

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

Том 8, Номер 1–2

2021

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ

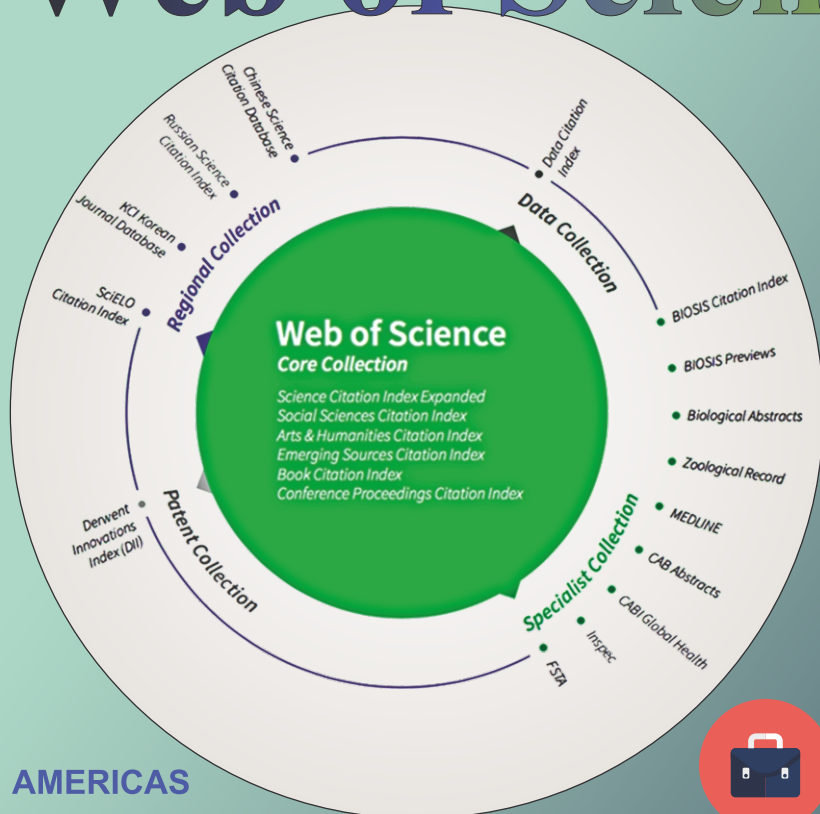
ACTUAL PROBLEMS IN MACHINE BUILDING

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

НОВОСИБИРСК



ПЛАТФОРМА Web of Science



Academic Search™ Ultimate



Applied Science & Technology Source™ Ultimate



Business Source® Ultimate



Humanities Source™ Ultimate



Sociology Source™ Ultimate

AMERICAS

Philadelphia +1 800 336 4474
+1 215 386 0100

EUROPE, MIDDLE EAST AND AFRICA

London +44 20 7433 4000

ASIA PACIFIC

Singapore +65 6411 6888
Tokyo +81 3 5218 6500

For a complete office list, visit:
clarivate.com

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 8 № 1-2 2021 г. НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Председатель совета

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

Члены совета

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

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

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

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

Российская Федерация: **Анисименко Г.Е.**, директор производственно-технической фирмы «Сигма-инструмент», г. Новосибирск, **Атапин В.Г.**, доктор техн. наук, профессор, НГТУ, г. Новосибирск, **Балков В.П.**, зам. ген.директора АО «ВНИИинструмент», канд. техн. наук, г. Москва, **Батаев В.А.**, доктор техн. наук, профессор, НГТУ, г. Новосибирск, **Буров В.Г.**, доктор техн. наук, профессор, НГТУ, г. Новосибирск, **Герасенко А.Н.**, директор ООО НПКФ «Машсервисприбор», г. Новосибирск, **Иванцовский В.В.**, доктор техн. наук, доцент, НГТУ, г. Новосибирск, **Кирсанов С.В.**, доктор техн. наук, профессор, ТПУ, г. Томск, **Коротков А.Н.**, доктор техн. наук, профессор, академик РАЕ, КузГТУ, г. Кемерово, **Кудряшов Е.А.**, доктор техн. наук, профессор, Засл. деятель науки РФ, ЮЗГУ, г. Курск, **Макаров А.В.**, доктор техн. наук, с.н.с., ИФМ УрО РАН, г. Екатеринбург, **Овчаренко А.Г.**, доктор техн. наук, профессор, БТИ АлтГТУ, г. Бийск, **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 8 Number 1-2 2021 SCIENTIFIC, TECHNICAL AND INDUSTRIAL JOURNAL

EDITORIAL BOARD

EDITOR-IN-CHIEF:

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

DEPUTIES EDITOR-IN-CHIEF:

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

Tatyana G. Martynova, Ph.D. (Engineering), Associate Professor,
Department of Industrial Machinery Design,
Novosibirsk State Technical University, *Novosibirsk*, Russian Federation

Natalia V. Plotnikova, Ph.D. (Engineering), Associate Professor,
Department of Material Science in Mechanical Engineering,
Novosibirsk State Technical University, *Novosibirsk*, Russian Federation

EDITORIAL COUNCIL

CHAIRMAN:

Anatoliy A. Bataev, D.Sc. (Engineering), Professor,
Rector, Novosibirsk State Technical University, *Novosibirsk*, Russian Federation

MEMBERS:

The Federative Republic of Brazil:

Alberto Moreira Jorge Junior, Dr.-Ing., Full Professor, Federal University of Sao Carlos, *Sao Carlos*

The Federal Republic of Germany:

Moniko Greif, Dr.-Ing., Professor, Hochschule RheinMain University of Applied Sciences, *Russelsheim*

Florian Nurnberger, Dr.-Ing., Chief Engineer and Head of the Department "Technology of Materials",
Leibniz Universitat Hannover, *Garbsen*

Thomas Hassel, Dr.-Ing., Head of Underwater Technology Center Hanover, Leibniz Universitat Hannover, *Garbsen*

The Republic of Belarus:

Fyodor I. Panteleenko, D.Sc. (Engineering), Professor, First Vice-Rector,
Corresponding Member of National Academy of Sciences of Belarus, Belarusian National Technical University, *Minsk*

The Ukraine:

Sergiy V. Kovalevskyy, D.Sc. (Engineering), Professor, Donbass State Engineering Academy, *Kramatorsk*

The Russian Federation:

Gennadiy E. Anisimenko, Director, Scientific and Production company «Sigma-instrument», *Novosibirsk*;

Vladimir G. Atapin, D.Sc. (Engineering), Professor, Novosibirsk State Technical University, *Novosibirsk*;

Victor P. Balkov, Deputy general director, Research and Development Tooling Institute «VNIINSTRUMENT», *Moscow*;

Vladimir A. Bataev, D.Sc. (Engineering), Professor, Novosibirsk State Technical University, *Novosibirsk*;

Vladimir G. Burov, D.Sc. (Engineering), Professor, Novosibirsk State Technical University, *Novosibirsk*;

Aleksandr N. Gerasenko, Director, Scientific and Production company «Mashservispribor», *Novosibirsk*;

Vladimir V. Ivancivsky, D.Sc. (Engineering), Associate Professor, Novosibirsk State Technical University, *Novosibirsk*;

Sergey V. Kirsanov, D.Sc. (Engineering), Professor, National Research Tomsk Polytechnic University, *Tomsk*;

Aleksandr N. Korotkov, D.Sc. (Engineering), Professor, Kuzbass State Technical University, *Kemerovo*;

Evgeniy A. Kudryashov, D.Sc. (Engineering), Professor, Southwest State University, *Kursk*;

Aleksey V. Makarov, D.Sc. (Engineering), Senior Researcher, M.N. Miheev Institute of Metal Physics,
Russian Academy of Sciences (Ural Branch), *Yekaterinburg*;

Aleksandr G. Ovcharenko, D.Sc. (Engineering), Professor, Biysk Technological Institute, *Biysk*;

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

III ВСЕРОССИЙСКАЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

г. Чебоксары, 01...03 июня 2021 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

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

ПОЧЕТНЫЙ КОМИТЕТ

Абсадыков Б.Н. - д.т.н., профессор, КБТУ, г. Алматы; *Аликулов Д.Е.* - д.т.н., профессор, ТГТУ, г. Ташкент; *Алибеков С.Я.* - д.т.н., профессор, ПГТУ, г. Йошкар-Ола; *Артамонов Е.В.* - д.т.н., профессор, ТИУ, г. Тюмень; *Батаев А.А.* - д.т.н., профессор, НГТУ, г. Новосибирск; *Батаев В.А.* - д.т.н., профессор, НГТУ, г. Новосибирск; *Болдырев А.И.* - д.т.н., профессор, ВГТУ, г. Воронеж; *Вальтер Хельге* - генеральный директор компании «Walther schweisstechnik», г. Вена, Австрия; *Васильев С.А.* - д.т.н., доцент, ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары; *Горелов В.А.* - д.т.н., профессор, МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва; *Григорьев В.С.* – ст. преподаватель, ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары; *Гусев В.В.* - д.т.н., профессор, ДонНТУ, г. Донецк; *Денисенко А.Ф.* - д.т.н., профессор, СамГТУ, г. Самара; *Ереско С.П.* - д.т.н., профессор, СФУ, г. Красноярск; *Иванцовский В.В.* - д.т.н., профессор, НГТУ, г. Новосибирск; *Илларионов И.Е.* - д.т.н., профессор, ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары; *Киричек А.В.* - д.т.н., профессор, БГТУ, г. Брянск; *Киселев Е.С.* - д.т.н., профессор, УГТУ, г. Ульяновск; *Козлов А.М.* - д.т.н., профессор, ЛГТУ, г. Липецк; *Лебедев В.А.* - д.т.н., профессор, ДГТУ, г. Ростов-на-Дону; *Леонов С.Л.* - д.т.н., профессор, АлтГТУ, г. Барнаул; *Макаров В.Ф.* - д.т.н., профессор, ВГТУ, г. Воронеж; *Марков А.М.* - д.т.н., профессор, АлтГТУ, г. Барнаул; *Михайлов А.Н.* - д.т.н., профессор, ДонНТУ, г. Донецк; *Носов Н.В.* - д.т.н., профессор, СамГТУ, г. Самара; *Попов А.Ю.* - д.т.н., профессор, ОмГТУ, г. Омск; *Реченко Д.С.* - д.т.н., доцент, ОмГТУ, г. Омск; *Смоленцев В.П.* - д.т.н., профессор, ВГТУ, г. Воронеж; *Сориллов М.Ю.* - д.т.н., профессор, КнАГУ, г. Комсомольск-на-Амуре; *Смирнов В.М.* - к.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 Nivve Advanced Materials Technology Co., Ltd.», г. Шанхай, Китай; *Шалунов Е.П.* - к.т.н., профессор, ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары; *Шеров К.Т.* - д.т.н., профессор, КарГТУ, г. Караганда.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

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

ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦИИ

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

428015, Российская Федерация, Приволжский федеральный округ,
г. Чебоксары, ЧГУ им. И.Н. Ульянова
Машиностроительный факультет, ул. С. Михайлова, д. 3
e-mail: konfims21chgu@yandex.ru

IMPROVEMENT OF TECHNOLOGICAL PROCESSES IN MECHANICAL ENGINEERING

III Russian National with International Participation
Scientific and Technical Conference
Cheboksary, 01...03 June 2021

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

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

HONORARY COMMITTEE

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

ORGANIZING COMMITTEE

Lobanov D.V., D.Sc. (Engineering), Associate Professor, Deputy Ch. editor of the Scientific, Technical and Manufacture journal "Actual Problems in Mechanical Engineering", ChSU (Cheboksary, Russia); *Borisov M.A.*, Ph.D. (Engineering), Associate Professor, ChSU (Cheboksary, Russia); *Sekletina L.S.*, Senior Lecturer, ChSU (Cheboksary, Russia); *Kuptsov M.V.*, Assistant, ChSU (Cheboksary, Russia); *Rafanova O.S.*, Head of Laboratory MBF ChSU (Cheboksary, Russia); *Vladimirova Yu.O.*, Assistant, ChSU (Cheboksary, Russia).

SUBJECT OF THE CONFERENCE

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

СОДЕРЖАНИЕ

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Михалёв О.Н., Янюшкин А.С. Искусственный интеллект в автоматизации технологических процессов	7
Борисов М.А., Лобанов Д.В. Программируемое устройство для управления электрическими параметрами комбинированной обработки высокопрочных материалов	14
Тамаркин М.А., Тищенко Э.Э. Совершенствование методики проектирования технологических процессов обработки деталей свободными абразивами	22
Гартфельдер В.А., Васильев С.А., Янюшкин А.С., Секлетина Л.С., Борисов М.А. Перспективы развития новых направлений подготовки инженерных кадров	28

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ОСНАСТКА И ИНСТРУМЕНТЫ

Керженцев В.А., Перова Н.В. Разработка структурной модели шнекового конвейера пищеперерабатывающей машины функционально-логическими методами	35
Керженцев В.А., Перова Н.В. Моделирование структурных параметров шнекового конвейера. расчет технических характеристик.	42
Зверев Е.А., Вахрушев Н.В., Титова К.А., Савельева Е.А., Разработка структурной схемы комбинированного токарного оборудования для плазменной и механической обработки	50
Зверев Е.А., Савельева Е.А., Гиззатуллин А.С. Применение автоматизированного измерительного комплекса для исследования энергоэффективности привода токарного станка	58

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Афанасьев В.К., Попова М.В., Долгова С.В., Сагалакова М.М., Черныш А.П. Воздействие обработки расплава и циклической деформации на микроструктуру доменного чугуна	65
Прудников А.Н., Прудников В.А. Влияние режимов старения на линейное расширение малокремнистого поршневого силумина	72
Афанасьев В.К., Прудников А.Н., Попова М.В., Прудников В.А. Совершенствование режимов термической обработки поршневых алюминиевых сплавов	78
Афанасьев В.К., Попова М.В., Прудников А.Н., Сагалакова М.М. Новый модификатор для алюминиевых сплавов с высоким содержанием кремния	84
Рекомендации по написанию научной статьи	92
Подготовка аннотации	94
Правила для авторов	96

CONTENTS

Innovative Technologies in Mechanical Engineering

Mikhalev O. N., Yanyushkin A.S. Artificial intelligence in the automation of technological processes	7
Borisov M.A., Lobanov D.V. Programmable device for control of electrical parameters of combined processing of high-strength materials	14
Tamarkin M.A., Tichshenko E.E. Improvement of procedure of design of process processes of parts processing with free abrasives	22
Gartfelder V.A., Vasilev S.A., Yanyushkin A.S., Sekletina L.S., Borisov M.A. Prospects for the development of new areas of engineering training	28

Technological Equipment, Machining Attachments and Instruments

Kerzhencev V.A., Perova N.V. Development of the structural model of the screw conveyor food processing machine functional-logical methods	35
Kerzhencev V.A., Perova N.V. Numerical modeling of the structural parameters of the screw conveyor. calculation of technical characteristics	42
Zverev E.A., Vakhrushev N.V., Titova K.A., Savelyeva E.A. Structural scheme development of the combined lathe equipment for plasma and mechanical treatment	50
Zverev E.A., Savelyeva E.A., Gizzatullin A.S. Application of an automated measuring complex for investigating the energy efficiency of a lathe drive	58

Materials Science in Machine Building

Afanasyev V.K., Popova M.V., Dolgova S.V., Sagalakova M.M., Chernysh A.P. Effect of melt treatment and cyclic deformation on blast furnace iron microstructure	65
Prudnikov A.N., Prudnikov V.A. Influence of aging regimes on linear expansion of low-silicon piston silumin	72
Afanasyev V.K., Prudnikov A.N., Popova M.V., Prudnikov V.A. Improvement of the heat treatment of piston aluminum alloys	78
Afanasyev V.K., Popova M.V., Prudnikov A.N., Sagalakova M.M. New modifier for aluminium alloys with high silicium content	84

Guidelines for Writing a Scientific Paper	92
Abstract requirements	94
Rules for authors	96

УДК 621.9.02

**ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В АВТОМАТИЗАЦИИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

О. Н. МИХАЛЁВ, канд. техн. наук
А.С. ЯНЮШКИН, доктор техн. наук, профессор
(ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары)

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

Простое, точное и быстрое проектирование технологических процессов обработки деталей является одной из важных задач современных производств в условиях высокой конкуренции, а также постоянного совершенствования и обновления продукции. Возможности передовых систем автоматизации становятся все шире, однако по-прежнему остаются ограниченными, в силу сложности алгоритмизации творческих процессов. Наиболее подходящими методами для автоматизации творческих задач проектирования являются технологии искусственного интеллекта, такие как нейронные сети способные к обучению, распознаванию элементов и разумным действиям. Применение подобных алгоритмов позволит системам решать более сложные задачи, которыми сегодня занимается человек, тем самым высвободить человеческие ресурсы, повысить скорость разработки, качество и эффективность технологических процессов, создать экспертные системы помогающие принимать решения человеку, особенно в условиях множества влияющих факторов.

Ключевые слова: автоматизация технологических процессов, искусственный интеллект, нейронная сеть.

Введение

Для современных промышленных предприятий задача автоматизации технологических процессов становится все более востребованной, для ее решения уже внедрено множество функциональных программных новшеств. Однако, несмотря на то, что системы автоматизированного проектирования стали более совершенными, множество действий по-прежнему остается за человеком, поэтому наиболее оптимальное решение автоматизации технологических процессов пока еще не достигнуто.

На сегодняшний день некоторые методы автоматизации получили огромное развитие, благодаря чему становится возможным найти решение задачи автоматизации технологических процессов более высокого порядка, для этого применяются методы искусственного интеллекта, на базе которых сегодня и выстраиваются современные системы. В связи с чем повышение степени автоматизации является наиболее ожидаемым событием в области технологической подготовки производства. Наиболее явно это выразится в создании функций, которые наделят системы более разумными свойствами.

Цель данной работы – повышения уровня автоматизации технологической подготовки производства за счет внедрения элементов искусственного интеллекта.

Уровни автоматизации технологических процессов

Проектирование технологических процессов можно свести к следующей базовой структуре (рис. 1). Такая модель отвечает требованиям семантической, то есть различные свойства обработки наследуются друг другу, например, при обработке отверстия обрабатываемый материал и оборудование уже predeterminedены на этапе подбора инструментов, поэтому происходит поиск сверла совместимого с этими данными.

Заполняя узлы данной структуры необходимой информацией, можно сгенерировать карты технологического процесса. Ранние системы автоматизированного проектирования позволяли наполнять структуру всей необходимой информацией, используя различные базы данных и диалоговое проектирование [1, 2].



Рис. 1. Базовая структура данных технологического процесса

Современные системы уже способны самостоятельно решать многие задачи, например, подбирать инструменты на основе данных об обрабатываемых элементах, а также формировать переходы. Задавая данные об обрабатываемом конструктивном элементе детали, система сформирует все необходимые переходы, подберет инструменты и сформирует остальную необходимую информацию [3, 4].

Таким образом, во главу поставлены конструктивные элементы детали, а следующей возможностью CAD/CAM-систем стало автоматизированное распознавание простых элементов на 3d-модели с дальнейшим формированием переходов обработки, подбором инструментов и созданием траекторий для генерации управляющей программы (УП) для станков с ЧПУ методом одной кнопки, напрямую это касается простых элементов.

Проектирование стало на ступень легче и это дает значительный эффект, однако общая последовательность переходов в операции по-прежнему зависит от человека, как и множество других задач. Связано это с тем, что данная задача творческого характера.

Наибольший интерес представляет формирование блоков «Операция» целиком на основе данных о детали и заготовки, что является максимально творческой задачей. На самом высоком уровне структуры присутствует множество неизвестных и также большее количество влияющих факторов, поэтому решение этой задачи методом строгих алгоритмов

невозможно. Здесь уже требуется научить систему элементам мышления, наподобие мышления человека, а именно применение методов искусственного интеллекта. В данном случае имеет место говорить только о слабом искусственном интеллекте, то есть функциях, которые можно «вживить» в системы автоматизированного проектирования и придать им какие-либо разумные свойства.

Применение искусственного интеллекта (ИИ)

Самый простейший пример использования технологии ИИ в проектировании технологических процессов это расчет самого короткого пути инструмента при обработке множества отверстий. Для этой задачи хорошо подходит – алгоритм муравья [5], основанный на формуле вероятности. Данный алгоритм был применен для расчета кратчайшего пути посыльного, которому предстоит посетить множество городов.

Другим примером может служить нейронная сеть (НС) – это упрощенная модель человеческого мозга [6]. Мозг состоит из нейронов, соединенных друг с другом с помощью нервных окончаний дендритов, через которые в ядро поступают сигналы, и аксонов, через которые нейрон передает сигнал далее. Нейроны обрабатывают и передают электрический сигнал от одного к другому, поэтому каждый нейрон можно представить, как индивидуальный процессор. При работе некоторые нейроны могут отключаться или наоборот включаться в зависимости от сигнала. Сигнал должен набрать определенный потенциал, чтобы нейрон смог опраить его дальше, при недоборе сигнал может быть не отправлен вообще. Когда сигналы пройдут до конца по всей цепи, человек выполняет определенные действия или наоборот ничего не делает. Таким образом, нейроны и связи между ними образуют некоторую сеть, которая способна решать различные задачи в жизни человека. Аналогичную модель можно построить для автоматизации творческих задач, плохо поддающихся жестким алгоритмам, главной особенностью такой сети является способность к обучению.

Образно работу НС можно описать в виде графов, в узлах которых находятся нейроны, связанные между собой связями, такой вид хорошо согласовывается с вышеописанной моделью человеческого мозга. Условно простейший граф для обработки отверстий может быть представлен на (рис. 2). На основании информации об отверстиях НС должна определить надо отверстие расточить или только просверлить.

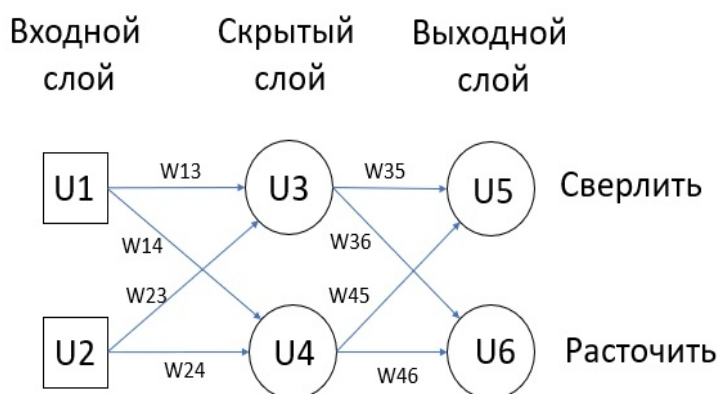


Рис. 2. Условный граф обработки отверстий

На входной слой подаются данные об отверстиях U_1, U_2 , в нейронах скрытого слоя U_3, U_4 происходят некоторые расчеты и в выходном слое выводится результат, что необходимо сделать с отверстием. Нейроны обозначены буквами U , связи нейронов обладают некоторым параметром, обозначенным буквой W с цифровыми значениями связанных нейронов, его называют вес. Значение каждого нейрона рассчитывается по формуле 1.

$$U_j = E + \sum U_i \cdot W_{ij} \quad (1)$$

Из формулы видно, что с помощью веса каждой связи мы можем регулировать некоторый порог, который может ослабить сигнал или наоборот усилить его, как и в модели человеческого мозга. Дополнительно в формуле присутствует еще некоторое смещение E , которое также влияет на показания нейрона. Чтобы рассчитать значение нейронов, нужно знать значение веса каждой связи, а также значение смещения E . Вначале НС не может самостоятельно принимать решения, т.к. не известны значения веса каждой связи, поэтому ее необходимо обучить принимать правильные решения. Существуют разные методики обучения, и это представляет наибольший интерес [7]. Одним из методов реализации обучения является алгоритм обратного распределения. На начальном этапе обучения весам можно присвоить произвольные значения, например, от $-0,5$ до $0,5$. Также у нас есть некоторый опыт, а именно мы знаем желаемый результат для некоторых отверстий, на основе этого опыта и происходит обучение. После расчета значений всех нейронов ошибка принятия правильных решений будет очень большой, ее расчет представляет собой разницу между выходным значением НС и желаемым, соответствующий нашему опыту. На первом этапе ошибка большая, так как значения весов были приняты произвольно. Алгоритм обратного распределения позволяет рассчитать ошибку значений каждого нейрона, далее с учетом ошибок пересчитать веса всех связей в обратном направлении НС. А с новыми значениями весов ошибка будет уже меньше, а результат принятия решений ближе к желаемому, так НС обучается. Таким образом, нужно повторить расчет ошибок и корректировки весов столько раз, пока ошибка не станет минимальной для решения нашей задачи, и НС будет выдавать желаемый результат. Посредством изменения веса каждой связи и происходит обучение.

Для более сложных задач нейронная сеть будет иметь больше нейронов в скрытом слое, а также может иметь и больше самих скрытых слоев. Понимание процесса обучения дает возможность построения более развернутого графа и решение более творческой задачи автоматизации на более высоком уровне. Когда НС встраивается в программное обеспечение, она уже обучена, и дальнейшее обучение возможно только по неправильным результатам в ситуациях, на которых не было проведено обучение.

Выше представленная задача определения необходимости растачивания отверстия имеет линейный характер, соответственно может быть решена путем классификации, то есть разделения всех отверстий на два типа с помощью двух прямых, горизонтальной и вертикальной, в декартовой системе координат с двумя осями D – диаметр отверстия и T – качества точности. Закрашенная область содержит отверстия, которые достаточно просверлить, все отверстия слева или выше двух прямых необходимо растачивать (рис. 3). Стрелками показано как по мере обучения они смещались, и закрашенная область расширялась, таким образом, система обучилась и теперь при появлении нового отверстия система быстро определит, что с ним делать. Никаких жестких алгоритмов не потребовалось, система на основе опыта обучилась сама. Задача довольно простая, однако дает наглядное представление прохождения обучения НС.

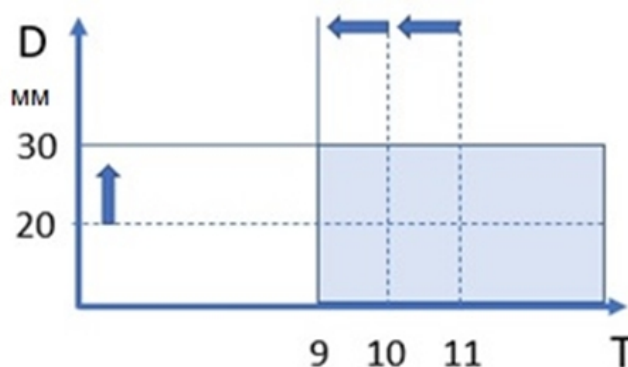


Рис. 3. График для разделения отверстий

Для глубоких НС с более развернутыми графами требуется нелинейная активация нейронов, для этого используются разные варианты функций активации, например, функция сигмоиды. Такие возможности позволяют решать разные задачи точнее и быстрее, особенно при большом количестве опытных данных, например, при расчете режимов резания и других задач.

Возвращаясь к задаче формирования блока «Операция» в технологическом процессе (рис. 1) в более автоматизированном режиме, одной из задач является распознавание всех конструктивных элементов детали на её 3D-модели. НС сможет определить тип детали из классификатора, далее распознать каждый ее элемент и положение, а также сгруппировать их в операции самостоятельно. Унификация и классификация деталей и их поверхностей может производиться по методике, описанной в работе [8]. Как было описано выше НС обучается на основе опыта, таким образом, задача сводится к правильному описанию опыта проектирования технологических процессов, в том числе с использованием типовых технологических процессов [9, 10]. Также необходимо создание более тесных связей между деталью, обрабатываемым материалом, технологией, инструментом и оборудованием в соответствии с семантической моделью, это позволит упростить автоматизацию множества сопутствующих задач [11, 12, 13].

Каждый тип детали имеет свои особенности обработки, допустим, корпусные детали призматической формы в основном обрабатываются на фрезерном оборудовании, расположение и вид конструктивных элементов дают понимание, какое фрезерное оборудование необходимо, достаточно 3-х осей или более, также у данных деталей имеются свои требования к базированию и конструкции приспособлений. Если нейронной сети показать множество различных типов корпусных деталей и соответствующих им технологических процессов, она научится самостоятельно выбирать оборудование, схемы базирования, приспособления, группировать элементы для обработки по операциям, а соответственно и проектировать технологический процесс обработки детали.

Еще одним методом ИИ является использование агентов. Агент – это программа, которая может работать автономно и решать свою определенную задачу. Агенты могут взаимодействовать друг с другом и действовать сообща, если это требуется. Таким образом при проектировании технологических процессов каждый агент может решать свои задачи.

Проектирование инструментов, приспособлений и станков представляет собой также сложный процесс, в этой области накоплены огромный опыт и знания, однако при автоматизированном их проектировании множество решений по-прежнему принимается человеком [14, 15]. Данный опыт может быть систематизирован и в совокупности с методами ИИ возможно сделать этот процесс также более эффективным.

Вывод

Методы ИИ стали более совершенными, сегодня распознавание лиц, цифровые фильтры, реконструкция изображения и множество других функций стали частью нашей реальности, однако все они были созданы с помощью технологий искусственного интеллекта. Аналогичным образом становится возможным и автоматизация такой творческой задачи, как проектирование технологических процессов. Создание нейронной сети с последующим ее обучением, является одной из таких возможностей, наделять системы автоматизированного проектирования принимать разумные решения, таким образом снизить сроки и трудоемкость проектирования, высвободить человеческие ресурсы.

Список литературы

1. Диалоговая САПР технологических процессов: учебник для вузов / В.Г. Митрофанов, Ю.М. Соломенцев, А.Г. Схиртладзе и др. – М.: Машиностроение, 2000. – 232 с.
2. Автоматизация проектирования технологических процессов в машиностроении / В.С. Корсаков, Н.М. Капустин, К.-Х. Темпельгоф, Х. Лихтенберг; под общ. ред. Н.М. Капустина. – М.: Машиностроение, 1985. – 304 с.
3. Патент на полезную модель 2008615315 Российская Федерация. Система автоматизированного проектирования технологической подготовки производства на станках с ЧПУ (САПР ТПП ЧПУ v. 1.0) / А.С. Янюшкин, О.Н. Михалев. – № 2008614323; заявл. 06.11.2008.
4. *Mikhalev O.N., Yanyushkin A.S.* Perfection of the automated systems of machine-building manufactures // Proceedings of the 12th International Symposium «Materials, Methods & Technologies». – Bulgaria, 2011. – P. 76–81.
5. *Джонс М.Т.* Программирование искусственного интеллекта в приложениях / пер. с англ. А.И. Осипов. – М.: ДМК Пресс, 2018. – 312 с. – ISBN: 978-5-94074-746-8.
6. *Тарик Р.* Создаем нейронную сеть: пер. с англ. – СПб.: ООО «Диалектика», 2019. – 272 с. – ISBN: 978-5-9909445-7-2.
7. *Николенко С., Кадурич А., Архангельская Е.* Глубокое обучение. – СПб.: Питер, 2018. – 480 с. – ISBN: 978-5-496-02536-2.
8. *Базров Б.М.* Модульная технология в машиностроении. – М.: Машиностроение, 2001. – 368 с.
9. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. / под ред.: А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – Т. 1. – 656 с., ил.
10. *Схиртладзе А.Г., Борискин В.П.* Производство деталей металлорежущих станков: учебное пособие. – 2-е изд., стер. – Старый Оскол: ТНТ, 2018. – 592 с. – ISBN: 978-5-94178-209-3.
11. *Mikhalev O.N., Yanyushkin A.S.* CAD/CAM-system module for the design of automatic production // 12th International Scientific Congress «Machines. Technologies. Materials». – Bulgaria, 2020. – Vol. 1. – P. 72–75.
12. *Михалёв О.Н., Янюшкин А.С.* Модуль интеллектуальной обработки САМ-системы // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2019. – Т. 21, № 3. – С. 28–41. – DOI: 10.17212/1994-6309-2019-21.3-28-41.
13. *Михалёв О.Н., Янюшкин А.С.* Повышение степени автоматизации САД/САМ-систем при проектировании обработки точных отверстий на многоцелевых станках с ЧПУ // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2008. – № 5. – С. 33–38.

