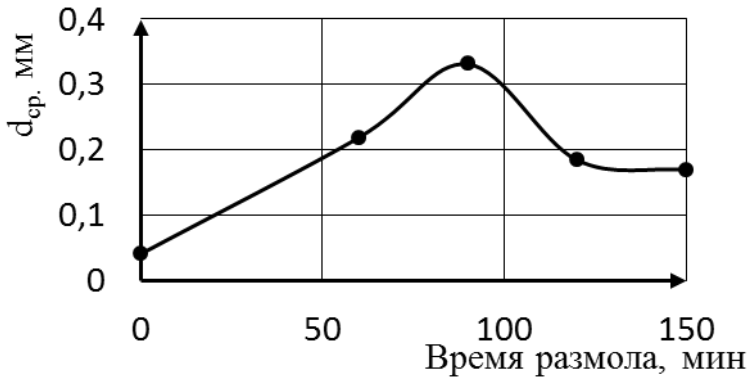


Рис. 1. Зависимость среднего размера гранул $d_{ср.}$ от времени размола

Из рис. 2 следует, что увеличение времени размола механолегированных гранул на основе меди Cu-1Ti-0,3Al-0,3C обеспечивает увеличение твердости материала связки, полученной по вышеописанной технологии и спекании при температуре 750 °C, 30 мин. Твердость исследуемого материала связки после обработки гранул Cu-1Ti-0,3Al-0,3C в аттриторе в течение 120 мин достигает до 100 HRB. Дальнейшее увеличение времени размола более 120 минут не влечет за собой значительных изменении твердости материала связки.

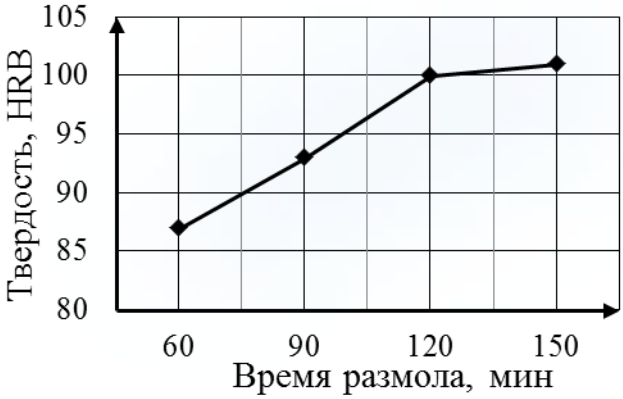


Рис. 2. Зависимость твёрдости от времени размола порошковой смеси в аттриторе

Исходя из выше приведенных данных, дальнейшие эксперименты проводились на образцах материала связки Cu-Ti-Al-C-O-Sn, полученных с использованием механолегированных гранул меди Cu-1Ti-0,3Al-0,3C, которые обрабатывались в аттриторе в течение 120 мин.

Результаты исследования влияния температуры и времени спекания материала связки Cu-Ti-Al-C-O-Sn на их твердость и предел прочности на сжатие представлены ниже в таблице. Как видно из этих данных, наибольшие значения твердости 102 HRB и 100 HRB наблюдается у исследуемых образцов при температуре спекания 700 и 750 °C со временем выдержки 60 и 30 минут соответственно. Однако образцы, полученные при данных режимах спекания имеют низкие показатели предела прочности на сжатие и подвергаются хрупкому разрушению. Образцы, полученные при спекании 800 °C, имеют предел прочности на сжатие практически в 2 и более раза превышающие предел прочности на сжатие образцов, полученных при температурах спекания 700 и 750 °C. Соответственно исследуемые образцы материла связки, полученные при этих температурах спекания, не могут обеспечить работу инструмента при динамических нагрузках, и могут разрушится.

Таблица

Твердость, предел прочности на сжатие и относительная усадка материала связки Cu-Ti-Al-C-O-Sn от режимов спекания

Режим спекания	Предел прочности на сжатие $\sigma_{в}^{с}$, МПа	Твердость, HRB
700 °C, 30 мин.	354	98
700 °C, 60 мин.	633	102
750 °C, 30 мин.	423	100
750 °C, 60 мин.	613	98
800 °C, 30 мин.	1371	98
800 °C, 60 мин.	1418	95

Выводы

1. Показано, что минимальный средний размер механолегированных гранул Cu-1Ti-0,3Al-0,3C достигается при обработке гранул в аттриторе в течение 120 мин.

2. Оптимальное сочетание твердости и предела прочности исследуемой дисперсно-упрочненной медной связки Cu-Ti-Al-C-O-Sn обеспечивается при температуре спекания 800 ^{o}C и времени выдержки 30…60 мин.