14. Проектирование автоматизированных станков и комплексов: учебник. В 2 т. / под ред. П.М. Чернянского. – 2-е изд., испр. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. – ISBN: 978-5-7038-3810-5.

15. Схиртладзе А.Г., Тимирязев В.А., Юркевич В.В. Управление точностью и производительностью процесса обработки отверстий лезвийным режущим инструментом: монография. – Старый Оскол: ТНТ, 2016. – 276 с.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE AUTOMATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES

Mikhalev O. N., Ph.D. (Engineering), e-mail: mih_tm@mail.ru

Yanyushkin A.S., D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: yanyushkinas@mail.ru

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

Abstract

Simple, accurate and fast design of technological processes for parts processing is one of the important tasks of highly competitive modern production, as well as constant improvement and updating of products. The capabilities of advanced automation systems are becoming wider, but it still remains limited due to the complexity of the algorithmization of creative processes. The most suitable methods for automating creative design tasks are artificial intelligence technologies such as neural networks able to learn, recognize elements, and act intelligently. The use of such algorithms will allow systems to solve more complex problems that a person is engaged in today, thereby freeing up human resources, increasing the development speed, quality and efficiency of technological processes, creating expert systems that help a person make decisions, especially in conditions of many influencing factors.

Keywords

Process automation, artificial intelligence, neural network

УДК 621.1

**ПРОГРАММИРУЕМОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ
ВЫСОКОПРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

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

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

Введение. Повышение требований к эксплуатационным характеристикам изделий машиностроения ведет к повышению спроса на качественные изделия из высокопрочных материалов. Их размерная обработка традиционными методами не всегда позволяет получить требуемое качество поверхности при высокой производительности. Поэтому всё большее применение находят различные виды комбинированной обработки, позволяющие повысить качественные параметры изделий и эффективность технологий. К комбинированным методам размерной обработки относят электрохимическое шлифование алмазным инструментом с его периодической электрохимической правкой и последующее электрохимическое полирование изделий гладким электродом. Указанная технология позволяет улучшить качество поверхности изделий и снизить трудоемкость обработки высокопрочных и труднообрабатываемых материалов и сплавов. Для автоматического управления электрическими параметрами процесса комбинированной обработки используют различные программируемые устройства и один или два источника тока. Однако известные устройства не позволяют производить автоматическое управление процессами электрохимического шлифования и полирования изделий и электрохимической правки алмазного инструмента. **Целью работы** является разработка и исследование работоспособности программируемого устройства для автоматического управления процессом электрохимической обработки изделий и электрохимической правки инструмента. **Методы исследования.** Методика проведения исследований предусматривает разработку конструкции экспериментального образца устройства и его тестирование. Оценкой работоспособности экспериментального образца устройства является возможность автоматического управления индивидуально электрическими параметрами процесса электрохимического шлифования и полирования изделий и электрохимической правки инструмента. **Результаты и обсуждение.** Исследования работоспособности программируемого устройства проводились путем электрохимического шлифования и электрохимического полирования изделий из стали 12Х18Н10Т подтвердили работоспособность разработанного нами программируемого устройства. В ходе проведения работы разработана конструкция программируемого устройства, изготовлен экспериментальный образец программируемого устройства и проведены его испытания. **Выводы.** Установлено, что предлагаемая конструкция программируемого устройства позволяет производить электрохимическое шлифование и электрохимическое полирование металлических изделий и электрохимическую правку абразивного токопроводящего инструмента, что расширяет его технологические возможности.

Ключевые слова: Электрохимическое шлифование, электрохимическое полирование, комбинированная обработка, электрохимическая правка инструмента, источник тока, алмазный инструмент, электрод

Введение

Повышение требований к эксплуатационным характеристикам изделий машиностроения ведет к повышению спроса на качественные изделия из высокопрочных материалов. Их размерная обработка традиционными методами не всегда позволяет получить требуемое качество поверхности при высокой производительности. Поэтому всё большее применение находят различные виды комбинированной обработки, позволяющие повысить качественные параметры изделий и эффективность технологий [1-26]. Так, к примеру, к финишным комбинированным методам размерной обработки относят электрохимическое шлифование с электрохимической правкой инструмента и последующее электрохимическое полирование. Такая технология позволяет улучшить качество поверхности изделий и снизить трудоемкость обработки высокопрочных и труднообрабатываемых материалов и сплавов. Обработка производится последовательно путем шлифования алмазным инструментом на металлической связке и полирования гладким электродом.

Для автоматического управления электрическими параметрами процесса комбинированной обработки зачастую используют программируемые устройства [27-31].

Известно программируемое устройство для электрохимической обработки металлических изделий токопроводящим кругом [6]. Оно содержит источник тока и программируемый блок управления. Блок управления регулирует длительность и частоту следования импульсов рабочего тока и тока правки инструмента. Он управляет работой четырех реле, установленных в блок коммутации токов. Блок коммутации токов предназначен для подачи в электрическую цепь «обрабатываемое изделие - электролит - токопроводящий инструмент» поочередно токов прямой и обратной полярности. Наличие только одного источника тока не позволяет устанавливать индивидуально значения электрических параметров электрохимического шлифования изделия и процесса электрохимической правки токопроводящего инструмента, которые выполняются поочередно. Поэтому невозможно установить оптимальные значения параметров рабочего тока и тока правки инструмента.

Известно также устройство для комбинированной обработки металлических изделий сменными токопроводящими инструментами [6]. Оно содержит два источника тока и блок автоматического переключения токов. В инструментальную оправку поочередно устанавливаются абразивный инструмент и электрод. Положительные полюса источников токов постоянно соединены с обрабатываемой деталью, а отрицательные полюса источников тока соединяются поочередно с инструментом или электродом. Очередность их соединения происходит в соответствии с управляющей программой. Абразивный инструмент используется при электрохимическом шлифовании изделий, а электрод – при их электрохимическом полировании. Режимы обработки каждого из выполняемых процессов можно управлять индивидуально за счет использования в каждом процессе источника тока с требуемыми характеристиками. Недостаток устройства состоит в том, что инструмент может соединяться только с отрицательным полюсом источника тока. Поэтому нет возможности производить электрохимическую правку инструмента. При такой правке он должен иметь возможность соединяться с положительным полюсом источника тока.

Целью работы является разработка и исследование работоспособности программируемого устройства для автоматического управления процессом, как электрохимической обработки изделий, так и электрохимической правки инструмента.

Методика экспериментального исследования

В качестве объекта исследований выбран процесс комбинированной финишной обработки металлических изделий, изготовленных из коррозионноустойчивых сталей путем электрохимического шлифования алмазными головками с их электрохимической правкой и последующее электрохимическое полирование гладким электродом с применением программируемого устройства для управления электрическими параметрами указанных процессов. Методика проведения исследований предусматривает разработку конструкции экспериментального образца устройства и его тестирование. Оценкой работоспособности экспериментального образца устройства является возможность автоматического управления индивидуально электрическими параметрами процесса электрохимического шлифования и полирования изделий и электрохимической правки инструмента.

Схема функционирования разработанного нами программируемого устройства для автоматического управления электрическими параметрами процесса электрохимической обработки изделий и электрохимической правки инструмента представлена на рис. 1.

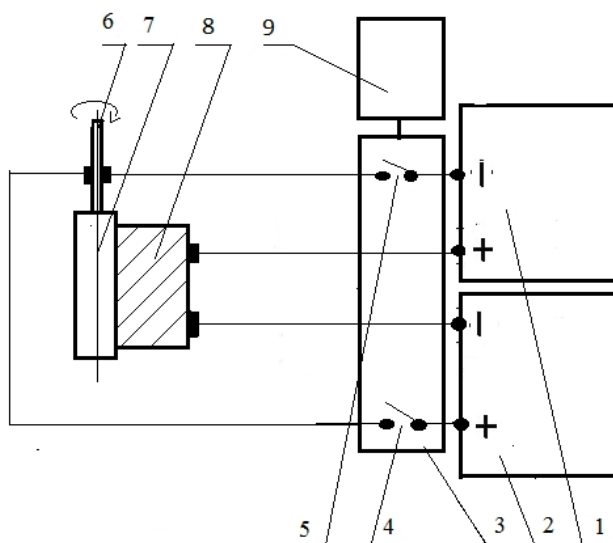


Рис. 1. Схема функционирования программируемого устройства:

- 1, 2- источники тока, 3- блок коммутации токов, 4, 5- реле, 6- инструментальная оправка, 7- инструмент, 8- обрабатываемое изделие, 9- блок управления коммутацией токов

Источник тока 1 используется при электрохимической обработке металлического изделия 8. Источник тока 2 используется при электрохимической правке абразивного токопроводящего инструмента 7. Блок коммутации токов 3 снабжен двумя реле 4 и 5. Он предназначен для периодической подачи импульсов тока в электрические цепи, образованные источниками тока 1 и 2, обрабатываемым изделием 8 и инструментом 7. В зону обработки подается электролит. Блок управления коммутацией токов 9 снабжен программируемым микроконтроллером. Вход реле 5 соединен с отрицательным полюсом источника тока 1, а вход реле 4 соединен с положительным полюсом источника тока 2.

Первоначально в инструментальную оправку 6 устанавливается абразивный токопроводящий инструмент 7. Блок управления коммутацией токов 9 подаёт сигнал на реле

5. Происходит электрохимическое воздействие на изделие 8, Разупрочненный слой припуска удаляется абразивным инструментом 7. Затем блок управления коммутацией токов подаёт сигналы в соответствии с программой, заложенной в микроконтроллер, на реле 4 и 5. Реле 5 размыкает контакты электрической цепи, а реле 4 замыкает контакты электрической цепи. Происходит электрохимическое воздействие на инструмент 7 и его электрохимическая правка. По окончании процесса электрохимической правки инструмента реле 4 размыкает контакты электрической цепи. Подача тока прекращается. Указанные процессы повторяются в соответствии с программой, заложенной в микроконтроллер. Алмазная головка заменяется гладким электродом. Управляющий сигнал поступает с блока управления 9 на реле 5. В результате этого деталь 8 соединяется с положительным полюсом источника тока, а гладкий электрод соединяется с отрицательным полюсом источника тока. Происходит электрохимическое полирование изделия.

На рис. 2 приведена фотография изготовленного нами экспериментального образца программируемого устройства.



Рис. 2. Экспериментальный образец программируемого устройства

В таблице приведены основные технические характеристики программируемого устройства.

Таблица

Основные технические характеристики программируемого устройства

Наименование	Значение
Тип управления	электронное
Питание	9-14 В.
Максимальная сила тока	0,5А
Количество сохраняемых программ	8
Масса устройства	0,2 кг
Габаритные размеры устройства	150*90*20 мм
Платформа программирования	Arduino
Язык программирования	C++
Способ изменения числовых параметров программы	клавишами с лицевой панели устройства
Оборудование для программирования	персональный компьютер, USB-соединение
Диапазон температур использования устройства	от +10 до +40 градусов
Степень защиты оболочки	IP20 по ГОСТ 14254-96

Результаты и их обсуждение

Исследования работоспособности программируемого устройства проводились путем электрохимического шлифования и электрохимического полирования изделий из стали 12X18H10T диаметром 10 мм и высотой 6 мм. Режимы шлифования: скорость резания $5,5 \text{ м}\cdot\text{сек}^{-1}$, глубина резания 0,1 мм, продольная подача 50 мм/мин. Режимы полирования: скорость резания $5,5 \text{ м}\cdot\text{сек}^{-1}$, глубина резания 0,01 мм, продольная подача 50 мм/мин. В качестве инструмента применялись цилиндрическая алмазная головка на металлической связке диаметром 3 мм и гладкий медный электрод диаметром 3 мм. Размер зерна алмазной головки 90...125 мкм. Обработка осуществлялась с применением электролита на водной основе (NaNO_3 – 3%, NaNO_2 – 1%, Na_2CO_3 – 0,5%). В процессе электрохимического шлифования периодически проводилась электрохимическая правка алмазной головки. Для электрохимического шлифования и электрохимического полирования использовался источник тока напряжением 12В, а электрохимическая правка алмазной головки осуществлялась с применением источника тока напряжением 9В. Проведенные испытания подтвердили работоспособность разработанного нами программируемого устройства.

Выводы

Предлагаемая конструкция программируемого устройства позволяет производить электрохимическое шлифование и электрохимическое полирование металлических изделий и электрохимическую правку абразивного токопроводящего инструмента, что расширяет его технологические возможности.

Список литературы

1. *Никифоров А.С., Рафанова О.С., Мулюхин Н.В.* Проблемы трещинообразования при финишной обработке высокопрочных материалов // *Современные технологии: проблемы и перспективы: сборник статей всероссийской научно-практической конференции для аспирантов, студентов и молодых учёных.* – Севастополь: СевГУ, 2019. – С. 77–82.
2. Повышение эффективности обработки высокопрочных композиционных материалов / *А.С. Янющкин, В.Ю. Попов, Н.П. Петров, Д.А. Рычков* // *Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки.* – 2013. – Т. 1. – С. 146–149.
3. *Солер Я.И., Гайсин С.Н., Казмиров Д.Ю.* Прогнозирование микрорельефа шлифованных деталей переменной жесткости из стали 13X15H4AM3 при многопроходном съеме припуска // *Вестник Иркутского государственного технического университета.* – 2006. – № 1 (25). – С. 64–70.
4. *Григоренко В.Б.* Особенности применения коррозионностойких сталей // *Сталь.* – 2014. – № 1. – С. 60–65.
5. Патент на изобретение RU 2489236, С2. Способ электроабразивной обработки токопроводящим кругом / *В.А. Мишин, М.А. Борисов, Д.В. Александров.* – № 2011122895/02; заявл. 06.06.2011; опубл. 10.08.2013, Бюл. № 22.
6. *Борисов М.А., Мишин В.А.* Управление процессом электрохимического шлифования при отсутствии автономной цепи правки инструмента: монография. – Чебоксары: Политех, 2019. – 134 с. – ISBN 978-5-907132-49-8.

7. Специальный осевой режущий инструмент для обработки композиционных материалов / Е.В. Васильев, А.Ю. Попов, И.А. Бугай, П.В. Назаров // СТИН. – 2015. – № 4. – С. 9–11.
8. Плоское шлифование торцов колец крупногабаритных подшипников с требуемым качеством поверхности / В.А. Носенко, В.Н. Тышкевич, С.В. Орлов, А.В. Саразов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. – 2014. – Т. 14, № 4. – С. 67–78.
9. Прогрессивные машиностроительные технологии, оборудование и инструменты: коллективная монография / А.С. Верещагин, А.П. Возняковский, Т.Ф. Григорьева, О.Н. Кирилов, А.М. Козлов и др. – М.: Спектр, 2015. – Т. V. – 464 с.
10. *Иванцовский В.В., Рахмьянов Х.М.* Технологическое обеспечение качества поверхностного слоя деталей машин при интеграции поверхностной термической и финишной механической обработки // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2005. – № 6. – С. 43-46.
11. Integrated processing: quality assurance procedure of the surface layer of machine parts during the manufacturing step «diamond smoothing» / V.Y. Skeebea, V.V. Ivancivsky, D.V. Lobanov, A.K. Zhigulev, P.Y. Skeebea // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 125. – P. 012031. – DOI: 10.1088/1757-899X/125/1/012031.
12. *Скиба В.Ю., Иванцовский В.В.* Гибридное металлообрабатывающее оборудование: повышение эффективности технологического процесса обработки деталей при интеграции поверхностной закалки и абразивного шлифования: монография. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2018. – 312 с. – ISBN 978-5-7782-3690-5.
13. Deep grinding of incomplete-cycle surfaces, with periodic straightening of the wheel / V.A. Nosenko, S.V. Nosenko, V.K. Zhukov, A.A. Vasilev // Russian Engineering Research. – 2008. – Vol. 28, iss. 5. – P. 442–449. – DOI: 10.3103/S1068798X08050109.
14. *Popov V.Yu., Arkhipov P.V., Rychkov D.A.* Adhesive wear mechanism under combined electric diamond grinding // MATEC Web of Conferences. – 2017. – Vol. 129. – P. 01002. – DOI: 10.1051/matecconf/201712901002.
15. *Bratan S., Roshchupkin S., Revenko D.* Probabilistic approach for modeling electroerosion removal of grinding wheel bond // Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 206. – P. 1426–1431. – DOI: 10.1016/j.proeng.2017.10.656.
16. *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 3 Всероссийской научно-практической конференции. – Чебоксары: ЧГУ им. И.Н. Ульянова, 2017. – С. 188–192.
17. *Nosenko V.A., Nosenko S.V.* Deep grinding of titanium alloy with continuous wheel correction // Russian Engineering Research. – 2010. – Vol. 30, iss. 11. – P. 1124–1128. – DOI: 10.3103/S1068798X10110110.
18. *Захаров О.В.* Бесцентровое шлифование конических поверхностей на станках с продольной подачей // Автоматизация и современные технологии. – 2006. – № 7. – С. 14–16.
19. *Борисов М.А., Мишин В.А.* Аспекты применения электрохимического шлифования зубопротезных металлических изделий // Новые технологии науки, техники, педагогики высшей школы: материалы международной научно-практической конференции. – М.: Московский Политех, 2017. – С. 157–159.
20. *Kozlov A.M., Kozlov A.A.* Shaping the surface topology of cylindrical components by means of an abrasive tool // Russian Engineering Research. – 2009. – Vol. 29, iss. 7. – P. 743–746. – DOI: 10.3103/S1068798X09070223.
21. *Смирнов В.М., Тимофеев Д.А., Шалунов Е.П.* Дисперсно-упрочненная связка на основе порошковой меди для алмазного инструмента // Современные технологии в

машиностроении и литейном производстве: материалы 2 международной научно-практической конференции. – Чебоксары: ЧГУ им. И.Н. Ульянова, 2016. – С. 317–320.

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

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

24. *Soler Ya.I., Kazimirov D.Yu., Prokop'eva A.V.* Optimizing the grinding of high-speed steel by wheels of cubic boron nitride // *Russian Engineering Research*. – 2007. – Vol. 27, iss. 12. – P. 916–919. – DOI: 10.3103/S1068798X07120180.

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

26. Numerical Simulation of Temperature Field in Steel under Action of Electron Beam Heating Source / V.Yu. Skeebe, V.V. Ivancivsky, N.V. Martyushev, D.V. Lobanov, N.V. Vakhrushev, A.K. Zhigulev // *Key Engineering Materials*. – 2016. – Vol. 712. – P. 105–111. – DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.712.105.

27. *Борисов М.А., Мишин С.А., Сидельников А.М.* Разработка конструкции устройства для автоматического управления потоком жидкости, подаваемого к нескольким потребителям // *Современные технологии в машиностроении и литейном производстве: материалы 3 международной научно-практической конференции*. – Чебоксары: ЧГУ им. И.Н. Ульянова, 2017. – С. 201–206.

28. Деформации в технологической системе при шлифовании / П.М. Салов, В.Н. Цай, С.С. Сайкин, Д.А. Юрпалов, Т.Г. Виноградова и др. // *Научно-технический вестник Поволжья*. – 2016. – № 3. – С. 44–46.

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

30. 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.

31. *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.

**PROGRAMMABLE DEVICE FOR CONTROL OF ELECTRICAL PARAMETERS OF
COMBINED PROCESSING OF HIGH-STRENGTH MATERIALS****Borisov M.A.**, Ph.D (Engineering), Associate Professor, e-mail: borisovmgou@mail.ru**Lobanov D.V.**, D.Sc. (Engineering), Associate Professor, e-mail: lobanovdv@list.ru

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

Abstract

Introduction. Increasing requirements for the performance characteristics of mechanical engineering products leads to an increase in demand for high-quality products made of high-strength materials. Their dimensional processing by traditional methods does not always allow obtaining the required surface quality at high productivity. Therefore, various types of combined processing are increasingly used, which make it possible to increase the quality parameters of products and the efficiency of technologies. Combined methods of dimensional processing include electrochemical grinding with a diamond tool with its periodic electrochemical dressing and subsequent electrochemical polishing of products with a smooth electrode. This technology improves the surface quality of products and reduces the complexity of processing high-strength and difficult-to-machine materials and alloys. Various programmable devices and one or two current sources are used to automatically control the electrical parameters of the combined processing process. However, the known devices do not allow automatic control of the processes of electrochemical grinding and polishing of products and electrochemical dressing of diamond tools

The purpose of the work is to develop and study the operability of a programmable device for automatic control of the process of electrochemical processing of products and electrochemical straightening of tools

Research methods. The research methodology provides for the development of the design of an experimental sample of the device and its testing. Evaluation of the performance of the experimental device is the ability to automatically control the individual electrical parameters of the process of electrochemical grinding and polishing of products and electrochemical dressing of the tool.

Results and discussion. Studies of the operability of the programmable device were carried out by electrochemical grinding and electrochemical polishing of 12Kh18N10T steel products confirmed the operability of the programmable device developed by us. In the course of the work, the design of the programmable device was developed, an experimental prototype of the programmable device was made and tested.

Findings. It was found that the proposed design of the programmable device allows for electrochemical grinding and electrochemical polishing of metal products and electrochemical dressing of an abrasive conductive tool, which expands its technological capabilities.

Keywords

Electrochemical grinding, electrochemical polishing, combined machining, electrochemical dressing of the tool, power source, diamond tool, electrode.

УДК 621.048

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ
СВОБОДНЫМИ АБРАЗИВАМИ**

*М.А. ТАМАРКИН, доктор техн. наук, профессор,
Э.Э. ТИЩЕНКО, кандидат техн. наук, доцент
(ДГТУ, г. Ростов-на-Дону)*

Тамаркин М.А. – 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1,
Донской государственный технический университет,
e-mail: tehn_rostov@mail.ru

В статье представлены результаты исследований технологических процессов обработки деталей свободными абразивами. Определены особенности рассматриваемых методов. Проведены теоретические исследования. Разработана обобщенная теория формирования параметров качества поверхностного слоя для методов обработки деталей свободными абразивами. Получены аналитические зависимости расчета съема металла за одно взаимодействие абразивной гранулы с поверхностью детали. Разработан комплекс математических моделей для расчета высотных параметров шероховатости поверхностного слоя на различных стадиях обработки. Разработана методика расчета времени обработки деталей для обеспечения заданных параметров их шероховатости. Разработана и описана методика проектирования технологических процессов обработки деталей свободными абразивами.

Ключевые слова: обработка свободными абразивами, шероховатость поверхности, время обработки, методика проектирования технологических процессов

Введение

Обработка в абразивной среде производится на стадии финишной обработки деталей машин. Она имеет следующие преимущества: одновременная обработка большого количества деталей без их базирования и закрепления, низкая стоимость применяемого оборудования, надежное обеспечение заданных параметров качества поверхностного слоя. Наиболее широко распространенными среди этих методов являются виброабразивная обработка, центробежно-ротационная абразивная обработка, струйно-абразивная обработка, турбоабразивная обработка [1-16].

Слой удаляемого материала, как правило, ограничивается параметром R_{max} (максимальная высота исходной шероховатости). Однако в некоторых случаях при наличии дефектного слоя время обработки и, соответственно, толщина снимаемого слоя, могут быть значительно увеличены.

Среди комплекса разработанных моделей наиболее важной является аналитическая модель параметров единичного соударения абразивной гранулы с поверхностью детали (длина, ширина и глубина, а также форма единичного следа). Следует отметить, что только часть соударений гранулы с поверхностью детали сопровождается съемом материала с её поверхности. Остальные взаимодействия приводят к упругому и пластическому деформированию локальных объемов поверхностного слоя. Формирование параметров микрорельефа поверхностного слоя осуществляется при многократном наложении и

пересечении единичных следов. Вначале абразивная гранула срезает вершины выступов микропрофиля, высота которых уменьшается вплоть до достижения установившейся шероховатости и постоянно воспроизводится при дальнейшей обработке.

Материалы и методы

При создании комплекса аналитических моделей формирования параметров качества поверхностного слоя для различных методов обработки учтены их общие закономерности: формирование следа единичного взаимодействия зависит от направления и энергии удара абразивной гранулы, физико-механических свойств поверхностного слоя и может быть описано с использованием теории случайных процессов. Наиболее сложной задачей является расчет максимальной глубины внедрения абразивных гранул в поверхность обрабатываемых деталей [1-4]:

$$h_{\max} = 2 \cdot V_{\text{эф}} \cdot R \cdot \sin \beta \sqrt{\frac{\rho_u}{3 \cdot K_R \cdot c \sigma_s}}, \quad (1)$$

где $V_{\text{эф}}$ - эффективная скорость движения частицы; R - радиус частицы; β - угол встречи частицы среды с поверхностью обрабатываемой детали; ρ_u - плотность материала частицы; σ_s - предел текучести материала детали, c - коэффициент, оценивающий несущую способность контактной поверхности; k_R - коэффициент, учитывающий влияние зернистости абразивной частицы на фактическую площадь контакта, который определяется по зависимости:

$$k_R = \sqrt[3]{\frac{48 \cdot \rho_u}{c \cdot \sigma_s} \cdot \left(\frac{k_p \cdot V_{\text{эф}} \cdot \sin \beta \cdot \chi \cdot Y(\alpha) \cdot (1 - \varepsilon_3) \cdot \bar{x}}{\alpha^2 \cdot (\bar{x}^2 + 3 \cdot \sigma^2)} \right)^2} \quad (2)$$

где χ - доля, занимаемая абразивными частицами в единице объема частицы; k_p - коэффициент, определяющий число абразивных зерен, вступивших в контакт с поверхностью детали при внедрении частицы, α - коэффициент формы зерна; $Y(\alpha)$ - функция, зависящая от α ; ε_3 - коэффициент, учитывающий заделку зерен в связке; \bar{x} - средний размер абразивных зёрен; σ - среднеквадратичное отклонение размера зерен.

При единичном взаимодействии образуется поверхность, представляющая собой часть эллипсоида с размерами полуосей:

$$\begin{aligned} b &= \sqrt{R^2 - (R - h_{\max})^2}, \\ a &= \frac{\pi}{2} (\text{ctg} \beta - f) \cdot h_{\max} + b, \end{aligned} \quad (3)$$

где f - коэффициент пропорциональности.

Следует отметить, что в отличие от других методов обработки при использовании гранулированной абразивной среды шероховатость поверхности анизотропна, т.е. одинакова в различных направлениях. При создании аналитической модели формирования высотных параметров профиля шероховатости поверхностного слоя использовалась методология, разработанная профессором А.В. Королевым [5], для расчета этих параметров при обработке связанным абразивом (шлифование, хонингование и т.п.). Среднее арифметическое

отклонение профиля шероховатости обработанной поверхности может быть определено по зависимости:

$$Ra_{ycm} = K \sqrt{\frac{h_{max} \cdot l_{ed}}{z_0}}, \quad (4)$$

где l_{ed} - единичная длина; z_0 - номинальное число вершин зерен над единицей поверхности связки, K - эмпирический коэффициент (определен для различных методов обработки свободными абразивами).

Зависимость этого параметра от времени обработки можно описать при помощи экспоненциальной функции. Интенсивность снижения высотных параметров постепенно уменьшается и достигает минимального значения при формировании установившейся шероховатости [1-4]. При создании аналитической модели эта зависимость приводится к виду:

$$Ra(t) = (Ra_{ucx} - Ra_{ycm}) e^{-k_u t} + Ra_{ycm} \quad (5)$$

где Ra_{ucx} - среднее арифметическое отклонение профиля исходной шероховатости, k_u - коэффициент интенсивности уменьшения шероховатости, t - время обработки.

При создании аналитической модели для расчета времени обработки, с учётом экспоненциального характера уменьшения высотных параметров шероховатости поверхности получена зависимость:

$$t = -\frac{1}{k_u} \cdot \ln \frac{Ra_{зад} - Ra_{ycm}}{Ra_{ucx} - Ra_{ycm}}. \quad (6)$$

Коэффициент k_u , входящий в зависимости (5) и (6), не представляется возможным определить теоретически, однако его можно получить экспериментально. Для расчета технологических параметров рассматриваемых методов обработки при проведении комплекса экспериментальных исследований получен банк данных коэффициентов k_u . Величина этих коэффициентов позволяет производить оптимизацию технологических процессов и выбирать методы обработки.

Результаты и обсуждение

Разработанный комплекс аналитических моделей прошел многократную проверку при проведении экспериментальных исследований. Их адекватность подтверждена при расчете критерия Фишера.

На рис. 1 и 2 представлено сравнение расчетных теоретических зависимостей установившейся шероховатости от режимов обработки (построены с помощью программы *Mathcad* и выполнены сплошной линией) и результатов экспериментальных исследований, которые нанесены на рисунок точками с доверительными интервалами. Доверительная вероятность составила 95%.

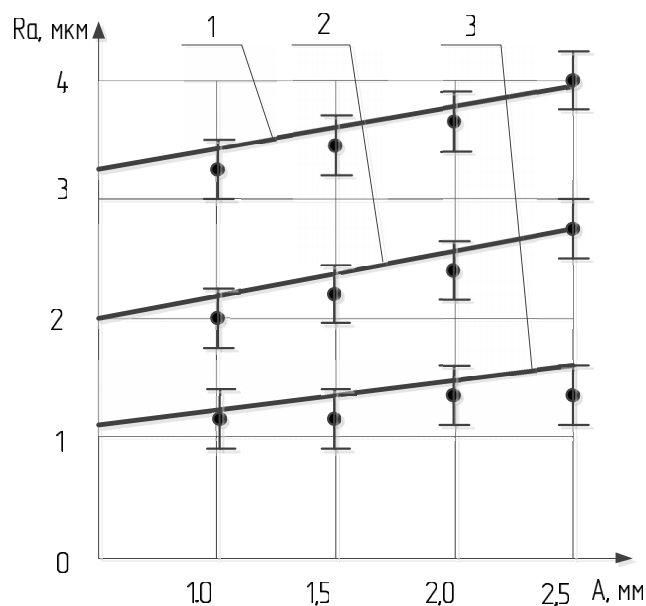


Рис. 1. Зависимость шероховатости от амплитуды колебаний рабочей камеры при вибрационной обработке в среде абразива.

Материал детали – сталь 45, частота колебаний камеры – 26 Гц.