Список литературы

1. Алмазный инструмент для резки высокоармированного железобетона с дисперсно-упрочненной наночастицами металлической связкой / А.А. Зайцев, Д.А. Сидоренко, Е.А. Левашов, В.В. Курбаткина, В.А. Андреев, С.И. Рупасов, П.В. Севастьянов // Сверхтвердые материалы. – 2010. – № 6. – С. 78–89.

2. Influence of Ti on microstructure and strength of c-BN/ Cu–Ni–Sn–Ti composites / Y. Wang, X.M. Qiu, D.Q. Sun, S.Q. Yin // International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. – 2011. – Vol. 29. – P. 293–297. – DOI: 10.1016/j.ijrmhm.2010.12.004.

3. Патент 2432249 C1 Российская Федерация, МПК B24D 3/06, C22C 9/00. Связка на основе меди для изготовления алмазного инструмента / Е.А. Левашов, В.А. Андреев, В.В. Курбаткина, А.А. Зайцев, Д.А. Сидоренко, С.И. Рупасов. – № 2010107315/02; заявл. 01.03.2010; опубл. 27.10.2011.

4. Особенности влияния наномодифицирования на свойства связки Cu-Fe-Co-Ni для алмазного инструмента/ П.А. Логинов, В.В. Курбаткина, Е.А. Левашов, В.Ю. Лопатин, А.А. Зайцев, Д.А. Сидоренко, С.И. Рупасов // Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. – 2014. – № 2. – С. 23–31.

5. *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: сборник материалов II международной научно-практической конференции, Чебоксары, 11–14 окт. 2016 г. – Чебоксары, 2016. – С. 317–320.

6. *Смирнов В.М., Голюшов И.С., Григорьев В.С.* Высокоэффективная связка оловянная бронза-механолегированные гранулы для изготовления алмазных инструментов // Современные технологии в машиностроении и литейном производстве: материалы III международной научно-практической конференции, Чебоксары, 04–06 дек. 2017 г. – Чебоксары, 2017. – С. 358–365.

7. Патент 2644225 C1 Российская Федерация, МПК B24D 3/06, B24D 3/34. Связка на основе меди для изготовления алмазного инструмента / В.М. Смирнов, Е.П. Шалунов, Д.А. Тимофеев. – № 2017114103; заявл. 24.04.2017; опубл. 08.02.2018, Бюл. № 4.

8. *Галицкий В.Н., Курищук А.В., Муровский В.А.* Алмазно-абразивный инструмент на металлических связках для обработки твердого сплава и стали. – Киев: Наукова думка, 1986. – 144 с.

9. *Попов А.Ю., Реченко Д.С.* Технология высокоскоростного затачивания твердосплавных инструментов: монография. – Старый Оскол: ТНТ, 2015. – 160 с.

10. *Smirnov V.M., Shalunov E.P., Golyushov I.S.* Physical and mechanical properties and structure of copperbased composite materials for diamond tools binder // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. –Vol. 1431. – Art. 012054. – DOI: 10.1088/1742-6596/1431/1/012054.

11. *Смирнов В.М., Шалунов Е.П.* Исследование структуры и фазового состава дисперсно-упрочненных композиционных материалов системы Cu-Al-Ti-C-O // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2019. – Т. 6, № 1-4. – С. 179–184.

12. Microstructure, mechanical properties, electrical conductivity and wear behavior of high volume TiC reinforced Cu-matrix composites/ F. Akhtar, S.J. Askari, K.A. Shah, X. Du, S. Guo // Materials Characterization. – 2009. – Vol. 60. – P. 327–336. – DOI: 10.1016/j.matchar.2008.09.014.

13. *Ковальчук Ю.М., Букин В.А., Глаговский Б.А.* Основы проектирования и технология изготовления абразивного и алмазного инструмента: учебное пособие для техникумов. – М.: Машиностроение, 1975. – 206 с.

14. *Матросов А.Л.* Разработка дисперсно-упрочненных материалов для сварочной техники и технологии их изготовления: дис. … канд. техн. наук. – Нижний Новгород, 2002. – 208 л.

15. *Suryanarayana C.* Mechanical Alloying and Milling // Progress in Materials Science – 2001. – Vol. 46, iss.1-2. – P. 1–184. – DOI: 1016/S0079-6425(99)00010-9.

16. *Коузов П.А.* Основы анализа дисперсного состава промышленной пыли и измельченных материалов. – 3-е изд. – Л.: Химия, 1987. – 264 с.

STUDY OF THE EFFECT OF TECHNOLOGICAL MODES FOR PRODUCTION OF DISPERSION-STRENGTHENED COPPER BOND FOR DIAMOND TOOLS ON ITS MECHANICAL PROPERTIES

Smirnov V.M., Ph.D. (Physics and Mathematics), Associate Professor, e-mail: vms53@inbox.ru
Balmin A.E., Post-graduate Student, e-mail: balmin98@mail.ru

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

Abstract

The paper presents the results of a study of the influence of the processing time of the *Cu*-0.*3Al-1Ti-0.3C* powder mixture in an attritor on the average granule size and sintering mode on the mechanical properties of the dispersion-strengthened *Cu-Ti-Al-C-O-Sn* copper binder. It is shown that the minimum average size of *Cu-0.3Al-1Ti-0.3C* granules and the maximum hardness of the *Cu-Ti-Al-C-O-Sn* binder material is achieved at a time of processing granules in the attritor equal to 120 min. The influence of temperature and sintering time on the hardness and ultimate compressive strength of the *Cu-Ti-Al-C-O-Sn* binder material made using mechanically alloyed *Cu-0.3Al-1Ti-0.3C* granules with a treatment time in the attritor of 120 min is studied. It is shown that the ultimate compressive strength of the investigated binder material increases with increasing sintering temperature and especially strongly, more than 2 times, at a sintering temperature of 800 °C.

Keywords

Dispersion-strengthened copper bond, mechanically alloyed granules, tin powder, diamond tools, hardness, compressive strength.

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 списки 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.

Редакционный совет и редакция журнала «Актуальные проблемы в машиностроении»

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 ВИНИТИ 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 изменяемости внешнего окружения.

Это же авторское резюме на английском языке

A considerable part of innovative plans concerning implementation of developments with underlying novelties either do not reach the implementing stage, or in fact yield less benefit than anticipated. One of the reasons of such failures is the fact that the manager lacks real tools for planning, evaluating and controlling innovations. The article brings forward the mechanism for a strategic planning of a company, based on the analysis of both inner company's resources, and outer competitive strength, as well as on searching ways of using external opportunities with account taken of the company's specific character. Strategic planning is based on a code of regulations and procedures containing a series of methods, the use of which makes it possible for company's manager to ensure prompt measures of reaction to outer business environment changes. Such methods include: strategic segmentation; solving problems in real-time mode; diagnostics of strategic

readiness to operate in the context of the future; working out a general plan of management; planning of the business position of the firm; strategic transformation of the company. Strategic planning process is presented as a closed cycle consisting of 9 successive stages, each of them represents a logical sequence of measures ensuring the dynamics of system development. The developed by the author strategic planning methods result in the recommendation to proceed to "interactive strategic management" which is conceptually based on the constructive potential of the collective body, on searching ways of its building on the basis of effective overcoming accelerating changes, increasing organizational complexity, and unpredictable changeability of the environment.

Пример структурированного авторского резюме из иностранного журнала в Scopus

Purpose: Because of the large and continuous energetic requirements of brain function, neurometabolic dysfunction is a key pathophysiologic aspect of the epileptic brain. Additionally, neurometabolic dysfunction has many self-propagating features that are typical of epileptogenic processes, that is, where each occurrence makes the likelihood of further mitochondrial and energetic injury more probable. Thus abnormal neurometabolism may be not only a chronic accompaniment of the epileptic brain, but also a direct contributor to epileptogenesis.

Methods: We examine the evidence for neurometabolic dysfunction in epilepsy, integrating human studies of metabolic imaging, electrophysiology, microdialysis, as well as intracranial EEG and neuropathology.

Results: As an approach of noninvasive functional imaging, quantitative magnetic resonance spectroscopic imaging (MRSI) measured abnormalities of mitochondrial and energetic dysfunction (via 1H or 31P spectroscopy) are related to several pathophysiologic indices of epileptic dysfunction. With patients undergoing hippocampal resection, intraoperative 13C-glucose turnover studies show a profound decrease in neurotransmitter (glutamate-glutamine) cycling relative to oxidation in the sclerotic hippocampus. Increased extracellular glutamate (which has long been associated with increased seizure likelihood) is significantly linked with declining energetics as measured by 31PMR, as well as with increased EEG measures of Teager energy, further arguing for a direct role of glutamate with hyperexcitability.

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

Фрагменты из рекомендаций авторам журналов издательства Emerald

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

Авторское резюме включает следующее.

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

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

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

– не включать несущественные детали;

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

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

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

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

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 пройдите 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 окончанию всех работ обязательно нажать кнопку «***Отправить в редакцию***».