Рабочие среды: 1 – призмы ПТ 25x25 (зернистость 25), 2 - конуса (зернистость 16),
3 – призмы ПТ 15x15 (зернистость 12)

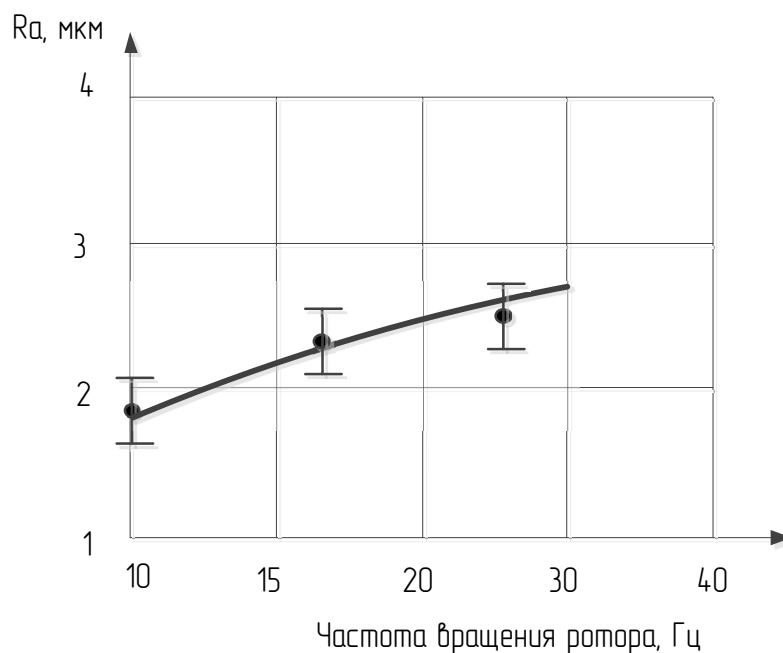


Рис. 2. Зависимость шероховатости поверхности от частоты вращения ротора при центробежно-ротационной обработке в среде абразива.

Материал детали – сталь 45. Среда – фарфоровые шары.

Приведенные результаты позволяют подтвердить методологию расчета результатов обработки на стадии технологического проектирования и рекомендовать её для использования в производстве.

Выводы

Разработанная обобщенная теория расчета производительности и качества обработки при использовании абразивных гранулированных сред, прошедшая проверку на адекватность, может быть успешно использована при проектировании технологических процессов. С её помощью можно выбирать оптимальный вариант используемых методов обработки (структурная оптимизация) и их технологических параметров (параметрическая оптимизация).

Список литературы

1. *Тамаркин М.А., Тищенко Э.Э.* Основы оптимизации процессов обработки деталей свободным абразивом. – Саарбрюккен: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. – 140 с.
2. *Тамаркин М.А., Тищенко Э.Э., Рожненко О.А.* Исследование формирования съема металла при абразивной обработке фасонных поверхностей деталей // СТИН. – 2012. – № 10. – С. 25–30.
3. *Тищенко Э.Э., Тамаркин М.А.* Современное состояние и перспективы развития методов обработки в гранулированных рабочих средах // Научные технологии в машиностроении. – 2020. – № 9 (111). – С. 12–20. – DOI: 10.30987/2223-4608-2020-9-12-20.
4. Part Processing Technology in Transport Engineering / М.А. Tamarkin, Е.Е. Tishchenko, I.M. Chukarina, T.S. Sosnitskaya // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. – 2019. – Vol. 1551. – P. 913–922. – DOI: 10.1007/978-3-030-37916-2_90.
5. *Королёв А.В.* Исследование процессов образования поверхностей инструмента и детали при абразивной обработке. – Саратов: Из-во Саратов. ун-та, 1975. – 191 с.
6. *Lebedev V.A., Ivanov V.V., Fedorov V.P.* Morphological analysis of galvanized coating applied under vibrowave process system conditions // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2016. – Vol. 124. – P. 01216. – DOI: 10.1088/1757-899X/124/1/012160.
7. Effect of the Velocity of Rotation in the Process of Vibration Grinding on the Surface State // К. Hamouda, H. Bournine, M. Tamarkin, A. Babichev, D. Saidi, H.E. Amrou // *Materials Science*. – 2016. – Vol. 52, No. 2. – P. 216–221. – DOI: 10.1007/s11003-016-9946-9.
8. *Ivanov V.V., Lebedev V.A., Pinahin I.A.* Improving wear resistance of surface by depositing vibrational mechanochemical MOS₂ coating // *Journal of Friction and Wear*. – 2014. – Vol. 35. – P. 339–342. – DOI: 10.3103/S1068366614040059.
9. *Antonova N.M., Berezovsky V.S., Babichev A.P.* Study of the morphology and structure of porous composites obtained from na-cmc suspensions with aluminum micro-particles and boehmite nanoparticles // *Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques*. – 2017. – Vol. 11, iss. 5. – P. 955–959. – DOI: 10.1134/S1027451017050032.
10. *Tamarkin, M., Tishchenko, E., Shvedova, A.* Optimization of dynamic surface plastic deformation in machining // *Russian Engineering Research*. – 2018. – Vol. 38, iss. 9. – P.726–727. – DOI: 10.3103/S1068798X18090277.
11. *Glazman B.S., Korol'kov Y.V., Popov Y.V.* Reducing abrasive wear in centrifugal-rotary machining // *Russian Engineering Research*. – 2014. – Vol. 34, iss.1. – P. 60–64. – DOI: 10.3103/S1068798X1401016X.
12. Complex change in superficial layer properties of specimen obtained by metallurgical powder under vibration process method / К. Hamouda, T. Sayah, J.P. Ankudimov, P.J. Ankudimov, A.P. Babichev et al. // *Diffusion and Defect Data*. – 2010. – Vol. 297–301. – P. 1103–1108. – DOI: 10.4028/www.scientific.net/DDF.297-301.1103.

13. *Prokopetz G.A., Azarova A.A., Prokopetz A.A.* Analysis of ways to control the process of vibration machining in order to increase its efficiency and reduce the technological cost of processed parts // E3S Web Conference. – 2020. – Volume 175. – P. 05039. – DOI: 10.1051/e3sconf/202017505039.

14. Application of aluminum coatings in vibrational finishing of steel parts / Y.P. Ankudimov, I.V. Sadovaya, M.M. Chaava, L.V. Tolmacheva, Y.G. Chernega // Russian Engineering Research. – 2018. – Vol. 38, iss. 9. – P. 733–734. – DOI: 10.3103/S1068798X18090058.

15. Improvement of surface quality and parts functional ability by vibro-mechanical consolidation treatment and finishing / M.A. Djema, K. Hamouda, T. Sayah, A. Babichev, D. Saidi, M.N. Benallal // Diffusion and Defect Data. – 2012. – Vol. 326–328. – P. 153–157. – DOI: 10.4028/www.scientific.net/DDF.326-328.153.

16. Transportation and manufacturing technology system (tmts) vibro- impact treatment of large pieces / D. Saidi, M. Bouaziz, A.P. Babichev, K. Hamouda, M.A. Djema, H. Siguerdjidjene // Diffusion and Defect Data. – 2013. – Vol. 334–335. – P. 7–12. – DOI: 10.4028/www.scientific.net/DDF.334-335.

IMPROVEMENT OF PROCEDURE OF DESIGN OF PROCESS PROCESSES OF PARTS PROCESSING WITH FREE ABRASIVES

Tamarkin M.A., D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: tehn_rostov@mail.ru

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

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

Abstract

The article presents the results of research on the technological processes of processing parts with free abrasives. The peculiarities of the methods under consideration are defined. Theoretical studies have been carried out. A generalized theory of the formation of surface layer quality parameters for methods of processing parts with free abrasives has been developed. Analytical dependencies of metal removal calculation for one interaction of abrasive granule with part surface are obtained. A set of mathematical models was developed to calculate the high-altitude parameters of the surface layer roughness at various stages of processing. A method of calculating the processing time of parts has been developed to ensure the specified parameters of their roughness. The procedure for designing technological processes for processing parts with free abrasives has been developed and described.

Keywords

free abrasive treatment, surface roughness, processing time, method of designing technological processes

УДК 378.14, УДК 621.9

**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НОВЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ПОДГОТОВКИ
ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ**

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

Гартфельдер В.А. – 428015, г. Чебоксары, пр-т Московский, 15,
Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова
e-mail: msf68@bk.ru, harvik48@list.ru

Рассмотрена история и предпосылки открытия в составе Чувашского госуниверситета машиностроительного факультета. Подготовка на факультете многие годы была нацелена на обучение специалистов в области механообработки и проектирования оснастки. Возросшие объемы проектирования современных видов автотракторной техники для концерна «Тракторные заводы» потребовали подготовки инженерных кадров для создания транспортной техники. С этой целью на факультете открыты два новых направления подготовки студентов в области проектирования автотракторной техники и мехатроники. Начальным условием являлось объединение кадровых, интеллектуальных и ресурсных потенциалов всех кафедр машиностроительного и других факультетов. Решение этих задач предлагается в виде реализации комплексного проекта создания беспилотного колесного трактора для сельскохозяйственных работ.

Ключевые слова: Направление подготовки, проектирование, автотракторная техника, мехатроника, факультет, инженерные кадры, объединение потенциалов, концерн «Тракторные заводы».

Введение

Важным аспектом развития любого предприятия в долгосрочной перспективе является подбор или подготовка персонала. Для решения этих задач был создан наш факультет, который уже более 50 лет готовит технических специалистов – инженеров [1]. Мы выпускаем бакалавров по направлениям 15.03.01 «Машиностроение» (профили «Технологии, оборудование и автоматизация машиностроительных производств» и «Машины и технология литейного производства»), 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» и магистров по направлению 15.04.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» [2, 3].

Теория.

В начале 70-х годов XX века в Чувашской Республике был построен крупный машиностроительный комплекс – завод промышленных тракторов (ныне это концерн «Тракторные заводы» – КТЗ), имевший в своем составе предприятия всех стадий жизненного

цикла продукции – маркетинг, проектирование конструкции и разработка технологий, заготовительный передел (литейное и кузнечнопрессовое), механообрабатывающее и сборочное производства, сбыт, сервис и ремонт. Предприятия КТЗ, как и многие другие предприятия машиностроительного комплекса Чувашии, в последние годы испытывает острый дефицит как в инженерах производственного цикла, так и в специализированных конструкторских кадрах, способных к проектированию профильной техники – трубокладчиков, тракторов, бульдозеров, экскаваторов, комбайнов и другой колесной и гусеничной техники.

Для уменьшения остроты этой проблемы в 2015 году делегация Чувашской Республики прибыла в Москву в МГТУ им. Н.Э. Баумана, где состоялось подписание договора об открытии в Чувашском госуниверситете при методическом и техническом содействии руководства и преподавателей МГТУ им. Н.Э. Баумана нового направления 23.03.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы» и выпускающей кафедры «Колесные и гусеничные машины». В 2018 году был сделан первый набор студентов на это направление из числа лиц, имеющих высшее или среднее техническое образование (соответствующее профилю обучения), что позволило перевести их на ускоренную траекторию подготовки. В текущем 2020/21 учебном году состоится первый выпуск студентов этого направления. В этом же году на 1 курс была набрана (на бюджетные места) первая группа очной формы обучения, а также набрана первая группа на направление 15.03.06 «Мехатроника и робототехника» по заочной форме обучения. Направление «Мехатроника и робототехника» очень гармонично связано с направлением «Наземные транспортно-технологические комплексы» ввиду предстоящего масштабного перехода транспорта (в том числе технологического) на беспилотное или дистанционное управление перемещениями и манипуляциями.

Таким образом, факультетом сделаны первые шаги в развитии новых направлений подготовки. Но для полноценного развития обоих направлений необходима интегрирующая идея, объединяющая цели, ресурсы, кадры, интеллектуальный потенциал и научные заделы других кафедр и факультета, а также других технических факультетов университета [4-10]. С этой целью был разработан проект беспилотного трактора под общим названием «Интеллектуальные наземные транспортно-технологические системы».

Результаты и обсуждение

Сельскохозяйственная робототехника и системы цифрового земледелия становятся неотъемлемой частью производства сельскохозяйственных культур. В перспективе решение проблем повышения рентабельности и нехватки рабочей силы в практическом сельском хозяйстве немислимо без развития высокомеханизированного и автоматизированного машинного комплекса [11-13]. «Умные» машины выводят эту отрасль на новый уровень, потребляя меньше энергии и гибко адаптируя свои характеристики для решения разнообразных задач. Этот этап характерен переходом основной доли стоимости продукции от затрат на первичное сельскохозяйственное сырьё к затратам на эксплуатацию машин и их управление. Значит, основной областью повышения рентабельности сельскохозяйственного

производства является оптимальное использование ресурса машин и минимизация затрат на труд человека [14].

Уже сегодня виден широкий спектр роботизированных действий –выравнивание грунта, высадка, выращивание и обработка растений, вспашка, боронование, рыхление и обработка почвы, борьба с вредителями и сорняками, сбор урожая, целенаправленное опрыскивание и обрезка деревьев и т.п. Всё это будет протекать в условиях ограничений и неопределённостей реального мира [15-19].

Из сказанного вытекает задача проекта - разработать роботизированный комплекс и методы управления интеллектуальными наземными транспортно-технологическими системами, которые позволят беспилотной технике следовать по назначенной траектории в условиях пересеченной местности и выполнять заданные технологические операции.

Интеграция микропроцессоров, контроллеров, лидаров, датчиков и других инструментов управления показывает значительные преимущества и потенциал цифровых технологий в современном сельском хозяйстве. В первую очередь это выполнение сложных нелинейных задач по оцифровке растений и полей, сбор точной и детальной информации об окружающем пространстве, управления навигацией роботов [20-24]. Сельскохозяйственные роботы стали важной частью цифрового и точного земледелия. Развитие теории управления и применение роботов в цифровом земледелии, заменило традиционные виды деятельности на решение высокотехнологичных промышленных задач и использование возможностей автоматизации, сделало эту сферу привлекательной для инвесторов, профессиональных инженеров и компаний.

Поэтому сегодня крайне необходимы разработки нового поколения сельскохозяйственных тракторов-роботов, которые могут легко и безопасно применяться для выполнения сельскохозяйственных задач. Проект создания такого трактора был разработан на машиностроительном факультете Чувашского госуниверситета имени И.Н. Ульянова (МСФ ЧГУ). На схеме проекта (рис. 1), показаны внутренние и внешние для МСФ ЧГУ партнёры, основные технические блоки, предполагаемые разработчики устройств и систем, перспективы создания новых лабораторий в ЧГУ, привлечение разработок и специалистов смежных направлений развития науки и техники.

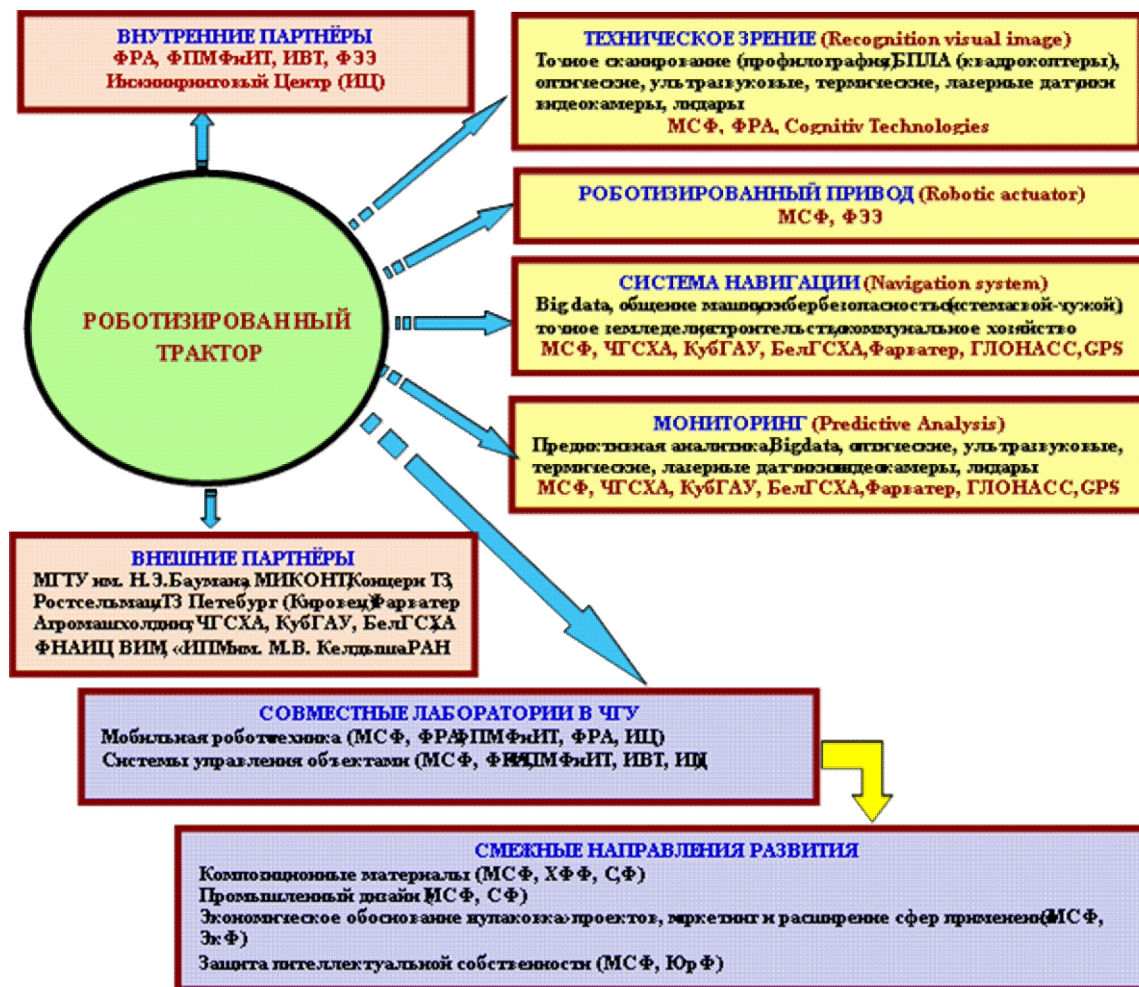


Рис. 1. Схема проекта «Интеллектуальные наземно-транспортные системы»

Выводы

Влияние проекта на развитие университета будет носить комплексный характер. Мы предлагаем включиться в проект ещё 5 участникам. Ведущим и координирующим звеном будет являться машиностроительный факультет, он будет участвовать в изготовлении деталей, сборке и отладке конструкций и проведении испытаний. Ввиду сложности поставленных задач предполагается привлечь к их решению ещё четыре факультета ЧГУ: специалисты факультета радиоэлектроники и автоматики (ФРА) и факультета прикладной математики, физики и информационных технологий (ФПМФиИТ) могут принять участие в разработке систем управления), специалисты факультета информатики и вычислительной техники (ИВТ) могут принять участие в разработке программного обеспечения, специалисты факультета электротехники и энергетики (ФЭЭ) могут принять участие в разработке систем привода. Специалисты еще одного подразделения – Чебоксарского Инжинирингового Центра могут принять участие в разработке конструкций, проведении необходимых расчётов. Все участники проекта будут работать в области создания передовой техники, развивая свои сектора теоретической и прикладной науки. Работа в составе

мультипрофессиональной команды создаст условия для взаимообогащения участников проекта новыми компетенциями в смежных областях. Это повлечёт за собой повышение научной и практической квалификации участников, сбор материалов, подготовку патентов и публикацию научных статей в высокорейтинговых изданиях, откроет возможность участия в различных конкурсах, программах и грантах.

Полученные в ходе выполнения проекта результаты повысят имидж университета в среде предприятий и предпринимателей, могут быть коммерциализованы в виде хозяйственных договоров и партнёрской поддержки при участии в конкурсах (по постановлению № 218 и других госпрограмм). Реализация научной составляющей проекта приведёт к развитию материально-технической базы указанных факультетов, что послужит в дальнейшем основой их участия в аналогичных разработках, конкурсах и грантах.

Список литературы

1. Проблемы и перспективы подготовки инженерных кадров для машиностроительной отрасли / В.А. Гартфельдер, А.С. Янюшкин, Л.С. Секлетина, Д.В. Лобанов // Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. – 2018. – Т. 21, № 3. – С. 230–235. – DOI: 10.22213/2413-1172-2018-3-230-235.

2. Интегрированные структуры подготовки инженерно-технических кадров для инновационных секторов региональной экономики / А.Ю. Александров, В.А. Гартфельдер, В.Г. Ковалев, А.А. Судленков // Высшее образование в России. – 2014. – № 11. – С. 81–90.

3. Гартфельдер В.А., Секлетина Л.С. Интеграция региональных потенциалов для подготовки инженерных кадров // Сетевое взаимодействие как эффективная технология подготовки кадров: материалы Всероссийской (с международным участием) научно-методической конференции. – Йошкар-Ола: Изд-во ПГТУ, 2015. – С. 31–34.

4. Александров А.Ю. Вузы России перед вызовами современности // Вопросы повышения эффективности профессионального образования в современных условиях: материалы 6 международной учебно-методической конференции. – Чебоксары: ЧГУ им. И.Н. Ульянова, 2014. – С. 15–19.

5. Антипов Д.В., Антипова О.И. Особенности внедрения процессного подхода в образовательных учреждениях // Проблемы университетского образования. Компетентностный подход в образовании: сборник материалов 4 всероссийской научно-методической конференции. – Тольятти: Тольяттинский государственный университет, 2009. – С. 82–86.

6. Александров А.Ю. Многопрофильные университеты в инновационном развитии региональной экономики // Состояние и перспективы развития инновационных технологий в России и за рубежом: сборник материалов 1 международной научно-практической конференции. – Чебоксары: ЧГУ им. И.Н. Ульянова, 2016. – С. 14–20.

7. Троешествова Д.А. Региональный университет как ресурсный центр непрерывного инженерно-технического образования // Образование через всю жизнь: непрерывное образование в интересах устойчивого развития: материалы 15 международной научно-практической конференции. – Ярославль: ЯГПУ им. К.Д. Ушинского, 2017. – С. 363–366.

8. Поверинов И.Е., Ковалев В.Г., Щипцова А.В. Организация подготовки инженерных кадров для перспективных направлений развития экономики Чувашской Республике // Высшее образование в России. – 2017. – № 7. – С. 106–112.

9. Ладыкова Т.И., Морозова Н.В., Васильева И.А. Промышленная политика как приоритетное направление реализации стратегии национальной экономической безопасности // Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2017. – Т. 7, № 4А. – С. 84–91.

10. Методика оценки возможностей кадрового потенциала ракетно-космического предприятия в реализации наукоемких проектов / Н.Б. Бражникова, Е.С. Каплун, С.В. Назюта, А.В. Юдин // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2019. – Т. 1, № 11. – С. 71–76.
11. *Noguchi N.* Agricultural vehicle robot // Journal of Robotics and Mechatronics. – 2018. – Vol. 30, iss. 2. – P. 165–172. – DOI: 10.20965/jrm.2018.p0162.
12. Development of agricultural implement system based on machine vision and fuzzy control / Q. Meng, R. Qiu, J. He, M. Zhang, X. Ma, G. Liu // Computers and Electronics in Agriculture. – 2015. – Vol. 112. – P. 128–138. – DOI: 10.1016/j.compag.2014.11.006.
13. Learning crop models for vision-based guidance of agricultural robots / A. English, P. Ross, D. Ball, B. Upcroft, P. Corke // IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems. – 2015. – P. 1158–1163. – DOI: 10.1109/IROS.2015.7353516.
14. Семенов С.А., Васильев С.А., Максимов И.И. Особенности реализации и перспективы применения технологий цифрового земледелия в АПК // Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 1 (4). – С. 69–76.
15. Multi-crop-row detection algorithm based on binocular vision / Z. Zhai, Z. Zhu, Y. Du, Z. Song, E. Mao // Biosystems engineering. – 2016. – Vol. 150. – P. 89–103. – DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2016.07.009.
16. Vision-based obstacle detection and navigation for an agricultural robot / D. Ball, B. Upcroft, G. Wyeth, P. Corke, A. English, P. Ross, A. Bate // Journal of Field Robotics. – 2016. – Vol. 33, iss. 8. – P. 1107–1130. – DOI: 10.1002/rob.21644.
17. Tractor-based Real-time Kinematic-Global Positioning System (RTK-GPS) guidance system for geospatial mapping of row crop transplant / M. Perez-Ruiz, D.C. Slaughter, C. Gliever, S.K. Upadhyaya // Biosystems engineering. – 2012. – Vol. 111, iss. 1. – P. 64–71. – DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2011.10.009.
18. Гартфельдер В.А., Григорьев В.С., Секлетина Л.С. Контроль качества непрерывного потока продукции // Современные технологии в машиностроении и литейном производстве: материалы 1 международной научно-практической конференции. – Чебоксары: ЧГУ им. И.Н. Ульянова, 2015. – С. 265–270.
19. Automatic detection of curved and straight crop rows from images in maize fields / I.D. García-Santillán, M. Montalvo, J.M. Guerrero, G. Pajares // Biosystems Engineering. – 2017. – Vol. 156. – P. 61–79. – DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2017.01.013.
20. Борисов М.А., Мишин С.А., Сидельников А.М. Разработка конструкции устройства для автоматического управления потоком жидкости, подаваемого к нескольким потребителям // Современные технологии в машиностроении и литейном производстве: материалы 3 международной научно-практической конференции. – Чебоксары: ЧГУ им. И.Н. Ульянова, 2017. – С. 201–206.
21. 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.
22. Разработка и исследование профилографа для измерения отклонений формы поверхности изделий методом лазерного спиралевидного сканирования / С.А. Васильев, В.В. Алексеев, М.А. Васильев, А.А. Федорова // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2020. – Т. 22, № 4. – С. 71–81. – DOI: 10.17212/1994-6309-2020-22.4-71-81.
23. Development of a path generation and tracking algorithm for a Korean auto-guidance tillage tractor / X.Z. Han, H.J. Kim, H.C. Moon, H.J. Woo, J.H. Kim, Y.J. Kim // Journal of Biosystems Engineering. – 2013. – Vol. 38, iss. 1. – P. 1–8. – DOI: 10.5307/JBE.2013.38.1.001.

24. Analysis of power efficiency and agility of a combination vehicle with active semi-trailer by mathematical simulation / K.E. Byakov, O.I. Chudakov, V.A. Gorelov, V.A. Gartfelder // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 971, iss. 5. – P. 052092. – DOI: 10.1088/1757-899X/971/5/052092.

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF NEW AREAS OF ENGINEERING TRAINING

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

Vasilev S.A., D.Sc. (Engineering), Associate Professor, e-mail: Vsa_21@mail.ru

Yanyushkin A.S., D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: yanyushkinas@mail.ru

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

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

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

Abstract

The history and prerequisites of the opening of the Faculty of Mechanical Engineering in the Chuvash State University are considered. Training at the faculty for many years was aimed at training specialists in the field of mechanical processing and tooling design. The increased volume of designing modern types of automotive equipment for the concern “Tractor Plants” required the training of engineers to create transport equipment. To this end, the faculty has opened two new areas of training for students in the field of design of automotive equipment and mechatronics. The initial condition was the unification of personnel, intellectual and resource potentials of all departments of mechanical engineering and other faculties. The solution to these problems is proposed in the form of a comprehensive project to create an unmanned wheeled tractor for agricultural work.

Keywords

Direction of training, design, automotive and tractor equipment, mechatronics, Faculty, engineering personnel, pooling of potentials, concern “Tractor Plants”.

УДК 66-935.2

**РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ МОДЕЛИ ШНЕКОВОГО
КОНВЕЙЕРА ПИЩЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ МАШИНЫ
ФУНКЦИОНАЛЬНО-ЛОГИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ**

В. А. КЕРЖЕНЦЕВ, канд. техн. наук, доцент
Н. В. ПЕРОВА¹, ст. преподаватель
(¹НГТУ, г. Новосибирск)

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

В статье представлена разработка структурной модели шнекового конвейера для точной подачи мучного пищевого продукта. Модель предназначена для исследования элементов структуры шнека. При создании модели все конструктивные элементы шнека (диаметры витков и вала, шаг витков, межвитковое расстояние, толщина витка, углы подъема витков, и др.) рассмотрены как буквенно-цифровые переменные и между ними установлены отношения в виде алгебраических уравнений. Уравнения характеризуют коэффициенты связей между параметрами модели, соответствующие связям в структуре реального шнека. К исследованию шнека применен метод функционально-логических связей, и коэффициенты связей представлены как масштабные факторы, закрепляющие размеры элементов по отношению к главному параметру – диаметру шнека. Значения этих коэффициентов образуют числовой код шнека, сохраняющий значения параметров при преобразованиях связей. Установление нового кода означает новый набор значений элементов, который может быть рассмотрен как другой вариант конструкции шнека в том же конвейере.

Ключевые слова: структурная модель, шнековый конвейер, функции, размерности, функционально-логические связи, коэффициенты отношений, масштабный фактор.

Введение

При проектировании шнековых конвейеров пищевых перерабатывающих машин встают проблемы в конструировании шнека, внутренние размеры которого должны быть согласованы друг с другом для точной подачи сыпучего продукта. Эти проблемы могут быть решены с помощью модели, описывающей структуру шнека в математической форме. Разработка подобных моделей лежит в области методологии общих принципов исследования машин [1] через выявление логически-следственных связей между элементами шнека. Для пищевых перерабатывающих машин развитие такого метода предложено в [2-3]. В данной работе установлено, что шнек не может являться точным устройством для подачи продукта при дозировании продуктов. При этом задача точности заключается в определении соотношения пространства (свободного) между витками и пространства, занятого материалом самих витков. В технической литературе, [4-20], этот вопрос освещен недостаточно полно. Естественно, что размеры элементов шнека должны быть функционально связаны с величиной производительности и другими техническими характеристиками (ТХ) машины.

Продукты испытывают от шнека разные воздействия: давление сжатия, трение о поверхности и пр. Такие взаимодействия шнека и продукта носят двойственный характер:

«винт-гайка», «шнек-продукт». Воздействие механических звеньев на продукт теоретически может быть выражено записью в виде логических уравнений (через образование связей между ними). В них буквенные параметры означают структурные элементы машины, а действия между элементами и продуктом рассматриваются как уравнения действия связей, подобно рассмотренным в шнековом волчке [21].

Строение шнека представлено на рисунке 1.

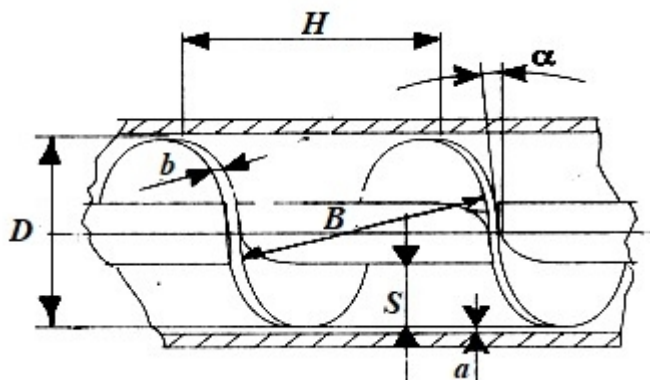


Рис. 1. Элементы шнекового конвейера:

D – наружный (наибольший) диаметр шнека; d – внутренний диаметр шнека; H – шаг витка; B – межвитковое расстояние; S – глубина межвиткового пространства; a – зазор между корпусом и наружным диаметром витка; b – толщина витка шнека; α – угол подъема витка

Теория. Возможность построения модели и структурные связи.

Указанная цель предполагает переход от словесного описания машины к представлению её структуры в терминах математики, что позволит вести её расчет в определенной системе – системе взаимосвязанных функциональных уравнений. Такая система устанавливает логически-следственные связи между параметрами. Введем следующие определения как обоснование для создания модели пищеперерабатывающей машины (на примере шнекового конвейера).