Обращаем внимание, что авторы должны дополнительно отправить заявку на участие, в которой указать фамилию, имя и отчество (**Ф.И.О. полностью**), должность, ученую степень, звание, тематика доклада (*Инновационные технологии в машиностроении; Технологическое оборудование, оснастка и инструменты; Материаловедение в машиностроении; Экономика и организация инновационных процессов в машиностроении*), название организации, адрес, телефон, факс, e-mail. Заявку можно отправить на e-mail: metal_working@mail.ru, либо написать «***Сообщение***» в своем авторском профиле.

Бронированием мест в гостиницах участники занимаются самостоятельно. На сайте конференции, в разделе «***Контакты***» (http://machine-building.conf.nstu.ru/archive/), представлены адреса возможных гостиниц для размещения участников конференции в г. Новосибирске.

Одновременно со статьей высылаются оригиналы всех перечисленных документов на почтовый адрес редакции: 630073, г. Новосибирск, пр-т Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет (НГТУ), корп. 5, ком. 137 ВЦ, зам. гл. редактора Скибе В.Ю.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ РУКОПИСЕЙ

(http://journals.nstu.ru/machine-building/rules)

Текст набирается в русифицированном редакторе ***Microsoft Word***; формат **А4** (210×297 мм); ориентация – **книжная**, **все поля 2 см**; **без переносов**; шрифт **Times New Roman**, размер шрифта основного текста – **14 пт**, через **1 интервал**, **абзацный отступ – 1,25 см, страницы не нумеруются**. Рисунки, таблицы, графики, фотографии должны быть включены в текст работы.

Единицы физических величин. При подготовке рукописи необходимо руководствоваться Международной системой единиц (СИ).

Таблицы нумеруются, если их число более одной. Заголовок необходим, когда таблица имеет самостоятельное значение, без заголовка дают таблицы вспомогательного характера.

Математические формулы. Сложные и многострочные формулы должны быть целиком набраны в редакторе формул **Microsoft Equation 3.0**. Используется только сквозная нумерация.

Рисунки. Рекомендуемые размеры рисунков: 60 × 150, 60 × 70 мм с разрешением не менее ***300 dpi***.

Библиографический список, оформленный в соответствии с ГОСТ Р 7.05-2008 «Библиографическая ссылка», составляется по ходу упоминания литературы в тексте и приводится в конце рукописи. Ссылки в тексте на литературу даются в квадратных скобках, например [1], [2, 3], [4–7], [4, стр. 23–28].

Англоязычный блок должен включать следующую информацию: ***Заглавие работы; Фамилию И.О. (всех авторов); Аффилиация 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 непереводимых названий собственных имен и др. объектов, имеющих собственные названия; также не используется непереводимый сленг, известный только русскоговорящим специалистам. Это также касается авторских аннотаций и ключевых слов;

Аффилиация (**Affiliation**).

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

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

• **Аффилиация (*Affiliation*)**.

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

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

• **Ключевые слова** (***Keywords***);

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

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

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

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

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

Правила подготовки списка литературы в англоязычном блоке статьи*

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

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

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

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

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

3) представлять в *References*, вместо переводного издания книги (монографии), описание оригинальной ее версии, так как индексы цитирования все больше включают книг в свои ресурсы, в т.ч. *Scopus*. Переводная версия может быть также описана, как дополнительные сведения (в скобках), см. пример ниже;

4) представление в *References* только транслитерированного (без перевода) описания недопустимо, так как делает такое описание совершенно не читаемым (еще как-то понятным для русскоязычного читателя, но не понятным по содержанию больше никому). Поэтому, если нужно сократить описание, то лучше приводить его переводное описание с указанием в скобках **(in Russian)**. Это в большей степени относится к анонимным (не авторским) произведениям: законодательным, нормативным документам, а также к патентам, диссертациям, отчетам и другим не типичным для индексов цитирования документов;

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

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

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

* По материалам работ *О. В. Кирилловой*: 1. Редакционная подготовка научных журналов для включения в зарубежные индексы цитирования: методические рекомендации. М., 2012, 68 с.; 2. Редакционная подготовка научных журналов по международным стандартам. Рекомендации эксперта БД Scopus. М., 2013. Ч. 1. 90 с.

8) если описываемая публикация имеет doi, его обязательно надо указывать в бибописании 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 бибописании должен быть указан полный объем издания, независимо от того, какие страницы издания были процитированы в тексте; исключение 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 бибописаний в целом. Ниже приведены примеры ссылок на различные виды публикаций.

Описание статьи из журналов:

Atapin V.G., Skeeba V.Yu. Chislennoe modelirovanie beskarkasnykh arochnykh pokrytii [Numerical simulation of frameless arched covers]. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) = Metal Working and Material Science*, 2012, no. 4(57), pp. 23–27.

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

Описание статьи из электронного журнала:

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

Если статья имеет DOI – обязательно указать его!

Описание статьи с DOI:

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

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

Описание статьи из продолжающегося издания (сборника трудов)

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

Описание материалов конференций:

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

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

Sen'kin A.V. [Issues of vibration diagnostics of elastic spacecraft]. *Problemy teotrii 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., Mamikoniants 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: Friktsionnye protsessy pri rezanie metallov* [Tribology of Cutting, Vol. 1: Frictional Processes in Metal Cutting], Ivanovo, Ivanovskii Gos. Univ. Publ., 2009. 245 p.

Belousov, A.I., Bobrik, P.I., Rakhman_Zade, A.Z. *Teplovye yavleniya i obrabatyvaemost' rezaniem aviatsionnykh materialov. Trudy MATI* [Thermal Phenomena and the Ease of Cutting of Aviation Materials: Proceedings of the Moscow Aviation Engineering Institute]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1966, no. 64.

Последняя ссылка является не полной. Из нее непонятно, описывается ли книга в целом (монография), выпущенная в серии трудов института, или это статья (в описании без заглавия статьи). Недостает в этом случае указания страниц. Если монография, тогда указывается, сколько всего страниц (235 p.), если статья - диапазон страниц или одна страница (pp. 220-222). Однако в любом случае эта ссылка будет найдена при поиске публикаций авторов.

Описание переводной книги:

Timoshenko S.P., Young D.H., Weaver W. *Vibration problems in engineering*. 4th ed. New York, Wiley, 1974. 521 p. (Russ. ed.: Timoshenko S.P., Iang D.Kh., Uiver U. *Kolebaniya v inzhenernom dele*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985. 472 p.).

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

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

Когда не удается выявить сведения об оригинальной версии книги, либо переводная версия является, например, сборником из нескольких зарубежных изданий, в основном описании остается переводное издание.

Описание неопубликованного документа:

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

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

Описание Интернет-ресурса:

Kondrat'ev V.B. *Global'naya farmatsevticheskaya promyshlennost'* [The global pharmaceutical industry]. Available at: http://perspektivy.info/rus/ekob/globalnaja_farmacevticheskaja_promyshlennost_2011-07-18.html. (accessed 23.06.2013)

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

Описание диссертации или автореферата диссертации:

Semenov V.I. *Matematicheskoe modelirovanie plazmy v sisteme kompaktnyi tor*. Diss. dokt. fiz.-mat. nauk [Mathematical modeling of the plasma in the compact torus. Dr. phys. and math. sci. diss.]. Moscow, 2003. 272 p.

Grigor'ev Iu.A. *Razrabotka nauchnykh osnov proektirovaniia arkhitektury raspredelennykh sistem obrabotki dannykh. Diss. dokt. tekhn. nauk* [Development of scientific bases of architectural design of distributed data processing systems. Dr. tech. sci. diss.]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 1996. 243 p.

Описание ГОСТа:

GOST 8.586.5-2005. Metodika vypolneniia izmerenii. Izmerenie raskhoda i kolichestva zhidkostei i gazov spomoshch'iu standartnykh suzhaiushchikh ustroistv [State Standard 8.586.5 - 2005.Method of measurement. Measurement of flow rate and volume of liquids and gases by means of orifice devices]. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 10 p.

или

State Standard 8.586.5-2005. Method of measurement. Measurement of flow rate and volume of liquids and gases by means of orifice devices. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 10 p. (In Russian)

Описание патента:

Palkin M.V., e.a. *Sposob orientirovaniiapo 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 02.05.2023. Выход в свет 05.05.2023. Формат 60 × 84 1/8. Бумага офсетная.
Тираж 20 экз. Уч.-изд. л. 20,46. Печ. л. 11,0. Изд. № 112. Заказ № 143.

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

ISSN 1994-6309 (Print)
ISSN 2541-819X (Online)

ОБРАБОТКА 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.

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

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

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

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

http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov

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

+7 (383) 346-17-75

metal_working@mail.ru
metal_working@corp.nstu.ru

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-80400 от 01 марта 2021 г.
Print ISSN: 1994-6309 Online ISSN: 2541-819X
Индекс журнала в каталоге агентства «Роспечать» – 70590

НОВОСИБИРСК