Метод функционально-логических связей для модели заключается в введении отношений между параметрами устройства в виде буквенно-цифровых переменных, то есть представления их в виде дробей, в числителе которых ставится буква, характеризующая величину (числовой размер) какого-либо элемента структуры машины, а в знаменателе – буква, характеризующая величину параметра, принятого за главный расчетный параметр (например, для шнека – это наружный диаметр шнека). Тогда размеры элементов закрепляются в формулах виде пропорций и сохраняются как масштабные факторы структурных составляющих машины (шнека). Из указанных пропорций составляют уравнения логических связей.

Технология изготовления продукта есть начальная (исходная) информация для разработки расчетной базы модели. Она определяет способ переработки продукта машиной, а конструктивные особенности рабочих звеньев оказывают реальное воздействие на продукт, (например, изменяют скорость движения продукта, степень плотности продукта).

Двойственный характер воздействий проявляется в размерностях параметров, составляющих уравнения связей. Размерности отражают воздействия (логику действий) механических звеньев на продукт. Элементы воздействия шнека – это плоские или кривые

поверхности лопастей, лопаток, спирали шнека, валов, стенок корпуса и других элементов, характеризующих канал, в котором продвигается продукт.

Классические уравнения, и их преобразования Уравнения для расчета параметров машин известны в технической литературе. Эти же уравнения для применения в модели можно считать классическими, но требующими изменения для решения задач моделирования. Необходимо преобразовать уравнения по логическим правилам, функционально связав параметры системы. Решая систему с учетом размерностей, полнее раскрывается сущность логического функционирования машины. Преобразования уравнений связей возможны и при переопределении переменных в аргументы, как это представлено в [21].

Первичные и вторичные уравнения связей в структуре машины (шнекового устройства) устанавливаются из описания и анализа работы прототипа. Из буквенных переменных составляют уравнения первичных отношений между элементами, определяя их как коэффициенты отношений (соответствий). Вторичные отношения строятся с использованием первичных уравнений, в которых сокращают при преобразованиях однотипные переменные вплоть до выделения основных функций и главных параметров ТХ машины. Образуется логически-связная расчетная система, представляющая в совокупности функционально-логический метод исследования машины.

Установление первичных логических связей – первый этап разработки модели. В таблице представлены первичные уравнения между параметрами (элементами шнека) в виде дробей. Алгебраическая форма дробей представляет отношения размеров между переменными величинами структурных составляющих устройства. Значения коэффициентов характеризуют своего рода числовой код шнека.

Таблица

Первичные связи между звеньями шнека в буквенных обозначениях

Параметры и их обозначения		Для числовых вычислений принять на один расчетный цикл значения [6]: $k_h=1$; $k_d=0,51$, k_b^{**}	
1	2	3	4
Параметр (D - главный параметр (наибольший диаметр витков)	Обозначение	Коэффициент соотношений параметра к параметру D	Выражение параметра с помощью коэффициента соответствия
1. Меньший диаметр витков шнека (вал)	d	$k_d = d / D$	$d = k_d D$ [7]
2. Средний диаметр витков шнека	$D_{cp}^{*})$	$D_{cp} = (D + d) / 2$	$D_{cp} = D(1 + k_d) / 2$
3. Шаг витков шнека	$H^{**})$	$k_h = H / D$	$H = k_h D$
4. Ширина межвиткового расстояния	$B^{**})$	$k_B = B / H$ $k_B = \cos^2 \alpha$	$B = H k_B$
5. Толщина материала витка	$b^{**})$	$k_b = b / H$ $k_b = \cos \alpha - \cos^2 \alpha$	$b = H(\cos \alpha - \cos^2 \alpha)$
6. Длина развертки витка по среднему углу подъема витка	L	$L = \sqrt{\pi(D_{cp})^2 + H^2}$	$L = \frac{\pi D_{cp}}{\cos \alpha_{cp}}$

7. Глубина винтовой канавки	S	$k_s = S / D$	$S = \frac{D-d}{2} = D(1-k_d)/2$
8. Проекция шага на перпендикуляр к витку	l	$k_l = l / (H \cos \alpha_D)$ $l = B + b$	$l = k_l H \cos \alpha_D$
9. Угол подъема витков шнека по наружному диаметру D	α_D	$\alpha_D = \arctg\left(\frac{H}{\pi D}\right)$	$\alpha_D = \arctg\left(\frac{k_h}{\pi}\right)$
10. Угол подъема витков шнека по меньшему диаметру d	α_d	$\alpha_D = \arctg\left(\frac{H}{\pi d}\right)$	$\alpha_d = \arctg\left(\frac{k_h}{\pi k_d}\right)$
11. Средний угол между двумя углами α_D и α_d	α_{cp}	$\alpha_{cp} = (\alpha_D + \alpha_d) / 2$	--
12. Косинус среднего угла подъема витков шнека	$\cos \alpha$	$\cos \alpha_{cp} = \frac{\pi D_{cp}}{\sqrt{(\pi D_{cp})^2 + H^2}}$	$\cos \alpha_{cp} = \frac{\pi(1+kd)}{\sqrt{\pi^2(1+kd)^2 + 4k_h^2}}$

*) Средний диаметр D_{cp} необходим для вычисления среднего угла подъема витка.

**) См. ниже в тексте.

Пояснения к таблице. Строки 1-7 показывают, из каких первичных элементов складываются логические отношения между параметрами. Строка 8 определяет проекцию длины шага H на перпендикуляр к направлению витка; строки 9-11 есть величины трёх углов подъема витков: по отношению к большому диаметру D витков, к меньшему диаметру d и их среднему значению по диаметру D_{cp} ; строка 12 – определяет формулу расчета «косинуса» среднего угла подъема витков, характеризующей геометрию шнека алгебраически.

Коэффициенты соответствий и числовой код определяют конструктивные особенности шнека. Например, безразмерный коэффициент $k_h = H/D$ (см. рисунок и таблицу) это отношение величин двух элементов шнека и он определяет масштабный фактор (коэффициент соответствия для параметра H по отношению к параметру D). Аналогично определяются и коэффициенты для других параметров. Набор чисел, соответствующих значениям коэффициентов k_B , k_b , k_d , k_h , k_l (см. таблицу), задают вначале расчета. Коэффициенты k_d и k_h определяют «косинус» угла подъема витков (п. 12, колонка 4), а величина «косинуса» угла определяет значения коэффициентов k_B и k_b . (п. 4, 5) В процессе преобразования уравнений коэффициенты сохраняют свои значения и, как масштабные факторы, унифицируют систему параметров.

Математическая модель и взаимосогласование параметров шнекового устройства формируются в соответствии с логическими уравнениями. Уравнения описывают функции, которые присущи реальному устройству: функции скорости продукта, сопротивления движению продукта и пр. Условия существования таких функций в модели обеспечены числовыми величинами, принимаемыми на основе опыта эксплуатации. Функциональные свойства машины сохраняются при преобразованиях, так как между параметрами сохраняются геометрические пропорции (через главный параметр).

Создание модели и исследование параметров проводится в три этапа: составление первичных уравнений связей, разработка вторичных более сложных уравнений и разработка формул расчета главных и других параметров, характеризующих работу устройства. Исследование на модели заключается в определении наилучшего варианта функционирования машины путем моделирования исходных значений. Выбирают наилучший вариант и используют его в реальной конструкции для более точной подачи продукта по заданной производительности. Затем, если известны параметры ТХ машины, то

можно обратным порядком определить размеры элементов шнека, обеспечивающие производительность и точность работы шнекового конвейера (формулы табл. 1).

Результаты и обсуждение

В результате работы представлен набор параметров (табл.), соответствующий элементам шнека и представленный в виде коэффициентов отношений (соответствий) между этими элементами. Отношения определены как первичные уравнения, логически определяющие связи между параметрами модели. Данные соотношения представляют набор уравнений и при придании коэффициентам числовых значений они составляют своего рода числовой код, характеризующий структуру шнека, и позволяющие использовать его для расчета цикла. Изменение числового кода определяют новый расчетный цикл.

Выводы

Представлены обоснования для перевода словесного описания структурных составляющих шнека в модель, математически описываемую логическими связями. Каждый параметр модели связан с другими через главный связывающий параметр – наружный диаметр шнека. Таким образом, модель представляет жесткую детерминированную расчетную систему, где каждому параметру определено свое место в расчетном процессе.

Список литературы

1. *Крайнев А.Ф.* Словарь-справочник по механизмам. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1987. – 560 с.
2. Определение функционально-логическим методом технических характеристик пищевого перерабатывающих машин (их главных параметров) / В.А. Керженцев, Н.В. Перова, Э.В. Абарина, К. А. Асютков // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2020. – Т. 7, № 1–2. – С. 86–92.
3. *Керженцев В.А., Скиба, В.Ю., Мартынова Т.Г.* Механическое оборудование пищевых производств: учебное пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2021. – 84 с. – ISBN 978-5-7782-4338-5.
4. *Сиваковский А.О., Дьячков В.К.* Транспортирующие машины: учебное пособие для машиностроительных вузов. – 3-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1983. – 487 с.
5. *Мусаелянц Г.Г.* Разработка и исследование шнековых смесителей непрерывного действия: монография. – Пятигорск: ПГТУ, 2008. – 94 с. – ISBN: 978-5-89314-142-9.
6. *Хромеев В. М.* Технологическое оборудование хлебозаводов и макаронных фабрик: учебник. – Спб.: ГИОРД, 2004. – 496 с. – ISBN: 5–901065–45–Х.
7. Исследование и выбор параметров при проектировании технологических машин: монография / Ю.И. Подгорный, В.Ю. Скиба, Т.Г. Мартынова, О.В. Максимчук. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2020. – 260 с. – ISBN 978-5-7782-4177-0.
8. Кинематический анализ и синтез механизмов технологических машин с применением пакета прикладных программ: учебное пособие / Ю.И. Подгорный, В.Ю. Скиба, Е.А. Зверев, Т.Г. Мартынова. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. – 76 с. – ISBN 978-5-7782-3058-3.
9. Применение пакета прикладных программ для кинематического анализа и синтеза механизмов технологических машин: учебное пособие / Ю.И. Подгорный, В.Ю. Скиба, Е.А.

Зверев, Т.Г. Мартынова; Новосиб. гос. техн. ун-т. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. – 76 с. – ISBN 978-5-7782-3032-3.

10. Проблемы проектно-конструкторского обеспечения производства технологических машин / Т.Г. Мартынова, С.В. Птицын, В.Ю. Скиба, А.А. Чернышева, П.Ю. Скиба // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2017. – Т. 4, № 2. – С. 60–65.

11. *Подгорный Ю.И., Скиба В. Ю., Мартынова Т.Г.* Математическое моделирование технологических машин: учебное пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. – 87 с. – ISBN 978-5-7782-3395-9.

12. *Подгорный Ю.И., Скиба В. Ю., Мартынова Т.Г.* Проектирование механизмов технологических машин: учебное пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2021. – 87 с. – ISBN 978-5-7782-4350-7.

13. Method for determining the reduced parameters of the mixer gear drive / Y.I. Podgornyj, V.Y. Skeebea, T.G. Martynova, P.Y. Skeebea, D.V. Lobanov, N. V. Martyushev // Conference Series: Materials Science and Engineering – 2021. – Vol. 1064, iss.1. – P. 012039. – DOI:10.1088/1757-899X/1064/1/012039.

14. Synthesis of irregular motion mechanisms for production machine drives / T.G. Martynova, V.Y. Skeebea, Y.I. Podgornyj, D.V. Lobanov // Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 843, iss. 1. – P. 012006. – DOI:10.1088/1757-899X/843/1/012006.

15. The synthesis of motion laws for cam mechanisms with additional movement of the follower / Y.I. Podgornyj, V.Y. Skeebea, A.V. Kirillov, N.V. Martyushev, M. A. Borisov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – Vol. 378, iss. 1. – P. 012025. – DOI:10.1088/1755-1315/378/1/012025.

16. *Martynova T.G., Skeebea V.Y., Skeebea P.Y.* Determining efficient values of continuous technological machines parameters // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2018. – Vol. 194, iss. 2. – P. 022022. – DOI: 10.1088/1755-1315/194/2/022022.

17. Kinematic analysis of crank-cam mechanism of process equipment / Y.I. Podgornyj, V.Y. Skeebea, T.G. Martynova, N.S. Pechorkina, P.Y. Skeebea // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 327, iss. 4. – P. 042080. – DOI: 10.1088/1757-899X/327/4/042080.

18. Motion laws synthesis for cam mechanisms with multiple follower displacement / Y.I. Podgornyj, V.Y. Skeebea, A.V. Kirillov, T.G. Martynova, P.Y. Skeebea // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 327, iss. 4. – P. 042079. – DOI: 10.1088/1757-899X/327/4/042079.

19. Особенности циклограммирования машины с учетом взаимодействия звеньев механизмов с упорами / Ю.И. Подгорный, О.В. Максимчук, А.В. Кириллов, В.Ю. Скиба // Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. – 2018. – Т. 20, № 1. – С. 44–54. – DOI: 10.17212/1994-6309-2018-20.1-44-54.

20. Experimental determination of useful resistance value during pasta dough kneading / Y.I. Podgornyj, T.G. Martynova, V.Y. Skeebea, A.S. Kosilov, A.A. Chernysheva, P.Y. Skeebea // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2017. – Vol. 87, iss. 8. – P. 082039. – DOI: 10.1088/1755-1315/87/8/082039.

21. *Керженцев В.А., Перова Н.В.* Повышение точности расчетов шнековых конвейеров путем переопределения независимой переменной (аргумента) // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. – 2015. – № 4 (61). – С. 48–62.

DEVELOPMENT OF THE STRUCTURAL MODEL OF THE SCREW CONVEYOR FOOD PROCESSING MACHINE FUNCTIONAL-LOGICAL METHODS

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

Perova N.V.¹, Senior Lecturer, e-mail: perova@corp.nstu.ru

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

Abstract

The article presents the development of a structural model of a screw conveyor for feeding flour food product. The model is designed to study the elements of the screw structure. When creating a model, all structural elements of the screw (diameters of turns and shaft, pitch turns, interturn distance, turn thickness, turn elevation angles, etc.) considered as alphanumeric variables and set between them relations in the form of algebraic equations. The equations characterize coefficients of connections between the parameters of the model corresponding to the connections in the structure of the real screw. The method was applied to the study of the screw functional and logical connections, and the coefficients of connections are presented as scale factors fixing the size of elements in relation to the main parameter (screw diameter). The values of these coefficients form a numerical auger code that stores the parameter values at transformations of links. Establishing a new code means a new set values of elements, which can be considered as another option screw design in the same conveyor.

Keywords

structural model, screw conveyor, functions, functional and logical connections, ratio coefficients, scale factor

УДК 66-935.2

**МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ ШНЕКОВОГО КОНВЕЙЕРА.
РАСЧЕТ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК.**

В. А. КЕРЖЕНЦЕВ, канд. техн. наук, доцент
Н. В. ПЕРОВА¹, ст. преподаватель
(¹НГТУ, г. Новосибирск)

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

В статье рассмотрено моделирование параметров шнекового конвейера с использованием математической модели, в которой структурные элементы шнека (диаметры витков, межвитковое расстояние, углы наклона витков и др.) представлены как переменные параметры, выраженные в терминах «теории механизмов и машин». Термины преобразованы через коэффициенты связей во взаимосогласованные уравнения, в которых связи охватывают более широкий диапазон переменных. В результате преобразований сформирована система уравнений, состоящая из зависимых параметров, согласованных друг с другом; и за счет взаимосогласования получены функции, обладающих свойствами взаимнообратимости. На этих основаниях получены основные формулы расчета технических параметров устройства, и разработаны также функции, «сопряженные» с основными. Произведены расчеты основных технических характеристик (ТХ) шнекового конвейера, а правильность их числовых значений подтверждена сравнением с результатами вычислений по «сопряженным» функциям, что подтверждает объективность моделирования на данной модели.

Ключевые слова: шнек, элементы структуры, модель, логически-связные параметры, числовой код, взаимнообратимые функции

Введение

Расчеты шнековых конвейеров, основанные на классических формулах, приведены в технической литературе [1, 2]. Но результаты их не всегда объективны, а расчет шнековых дозировочных устройств не всегда точен. Необходимость в точной подаче дозируемого сыпучего продукта, перемещаемого конвейером, требует разработки методики расчетов, позволяющих не только вести вычисления, но и иметь возможность варьировать исходные значения [3-17]. Тогда, ещё на этапе проектирования, можно определять величины элементов, образующих структуру шнека. Задача заключается в правильном определении размеров свободного пространства между витками, в частности, размеров в соотношениях межвиткового расстояния и толщины витка шнека в общей длине шага витков.

Цель работы: Разработать систему взаимнообратимых функций для моделирования основных параметров шнекового конвейера и произвести расчеты с использованием числовой модели.

Теория. Функциональные зависимости структурной модели

На первом этапе разрабатывают первичные связи между структурными элементами шнека и выражают их в алгебраической буквенной форме так называемых коэффициентов отношений. Придают этим коэффициентам числовые значения и получают числовой код структуры шнека. Коэффициенты выступают как масштабные факторы элементов структуры по отношению к главному параметру шнека – наружному диаметру.

Второй этап (см.табл. 1). На этом этапе исследуют формулу объемной производительности шнекового конвейера, которая содержит большинство параметров [18]:

$$Q_D = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} \left(H - \frac{b}{\cos \alpha} \right) K_{ш} n \tag{1}$$

В формуле (1) выделяют те её части, которые соответствуют определенным формульным выражениям – терминам из «теории механизмов и машин», табл. 1. Термины, как алгебраические выражения, охватывают связи между параметрами более широко и представляют собой логические-связные структурные элементы шнека, табл. 2. Данные взаимосвязи преобразованы через коэффициенты соответствий (k_b, k_d, k_B, k_b, k_l) в формулы (колонка 4), зависящие от главного параметра устройства – диаметра D шнека.

Таблица 1

Термины и формульные выражения вторичных связей

Термины, характеризующие связи между параметрами	Алгебраическое выражение	Преобразованное выражение связи	Связь, использующая коэффициенты соотношений, табл.1
1	2	3	4
1. Поперечное сечение потока продукта	$F = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4}$	$\frac{(D - d)}{2} \frac{(D + d)}{2}$	$\frac{\pi D^2 (1 - k_d^2)}{4}$
2. Межвитковое расстояние ширина ленты продукта, ф. (1)	$H - \frac{b}{\cos \alpha}$	$\frac{H \cos \alpha - b}{\cos \alpha}$	$k_h D \left(1 - \frac{k_b}{\cos \alpha} \right)$
3. Диаметр срединной окружности витков шнека	$D_{cp} = \frac{D + d}{2}$	--	$D_{cp} = \frac{D}{2} (1 + k_d)$
4. Длина окружности по среднему диаметру	πD_{cp}	$\pi \frac{D + d}{2}$	$\pi D \frac{(1 + k_d)}{2}$
5. Длина срединной линии в ленте продукта	$\pi D_{cp} / \cos \alpha$	$\pi \frac{D + d}{2 \cos \alpha}$	$\pi D \frac{(1 + k_d)}{2 \cos \alpha}$
6. Глубина винтовой канавки (толщина ленты)	$S = \frac{(D - d)}{2}$	--	$S = \frac{D(1 - k_d)}{2}$
7. Длина проекции шага на перпендикуляр к витку	$l = B + b$	$k_l = l / (H \cos(\alpha_D))$	k_l
8. Косинус угла подъема витков	$k_c = \cos \alpha$	$B = (k_c^2) H$	$k_b = k_c - k_c^2$

Пояснения к табл. 1. В колонке 1 приведены термины частей шнека, в графе 2 – алгебраическая формула термина, а в графе 3 – другое представление термина, полученное через преобразование переменных. В графе 4 уравнения связей отличаются от выражений в

графах 2 и 3 тем, что в них включены безразмерные коэффициенты соотношений в виде численных значений.

Третий этап (см.табл. 2). В таблице представлены функции модели.

Таблица 2

Функции и результаты расчета параметров шнекового конвейера

Основные параметры ТХ	Взаимообратимые функции и результаты числовых расчетов		
	Вид основной функции, зависимой от параметра D	Вид функции, «сопряженной» с основной	Исходные значения
	1	2	3
1. Формулы производительности, кг/с, см. [5], как зависимостей $Q(D)$ и $Q(k_i)$	Классическая формула: $Q_D = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} \left(H - \frac{b}{\cos\alpha}\right) K_{ш} n$ Результат расчета ($\text{м}^3/\text{с}$): $Q_D = 1,657 \cdot 10^{-3}$	Формула по коэффициентами $k_b, k_d, k_h, K_{ш}$: $Q_k = D^3 \frac{n(1-k_d)}{60} \frac{k_b k_h K_{ш}}{4} \sqrt{\pi^2(1+k_d)^2 + 4}$ Результат расчета ($\text{м}^3/\text{с}$): $Q_k = 1,681 \cdot 10^{-3}$ погрешность ($\Delta \approx 1,3\%$)	Из [4] табл.3: $D=0,2385$ м $k_c=0,921$ $k_B=0,849$ $k_b=0,072$; $k_h=1,0$; $k_d=0,51$; $K_{ш}=0,154$ $C_1=0,064$ $C_2=5,148$ $C_3=0,131$ $C_4=C_2$ $n=1,536$ об/с $B=0,203$ м $b=0,0173$ м $Q=1,719 \cdot 10^{-3}$ $\text{м}^3/\text{с}$ $A=45$, [2] $\psi=0,25$
2. Функции производительности и $Q(D)$ и диаметра $D(Q)$, зависимых друг от друга	Расчет Q_D по типу груза А: $Q_D = D^{2,5} A \frac{C_1 C_2}{4 \cdot 60} \text{ м}^3/\text{с}$ Результат расчета: $Q_D = 1,719 \cdot 10^{-3} \text{ (м}^3/\text{с)}$	Расчет D_Q по типу груза А: $D_Q = \left(Q \frac{4 \cdot 60}{A C_1 C_2}\right)^{0,4}$ Результат расчета: $D_Q = 0,233 \text{ (м)}$	
3. Функции частоты вращения шнека в зависимости от диаметра $D - n(D)$ и от производительности и $Q - n(Q)$	Расчет $n(D)$ $n(D) = \frac{A}{60\sqrt{D}}$ Результат: $n(D)=1,536$ об/с	Расчет $n(Q)$ $n(Q) = \frac{A^{1,2} (C_1 C_2)^{0,2}}{(4 \cdot 60 \cdot Q)^{0,2}}$ Результат: $n(D)=1,542$ с ⁻¹	
4. Функции мощности как зависимости от N и D : $N(D)$ и $N(Q)$	Расчет N_D $N_D = \frac{D^{2,5} A C_1 C_2}{4 \cdot 60} L \rho g w$ Результат: $N_D=116,5$ Вт	Расчет $N(Q)$ $N(Q) = Q L \rho g w$ Результат: $N_Q=91,05$ Вт	$L=4,5$ м $\rho=480$ кг/м ³ $g=9,81$ м/с ² $w=2,5$ - коэффициент сопротивления движению продукта
5. Функции длины шнека как зависимости от D и Q : $L(D)$ и от $L(Q)$	Расчет $L(D)$ $L(D) = \frac{4 N_D}{D^{2,5} A C_1 C_2 \rho g w}$ Результат: $L(D)=4,50$ м	Расчет $L(Q)$ $L(Q) = \frac{N_Q}{Q \rho g w}$ Результат: $L(D)=4,50$ м	

6. Функции расчета числа витков как зависимости от D и Q : $m(D)$ и $m(Q)$	<p style="text-align: center;">Расчет $m(D)$</p> $m(D) = \frac{1000N}{D^{2.5} AC_1 C_2 \rho g w}$ <p style="text-align: center;">----- Результат: $m(D)=18,75$ ВИТКОВ</p>	<p style="text-align: center;">Расчет $m(Q)$</p> $m(Q) = \frac{N}{Q \rho g w}$ <p style="text-align: center;">----- Результат: $m(H)=19,05$ ВИТКОВ</p>	$m(H) = \frac{L}{H}$
--	--	---	----------------------

Особенность формул в табл. 2 состоит в том, что вычисления можно вести в зависимости от двух важных параметров, представляемых в этих случаях как аргументы. Одним параметром является диаметр шнека D , (зависящие от него функции даны в колонке 1). В другом - производительность Q , (колонка 2). В тоже время эти аргументы (D и Q) сами являются зависимыми друг от друга. Параметры в таблице, согласованные между собой связями, превращают такую модель в связную детерминированную расчетную систему, уравнения которой образуют тело модели. В табл. 2 вычислены параметры для конвейера типа ФТГ, [19], по числовым данным, указанным в колонке 3. Так, в строке 1 представлены формулы для вычисления объемной производительности Q по двум выражениям: в колонке 1 – по классической формуле (1), в колонке 2 - по значениям коэффициентов k_B, k_b, k_d, k_h , представляющих числовой код шнека. Числовой код – основа, от которого зависят величины элементов внутренней структуры шнека. Для упрощения расчетов их можно объединить коэффициентами C_1 и C_2 , [19] так (см. табл. 2):

$$C_1 = k_B k_h (1 - k_d), \quad C_2 = (\pi^2 (1 + kd)^2 + 4k_h^2)^{0.5}. \tag{2}$$

В строках 2-6 табл. 2 рассчитаны другие параметры конвейера, результаты которых, представленные в колонках 1 и 2, совпадают.

В табл. 3 приведены результаты вычислений параметров шнека по разным числовым кодам. Они показывают возможности расчета: размеры элементов шнека меняются при изменении варианта кода и, анализируя их, можно подобрать нужный вариант (или рассчитать новый). Например, в случае, если известен диаметр витков шнека, например $D = 0,2385$ м, то подставляя его в формулу производительности $Q(D)$, строка 2, табл. 3, колонка 1, находят значение $Q = 1.657 \cdot 10^{-3}$ м³/с., которое может обеспечить шнек с данным размером витков. Сравнение с заданной производительностью ($Q = 1,719 \cdot 10^{-3}$ м³/с составляет погрешность, равную 1,3%). В случае, если требуется определить диаметр шнека D по известному значению производительности поточной линии ($Q = 1,719 \cdot 10^{-3}$ м³/с), то, подставляя это значение в формулу $D(Q)$ (колонка 2), вычисляют величину $D = 0,2385$ м. После того, как получен размер D , находят аналогичными вычислениями другие параметры. Они указаны в строках 3-6: $n(D)$ и $n(Q)$, $N(D)$ и $N(Q)$; $L(D)$ и $L(Q)$, $m(D)$ и $m(Q)$.

Расчет конвейера заканчивается расчетом внутренних размеров шнека (табл. 1, часть 1), при котором используется известное значение диаметра D . Результаты вычислений будут объективны, так как сохранены пропорции между элементами шнека.

Решение задачи деления расстояния шага H на размер B свободного расстояния между витками и пространства, занятого толщиной самого витка b (см. формулы табл. 1, часть 1, строки 4, 5, 8). Пропорции между величинами B и b находят из следующих выражений, упрощающих расчет:

$$H - \frac{b}{\cos \alpha} = H \cos \alpha, \quad B = H \cos \alpha - b, \quad B = H \cos^2 \alpha \tag{2}$$

$$\cos \alpha = k_c, \quad B = k_c^2 H, \quad b = H(k_c - k_c^2), \tag{3}$$

откуда получают коэффициенты:

$$k_B = k_c^2, \quad k_b = k_c - k_c^2 \quad (4)$$

Коэффициенты k_B и k_b (4) зависящих от значения косинуса и определяют соотношение между межвитковым расстоянием B и толщиной витка b в длине шага витка, (см. часть 1, табл. 1, строки 4, 5).

Примеры расчета модели, рассчитанной для двух вариантов производительности и трех вариантов числового кода шнека даны в табл. 3

Таблица 3

Результаты вычислений параметров модели по различным сочетаниям коэффициентов соотношений и производительности (при $A=45$; $K_{ш}=0,154$)

Коэффициенты соотношений	Варианты производительности и группы кодов по различным наборам коэффициентов					
	Вариант Q_0			Вариант Q_1		
Варианты числового кода шнека	№1	№2	№3	№1	№2	№3
Группы коэффициентов кода						
Коэффиц. внутреннего диаметра k_d	0,55	0,51	0,47	0,55	0,51	0,47
Коэффиц. шага шнека k_h	0,85	1,0	1,20	0,85	1,0	1,20
Коэффиц. угла подъём. «cos α » k_c	0,994	0,921	0,887	0,944	0,921	0,887
Коэффиц. межвитк. расстоян. k_B	0,891	0,849	0,787	0,891	0,849	0,787
Коэффиц. толщины витка k_b	0,053	0,072	0,10	0,053	0,072	0,10
Внутренние параметры шнека						
Результаты вычислений						
1. Наружный диаметр шнека, D , м	0,258	0,238	0,220	0,361	0,333	0,308
2. Внутренний диаметр шнека, d , м	0,142	0,122	0,104	0,162	0,170	0,145
3. Шаг витков, H , м	0,219	0,238	0,265	0,306	0,333	0,370
4. Межвитковое расстояние, B , м	0,196	0,203	0,208	0,273	0,283	0,291
5. Толщина витка, b , м	0,012	0,017	0,026	0,016	0,024	0,037
6. Средний угол подъема витка, $^\circ$	20,6	24,8	30,0	20,7	24,8	30,0
7. Частота вращения шнека, n , c^{-1}	1,476	1,536	1,597	1,249	1,30	1,351
Внешние параметры устройства						
8. Производительность $Q \cdot 10^{-3}$, кг/с	1,719	1,719	1,719	3,964	3,964	3,964
9. Скорость выхода продукта, v , м/с	0,324	0,366	0,423	0,383	0,433	0,50
10. Мощность технологич, N , Вт	91,0	91,0	91,0	443,3	443,3	443,3
11. Длина шнека, L , м	4,5	4,5	4,5	9,5	9,5	9,5

Расчеты в табл. 3 произведены с применением исходных данных по [19, 20]. Интересно отметить, что мощности не зависят от коэффициентов (строка 10) и не изменяются, но зависят от длины шнека.

Результаты и обсуждение

В результате работы получена система расчетных уравнений шнекового конвейера, состоящая из функциональных, логически-связанных параметров, характеризующих структурные составляющие элементов шнека. На основании функционально-логического метода составлена модель и получена система взаимосогласованных функции. Произведены расчеты модели по исходным параметрам конвейера типа ФТГ, которые показали хорошее совпадение результатов по заявленной величине производительности. Установлена

зависимость скорости подачи продукта от внутренних параметров шнека, которые можно варьировать по числовому коду и согласовывать производительности машин в проектируемой технологической линии. Получено важное следствие - расчетная модель конвейера позволяет моделировать размеры элементов шнека по входным параметрам пищевых машин, соединяемых таким конвейером в поточную линию и обеспечивающих непрерывный технологический поток [21].

Выводы

Представлена математическая модель шнекового конвейера, которая позволяет ввести в расчет конвейера взаимосогласованные функции. Каждый параметр модели связан с другими так, что модель представляет жесткую детерминированную расчетную систему со своими внутренними связями, где каждому параметру определено свое место в расчетном процессе.

Увязка параметров модели через взаимобратимые функции позволяет планировать производительность. Экономическая целесообразность предложенной модели в том, реальное шнековое устройство соответствующее расчетным параметрам, может быть использовано в поточной линии в качестве перегрузочного средства между машинами для более эффективного управления пищевым производством.

Список литературы

1. *Стиваковский А.О., Дьячков В.К.* Транспортирующие машины: учебное пособие для машиностроительных вузов. – 3-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1983. – 487 с.
2. *Зенков Р.Л.* Машины непрерывного транспорта. – М.: Машиностроение. – 1987. – 432 с.
3. *Керженцев В.А., Скиба В.Ю., Мартынова Т.Г.* Механическое оборудование пищевых производств: учебное пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2021. – 84 с. – ISBN 978-5-7782-4338-5.
4. Исследование и выбор параметров при проектировании технологических машин: монография / Ю.И. Подгорный, В.Ю. Скиба, Т.Г. Мартынова, О.В. Максимчук. – Новосибирск: НГТУ, 2020. – 260 с. – ISBN 978-5-7782-4177-0.
5. Kinematic analysis of crank-cam mechanism of process equipment / Y.I. Podgornyj, V.Y. Skeebea, T.G. Martynova, N.S. Pechorkina, P.Y. Skeebea // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 327, iss. 4. – P. 042080. – DOI: 10.1088/1757-899X/327/4/042080.
6. Motion laws synthesis for cam mechanisms with multiple follower displacement / Y.I. Podgornyj, V.Y. Skeebea, A.V. Kirillov, T.G. Martynova, P.Y. Skeebea // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 327, iss. 4. – P. 042079. – DOI: 10.1088/1757-899X/327/4/042079.
7. Особенности циклограммирования машины с учетом взаимодействия звеньев механизмов с упорами / Ю.И. Подгорный, О.В. Максимчук, А.В. Кириллов, В.Ю. Скиба // Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. – 2018. – Т. 20, № 1. – С. 44–54. – DOI: 10.17212/1994-6309-2018-20.1-44-54.
8. Experimental determination of useful resistance value during pasta dough kneading / Y.I. Podgornyj, T.G. Martynova, V.Y. Skeebea, A.S. Kosilov, A.A. Chernysheva, P.Y. Skeebea // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2017. – Vol. 87, iss. 8. – P. 082039. – DOI: 10.1088/1755-1315/87/8/082039.

9. Кинематический анализ и синтез механизмов технологических машин с применением пакета прикладных программ: учебное пособие / Ю.И. Подгорный, В.Ю. Скиба, Е.А. Зверев, Т.Г. Мартынова. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. – 76 с. – ISBN 978-5-7782-3058-3.
10. Применение пакета прикладных программ для кинематического анализа и синтеза механизмов технологических машин: учебное пособие / Ю.И. Подгорный, В.Ю. Скиба, Е.А. Зверев, Т.Г. Мартынова; Новосиб. гос. техн. ун-т. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. – 76 с. – ISBN 978-5-7782-3032-3.
11. Проблемы проектно-конструкторского обеспечения производства технологических машин / Т.Г. Мартынова, С.В. Птицын, В.Ю. Скиба, А.А. Чернышева, П.Ю. Скиба // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2017. – Т. 4, № 2. – С. 60–65.
12. Подгорный Ю.И., Скиба В. Ю., Мартынова Т.Г. Математическое моделирование технологических машин: учебное пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. – 87 с. – ISBN 978-5-7782-3395-9.
13. Подгорный Ю.И., Скиба В. Ю., Мартынова Т.Г. Проектирование механизмов технологических машин: учебное пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2021. – 87 с. – ISBN 978-5-7782-4350-7.
14. Method for determining the reduced parameters of the mixer gear drive / Y.I. Podgornyj, V.Y. Skeebea, T.G. Martynova, P.Y. Skeebea, D.V. Lobanov, N.V. Martyushev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2021. – Vol. 1064, iss. 1. – P. 012039. DOI:10.1088/1757-899X/1064/1/012039.
15. Synthesis of irregular motion mechanisms for production machine drives / T.G. Martynova, V.Y. Skeebea, Y.I. Podgornyj, D.V. Lobanov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 843, iss. 1. – P. 012006. – DOI: 10.1088/1757-899X/843/1/012006.
16. The synthesis of motion laws for cam mechanisms with additional movement of the follower / Y.I. Podgornyj, V.Y. Skeebea, A.V. Kirillov, N. V. Martyushev, M. A. Borisov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – Vol. 378, iss. 1. – P. 012025. – DOI:10.1088/1755-1315/378/1/012025.
17. Martynova T.G., Skeebea V.Y., Skeebea P.Y. Determining efficient values of continuous technological machines parameters // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2018. – Vol. 194, iss. 2. – P. 022022. – DOI: 10.1088/1755-1315/194/2/022022.
18. Машины и аппараты пищевых производств: учебник для вузов / С.Т. Антипов, И.Т. Кретов, А.Н. Остриков и др. – М.: Высшая школа, 2001. – 703 с.
19. Керженцев В.А., Перова Н.В. Повышение точности расчетов шнековых конвейеров путем переопределения независимой переменной (аргумента) // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. – 2015. – № 4 (61). – С. 48–62.
20. Определение параметров волчка по величине мощности электродвигателя функционально-логическими методами проектирования / В.А. Керженцев, Н.В. Перова, А.С. Гизатулин, Ю.С. Трофимова // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2020. – Том 7, № 1–2. – С. 93–98.
21. Панфилов В.А., Сорокопуд А.Ф. Машины и аппараты пищевых производств: основы теории технологического потока: конспект лекций. – Кемерово: Изд-во КемТИПП. – 2001. – 80 с.

**NUMERICAL MODELING OF THE STRUCTURAL PARAMETERS OF THE
SCREW CONVEYOR. CALCULATION OF TECHNICAL CHARACTERISTICS**

Kerzhencev V.A., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: kerjencev46@ngs.ru
Perova N.V.¹, Senior Lecturer, e-mail: perova@corp.nstu.ru

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

Abstract

The article describes the modeling of the parameters of the screw conveyor using a mathematical model in which structural elements screw (diameters of turns, interturn distance, angles of turns and etc.) are presented as variable parameters in terms of the "theory of mechanisms and machines". Terms converted through coupling coefficients into mutually consistent equations, in which the couplings cover more than wide range of variables. As a result transformations, a system of equations is formed, consisting of dependent parameters; and due to the mutual consistency, functions with the properties of reciprocity are obtained. On these grounds, the basic formulas for calculating technical parameters were obtained, and also developed functions "associated" with the main ones. Calculations of the main technical characteristics of the screw conveyor, and the correctness of their numerical values is confirmed by comparison with the results of calculations for "conjugate" functions, which confirms objectivity of modeling on this model.

Keywords

screw, structure elements, model, logically-connected parameters, numeric code, mutually invertible functions.

УДК 621.9.06

**РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ КОМБИНИРОВАННОГО ТОКАРНОГО
ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПЛАЗМЕННОЙ И МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ***

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

Зверев Е.А. – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: egor_z@ngs.ru

В работе представлен начальный этап разработки общей концепции нового станочного оборудования – создание обобщенной структурной схемы комбинированного токарного комплекса для плазменной и механической обработки. Построены отдельные структурные схемы оборудования с числовым программным управлением на базе токарного станка для механической и плазменной обработки. Произведено объединение структурных схем в обобщенный вариант комбинированного токарного комплекса, в котором на одной платформе совмещены различные методы обработки. Полученная схема послужит основой для последующих этапов проектирования оборудования.

Ключевые слова: плазменное напыление, механическая обработка, объединение операций, комбинированное оборудование, структурная схема.

Введение

В настоящее время в промышленности наблюдается развитие технологий, связанных с нанесением износостойких покрытий на рабочие поверхности деталей машин. Это вызвано с тем, что совершенствование машин и оборудования неизбежно сопровождается ужесточением условий их эксплуатации. Вследствие тяжелых режимов нагружения детали оборудования часто выходят из строя по причине износа рабочих поверхностей. Поэтому возникает потребность в повышении физико-механических свойств деталей [1-6]. Среди большого количества методов нанесения износостойких покрытий широкое распространение получил метод плазменного напыления [7-12].

Изготовление деталей машин с плазменными износостойкими покрытиями является трудоемким процессом. Помимо процесса формообразования с помощью механической обработки, включающего черновые и чистовые операции, необходимо реализовать техпроцесс по нанесению плазменного слоя, неотъемлемой частью которого являются операции предварительной обработки поверхности детали и финишной окончательной обработки покрытия [13, 14]. Традиционно технологические процессы механической обработки и плазменного напыления выполняются на разном технологическом

* Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках Тематического плана НИР НГТУ по проекту ТП-ПТМ-1_21. Благодарности: Исследования выполнены в ЦКП ССМ НГТУ.

оборудовании. Таким образом, процесс изготовления деталей сопряжен с использованием большого количества технологического оборудования, что закономерно приводит к низкой производительности и большим экономическим затратам. Эффективным решением данной проблемы является разработка специализированного комбинированного оборудования [15-19], позволяющего объединить операции механической обработки и плазменного напыления.

На начальном этапе разработки общей концепции нового станочного оборудования используются структурные схемы. Данные схемы являются основой для конструкторской проработки оборудования, обладают высокой информативностью и позволяют в довольно упрощенном виде изобразить его функциональные возможности.

Цель работы – разработать обобщенную структурную схему комбинированного токарного комплекса для плазменной и механической обработки.

Методика

Для построения структурных схем используются специальные условные изображения элементов. В качестве основы служит компоновочная схема станка, которая представляет собой взаимное расположение обрабатываемой детали и инструментов [20]. Принципиальное значение имеет изображение кинематических пар, которые требуются для реализации элементарных движений (делятся на вращательные и поступательные). При их обозначении используются буквенные символы и указываются соответствующие стрелки.

Анализ обрабатываемых поверхностей позволяет определить необходимые исполнительные движения, которые подразделяются на формообразующие (главное движение и движение подачи), установочные, делительные, вспомогательные.

В зависимости от формы обрабатываемой поверхности формообразующие движения могут быть простыми и сложными (в состав которых входят несколько согласованных движений) [20, 21].

В общем виде для настройки движения необходимо настроить скорость (V), направление (N), величину пути (L) с учетом конечной точки (K), а также траекторию движения (F). Однако в зависимости от типа движения и специфики его траектории количество настраиваемых параметров подлежит уточнению и, как правило, уменьшается.

Для каждого исполнительного движения изображается индивидуальная схема привода. Структура привода содержит устройство ввода энергии (\blacktriangleright), электродвигатель, органы настройки необходимых параметров, и если требуется, то указываются соответствующий преобразователь движения и распределительные устройства (C). Для станков с ЧПУ (числовое программное управление) в приводах используется обратная связь, которая реализуется с использованием датчиков контроля параметра (∂) и логического элемента (эстиматора, Ξ) [20, 22].

Результаты исследования

Для разработки обобщенной структурной схемы комбинированного токарного комплекса в первую очередь необходимо произвести построение структур для токарной и плазменной обработки в отдельности.

На рисунке 1 представлена структурная схема токарного станка с ЧПУ для механической обработки вала со сложной геометрией, шейки которого будут подвергнуты плазменному упрочнению в соответствии с требованиями техпроцесса.

Структурная схема построена на базе типовой компоновки токарного станка. На схеме реализуются вращательное движение детали ($D1$) и поступательное перемещение

режущего инструмента в продольном (Z_1) и поперечном направлениях (X_1). На данном рисунке также показаны типовые приводы всех движений.

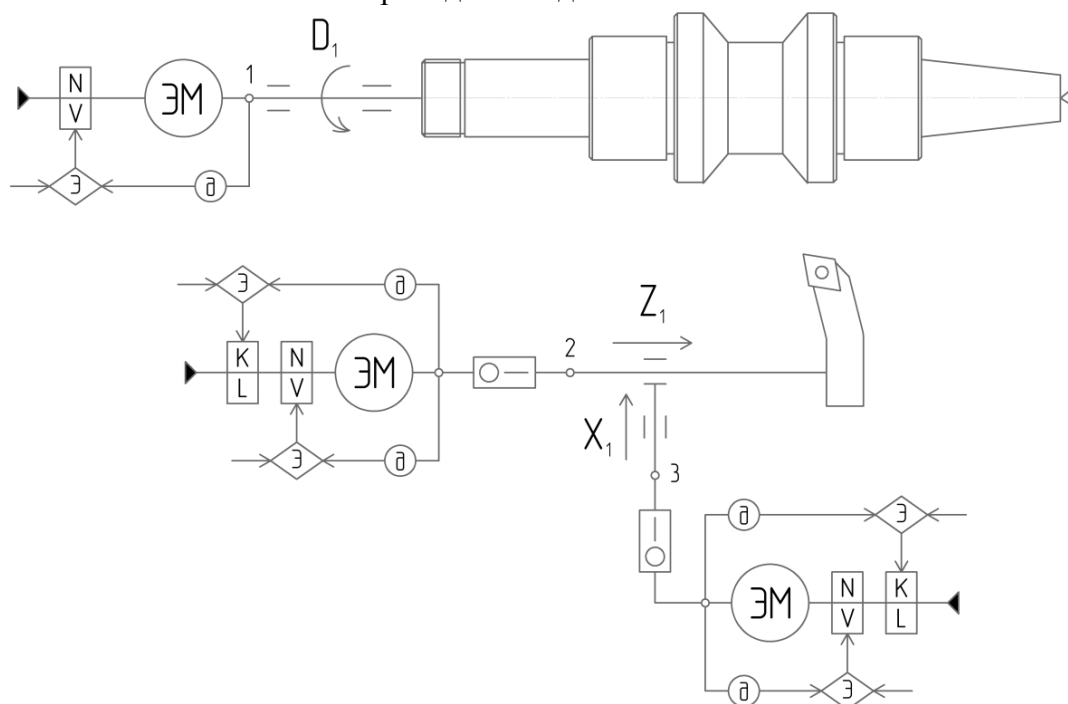


Рис. 1. Структурная схема для механической обработки

Структурная схема позволяет производить токарную обработку по всему контуру детали, включая цилиндрические и конические поверхности, осуществлять подрезку торца, а также нарезать наружную резьбу.

Соответственно, для обработки различных поверхностей требуется своя специфика в анализе формообразующих движений и в определении количества настраиваемых параметров. Для обработки простой цилиндрической поверхности требуется вращательное движение детали и продольное поступательное. Для точения конуса кроме главного вращательного движения требуется сложное движение подачи, состоящее из двух согласованных поступательных движений инструмента. Чтобы нарезать резьбу требуется сложное формообразующее движение, состоящее из согласованных вращательного движения детали и продольного поступательного движения инструмента.

В зависимости от обрабатываемой поверхности требуется обеспечить согласование необходимых движений по кинематическим параметрам (процесс интерполяции).

На рисунке 2 представлена структурная схема плазменной установки, выполненной на базе токарного станка с ЧПУ.

Несомненно, в данной установке главным устройством является плазматрон, который является генератором низкотемпературной плазмы. Температура плазменной струи достигает до 15000 К, а скорость до 2000 м/с. В струю от специального дозатора подается порошок, который расплавляется и напыляется на поверхность детали, образуя покрытие.

Конструкция установки позволяет плазматрону перемещаться по заданным координатам. В вертикальном направлении (U_1) осуществляется настройка дистанции напыления. В горизонтальном направлении (W_1) происходит движение рабочей подачи плазматрона. Разворот плазматрона (A_1) необходим для настройки угла напыления.

В процессе плазменного напыления шеек вала необходимо обеспечить согласование кинематических параметров вращательного движения детали (D_1) и подачи плазматрона

(W1) для того, чтобы обеспечить равномерность толщины напыленного слоя. Поэтому в структурной схеме применяется орган настройки траектории (F).

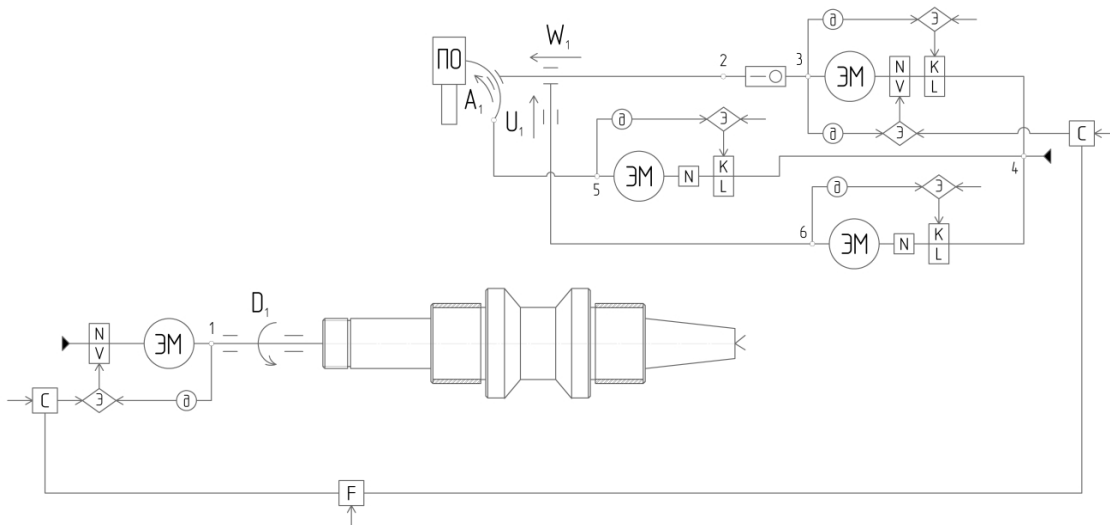


Рис. 2. Структурная схема плазменного напыления

На рисунке 3 приведена обобщенная структурная схема комбинированного токарного комплекса, разработанная с учетом выше приведенных структурных схем механической и плазменной обработки.

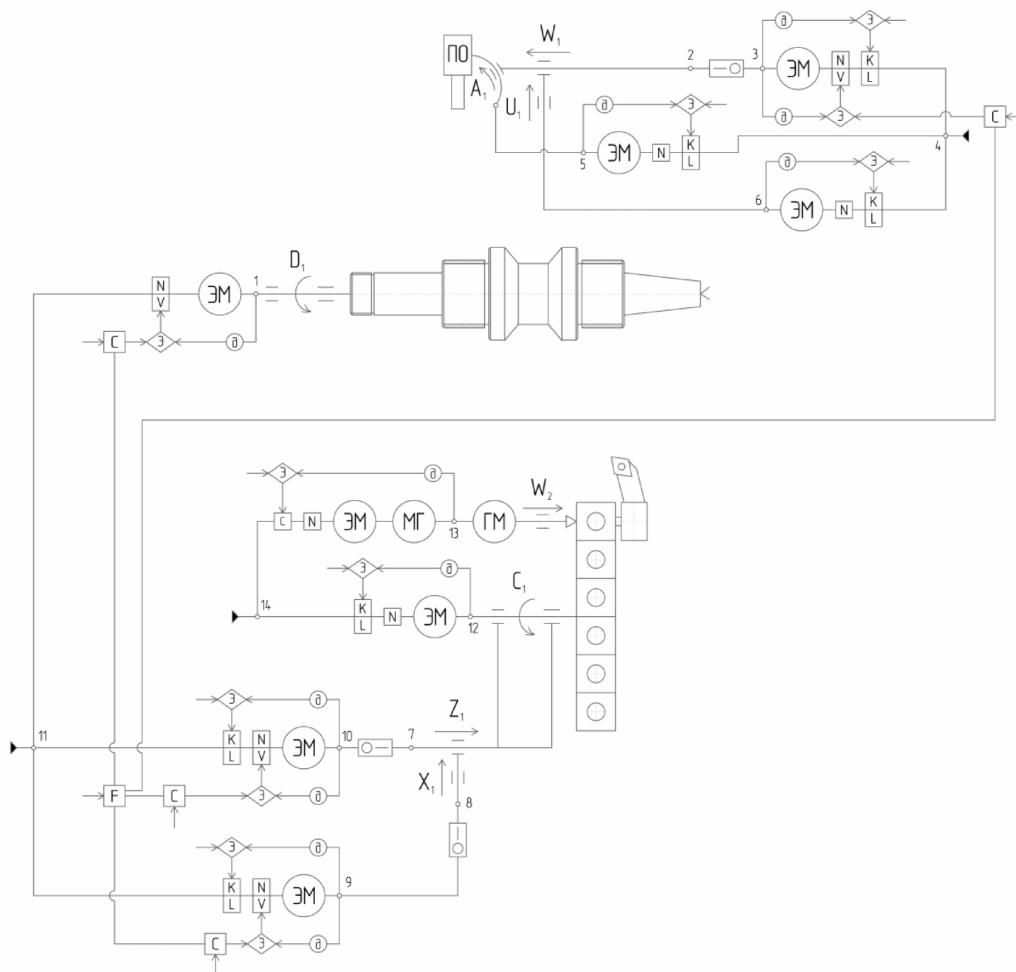


Рис. 3. Обобщенная структурная схема комбинированного комплекса

В данном станочном комплексе закономерно возникает необходимость в использовании револьверной головки, конструкция которой позволяет расширить количество и номенклатуру инструментов.

Разработанная структурная схема комбинированного оборудования позволяет последовательно реализовать формообразующие операции механической обработки, операцию предварительной подготовки поверхности, непосредственно плазменное напыление и операцию финишной обработки напыленного слоя.

Определенную специфику имеет операция предварительной обработки поверхности детали перед напылением, необходимая для удаления оксидных пленок и формирования грубой шероховатой поверхности в целях получения высокой прочности сцепления напыленных покрытий. Чаще всего для данного этапа используется процесс САО (струйно-абразивная обработка), который заключается в обработке поверхности детали струей абразивных частиц. В данном варианте станочного комплекса процесс САО может реализовываться путем применения пневматического пистолета, установленного в гнезде револьверной головки. В качестве альтернативного варианта для предварительной обработки можно использовать метод нарезания «рваной резьбы».

Выводы

В процессе проделанной работы получен компактный вариант обобщенной структурной схемы комбинированного токарного комплекса, в котором удалось совместить различные методы обработки на одной платформе. Данная схема послужит основой для следующей стадии проектирования оборудования – разработки компоновочной трехмерной модели.

Стоит отметить, что применение оборудования, объединяющего механическую и плазменную обработки, позволяет повысить точность изготовления изделий, так как снижается погрешность из-за отсутствия необходимости перестановки деталей. Кроме того увеличивается производительность за счет сокращения вспомогательного времени. В итоге снижаются экономические затраты в том числе и из-за отсутствия необходимости приобретения и содержания парка станков.

Список литературы

1. Интегральная обработка как эффективное направление решения задачи перехода к ресурсосберегающим технологиям / В.Ю. Скиба, В.В. Иванцовский, Н.П. Зуб, С.В. Туревич // Инновационная деятельность. – 2010. – № 1 (10). – С. 66–69.

2. Иванцовский В.В., Скиба В.Ю., Зуб Н.П. Методика назначения режимов обработки, обеспечивающих рациональное распределение остаточных напряжений при поверхностной закалке ВЭН ТВЧ // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. – 2008. – № 3 (32). – С. 83–94.

3. Скиба В.Ю. Обеспечение требуемого характера распределения остаточных напряжений при упрочнении высокоэнергетическим нагревом токами высокой частоты // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2007. – № 2 (35). – С. 25–27.

4. *Иванцовский В.В., Скиба В.Ю.* Эффективность объединения операций поверхностной закалки и шлифования на одном технологическом оборудовании // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2010. – № 4 (49). – С. 15–21.
5. *Иванцовский В.В., Скиба В.Ю., Степанова Н.П.* Назначение режимов поверхностной закалки с использованием концентрированных источников нагрева // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2005. – № 3 (28). – С. 22–24.
6. Numerical Simulation of Temperature Field in Steel under Action of Electron Beam Heating Source / V.Yu. Skeebea, V.V. Ivancivsky, N.V. Martyushev, D.V. Lobanov, N.V. Vakhrushev, A.K. Zhigulev // *Key Engineering Materials*. – 2016. – Vol. 712. – P. 105–111. – DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.712.105.
7. Технология получения композиционных конгломератных порошков для плазменного напыления высокотемпературных защитных покрытий / Б.Н. Гузанов, Н.Б. Пугачева, Е.Ю. Слукин, Т.М. Быкова // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2021. – Т. 23, № 1. – С. 6–20. – DOI: 10.17212/1994-6309-2021-23.1-6-20.
8. Increase in wear resistance of nickel plasma coatings under traditional and combined treatment conditions / V.V. Ivancivsky, V.Y. Skeebea, E.A. Zverev, N.V. Vakhrushev, K.A. Parts // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2018. – Vol. 194, iss. 4. – P. 042006. – DOI: 10.1088/1755-1315/194/4/042006.
9. *Шанин С.А., Ефременков Е.А.* Модель формирования состава многослойного покрытия при осаждении из плазмы // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2018. – Т. 20, № 1. – С. 69–79. – DOI: 10.17212/1994-6309-2018-20.1-69-79.
10. Research into properties of wear resistant ceramic metal plasma coatings / V.V. Ivancivsky, V.Y. Skeebea, E.A. Zverev, N.V. Vakhrushev, K.A. Parts // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2018. – Vol. 327, iss. 4. – P. 042042. – DOI: 10.1088/1757-899X/327/4/042042.
11. *Skeebea V., Pushnin V., Kornev D.* Quality improvement of wear-resistant coatings in plasma spraying integrated with high-energy heating by high frequency currents // *Applied Mechanics and Materials*. – 2015. – Vol. 788. – P. 88–94. – DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.788.88.
12. Структурные особенности плазменных покрытий В4С-Ni-P / Е.Е. Корниенко, В.И. Кузьмин, В.С. Ложкин, И.П. Гуляев, А.А. Сивков и др. // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2017. – № 3 (76). – С. 42–50. – DOI: 10.17212/1994-6309-2017-3-42-50.
13. Grinding specifics of plasma coatings melted with high-frequency currents / E.A. Zverev, V.Y. Skeebea, N.V. Vakhrushev, D.V. Lobanov // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2020. – Vol. 843. – P. 012014. – DOI: 10.1088/1757-899X/843/1/012014.
14. Surface quality of the plasma cermet coatings after grind finishing / E.A. Zverev, V.Y. Skeebea, N.V. Vakhrushev, D.V. Lobanov, N.V. Martyushev // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2019. – Vol. 378. – P. 012035. – DOI: 10.1088/1755-1315/378/1/012035.
15. *Skeebea V.Y., Skeebea P.Y.* Determining the operational loads of the hybrid metalworking machines drive // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2019. – Vol. 378. – P. 012031. – DOI: 10.1088/1755-1315/378/1/012031.

16. Efficiency of hybrid equipment combining operations of surface hardening by high frequency currents and abrasive grinding / V.Y. Skeebea, V.V. Ivancivsky, N.V. Vakhrushev, K.A. Parts, G.O. Cha // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2018. – Vol. 194, iss. 2. – P. 022038. – DOI: 10.1088/1755-1315/194/2/022038.
17. Ways to implement hybrid finishing technology with a hand-held rotary tool / D. Lobanov, M. Borisov, A. Yanyushkin, V. Skeebea // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 709, iss. 4. – P. 044075. – DOI: 10.1088/1757-899X/709/4/044075.
18. *Skeebea V.Y., Ivancivsky V.V.* Reliability of quality forecast for hybrid metal-working machinery // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2018. – Vol. 194, iss.2. – P. 022037. – DOI: 10.1088/1755-1315/194/2/022037.
19. Hybrid processing: the impact of mechanical and surface thermal treatment integration onto the machine parts quality / V.Y. Skeebea, V.V. Ivancivsky, A.V. Kutyshkin, K.A. Parts // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 126. – P. 012016. – DOI: 10.1088/1757-899x/126/1/012016.
20. *Чёсов Ю.С., Птицын С.В.* Проектирование металлорежущего оборудования: учебное пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2005. – 104 с.
21. *Скиба В.Ю., Иванцовский В.В.* Оборудование машиностроительного производства: электронный учебно-методический комплекс. – Новосибирск, 2017. – URL: <http://dispace.edu.nstu.ru/didesk/course/show/6710>.
22. *Скиба В.Ю.* Гибридное технологическое оборудование: повышение эффективности ранних стадий проектирования комплексированных металлообрабатывающих станков // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2019. – Т. 21, № 2. – С. 62–83. – DOI: 10.17212/1994-6309-2019-21.2-62-83.

STRUCTURAL SCHEME DEVELOPMENT OF THE COMBINED LATHE EQUIPMENT FOR PLASMA AND MECHANICAL TREATMENT

Zverev E.A., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: egor_z@ngs.ru

Vakhrushev N.V., Senior Lecturer, e-mail: vah_nikit@mail.ru

Titova K.A., Assistant, e-mail: krispars@yandex.ru

Savelyeva E.A., Graduate students, e-mail: kompazka@mail.ru

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

Abstract

The initial stage of general concept development of new machine equipment, which is the creation of a generalized structural scheme of a combined lathe complex for plasma and mechanical treatment, is presented in the article. The individual structural schemes of equipment with computer numerical control on the basis of a lathe for machining and plasma treatment are developed. The structural schemes are integrated into a generalized version of a combined lathe complex, in which different processing methods are combined on one platform. The resulting diagram will serve as the basis for the subsequent stages of equipment design.

Keywords

plasma spraying, mechanical treatment, operation consolidation, combined equipment, structural scheme

Funding:

This work was financially supported within the framework of the NSTU Research and Development Thematic Plan (project No. TP-PTM-1_21 project).

Acknowledgements:

The studies were performed at the Collective use center “Structure, mechanical and physical properties of materials” NSTU for help in conducting joint research work.

УДК 621.06-83

**ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИВОДА
ТОКАРНОГО СТАНКА**

*Е.А. ЗВЕРЕВ, канд. техн. наук, доцент,
Е.А. САВЕЛЬЕВА, магистрант,
А. С. ГИЗЗАТУЛЛИН, магистрант
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Зверев Е.А. – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: egor_z@ngs.ru

Для исследования энергоэффективности привода главного движения токарно-винторезного станка модели 1А62 разработан автоматизированный измерительный комплекс, включающий аналогово-цифровой преобразователь и необходимый комплект датчиков. Процесс расчета составляющих потерь мощности и коэффициента полезного действия реализован с помощью компьютерной программы *LabVIEW*.

Ключевые слова: энергоэффективность, привод главного движения, потери холостого хода, нагрузочные потери, эффективная мощность, коэффициент полезного действия.

Введение

Эффективное использование подводимой к станку мощности при осуществлении процесса резания является одним из важнейших требований, предъявляемых к станочному оборудованию [1-14]. Как известно, часть мощности при передаче движения от электродвигателя к шпиндельному узлу теряется, так как затрачивается на преодоление сил трения в кинематических парах приводов и сил сопротивления среды, превращаясь в теплоту. На выполнение полезной работы расходуется оставшаяся часть мощности. Эта доля механической энергии учитывается коэффициентом полезного действия (КПД) привода. Данный показатель характеризует энергоэффективность работы станочного оборудования, и, несомненно, зависит от качества изготовления и сборки узлов станка.

Точное определение КПД расчетным путем практически невозможно, ввиду того, что суммарные потери мощности не стабильны. Особое влияние на его величину оказывает режим резания и техническое состояние оборудования. Поэтому для определения фактической величины КПД объект подвергают энергетическим испытаниям во всем диапазоне рабочих скоростей и нагрузок.

Целью настоящей работы является разработка методики исследования потерь мощности в приводе токарного станка с помощью измерительного комплекса, оснащенного аналого-цифровым преобразователем (АЦП) и комплектом датчиков.

Методика определения потерь мощности

Потребляемая из сети мощность электродвигателя расходуется на совершение полезной работы и на работу по преодолению различных видов трения. В соответствии с законом сохранения и преобразования энергии уравнение баланса мощности привода главного движения (ПГД) в общем случае имеет вид [15-17]

$$N_{\text{д}} = N_{\text{х}} + N_{\text{н}} + N_{\text{пп}} + N_{\text{э}}, \quad (1)$$

где $N_{\text{д}} = N - N_{\text{пд}}$ – мощность на валу электродвигателя (N – мощность, потребляемая двигателем из сети; $N_{\text{пд}}$ – потери мощности в двигателе); $N_{\text{х}}$ – потери мощности при холостом ходе привода (без резания); $N_{\text{н}}$ – нагрузочные потери (дополнительные потери мощности при работе привода под нагрузкой); $N_{\text{пп}}$ – мощность, затрачиваемая на движение подачи (обычно в испытаниях не учитывается вследствие небольшой величины); $N_{\text{э}}$ – эффективная (полезная) мощность резания.

Структура энергетического баланса ПГД в графическом изображении показана на рисунке 1.

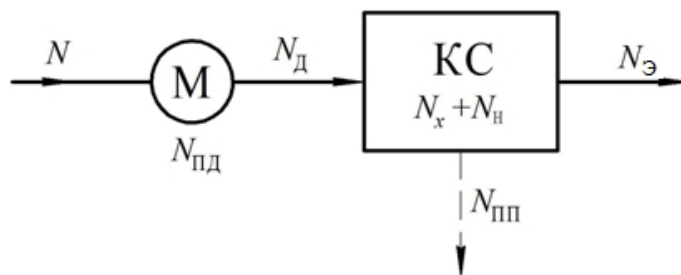


Рис. 1. Структура энергетического баланса ПГД

В зависимости от природы образования потери мощности на электродвигателе подразделяются на электрические, магнитные и механические.

Под *потерями холостого хода* подразумевается та часть мощности, которая затрачивается на вращение шпинделя ПГД при отсутствии какой-либо нагрузки на рабочем органе. Механическая энергия расходуется на преодоление сил вредного сопротивления. Применительно к коробке скоростей к ним следует отнести силы трения во всех подвижных соединениях: зубчатых и ременных передачах, подшипниках и уплотнениях опор валов и шпинделя, между дисками расцепленных фрикционных муфт и находящимся там маслом, а также сил сопротивления окружающей среды, которыми для быстро вращающихся элементов являются воздух и смазочный материал. Эта часть механической энергии в конечном итоге неизбежно превращается в тепловую.

Величина потерь мощности при холостом ходе зависит от конструктивной сложности, а также качества изготовления и сборки передач коробки скоростей. Большое влияние на потери также оказывает частота вращения шпинделя.

Под *нагрузочными потерями* понимается расход мощности, затрачиваемый на преодоление дополнительных сил трения, возникающих в элементах привода при резании. Увеличение сил сопротивления по сравнению с холостым ходом вызвано интенсификацией процессов трения во всех кинематических парах в связи с ростом контактных давлений в

соединениях, проскальзыванием в ременной передаче и между дисками фрикционных муфт, появлением деформаций элементов привода, например валов.

Дополнительный расход мощности во многом определяется режимом резания. При приложении нагрузки выше номинальной деформации звеньев кинематических цепей могут стать столь значительными, что будут способны нарушить условия нормальной работы передач с соответствующим резким повышением сил трения в подшипниках, зубчатых и других передачах.

Для определения *эффективной мощности резания* необходимо знать значение фактической частоты вращения шпинделя ($n_{\text{факт}}$) и величину крутящего момента (M_T):

$$N_{\text{Э}} = n_{\text{факт}} \cdot M_T. \quad (2)$$

Оценка энергоэффективности станка осуществляется с помощью определения фактического КПД по формуле, учитывающей соотношение составляющих потерь мощности и ее полезной части:

$$\eta = \frac{N_{\text{Э}}}{N_{\text{Э}} + N_{\text{X}} + N_{\text{H}}}. \quad (3)$$

Устройство автоматизированного измерительного комплекса

Обобщенный вид лабораторного комплекса для проведения исследований энергоэффективности привода главного движения токарно-винторезного станка модели 1А62 показан в виде 3D модели на рис. 2.

Токарный станок подвергся существенной модернизации. В качестве нагрузочного устройства, имитирующего силу резания, используется порошковый тормоз ПТ-40М. Данное устройство состоит из статора, в котором уложена обмотка, и ротора, разделенных между собой пространством, заполненным ферромагнитной смесью. При прохождении тока через обмотки, в магнитопроводе тормоза возникает магнитный поток, в результате чего возникают электромагнитные силы, образующие тормозной момент.

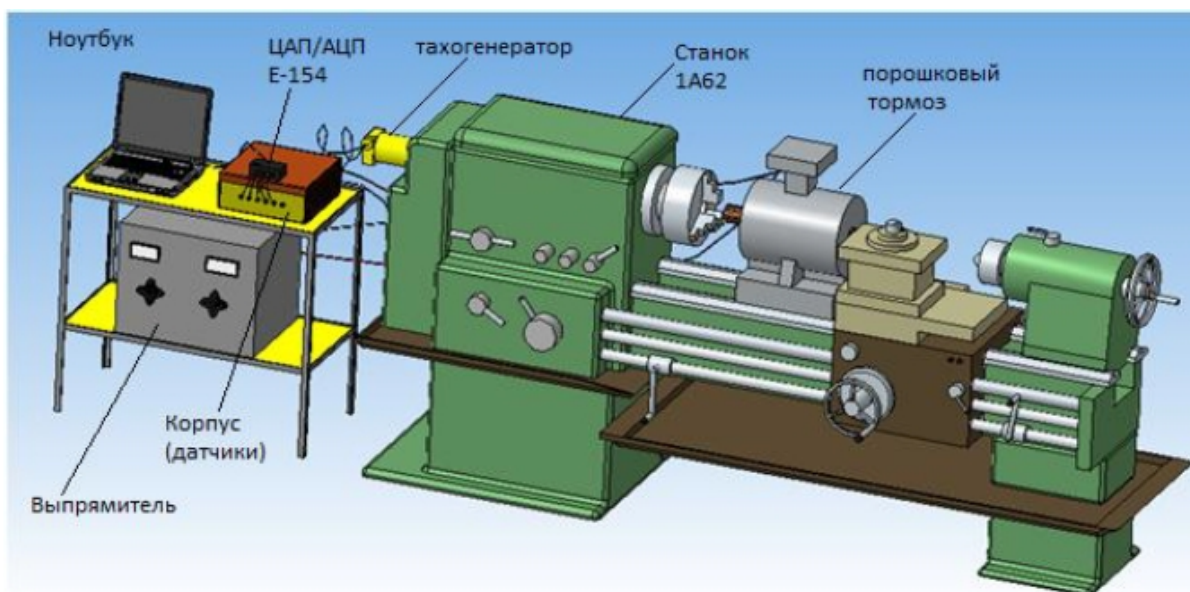


Рис. 2. Модель измерительного комплекса

Нагрузочное устройство установлено на специальной каретке, связанной с суппортом станка, и может перемещаться по направляющим станины. Вал тормоза соединяется со шпинделем посредством зубчатой муфты. Непосредственное управление режимом работы тормоза осуществляется с помощью рукоятки выпрямителя типа ВСА-5А. Для определения величины тормозного момента нагрузочного устройства потребовалось получение тарировочной зависимости между моментом и током возбуждения.

В качестве датчика скорости, регистрирующего фактическую частоту вращения шпинделя, применяется тахогенератор постоянного тока типа ТМГ-30П. Для измерения значений напряжения и тока, необходимых для определения мощности, потребляемой двигателем из сети, используются специализированный датчик напряжения и датчик тока типа LEM LA 55P. Передача аналоговых сигналов на персональный компьютер осуществляется при помощи внешнего модуля АЦП Е-154, предназначенного для создания портативных измерительных систем на базе notebook через интерфейс USB 2.0 (full-speed) без отдельного источника питания. В качестве рабочей среды используется программа LabVIEW (англ. Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench).

Результаты исследований

На рис. 3 показана среда проведения испытаний на холостом ходу. Эксперимент выполняется следующим образом: в соответствующем столбце таблицы программы представлен ряд частот вращения привода. Результаты измерения заносятся в таблицу отчета путем нажатия на кнопку «Выполнить опрос». Для каждой частоты рассчитываются мощность, взятая из сети (N), и мощность потерь при холостом ходе (N_x). После окончания эксперимента и получения всех необходимых значений, при нажатии кнопки «Построить график» строится график зависимости мощности холостого хода от частоты вращения шпинделя.

Как видно из графика, в диапазоне регулирования частоты вращения кривая имеет несколько характерных изломов. Как правило, причиной скачков является изменение частоты вращения отдельных промежуточных валов при переключении блоков зубчатых колес и сокращении длины кинематической цепи в станках со сложной структурой привода. Также полученный график подтверждает общую тенденцию увеличения потерь мощности холостого хода ПГД станка при увеличении скорости.

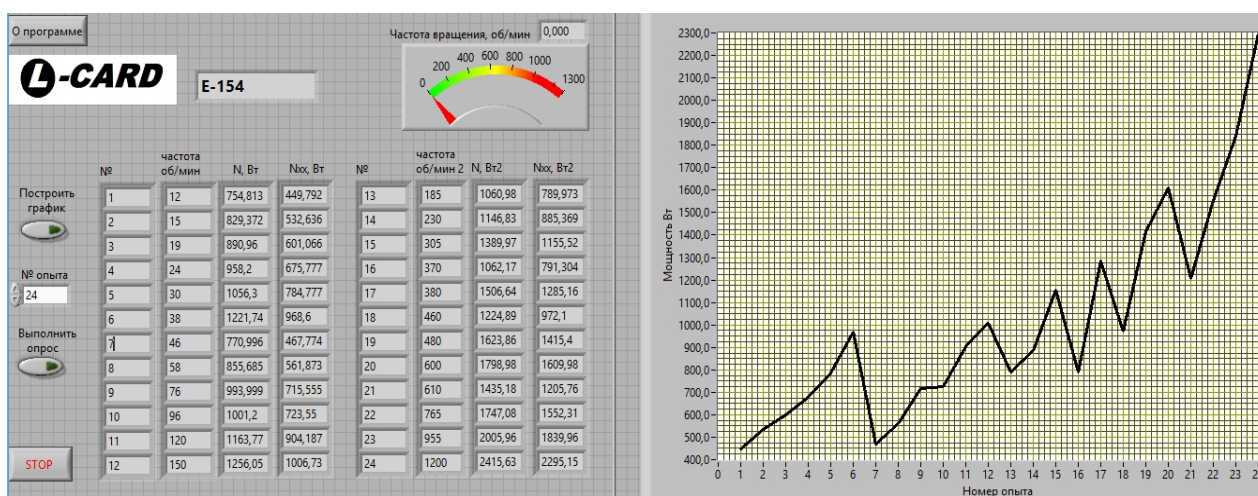


Рис. 3. Таблица и график эксперимента на холостом ходу

На рис. 4 показан интерфейс программы при работе станка *под нагрузкой*.

Перед началом работы необходимо в специальное окно внести паспортное значение исследуемой частоты вращения. При выполнении исследований также необходимо в соответствующие окна вносить порядковый номер опыта и текущее значение силы тока возбуждения обмоток тормоза, которое программой пересчитывается в нагрузочный момент.

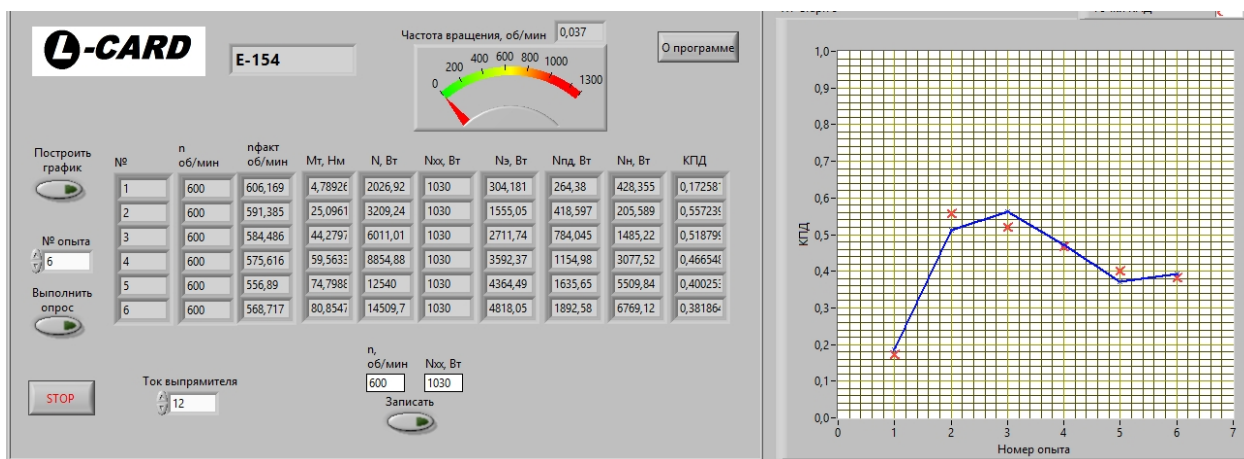


Рис. 4. Таблица и график КПД при работе станка под нагрузкой

При нажатии кнопки «Выполнить опрос» автоматически фиксируются сигналы со всех датчиков и рассчитываются значения всех составляющих баланса мощности, включая КПД. В таблице отображены значения фактической частоты вращения шпинделя ($n_{\text{факт}}$), нагрузочного момента (M_T), потребляемой из сети мощности (N), потерь мощности при холостом ходе (N_x), эффективной мощности ($N_э$), потерь мощности в двигателе ($N_{\text{пд}}$) и нагрузочных потерь (N_n).

Затем с помощью вращения регулятора блока питания переходят на следующую ступень нагружения, каждый раз стремясь обеспечить равные приращения, до максимальной нагрузки. После чего регулятор возвращают в исходное положение, а сам тормоз и станок отключают.

После завершения эксперимента необходимо нажать кнопку «Построить график». При этом в окне программы отображается зависимость КПД от эффективной мощности.

Полученный в ходе исследований график отражает специфику распределения КПД в зависимости от эффективной мощности. До определенного момента КПД возрастает при увеличении нагрузки, а в дальнейшем происходит его снижение. Поскольку при малых нагрузках потери холостого хода доминируют над полезной мощностью. Падение КПД после достижения максимальной величины связано с усилением влияния нагрузочных потерь.

Выводы

Таким образом, реализация изложенной методики позволяет оперативно проводить исследования, сократить трудоемкость процесса измерения, расчета потерь мощности и КПД, автоматизировать процесс построения необходимых для анализа графических зависимостей. В конечном счете, применение автоматизированного измерительного комплекса дает возможность обеспечить рациональное энергоэффективное использование металлообрабатывающего оборудования.

Список литературы

1. Интегральная обработка как эффективное направление решения задачи перехода к ресурсосберегающим технологиям / В.Ю. Скиба, В.В. Иванцовский, Н.П. Зуб, С.В. Туревич // *Инновационная деятельность*. – 2010. – № 1 (10). – С. 66–69.
2. *Иванцовский В.В., В.Ю. Скиба, Н.П. Зуб* Методика назначения режимов обработки, обеспечивающих рациональное распределение остаточных напряжений при поверхностной закалке ВЭН ТВЧ // *Научный вестник Новосибирского государственного технического университета*. – 2008. – № 3 (32). – С. 83–94.
3. *Скиба В.Ю.* Обеспечение требуемого характера распределения остаточных напряжений при упрочнении высокоэнергетическим нагревом токами высокой частоты // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2007. – № 2 (35). – С. 25–27.
4. *Иванцовский В.В., Скиба В.Ю.* Эффективность объединения операций поверхностной закалки и шлифования на одном технологическом оборудовании // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2010. – № 4 (49). – С. 15–21.
5. *Иванцовский В.В., Скиба В.Ю., Степанова Н.П.* Назначение режимов поверхностной закалки с использованием концентрированных источников нагрева // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2005. – № 3 (28). – С. 22–24.
6. Numerical Simulation of Temperature Field in Steel under Action of Electron Beam Heating Source / V.Yu. Skeebe, V.V. Ivancivsky, N.V. Martyushev, D.V. Lobanov, N.V. Vakhrushev, A.K. Zhigulev // *Key Engineering Materials*. – 2016. – Vol. 712. – P. 105–111. – doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.712.105.
7. *Skeebe V.Y., Skeebe P.Y.* Determining the operational loads of the hybrid metalworking machines drive // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2019. – Vol. 378. – P. 012031. – DOI: 10.1088/1755-1315/378/1/012031.
8. Integration of production steps on a single equipment / V. Skeebe, V. Pushnin, I. Erohin, D. Kornev // *Materials and Manufacturing Processes*. – 2015. – Vol. 30, iss. 12. – P. 1408–1411. – doi: 10.1080/10426914.2014.973595.
9. Ways to implement hybrid finishing technology with a hand-held rotary tool / D. Lobanov, M. Borisov, A. Yanyushkin, V. Skeebe // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2020. – Vol. 709, iss. 4. – P. 044075. – DOI: 10.1088/1757-899X/709/4/044075.
10. *Skeebe V.Y., Ivancivsky V.V.* Reliability of quality forecast for hybrid metal-working machinery // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2018. – Vol. 194, iss. 2. – P. 022037. – DOI: 10.1088/1755-1315/194/2/022037.
11. Hybrid processing: the impact of mechanical and surface thermal treatment integration onto the machine parts quality / V.Y. Skeebe, V.V. Ivancivsky, A.V. Kutyshkin, K.A. Parts // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2016. – Vol. 126. – P. 012016. – DOI: 10.1088/1757-899x/126/1/012016.
12. *Скиба В.Ю.* Гибридное технологическое оборудование: повышение эффективности ранних стадий проектирования комплексированных металлообрабатывающих станков // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2019. – Т. 21, № 2. – С. 62–83. – DOI: 10.17212/1994-6309-2019-21.2-62-83.
13. *Скиба В.Ю., Иванцовский В.В.* Гибридное металлообрабатывающее оборудование: повышение эффективности технологического процесса обработки деталей при интеграции поверхностной закалки и абразивного шлифования: монография. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2018. – 312 с. – ISBN 978-5-7782-3690-5.

14. *Иванцовский В.В., Скиба В.Ю.* Гибридное металлообрабатывающее оборудование. Технологические аспекты интеграции операций поверхностной закалки и абразивного шлифования: монография. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2019. – 348 с. – ISBN 978-5-7782-3988-3.

15. *Чёсов Ю.С.* Кинематический расчет привода главного движения металлорежущих станков: учебное пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2013. – 80 с.

16. Методика измерения мощности привода главного движения металлорежущих станков / Ю.С. Чёсов, С.В. Птицын, Е.А. Зверев, В.О. Сухарев, М.С. Цыбенко // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2015. – № 2. – С. 244–248.

17. *Зверев Е.А., Саха О.В.* Исследование потерь мощности в металлорежущих станках при холостом ходе // Автоматизированное проектирование в машиностроении. – 2017. – № 5. – С. 130–132.

APPLICATION OF AN AUTOMATED MEASURING COMPLEX FOR INVESTIGATING THE ENERGY EFFICIENCY OF A LATHE DRIVE

Zverev E.A., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: egor_z@ngs.ru

Savelyeva E.A., Student, e-mail: ekaterina_savelyeva3@mail.ru

Gizatullin A.S., Student, e-mail: gizatullin_99@mail.ru

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

Abstract

To study the energy efficiency of the main motion drive of the 1A62 model screw-cutting lathe, the automated measuring complex has been developed. It includes an analog-digital converter and the necessary set of sensors. The process of calculating the components of power loss and coefficient of efficiency is implemented using a computer program *LabVIEW*.

Keywords

energy efficiency, main motion drive, idling losses, load losses, effective power, coefficient of efficiency.

УДК 669.13:621.753.5

**ВОЗДЕЙСТВИЕ ОБРАБОТКИ РАСПЛАВА И ЦИКЛИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА
МИКРОСТРУКТУРУ ДОМЕННОГО ЧУГУНА**

В.К. АФАНАСЬЕВ¹, академик РАЕН, доктор техн. наук, профессор,
М.В. ПОПОВА¹, доктор техн. наук, профессор,
С.В. ДОЛГОВА¹, мл. научн. сотр.,
М.М. САГАЛАКОВА², канд. техн. наук, доцент
А.П. ЧЕРНЫШ³, канд. техн. наук, доцент
(¹ СибГИУ, г. Новокузнецк,
² ХТИ-филиал СФУ, г. Абакан,
³ НИИ-филиал СФНЦА РАН, г. Кемерово)

Попова М.В. – 654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42,
Сибирский государственный индустриальный университет,
e-mail: m.popova@rdtc.ru

Представлены результаты исследований микроструктуры доменного передельного чугуна после обработки расплава и последующей циклической деформации. Обработку расплава проводили графитовыми блоками, фторопластом, а также путем циклического изменения температуры. Установлено, что термоциклическая обработка расплава в интервале 1100–1200 °С позволяет полностью подавить процесс графитизации в доменном чугуне и получить ледебуритную структуру. Показано, что для чугуна без выделений графита возможно проведение горячей термоциклической деформации. Получены качественные деформированные заготовки в виде пластин толщиной от 5 до 0,5 мм. Исследовано воздействие циклическойковки на микроструктуру пластин различной толщины из чугуна без выделений графита. Установлено, что пластическая деформация способствует диспергированию структурных составляющих и их строчечному расположению.

Ключевые слова: доменный чугун, микроструктура, графит, ледебурит, обработка расплава, пластическая деформация,ковка..

Введение

Чугун является одним из древнейших материалов, используемых человеком, но он по-прежнему широко применяется в промышленности, о чем говорят огромные объемы его производства. Согласно данным Всемирной ассоциации производителей стали (*World Steel Association, WSA*), мировое производство чугуна в 2019 году составило 1 281 998 тонн [1]. Большая часть доменного чугуна предназначена для передела в сталь, однако в последнее время проводится все больше исследований, связанных с разработкой технологических приемов, позволяющих использовать доменный чугун в качестве конструкционного или инструментального материала [2–4]. Это объясняется его хорошими технологическими свойствами и низкой стоимостью. Для повышения механических свойств доменного чугуна его обычно легируют такими элементами, как хром, ванадий, никель, ниобий. Они способствуют формированию хромованадиево-карбидных каркасов в эвтектических колониях и высоколегированной металлической матрицы [5–8]. Однако высоколегированные чугуны имеют более высокую стоимость, что, соответственно, повышает стоимость изделий из них.

Поскольку чугун представляет собой многокомпонентную и многофазную систему, то можно целенаправленно изменять его фазовый состав и микроструктуру, получая необходимый комплекс свойств [9–12]. Одним из перспективных направлений улучшения механических свойств чугуна является его пластическое деформирование. Традиционно изделия из чугуна получают методами литья, т.к. он имеет низкую технологическую пластичность. Исследования последних лет и в нашей стране, и за рубежом показывают, что белый чугун, а также чугун с шаровидной формой графита при определенных температурно-силовых параметрах можно пластически деформировать [13–18]. Однако в проведенных работах в основном рассмотрены либо легированные белые чугуны, либо высокопрочные чугуны с шаровидной формой графита, поэтому представляет интерес исследование влияния пластической деформации на микроструктуру и свойства обычного чугуна, в структуре которого выделения графита удалены после обработки расплава.

Исходя из указанного и на основании разработанных нами приёмов пластической деформации и термической обработки, было проведено изучение возможностей получения деформированной заготовки из доменного чугуна.

Цель работы – обосновать возможность получения деформированной заготовки из доменного чугуна после обработки расплава.

Методика экспериментального исследования

Доменный перелый чугун П1 производства АО «ЕВРАЗ ЗСМК» в виде чушек весом 16 кг расплавляли в индукционной печи ИСП-006 и проводили обработку расплава. До переплава и обработки расплава чугун имел следующий химический состав, масс. %: углерод 4,15; кремний 0,90; марганец 0,30; фосфор 0,10; сера 0,02, железо – остальное. Обработку расплава чугуна осуществляли тремя способами: влажными графитовыми блоками и фторопластом в интервале 1200–1500 °С путем циклического введения порций реагента, а также путем циклического изменения температуры в интервале 1100–1200 °С. Пробы заливали в алюминиевый и медный кокиль размерами 80×80×450 мм. Из полученных заготовок нарезали темплеты и проводили изучение микроструктуры от дна до прибыльной части слитка.

Изучение микроструктуры чугуна осуществляли с помощью оптического микроскопа ОРТОН при увеличении ×110. Механические свойства образцов определяли по стандартным методикам [19]. Статистическую обработку результатов механических испытаний проводили по известным методикам [20, 21] проверки статистических гипотез и вычисления выборочных числовых характеристик при малом объеме выборки ($n < 50$) в режиме «Описательная статистика» Microsoft Excel. Термическую обработку проводили в электропечах сопротивления типа СНОЛ.

Результаты и обсуждение

Проведено систематическое исследование изменений микроструктуры образцов из донной и прибыльной частей слитков без и с обработкой расплава.

Было установлено, что в структуре слитков чугуна без обработки расплава во всех случаях присутствуют выделения графита и распределение его по сечению слитка неравномерно. Количество выделений графита увеличивается от дна к прибыльной части. Максимальное количество выделений во всех частях слитка наблюдалось в центральной зоне. Было проведено систематическое исследование изменений микроструктуры образцов из донной и прибыльной частей после нагрева в интервале 20...1000°С. Установлено, что,

начиная с температуры 700°C уменьшается травимость ледобурита, при этом увеличивается травимость графитовых выделений и прилегающих к ним областей. Характерной особенностью является увеличение размеров графитовых выделений. Согласно результатам металлографического анализа, проведение качественной пластической деформации слитков с такой структурой маловероятно, так как графитовые выделения являются готовыми очагами зарождения и распространения трещин. Несмотря на это, в условиях кузнечного цеха была сделана попытка получить деформированную заготовку. Деформации подвергались слитки, предварительно отожженные при 800, 900°C и литые. Микроструктура литого чугуна и результаты деформации показаны на рисунке 1.

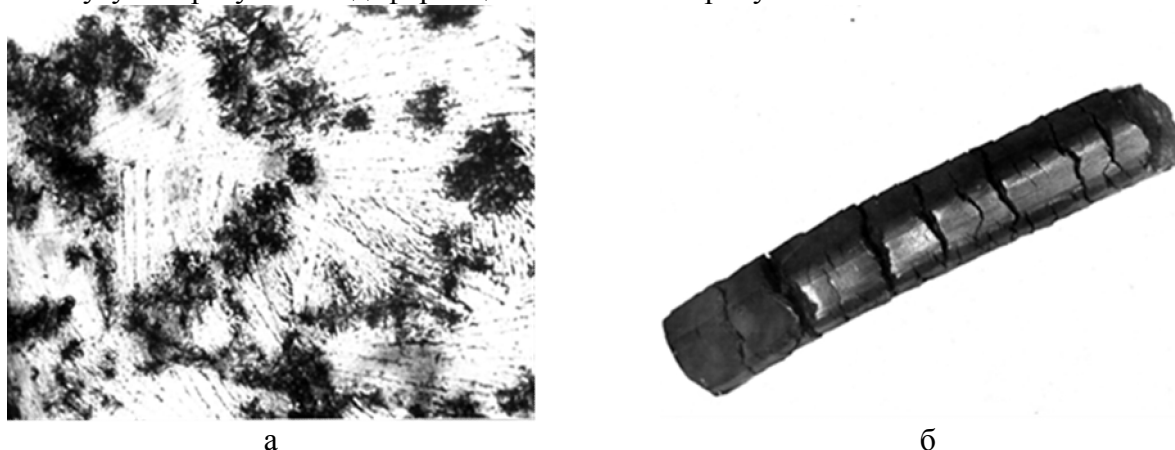


Рис. 1. Микроструктура литого доменного чугуна без обработки расплава, $\times 110$ (а) и общий вид деформированной заготовки (б)

Проведенные эксперименты по применению традиционных способов выплавки и деформации чугуна и невозможность получения качественной деформированной заготовки позволили сделать заключение о необходимости применения различных способов обработки расплава с целью устранения выделений графита в структуре чугуна и повышения его деформируемости.

Обработку чугуна проводили веществами, изменяющими соотношение элементов внедрения в расплаве и, соответственно, влияющими на условия образования графитовых включений [22]. Графитовый блок периодически вводили в расплав и выдерживали в течение 10 минут. Суммарное время обработки расплава вращающимся сырым графитовым блоком изменяли от 10 минут до 1 часа. Установлено, что такая обработка резко уменьшает зону графитовых выделений, но полностью её не устраняет. Без обработки расплава графитовые выделения наблюдались даже в краевых зонах слитка. После указанной обработки расплава в слитке графитовые выделения наблюдаются только в узкой центральной зоне. Обработку расплава полимером тетрафторэтилена C_2F_4 проводили шестикратно в количестве 0,1 и 0,2 % от веса расплава в течение 15 минут. Установлено, что полимер тетрафторэтилена благоприятно влияет на формирование структуры слитка. В этом случае даже в центральной зоне слитка отсутствуют выделения графита и образуется ледобуритная структура.

С целью более полного удаления выделений графита во всех зонах слитка проводили термоциклическую обработку расплава в интервале 1100–1200°C. Расплавленный в индукционной печи чугун подвергался многократному расплавлению и кристаллизации. В соответствии с широко известными закономерностями растворения газов в металле при переходе твердое→жидкое и жидкое→твердое уменьшалось газосодержание, в связи с чем процесс графитизации резко замедлялся. В термоциклированном чугуне при любом способе

его кристаллизации выделения графита не образуются, по всему сечению слитка наблюдается тонкодисперсная ледебуритная структура. Важно отметить, что после 4–6 циклов такой обработки содержание углерода в чугуна практически не уменьшалось, а твердость несколько снижалась (табл. 1).

Таблица 1

Влияние термоциклической обработки расплава на содержание углерода и твердость доменного чугуна

Количество циклов ТЦО	–	1	2	3	4	5	6
Содержание С, %	4,20	4,82	4,65	4,39	4,20	4,19	4,17
Твердость НВ, МПа	4600	5100	4500	4350	4200	4100	4000

Было изучено влияние указанных видов обработки расплава на формирование структуры слитков размерами $h = 15$ мм и $l = 250$ мм. Удлиненные слитки малой толщины с ледебуритной структурой без выделений графита подвергались циклической ковке на 3-х тонном молоте в кузнечном цехе. Получены качественные деформированные заготовки в виде пластин толщиной 5 мм. Микроструктура их приведена на рис. 2. Металлографический анализ показал, что в центральной части поковок формируется мелкодисперсная структура без выраженной преимущественной геометрической ориентировки ледебуритных колоний, в отличие от краевых зон, где наблюдается их строчечное расположение.

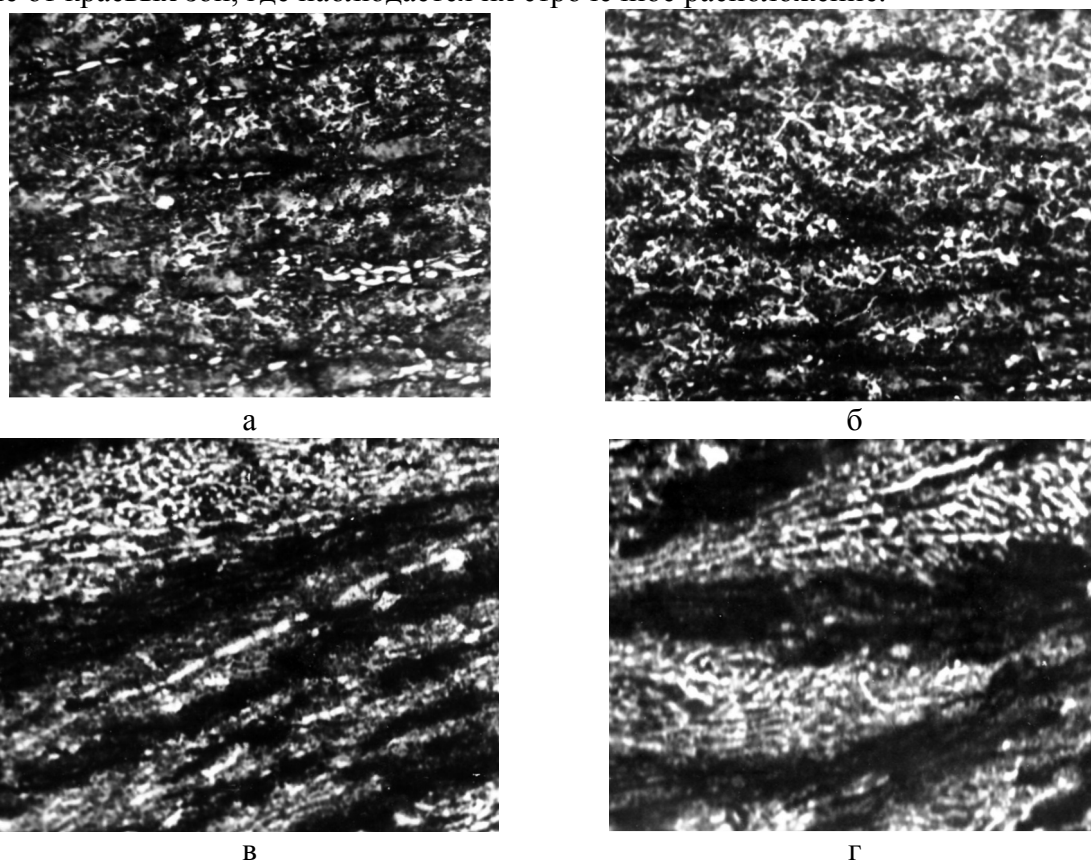


Рис. 2. Микроструктура кованных заготовок из доменного чугуна после термоциклической обработки расплава, $\times 110$: а, б – центральная часть; в, в – краевые зоны

Затем кованные пятимиллиметровые пластины подвергали многократной циклической горячей прокатке до толщины 0,5–0,3 мм. Таким образом, была установлена принципиальная возможность получения фольги из доменного чугуна. Количество циклов горячей деформации составляло от 6 до 10. Общий вид кольца из фольги доменного чугуна и микроструктура фольги представлены на рис. 3. Механические свойства фольги определяли после горячей циклической прокатки и последующего охлаждения на воздухе. Установлено, что предел прочности деформированного чугуна после 6–10 циклов горячей прокатки находится в пределах $\sigma_B = 500-800$ МПа при $HV = 2000-2200$ МПа.

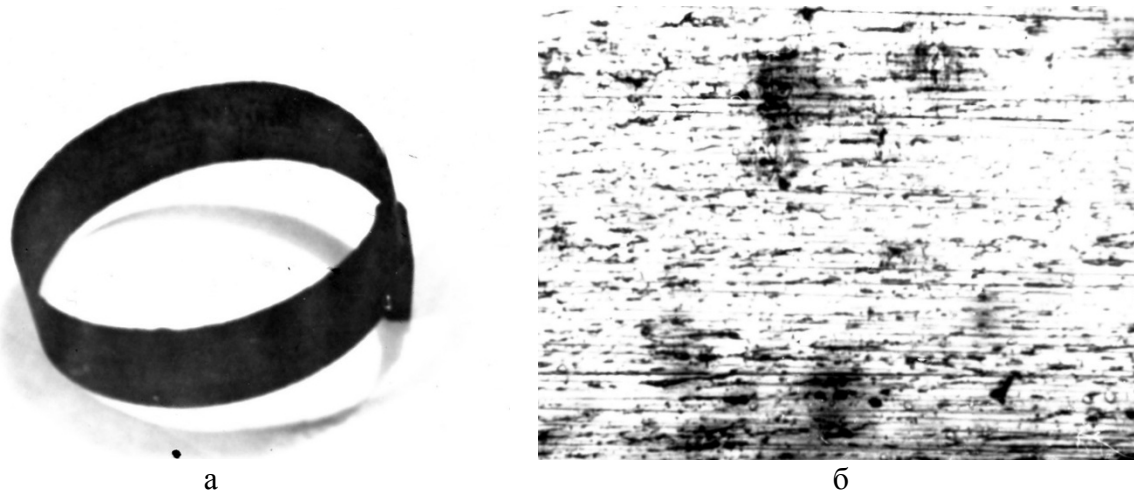


Рис. 3. Кольцо из фольги доменного термоциклированного чугуна (а) и микроструктура фольги $\times 110$ (б)

Выводы

1. Изучено влияние различных способов обработки расплава на структуру и свойства передельного чугуна. Выявлены перспективные способы обработки расплава и термоциклической деформации, обеспечивающие возможность получения поковок из передельного чугуна.

2. Установлена принципиальная возможность получения фольги из доменного термоциклированного чугуна с пределом прочности 500 – 800 МПа и твердостью $HV=2000-2200$ МПа после горячей циклическойковки и прокатки. Следует считать целесообразным дальнейшее проведение работы с целью изучения воздействия различных факторов на свойства деформированного чугуна.

Список литературы

1. Steel Statistical Yearbook: 2020 concise version. – Brussels: World Steel Association, 2020. – 46 p. – URL: <https://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:5001dac8-0083-46f3-aadd-35aa357acbcc/Steel%20Statistical%20Yearbook%202020%20%20%20concise%20version%20.pdf>.

2. Чугун: справочник / под ред. А.Д. Шермана, А.А. Жукова. – М.: Металлургия, 1991. – 576 с.

3. Афанасьев В.К. Доменный чугун – металл будущего / В.К. Афанасьев, С.А. Гладышев, М.В. Попова и др. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2005. – 343 с.
4. Machining of Hard Materials: Provides a discussion of recent advancements in hard machining / edit. D.J. Paulo – London: Springer-Verlag London Limited, 2011. – 211 p.
5. Быстрорежущая сталь и инструментальный чугун / В.К. Афанасьев, С.В. Долгова, М.В. Попова, С.В. Магазов, А.В. Кольба, А.П. Черныш; под научн. ред. В.К. Афанасьева. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. – 630 с.
6. Radionov A., Mikhailov G.G., Vinnik D.A. Estimation of the Heat Stability of Hardened Cr-V Cast Irons // Materials Science Forum. – 2016. – Vol. 870. – P. 558–563. – DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.870.558.
7. Kolokoltsev V.M., Petrochenko E.V. Structure features and properties of high-alloy white irons // Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University. – 2013. – № 5. – P. 3–8.
8. Chien L.Y., Chen F.J., Pan Y.N. Research on the Wear Resistance of High-Chromium White Cast Iron and Multi-Component White Cast Iron // Advanced Materials Research. – 2013. – Vol. 859. – P. 64–69. – DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.859.64.
9. Металлография чугуна / В.К. Афанасьев, С.В. Долгова, М.В. Попова, М.М. Сагалакова, А.О. Токарев и др.; под научн. ред. В.К. Афанасьева. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. – 482 с.
10. Доменный чугун без выделений графита – новый материал многоцелевого назначения / В.К. Афанасьев, М.В. Попова, А.В. Кольба, М.М. Сагалакова, Г.Е. Громов, А.В. Сочнев // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2003. – № 2 (18). – С. 14–16.
11. О термической обработке инструмента из доменного белого нелегированного чугуна / В.К. Афанасьев, А.П. Черныш, М.В. Попова, М.М. Сагалакова, К.Г. Малютин // Металлургия машиностроения. – 2020. – № 3. – С. 32–36.
12. Некоторые итоги и перспективы развития нелегированного высокопрочного чугуна / В.К. Афанасьев, М.В. Попова, А.П. Черныш, С.В. Долгова, К.Г. Малютин, М.М. Сагалакова // Металлургия машиностроения. – 2020. – № 4. – С. 11–16.
13. Козлов Л.Н. Деформирование чугуна с шаровидным графитом / Л.Н. Козлов, Н.Г. Власов, В.И. Крысев и др. // Кузнечно-штамповочное производство. – 1983. – № 2. – С. 12–13.
14. Лякишев Н.П., Шербединский Г.В. Горячая пластическая деформация высокопрочного чугуна // Сборник трудов 5 собрания металлургов России. – Краснодар, 2001. – С. 249–251.
15. Покровский А.И. Горячая пластическая деформация чугуна: структура, свойства, технологические основы. – Минск: Беларуская навука, 2010. – 256 с.
16. Алифанов А.В. Применение горячедеформированного хромованадиевого белого чугуна для получения дереворежущего инструмента // Литьё и металлургия. – 2012. – № 3 (67). – С. 157–161.
17. Sjögren T., Persson P.E., Vomacka P. Analysing the Deformation Behaviour of Compacted Graphite Cast Irons Using Digital Image Correlation Techniques // Key Engineering Materials. – 2010. – Vol. 457. – P. 470–475. – DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.457.470.
18. Öberg C., Zhu B.H., Jonsson S. Plastic Deformation and Creep of Two Ductile Cast Irons, SiMo51 and SiMo1000, during Thermal Cycling with Large Strains // Materials Science Forum. – 2018. – Vol. 925. – P. 361–368. – DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.925.361.
19. Золотаревский В.С. Механические свойства металлов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: МИСИС, 1998. – 400 с.
20. Степнов М.Н., Шаврин А.В. Статистические методы обработки результатов механических испытаний: справочник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2005. – 399 с.

21. *Brian S. E., Dunn G.* Applied multivariate data analysis. – London: Arnold; New York: Oxford University Press, 2001. – 342 с.

22. *Афанасьев В.К.* Водородный механизм образования выделений графита в чугунах // Литейное производство. – 2014. – № 1. – С. 8–13.

EFFECT OF MELT TREATMENT AND CYCLIC DEFORMATION ON BLAST FURNACE IRON MICROSTRUCTURE

Afanasyev V.K.¹, D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: in_afanaseva@mail.ru

Popova M.V.¹, D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: m.popova@rdtc.ru

Dolgova S.V.¹, junior researcher, e-mail: sv_dolgov@mail.ru

Sagalakova M.M.², Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: m_sagalakova@mail.ru

Chernysh A.P.³, Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Director, e-mail: tmrm@mail.ru

¹ Siberian State Industrial University, 42 Kirov st., Novokuznetsk, 654007, Russian Federation

² Khakass Technical Institute of the Branch of Siberian Federal University, 27 Shchetinkina st., Abakan, 655017, Russian Federation

³ Kemerovo Research Institute of the Branch of SFNCA RAS, 47 Central st., Novostrojka village, Kemerovo district, 650510, Russian Federation

Abstract

This paper explores the microstructure of blast furnace pig iron after melt treatment and subsequent cyclic deformation. Melt treatment was carried out with graphite blocks, fluoroplastic, as well as by cyclic temperature change. The thermocyclic treatment of the melt in the range of 1100-1200 ° C has been found to allow to completely suppress the graphitization process in blast furnace iron and obtain a ledeburite structure. It has been shown that hot thermocyclic deformation is possible for cast iron without graphite emissions. High-quality deformed blanks were obtained in the form of plates with thickness from 5 to 0.5 mm. Effects of cyclic forging on microstructure of plates of different thickness from cast iron without graphite discharge have been investigated. Plastic deformation has been found to contribute to the dispersion of structural components and their line arrangement.

Keywords

Blast furnace iron, microstructure, graphite, ledeburite, melt treatment, plastic deformation, forging.

УДК 669.715. (043.3)

**ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ СТАРЕНИЯ НА ЛИНЕЙНОЕ РАСШИРЕНИЕ
МАЛОКРЕМНИСТОГО ПОРШНЕВОГО СИЛУМИНА**

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

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

Введение. В настоящее время в качестве материалов, применяемых для производства поршней двигателей средней мощности, используют сплавы систем Al-Si-Cu, Al-Si-Cu-Mg (AK5M2, AK5M7, AK12M, AK12MMgH). Силумины наряду с удовлетворительными прочностными и пластическими характеристиками должны обладать, в первую очередь, малым тепловым расширением и удельным весом. Для улучшения параметров поршневых силуминов наиболее целесообразно использование способов улучшения свойств на завершающей стадии изготовления деталей – окончательной термической обработки. Поэтому разработка и оптимизация режимов термической обработки поршневых силуминов является актуальной проблемой. **Цель работы:** установление влияния температуры старения в диапазоне от 100 до 300 °С и времени выдержки от 3 до 9 ч на средний ТКЛР по интервалам 20-150, 150-300 и 300-450 °С поршневого медистого силумина АК5М2. **Для исследования** были взяты поршни, изготовленные на предприятии ООО «КМЗ» (г. Набережные Челны) из силумина, легированного медью, АК5М2. **Методами исследования** являлись спектральный анализ химического состава поршневых заготовок, дилатометрический анализ для определения ТКЛР образцов до и после проведения режимов старения, а также металлографические исследования образцов в обработанном состоянии. **Результаты и обсуждение.** Показаны результаты влияния параметров старения на поршни из малокремнистого медистого силумина АК5М2 для двигателей средней мощности ЗМЗ в состоянии поставки. Проведена оценка изменения линейного расширения поршневого силумина АК5М2 после старения в диапазоне 100-300 °С (через 50 °С) и временем выдержки 3 ч по температурным интервалам 20-150, 150-300 и 300-450 °С. Установлено, что оптимальным для снижения коэффициента расширения силумина является режим, включающий старение 3 ч при температуре 200°С. Данный режим снижает средний ТКЛР во всех интервалах низко- средне- и высокотемпературном по сравнению с исходным состоянием на 1, 6 и 5,5 % соответственно. Кроме того, старение медистого силумина при температурах 100, 150, 200 и 250 °С обеспечивает снижение ТКЛР от 1,5 до 7 % в диапазоне 300-450 °С. Выявлено, что увеличение времени старения поршневого сплава последовательно до 6 и 9 ч при 200 °С не является эффективным. Полученные результаты позволяют рекомендовать для уменьшения термического расширения поршней двигателей из сплава АК5М2 низкотемпературное старение при 200°С, 3 ч.

Ключевые слова: сплав, доэвтектический силумин, поршень, старение, линейное расширение

Введение

Общеизвестно, что важнейшими свойствами поршневых силуминов являются механические свойства (временное сопротивление разрыву при обычной и повышенной температурах, обычная и горячая твердость, износостойкость и другие), тепловые (температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР), теплоемкость) и технологические свойства.

В настоящее время в качестве материалов, применяемых для производства поршней двигателей внутреннего сгорания различных конструкций и типов, используют алюминиевые сплавы систем Al-Si-Cu, Al-Si-Cu-Mg. Используемый ряд легирующих элементов позволяет иметь довольно широкий выбор до- и эвтектических силуминов с необходимым комплексом физико-механических свойств. В первую очередь, удовлетворительными прочностными и пластическими характеристиками при обычной и повышенной температуре, малым тепловым расширением и удельным весом, хорошей теплопроводностью и износостойкостью и других показателей [1, 2]. Для улучшения параметров поршневых силуминов и их структуры применяют различные дополнительные операции на разных стадиях технологии производства поршней: шихта, расплав, кристаллизация, получение заготовок деформацией (для деформируемых сплавов) и окончательная термическая обработка. Следует отметить использование явления структурной наследственности при производстве поршней из алюминиевых сплавов [2, 3]. Однако более эффективно применение обработки жидкого металла для измельчения в структуре силуминов кристаллов первичного и эвтектического кремния, а также рафинирования расплава от газовых примесей и неметаллических включений [4-12]. Довольно существенно воздействие на структуру и свойства поршневых сплавов рациональных режимов пластической деформации и окончательной термической обработки [13-20].

С экономической точки зрения наиболее целесообразно использование способов улучшения свойств на завершающей стадии изготовления деталей, например, путем совершенствования окончательной термической обработки или разработки принципиально новых способов. Известно, что для поршневых сплавов практически обязательной операцией является окончательная термическая обработка. В соответствии с ГОСТ 1583-93 – упрочняющая обработка по режиму Т6 (закалка и последующее старение) либо стабилизирующее старение по режиму Т1 [21].

В производстве поршней двигателей средней мощности, устанавливаемых на моделях автомобилей ГАЗ, ПАЗ и др., применяют литейные легированные доэвтектические сплавы системы Al-Si-Cu (АК5М, АК5М2, АК5М7) и эвтектические – АК12М, АК12ММгН. Для дизельных автотракторных двигателей, обладающих большей мощностью, используют поршни из силуминов с повышенным содержанием кремния АК18, АК21М2,5Н2,5. Целью работы являлось установление влияния температуры старения в диапазоне от 100 до 300 °С и времени выдержки от 3 до 9 ч на средний ТКЛР по интервалам 20-150, 150-300 и 300-450 °С поршневого доэвтектического медистого силумина АК5М2.

Материал и методика экспериментальных исследований

Исследования проводили на поршне двигателя ЗМЗ (г. Заволжск), используемого в автобусах для городского пассажирского транспорта производства ОАО «Павловский автобус». Поршень двигателя изготавливают из силумина, легированного медью, АК5М2. Определение химического состава исследуемого поршня проводили спектральным методом

на приборе ARL 4460. Состав сплава по ГОСТ 1583-93 исследуемого поршня показаны в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав исследуемого поршня, изготовленного из сплава системы Al-Si-Cu, и состав сплава АК5М2 по ГОСТ 1583-93

Сплав	Химические элементы, % (вес.)							
	Si	Cu	Mg	Mn	Ni	Fe	Ti	Al
АК5М2	5,27	1,89	0,28	0,20	0,14	0,73	0,08	ост.
ГОСТ 1583-93	4,0-6,0	1,5-3,5	0,2-0,8	0,2-0,8	≤0,5	≤1,3	0,05-0,2	ост.

Анализ состава исследуемого поршня подтвердил его принадлежность к сплаву системы Al-Si-Cu – АК5М2 по ГОСТ 1583-93. Для исследования были взяты поршни, изготовленные на предприятии ООО «КМЗ» (Республика Татарстан, г. Набережные Челны) в состоянии поставки. Конструктивный диаметр поршня после механической обработки составляет 92 мм. Для проведения режимов старения использовали образцы, изготовленные из поршня и сушильные шкафы типа СНОЛ 3,5.3,5.3,5/3,5-И1. Измерение и расчет параметров термического расширения проводили на оптическом дилатометре методами касательной и треугольника. Погрешность этих методов равна $0,1 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹. Микроструктуру поршневых заготовок изучали на оптическом микроскопе Лабомет-И1. Более подробно методика аналогичных исследований описана в работе [22].

Результаты и обсуждение

Поршневые заготовки из сплава АК5М2 были состарены по различным режимам. Температуру старения изменяли от 100 до 300 °С через 50 °С. Время выдержки образцов составляло 3, 6 и 9 часов при каждой температуре.

Оценка изменения линейного расширения поршневого силумина АК5М2 после старения в диапазоне 100-300 °С (через 50 °С) и временем выдержки 3 ч по температурным интервалам 20-150, 150-300 и 300-450 °С показана на рис 1.

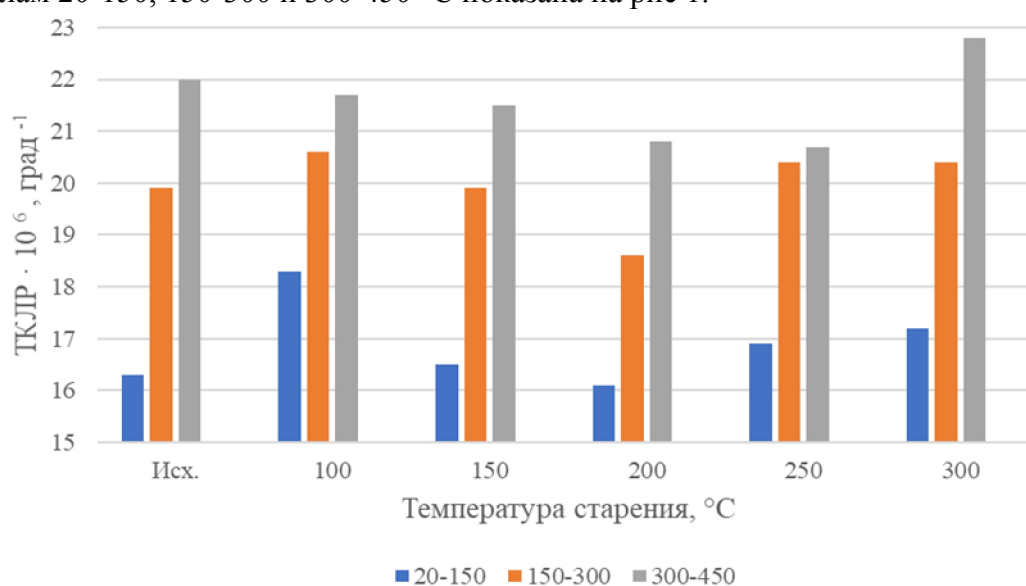


Рис. 1. Диаграмма изменения ТКЛР для силумина АК5М2 в зависимости от температуры старения в интервале 100-300 °С при времени выдержки 3 ч по температурным диапазонам

Из анализа дилатограмм $\Delta l - T_{исп}$ следует, что повышение температуры старения до 200 °С приводит к снижению средних значений ТКЛР исследуемого сплава во всех трех диапазонах температур. Однако последующее увеличение температуры старения до 250 и 300 °С изменяет эту тенденцию. Поэтому оптимальным с позиции уменьшения значений коэффициента расширения силумина является режим, включающий старение 3 ч при температуре 200°С. Данные диаграммы (рис. 1) показывают, что старение при 200 °С в течение 3-х ч снижает средний ТКЛР во всех интервалах низко- средне- и высокотемпературном на 1, 6 и 5,5 % соответственно. Кроме того, старение медистого силумина практически при всех температурах 100, 150, 200 и 250 °С (за исключением 300 °С) обеспечивает снижение ТКЛР от 1,5 до 7 % по сравнению с исходным состоянием в диапазоне 300-450 °С.

Увеличение времени старения поршневого силумина при 200 °С от 3 до 6 и далее до 9 ч повышает средний ТКЛР во всем интервале температур испытания (20-450 °С). Причем наибольшее повышение ТКЛР соответствует высокотемпературному интервалу испытаний 300-450 °С и составляет около 10 % для времени старения 6 и 9 ч (таблица 2).

Таблица 2

Влияние времени старения при 200 °С на средний ТКЛР силумина АК5М2 в диапазонах температур

Время выдержки, ч	Средний ТКЛР в интервале температур °С, $\alpha \cdot 10^6$, град ⁻¹		
	20-150	150-300	300-450
-	16,3	19,9	22,0
3	16,1	18,7	20,8
6	17,9	20,3	22,5
9	17,6	20,0	22,6

Анализ микроструктуры поршневого сплава в исходном состоянии и после старения в интервале 100-300 °С при различном времени выдержки показал, что структура сплава после обработки существенных изменений не претерпела. Следует отметить некоторое увеличение размеров и количества дисперсной фазы CuAl_2 после обработки при 300 °С и максимальном времени выдержки, а также частичную коагуляцию выделений эвтектического кремния.

Выводы

1. Для уменьшения способности к расширению поршней двигателей средней мощности, изготавливаемых из сплава АК5М2 можно рекомендовать следующий режим термической обработки: низкотемпературное старение, 200°С, 3 ч.

2. Применение указанного режима обработки уменьшает значение среднего ТКЛР малокремнистого поршневого силумина АК5М2 в среднем 1,5–7 % по сравнению с исходным состоянием во всех диапазонах температур.

Список литературы

1. Строганов Г.Б., Ротенберг В.А., Гершман Г.Б. Сплавы алюминия с кремнием. – М.: Металлургия, 1977. – 271 с.
2. Прудников А.Н. Структурно-технологические основы разработки прецизионных силуминов с регламентированным содержанием водорода: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.16.09. – Новосибирск, 2013. – 40 с.

3. Прудников А.Н. Структурная наследственность шихты // Технология металлов. – 2014. – № 3. – С. 16–22.
4. Ganiger B.M., Chandrashekharaiyah T.M., Prasad T.B. The effect of modification of primary silicon on the microstructure, mechanical and sliding wear behavior of commercial LM-29 cast alloy // American Journal of Materials Science. – 2015. – Vol. 5, iss. 3. – P. 1–6.
5. Prudnikov A.N. Deformable heatproof transeutectic silumin for pistons // Steel in Translation. – 2009. – Vol. 39, iss. 6. – P. 456–459.
6. Huifang H., Huaji L., Hansong X. The effect of La–Ce on the growth of the Si phase in the Al–24Si // Special Casting and Nonferrous Alloys. – 2010. – Vol. 30, iss. 6. – P. 575–578. – DOI: 10.3870/tzzz.2010.06.029.
7. Прудников А.Н. Поршневые деформируемые заэвтектические силумины // Технология металлов. – 2014. – № 2. – С. 8–11.
8. Development of Al–Nb–B master alloy with high Nb/B ratio for grain refinement of hypoeutectic Al–Si cast alloys / J. Xu, Y. Li, B. Hu et al. // Journal of Materials Science. – 2019. – Vol. 54, iss. 23. – P. 14561–14576. – DOI: 10.1007/s10853-019-03915-9.
9. Superplastic deformation of a heat resistant Al; Cu; Mg; Ag / D. Xiao, J. Wang, K. Chen et al. // Journal of materials processing technology. – 2009. – Vol. 209. – P. 3300–3305.
10. Прудников А.Н. Исследование комплексного модифицирования заэвтектических силуминов с содержанием кремния 20...30 % фосфидами и оксидами некоторых металлов // Известия вузов. Цветная металлургия. – 1995. – № 2. – С. 38–41.
11. Birol Y. Impact of homogenization on recrystallization of a supersaturated Al–Mn alloy // Scripta Mater. – 2009. – Vol. 60, iss. 1. – P. 5–8. – DOI: 10.1016/j.scriptamat.2008.07.047.
12. Прудников А.Н., Прудников В.А. Упрочнение земляных отливок из бинарных заэвтектических силуминов // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2020. – Т. 7. – № 1/2. – С. 145–150.
13. Simultaneous improvements of the strength and ductility of fine-grained AA6063 alloy with increasing number of ECAP passes / M. Samaee, S. Najafi, A.R. Eivani et al. // Materials Science and Engineering A. – 2016. – Vol. 669. – P. 350–357. – DOI: 10.1016/j.msea.2016.05.070.
14. The influence of artificial aging on the microstructure and hardness of an Al–Zn–Mg–Zr alloy processed by equal-channel angular pressing / J. Gubicza, J. L. Lábár, J. Lendvai et al. // Journal of Materials Science. – 2019. – Vol. 54, iss. 15. – P. 10918–10928. – DOI: 10.1007/s10853-019-03646-x.
15. Прудников А.Н. Комплексное воздействие отжигов и термоциклическойковки на структуру и свойства заэвтектических силуминов // Деформация и разрушение материалов. – 2014. – № 2. – С. 14–20.
16. Influence of the thermal route on the peak-aged microstructures in an Al–Mg–Si aluminum alloy / S. Pogatscher, H. Antrekowitsch, H. Leitner et al. // Scripta Materialia. – 2013. – Vol. 68, iss. 2. – P. 158–161. – DOI: 10.1016/j.scriptamat.2012.10.006.
17. Natural ageing clustering under different quenching conditions in an Al–Mg–Si alloy / Z. Yang, X. Jiang, X. Zhang et al. // Scripta Materialia. – 2021. – Vol. 190. – P. 179–182. – DOI: 10.1016/j.scriptamat.2020.08.046.
18. Ultrafast artificial aging of Al–Mg–Si alloys / M. Werinos, H. Antrekowitsch, E. Kozeschnik et al. // Scripta Materialia. – 2016. – Vol. 112. – P. 148–151. – DOI: 10.1016/j.scriptamat.2015.09.037.
19. Захаров В.В., Фисенко И.А. Влияние гомогенизации на структуру и свойства сплава системы Al–Zn–Mg–Sc–Zr // Металловедение и термическая обработка. – 2018. – № 6. – С. 12–17.
20. Microstructural evolution of Al–Cu–Mg–Ag alloy during homogenization / N. Ünlü, B.M. Gamble, G.J. Shiflet et al. // Metallurgical and Materials Transactions A. – 2003. – Vol. 34. – P. 2757–2769.

21. ГОСТ 1583–93. Сплавы алюминиевые литейные. Технические условия / Донецкий государственный институт цветных металлов. – Введ. 1997-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 24 с.

22. Прудников А.Н., Прудников В.А. Влияние старения на линейное расширение поршня двигателя ЗМЗ 672-11 // European Scientific Conference: сборник статей 9 международной научно-практической конференции. В 2 ч. – Пенза: Наука и просвещение, 2018. – Ч. 1. – С. 32–35.

INFLUENCE OF AGING REGIMES ON LINEAR EXPANSION OF LOW-SILICON PISTON SILUMIN

Prudnikov A.N., D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: a.prudnikov@mail.ru

Prudnikov V.A., Ph.D. student, e-mail: vladpr88@gmail.com

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

Abstract

Introduction. Currently, alloys of the Al-Si-Cu, Al-Si-Cu-Mg systems (AK5M2, AK5M7, AK12M, AK12MMrH) are used as materials used for the production of pistons for medium-power engines. Silumins, along with satisfactory strength and plastic characteristics, should have, first of all, low thermal expansion and specific gravity. To improve the parameters of piston silumins, it is most advisable to use methods for improving the properties at the final stage of manufacturing parts - final heat treatment. Therefore, the development and optimization of heat treatment modes for piston silumins is an urgent problem. **The purpose of the work:** to establish the effect of the aging temperature in the range from 100 to 300 °C and the holding time from 3 to 9 h on the average LTEC for the intervals of 20-150, 150-300 and 300-450 °C of the piston cuprous silumin AK5M2.

For the study, the pistons were taken, manufactured at the LLC "KMZ" (Naberezhnye Chelny) from silumin alloyed with copper, AK5M2. The research methods were spectral analysis of the chemical composition of piston blanks, dilatometric analysis to determine the LTEC of the samples before and after aging, as well as metallographic studies of the samples in the processed state.

Results and discussion. The results of the effect of aging parameters on pistons made of low-silica cuprous silumin AK5M2 for engines of average power ZMZ in the state of delivery are shown. The assessment of the change in the linear expansion of piston silumin AK5M2 after aging in the range of 100-300 °C (after 50 °C) and a holding time of 3 hours over temperature ranges of 20-150, 150-300 and 300-450 °C has been carried out. It has been found that the optimal mode for reducing the expansion coefficient of silumin is a mode that includes aging for 3 h at a temperature of 200 °C. This mode reduces the average LTEC in all intervals of low-medium and high-temperature in comparison with the initial state by 1, 6 and 5.5 %, respectively. In addition, aging of cuprous silumin at temperatures of 100, 150, 200 and 250 °C provides a decrease in LTEC from 1.5 to 7 % in the range of 300-450 °C. It was found that increasing the aging time of the piston alloy sequentially up to 6 and 9 h at 200 °C is not effective. The results obtained make it possible to recommend low-temperature aging at 200 °C for 3 h to reduce the thermal expansion of pistons of engines made of AK5M2 alloy.

Keywords

alloy, hypoeutectic silumin, piston, aging, linear expansion

УДК 669.715. (043.3)

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
ПОРШНЕВЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ**

В. К. АФАНАСЬЕВ, доктор техн. наук, профессор
А.Н. ПРУДНИКОВ, доктор техн. наук, профессор
М.В. ПОПОВА, доктор техн. наук, профессор
В.А. ПРУДНИКОВ, аспирант
(СибГИУ, г. Новокузнецк)

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

Приведены способы улучшения режимов термической обработки алюминиевых литейных и деформируемых поршневых сплавов системы Al-Si-Cu. Показано, что старение поршневых заготовок из сплавов АК12, АК12ММгН в среде с повышенным содержанием азота и водорода – в парах водного раствора карбамида $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ позволяет снизить значения ТКЛР во всем интервале температур (50–450 °С) на 3–20 % по сравнению с рекомендованным ГОСТом режимом обработки. Причем продолжительность старения в такой среде составляет 3 ч вместо 12–16 ч по стандартным режимам. Электролитическое наводороживание перед старением сокращает его время для деформируемых сплавов типа АК, АВ и литейных силуминов АК5М2, АК5М7 в 2–6 раз, снизить температуру старения на 35–65 °С с одновременным или некоторым повышением прочности (на 2–11 %).

Ключевые слова: сплав, силумин, поршень, старение, температурный коэффициент линейного расширения, электролитическое наводороживание.

Введение

Существует довольно большое количество различных способов улучшения механических, физических и эксплуатационных характеристик деталей, изготовленных из алюминиевых сплавов, в том числе поршней двигателей внутреннего сгорания. Эти способы можно классифицировать по реализации их на различных этапах изготовления деталей:

– на стадии приготовления расплава, литья и кристаллизации (рафинирование, модифицирование, термовременная обработка в жидком состоянии) [1–9];

– на стадии обработки слитка (для деформируемых сплавов) – к таким способам можно отнести механическую обработку с целью уменьшения поверхностных дефектов, использование предварительной гомогенизирующей термической обработки перед деформацией (отжиг, нормализация), оптимизация режимов горячей и холодной пластической деформации в соответствии с технологической картой изготовления полуфабрикатов, заготовок или деталей [10–17];

– на стадии завершающей обработки детали (окончательная термическая обработка, при необходимости механическая обработка) [18–22].

С экономической точки зрения наиболее целесообразно использование способов улучшения свойств на завершающей стадии изготовления деталей, например, путем оптимизации окончательной термической обработки или разработки принципиально новых способов. Одним из таких путей при разработке новых способов является применение

принципов ведущей роли водорода и других элементов внедрения в процессах, протекающих при кристаллизации металлов и сплавов, а также при термической, химико-термической и других видах обработки.

Известно, что для поршней двигателей обязательной операцией является окончательная термическая обработка, заключающаяся либо в упрочняющей обработке по режиму Т6 (закалка и последующее старение) либо в стабилизирующей – старение по режиму Т1 [23]. Поэтому с целью улучшения механических, физических свойств, а также возможности сокращения времени и температуры старения разрабатывались способы термической обработки, позволяющие интенсифицировать процессы, идущие при старении высокопрочных алюминиевых сплавов за счет изменения содержания водорода, азота, кислорода и других элементов внедрения.

Материал и методика экспериментальных исследований

В качестве объекта исследования были выбраны алюминиевые промышленные поршневые литейные сплавы систем Al-Si, Al-Si-Cu (AK12, AK12MMгH, AK5M2, AK5M7), а также высокопрочные деформируемые сплавы (AK4, AK6, AB, B95). Химический состав некоторых поршней двигателей, взятых для исследований, приведен в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав поршней, изготовленных их сплавов системы Al-Si и Al-Si-Cu

Сплав	Химические элементы, % (вес.)						
	Si	Cu	Mg	Mn	Ni	Fe	Ti
AK12	11,0	0,05	0,03	0,07	0,08	0,55	0,05
AK12MMгH	11,99	1,53	0,78	0,03	0,96	0,48	0,06
AK5M2	5,2	1,87	0,23	0,31	0,16	0,61	0,09
AK5M7	5,49	7,14	0,30	0,25	0,12	0,59	0,07

Образцы для металлографического и дилатометрического анализов и определения механических свойств (ГОСТ 1497-84) вырезали из поршней после проведения соответствующих режимов термической обработки. Нагрев под закалку и выдержку заготовок проводили в электрических печах СНОЛ-1,6.2,5.1/9-ИЗ, а для старения использовали сушильные шкафы СНОЛ-3,5.3,5.3,5/3,5-И1. Для старения в среде с повышенным содержанием азота и водорода применяли пары водного раствора карбамида $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$. Концентрация реагента в растворе составляла 20 %. Водный раствор подавался в рабочее пространство сушильного шкафа при помощи капельницы с роликовым зажимом через керамическую трубку в верхней части шкафа.

Процесс электролитического наводороживания осуществляли на закаленных образцах (температура закалки зависела от марки сплава) в 20 % растворе серной кислоты в течение 0,5-1,5 ч. Плотность тока составляла 0,15-0,30 А/см². Причем старение начинали непосредственно после наводороживания для более полного сохранения водорода в сплаве. После проведения старения определяли физические и механические свойства. Измерение твердости заготовок проводили на приборе ТКС-1М, а для определения температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР) использовали оптический дифференциальный дилатометр Шевенара.

Результаты и обсуждение

Был разработан способ термической обработки, позволяющий снизить значения температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР) на 14-20 % без снижения уровня механических характеристик промышленных поршневых силуминов по сравнению

со сплавами, обработанными по стандартному режиму. Данный эффект достигается за счет проведения старения в среде с повышенным содержанием азота и водорода – в парах водного раствора карбамида $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ – для сплава типа АК12ММгН. Причем продолжительность старения в такой среде составляет 3 часа вместо 12-16 часов, рекомендованных ГОСТ 1583-93 [24]. Для силумина АК12 снижение температуры старения при использовании паров карбамида составляет 50°C , а длительности выдержки – 2 ч. При указанных параметрах обработки сплавов снижение уровня среднего ТКЛР в низко-, средне- и высокотемпературном интервале составило в среднем 3, 7 и 20 % соответственно по сравнению с рекомендованным режимом обработки (таблица 2).

Таблица 2

Влияние режимов термической обработки на средний температурный коэффициент линейного расширения литейных промышленных силуминов

Сплав	Режим обработка	Средний ТКЛР в интервале температур, $^\circ\text{C} \cdot 10^6$, град $^{-1}$		
		50-200	200-300	300-450
АК12	Старение, 250°C , 5 ч, воздух	18,4	20,7	22,6
	Старение, 200°C , 3 ч, пары водного раствора $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	17,9	19,3	18,1
АК12ММ гН	Закалка, 520°C , 6 ч, H_2O , старение, 180°C , 14 ч, воздух	17,3	21,2	20,7
	Закалка, 520°C , 6 ч, H_2O , старение, 180°C , 3 ч, пары водного раствора $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	16,2	17,4	18,1

С целью интенсификации процесса старения, т. е. уменьшения времени и снижения температуры старения для высокопрочных алюминиевых сплавов, предназначенных для производства поршней и других деталей ответственного назначения (типа АК4, АК6, АВ, В95 и др.) и литейных сплавов системы Al-Si-Cu, разработан способ термической обработки, включающий закалку и старение, а перед старением детали подвергают электролитическому наводороживанию. Повышенное количество водорода в сплаве способствует ускорению распада пересыщенного твердого раствора легирующих элементов в алюминии.

Предлагаемый способ опробован на деталях и образцах ряда высокопрочных промышленных деформируемых АК4, АК6, АВ, В95 и литейных сплавов АК5М2, АК5М7.

Образцы и детали из указанных сплавов подвергали закалке при $465-525^\circ\text{C}$ в зависимости от марки сплава с выдержкой 40-60 мин., электролитически наводороживали и немедленно проводили старение при $100-165^\circ\text{C}$ в течение 1-7 ч.

Для литейных сплавов системы Al-Si-Cu образцы подвергали закалке при $490-525^\circ\text{C}$ в зависимости от состава сплава с выдержкой 3-7 ч, электролитически наводороживали при тех же параметрах и сразу проводили старение при $100-300^\circ\text{C}$ в течение 1-9 ч. Для сравнения были проведены испытания образцов, обработанных по стандартным режимам.

Из анализа результатов следует, что использование предлагаемого способа позволяет сократить время старения для различных сплавов в 2-6 раз, снизить температуру старения на $35-65^\circ\text{C}$ с одновременным или некоторым повышением прочности (на 2-11 %).

В качестве примера в таблице 3 приведены результаты определения ТКЛР и твердости образцов из литых поршней, изготовленных из силуминов АК5М2 и АК5М7, после термической обработки (закалка и старение), включающей электролитическое

наводороживание, а также после режимов, рекомендованных ГОСТ 1583-93.

Снижение способности к расширению исследуемых поршней, других деталей из сплавов типа АК позволит улучшить ряд эксплуатационных характеристик, в том числе снизить падение мощности при высоких температурах, уменьшить расход топлива и износ деталей шатунно-поршневой группы, а также их заедание и стуки при холодном пуске двигателя.

Применение предлагаемого решения не вызывает технических затруднений и не требует больших затрат для машиностроительных предприятий, имеющих гальванические цеха или участки, а сокращение времени и снижение температуры старения даст экономию энергоресурсов.

Выводы

1. Разработаны способы термической обработки, способные ускорять процессы распада твердого раствора при старении ряда алюминиевых сплавов, за счет использования электролитического наводороживания или среды, в которой проводится старение (пары водного раствора карбамида).

Таблица 3

Свойства поршневых силуминов системы Al-Si-Cu в термически обработанном состоянии по различным режимам

Сплав	Режим обработки	Средний ТКЛР в интервале температур, $\alpha \cdot 10^6$, град ⁻¹ в интервале °С			Твердость, HRB
		20-150	150-300	300-450	
АК5М2	Закалка, 525 °С, 3 ч, H ₂ O, старение, 250°С, 5 ч	17,7	21,2	23,2	50
	Закалка, 525 °С, 3 ч, H ₂ O, ЭН 15 мин., старение, 200°С, 3 ч	17,0	19,5	21,6	51
АК5М7	Закалка, 490 °С, 5 ч, H ₂ O, старение, 185°С, 3 ч	17,3	20,2	20,7	62
	Закалка, 490 °С, 3 ч, H ₂ O, ЭН 30 мин., старение, 150°С, 3 ч	17,1	20,0	20,0	64

Примечание: ЭН – электролитическое наводороживание

2. Предложенные способы термической обработки сплавов систем Al-Si, Al-Si-Cu снижают значения ТКЛР с одновременным или некоторым повышением прочностных характеристик поршней двигателей в сравнении со стандартными режимами, что позволит улучшить ряд их эксплуатационных параметров.

Список литературы

1. Superplastic deformation of a heat resistant Al; Cu; Mg; Ag / D. Xiao, J. Wang, K. Chen et al. // Journal of materials processing technology. – 2009. – Vol. 209. – P. 3300–3305.
2. Прудников А.Н. Формирование структуры слитков из заэвтектического силумина при обработке расплава и легировании // *Металлургия машиностроения*. – 2009. – № 3. – С. 28–31.
3. Ganiger B.M., Chandrashekharaiah T.M., Prasad T.B. The effect of modification of primary silicon on the microstructure, mechanical and sliding wear behavior of commercial LM-29 cast alloy // *American Journal of Materials Science*. – 2015. – Vol. 5. – № 3. – P. 1–6.
4. Прудников А.Н. Структурно-технологические основы разработки прецизионных силуминов с регламентированным содержанием водорода: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.16.09. – Новосибирск, 2013. – 40 с.
5. Прудников А.Н. Роль условий кристаллизации в формировании структуры и свойств слитков и поковок из заэвтектических силуминов // *Материаловедение*. – 2014. – № 1. – С. 10–13.
6. Ряховский А.П., Петров И.А., Мусеев В.С. Повышение эффективности модифицирующей обработки силуминов // *Технология легких сплавов*. – 2012. – № 2. – С. 94–96.
7. Development of Al–Nb–B master alloy with high Nb/B ratio for grain refinement of hypoeutectic Al–Si cast alloys / J. Xu, Y. Li, B. Hu et al. // *Journal of Materials Science*. – 2019. – Vol. 54, iss. 23. – P. 14561–14576. – DOI: 10.1007/s10853-019-03915-9.
8. Прудников А.Н., Прудников В.А. Упрочнение земляных отливок из бинарных заэвтектических силуминов // *Актуальные проблемы в машиностроении*. – 2020. – Т. 7, № 1/2. – С. 145–150.
9. Huifang H., Huaqi L., Hansong X. The effect of La–Ce on the growth of the Si phase in the Al–24Si // *Special Casting and Nonferrous Alloys*. – 2010. – Vol. 30, iss. 6. – P. 575–578. – DOI: 10.3870/tzzz.2010.06.029.
10. Birol Y. Impact of homogenization on recrystallization of a supersaturated Al–Mn alloy // *Scripta Materialia*. – 2009. – Vol. 60, iss. 1. – P. 5–8. – DOI: 10.1016/j.scriptamat.2008.07.047.
- 11 Прудников А.Н. Комплексное воздействие отжигов и термоциклическойковки на структуру и свойства заэвтектических силуминов // *Деформация и разрушение материалов*. – 2014. – № 2. – С. 14–20.
- 12 Microstructural evolution of Al–Cu–Mg–Ag alloy during homogenization / N. Ünlü, B.M. Gamble, G.J. Shiflet et al. // *Metallurgical and Materials Transactions A*. – 2003. – Vol. 34. – P. 2757–2769.
- 13 Прудников А.Н., Прудников В.А. Получение прессованных заготовок из заэвтектического силумина и их свойства // *Актуальные проблемы в машиностроении*. – 2018. – Т. 5, № 1/2. – С. 126–131.
14. Simultaneous improvements of the strength and ductility of fine-grained AA6063 alloy with increasing number of ECAP passes / M. Samaee, S. Najafi, A.R. Eivani et al. // *Materials Science and Engineering A*. – 2016. – Vol. 669. – P. 350–357. – DOI: 10.1016/j.msea.2016.05.070.
15. The influence of artificial aging on the microstructure and hardness of an Al–Zn–Mg–Zr alloy processed by equal-channel angular pressing / J. Gubicza, J. L. Lábár, J. Lendvai et al. // *Journal of Materials Science*. – 2019. – Vol. 54, iss. 15. – P. 10918–10928. – DOI: 10.1007/s10853-019-03646-x.
- 16 Прудников А.Н., Попова М.В., Прудников В.А. Воздействие деформации на структуру и свойства силуминов // *Вестник Сибирского государственного индустриального университета*. – 2017. – № 3 (21). – С. 11–17.
17. Коростелёв В.Ф., Денисов М.С. Влияние скорости наложения давления на структуру и механические свойства алюминия А99 // *Технология металлов*. – 2017. – № 1. – С. 2–7.

18. Influence of the thermal route on the peak-aged microstructures in an Al–Mg–Si aluminum alloy / S. Pogatscher, H. Antrekowitsch, H. Leitner et al. // Scripta Materialia. – 2013. – Vol. 68, iss. 2. – P. 158–161. – DOI: 10.1016/j.scriptamat.2012.10.006.

19. Natural ageing clustering under different quenching conditions in an Al–Mg–Si alloy / Z. Yang, X. Jiang, X. Zhang [et al.] // Scripta Materialia. – 2021. – Vol. 190. – P. 179–182. – DOI: 10.1016/j.scriptamat.2020.08.046.

20. The aging mode for reducing the thermal expansion of the piston from alloy AK21 / A.N. Prudnikov, V.A. Prudnikov, M.V. Popova et al. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 411, iss. 1. – P. 012060. – DOI: 10.1088/1757-899X/411/1/012060.

21. Ultrafast artificial aging of Al–Mg–Si alloys / M. Werinos, H. Antrekowitsch, E. Kozeschnik et al. // Scripta Materialia. – 2016. – Vol. 112. – P. 148–151. – DOI: 10.1016/j.scriptamat.2015.09.037.

22. Захаров В.В., Фисенко И.А. Влияние гомогенизации на структуру и свойства сплава системы Al–Zn–Mg–Sc–Zr // Металловедение и термическая обработка. – 2018. – № 6. – С. 12–17.

23. Постников Н.С. Упрочнение алюминиевых сплавов и отливок. – М.: Металлургия, 1983. – 119 с.

24. ГОСТ 1583–93. Сплавы алюминиевые литейные. Технические условия / Донецкий государственный институт цветных металлов. – Введ. 1997-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 24 с.

IMPROVEMENT OF THE HEAT TREATMENT OF PISTON ALUMINUM ALLOYS

Afanasyev V.K., D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: in_afanaseva@mail.ru

Prudnikov A.N., D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: a.prudnikov@mail.ru

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

Prudnikov V.A., Ph.D. student, e-mail: vladpr88@gmail.com

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

Abstract

Methods for improving the modes of heat treatment of aluminum casting and wrought piston alloys of the Al–Si–Cu system are presented. For the aging of piston workpieces made of AK12, AK12MMrH alloys, a medium with an increased content of nitrogen and hydrogen was used - a vapor of an aqueous solution of carbamide $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$. It is shown that such processing allows to reduce the values of the temperature coefficient of linear expansion (TCLE) in the entire range of the studied temperatures (50–450 °C) by 3–20 % in comparison with the treatment mode recommended by GOST. Moreover, the duration of aging in such an environment is 3 hours instead of 12–16 hours according to standard modes. For pistons made of wrought alloys such as AK, AB and casting silumins AK5M2, AK5M7, a heat treatment method has been developed, including quenching, electrolytic hydrogenation and aging. Electrolytic hydrogenation of pistons before aging reduces its time by 2–6 times. In addition, hydrogenation makes it possible to reduce the aging temperature by 35–65 °C with a simultaneous or some increase in the strength (by 2–11 %) of alloys in comparison with standard processing modes.

Keywords:

alloy, silumin, piston, aging, temperature coefficient of linear expansion, electrolytic hydrogenation.

УДК 669.715.017.16

**НОВЫЙ МОДИФИКАТОР ДЛЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ
С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ КРЕМНИЯ**

*В.К. АФАНАСЬЕВ¹, академик РАЕН, доктор техн. наук, профессор,
М.В. ПОПОВА¹, доктор техн. наук, профессор,
А.Н. ПРУДНИКОВ¹, доктор техн. наук, профессор,
М.М. САГАЛАКОВА², канд. техн. наук, доцент
(¹ СибГИУ, г. Новокузнецк,
² ХТИ-филиал СФУ, г. Абакан)*

Попова М.В. – 654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42,
Сибирский государственный индустриальный университет,
e-mail: m.popova@rdtc.ru

Введение. Для улучшения структурных характеристик и повышения механических свойств высококремнистых силуминов широко используют модифицирование. Для силуминов заэвтектического состава задача модифицирования структуры усложняется тем, что необходимо добиться диспергирования кристаллов не только эвтектического, но и первичного кремния. Поэтому разработка способов модифицирования высококремнистых сплавов системы Al-Si по-прежнему является актуальной задачей. **Цель работы:** изучение структуры и механических свойств сплавов алюминия с 15÷50% кремния после модифицирования их смесью фосфористой меди, гидрида лития и бора. **Методы исследования:** металлографический анализ, определение механических свойств. **Результаты и обсуждение.** Установлено, что модифицирование предложенным способом способствует формированию мелкодисперсной структуры сплавов Al-(15÷50)%Si, особенно после высокоскоростной кристаллизации. Наибольший эффект достигается для сплавов, содержащих 30–50%Si. Показано, что обработка расплава комплексным модификатором состава (Cu₃P + LiH + B) в сочетании с наводороживанием и высокой скоростью кристаллизации существенно повышает прочность и пластичность сплавов Al-(15÷50) % Si: предел прочности увеличивается в 1,5–2,6 раза, относительное удлинение – в 1,8–2,0 раза. применение разработанного способа позволяет уже в литом состоянии получать в слитках высокие механические свойства, что исключает необходимость упрочняющей термической обработки.

Ключевые слова: алюминий, кремний, модифицирование, микроструктура прочность, пластичность.

Введение

В последние годы заэвтектические силумины (сплавы алюминия с кремнием, в которых содержание кремния превышает эвтектическую концентрацию) вызывают значительный интерес как у разработчиков материалов, так и потенциальных потребителей таких сплавов. Это объясняется тем, что силумины заэвтектического состава обладают сочетанием уникальных характеристик: отличными литейными свойствами, малой плотностью, относительно высоким модулем упругости, низким коэффициентом теплового расширения, повышенной износостойкостью, хорошей свариваемостью и обрабатываемостью резанием, а также низкой стоимостью [1–4]. В современном

машиностроении заэвтектические силумины широко используют для изготовления поршней двигателей внутреннего сгорания автомобилей методами фасонного литья или жидкой штамповки, а также в точном приборостроении для изготовления деталей приборов, от которых требуется малая изменчивость размеров в широком диапазоне температур [5–9]. Применение же таких сплавов для изготовления деталей методами обработки давлением затруднено из-за образования в их структуре грубых кристаллов первичного кремния (КПК), резко снижающих технологическую пластичность и эксплуатационные свойства силуминов [10, 11].

С целью улучшения структурных характеристик проводят модифицирующую обработку расплава силуминов. Введение веществ-модификаторов изменяет термодинамику процесса кристаллизации сплавов таким образом, что обеспечивает измельчение кристаллов первичного и эвтектического кремния. По мнению авторов [12], по механизму воздействия на кристаллизацию расплава все модификаторы можно условно разделить на два класса: зародышевого и поверхностно-активного действия. К настоящему времени разработано множество способов модифицирования сплавов алюминия с кремнием, в которых для улучшения структуры и механических свойств в расплав вводят соединения щелочных и щелочно-земельных металлов, наноразмерные частицы тугоплавких металлов, а также применяют смеси, включающие модификаторы как зародышевого, так и поверхностно-активного действия [13–22]. В работах [23–25] показано, что эффект модифицирования усиливается в случае применения высоких скоростей кристаллизации. Однако большинство составов модификаторов разработаны для силуминов доэвтектического состава, т.к. для заэвтектических сплавов задача модифицирования структуры усложняется тем, что необходимо добиться диспергирования кристаллов не только эвтектического, но и первичного кремния. Поэтому для них используют различные комплексные модификаторы, в состав которых, как правило, входит фосфористая медь [13, 14, 16, 26]. Но подбор других компонентов модифицирующих смесей, а также их количество и температурно-временные условия обработки расплава зависят от конкретного состава сплавов [12, 26]. Поэтому разработка способов модифицирования высококремнистых сплавов системы Al-Si по-прежнему является актуальной задачей.

В связи с этим, целью настоящей работы являлось изучение структуры и механических свойств сплавов алюминия с 15÷50% кремния после модифицирования их смесью фосфористой меди, гидрида лития и бора.

Методика экспериментального исследования

Сплавы выплавляли в закрытой лабораторной печи сопротивления СШОЛ. После расплавления алюминия А7 вводили кремний Кр0. Затем осуществляли обработку расплава комплексным модификатором ($\text{Cu}_3\text{P} + \text{LiH} + \text{B}$) в количестве 0,20–0,35% от массы расплава в течение 5–15 минут при температуре 800 – 1100°C. Для сплавов с 15 и 20% кремния обработку модифицирующей смесью совмещали с дополнительным наводороживанием расплава по методике, приведенной в [27]. Использовали два вида кристаллизации: в алюминиевый кокиль (скорость охлаждения ~ 20 °C/с) и между двумя массивными медными плитами – имитация жидкой штамповки (скорость охлаждения ~ 100 °C/с).

Из полученных слитков изготавливали образцы для металлографического анализа и определения механических свойств. Изучение микроструктуры сплавов осуществляли с помощью оптического микроскопа ОПТОН. Прочность и пластичность сплавов определяли при испытаниях на одноосное растяжение [28]. Статистическую обработку результатов механических испытаний проводили по известным методикам проверки статистических

гипотез и вычисления выборочных числовых характеристик при малом объеме выборки ($n < 50$) в режиме «Описательная статистика» Microsoft Excel [29, 30].

Результаты и обсуждение

При исследовании влияния обработки расплава смесью, состоящей из фосфористой меди, гидроксида лития и бора, на структуру и механические свойства сплавов, содержащих 15÷50% кремния, было установлено, что после модифицирования по разработанному способу происходит значительное диспергирование не только КПК, но и кремния, входящего в состав эвтектики.

Микроструктура сплавов, содержащих 20 и 50% кремния, обычного приготовления и модифицированных фосфористой медью, а также разработанным способом показана на рис. 1 и 2.

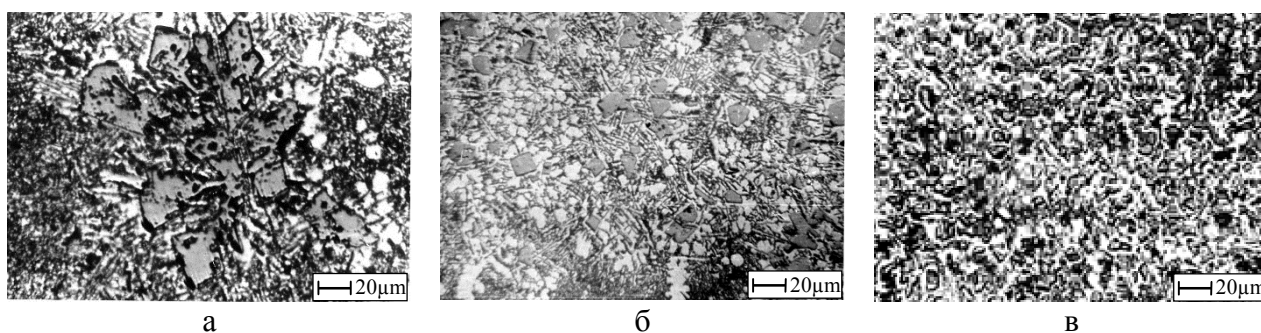


Рис. 1. Микроструктура сплава Al–20%Si: а – без модифицирования, б – модифицирование 0,1% Cu_3P ; в – модифицирование по новому способу

Микроструктура немодифицированных сплавов характеризуется крупными первичными выделениями кремнистой фазы размером до 250 мкм в сплаве Al–20%Si и до 3000–5000 мкм в сплаве Al–50%Si, эвтектика у выделений кремнистой фазы пластинчатая, в других зонах – модифицированная. В результате обработки расплава фосфористой медью в сплаве Al–20%Si размер выделений уменьшается до 50–62 мкм, в то время как микроструктура сплава Al–50%Si практически не меняется. При обработке расплава предлагаемым способом формируются тонкодисперсные выделения кремнистой фазы, размер которых в сплаве Al–20%Si составляет 5–20 мкм, в сплаве Al–50%Si частицы кремния несколько крупнее – до 50–80 мкм.

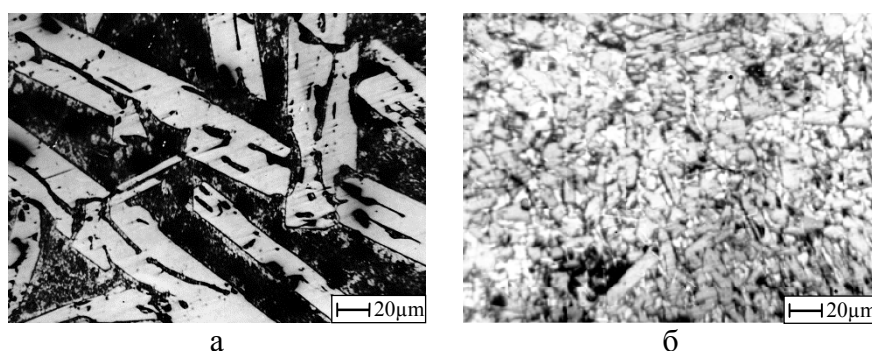


Рис. 2. Микроструктура сплава Al–50%Si: а – модифицирование 0,1% фосфористой меди; б – модифицирование по новому способу

Указанные структурные изменения приводят к значительному повышению механических свойств сплавов, которые приведены в табл. 1.

Таблица 1

Механические свойства сплавов, обработанных известным и новым способом

Сплав	Способ обработки	Механические свойства	
		σ_B , МПа	δ , %
Al–15%Si	0,1% (масс.) фосфористой меди	150	2,2
	новый способ	186	2,2
Al–20%Si	0,1% (масс.) фосфористой меди	168	1,5
	новый способ	198	1,6
Al–30%Si	0,1% (масс.) фосфористой меди	75	0,7
	новый способ	150	0,5
Al–40%Si	0,1% (масс.) фосфористой меди	20	0,2
	новый способ	100	0,2
Al–50%Si	0,1% (масс.) фосфористой меди	–	–
	новый способ	79	0,1

Как следует из приведенных в табл. 1 данных, разработанный способ обработки расплава для заэвтектических сплавов Al–15÷50% Si имеет достаточно высокую эффективность. По сравнению со известным способом обработки расплава фосфористой медью, применение данного способа повышает предел прочности сплавов в 1,2–5 раз. Наибольший эффект достигается для сплавов, содержащих 30–50%Si.

Разработанный способ модифицирования может быть использован при выплавке сплавов из заэвтектических силуминов, предназначенных для изготовления узлов и деталей двигателей внутреннего сгорания и других изделий.

Известно, что регулируя условия кристаллизации, можно в широких пределах изменять структуру сплавов, например получать эвтектическую структуру в заэвтектических сплавах при высоких скоростях кристаллизации [7, 8]. Отмечается, что при этом резко увеличивается содержание водорода в сплавах. Учитывая, что водород при кристаллизации преимущественно растворяется в выделениях кремнистой фазы или концентрируется на межфазных границах, он оказывает существенное влияние на количество, размеры и форму частиц кремнистой фазы в силуминах [31]. При проведении данной работы было установлено, что сочетание наводороживания расплава с последующей его обработкой смесью ($\text{Cu}_3\text{P} + \text{LiH} + \text{V}$), а затем кристаллизация с высокой скоростью ($\sim 10^2$ °C/c), позволяет усилить эффект модифицирования структуры сплавов алюминия с 15 и 20% кремния и резко повысить механические свойства слитков.

После расплавления алюминия и растворения кремния расплав перегревали и проводили его обработку в атмосфере водяного пара в течение 10 минут, после чего вводили модифицирующую смесь ($\text{Cu}_3\text{P} + \text{LiH} + \text{V}$). Кристаллизацию проводили методом имитации жидкой штамповки. Микроструктуру и механические свойства сплавов изучали на слитках диаметром 80 мм, приготовленных указанным способом. На рис. 3 показана микроструктура сплава Al–20%Si, приготовленного обычным способом и по разработанной технологии, в табл. 2 приведены механические свойства сплава Al–20%Si и литейного сплава марки АК18.

Таблица 2

Механические свойства сплавов Al–20%Si и АК18, выплавленных известным и новым способом

Сплав	Способ обработки	Механические свойства	
		σ_B , МПа	δ , %
Al–20%Si	заливка в кокиль без обработки расплава	97	0,8
	модифицирование фосфористой медью (0,1% от массы расплава)	168	1,5
	новый способ: наводороживание расплава и обработка 0,3% смеси ($\text{Cu}_3\text{P} + \text{LiH} + \text{B}$)	198	1,6
АК18 (Al + 18%Si + 1,1%Cu + 1,0% Mg + 1,0%Ni)	заливка в кокиль без обработки расплава	148	0,8
	новый способ: наводороживание расплава и обработка 0,35% смеси ($\text{Cu}_3\text{P} + \text{LiH} + \text{B}$)	258	1,5

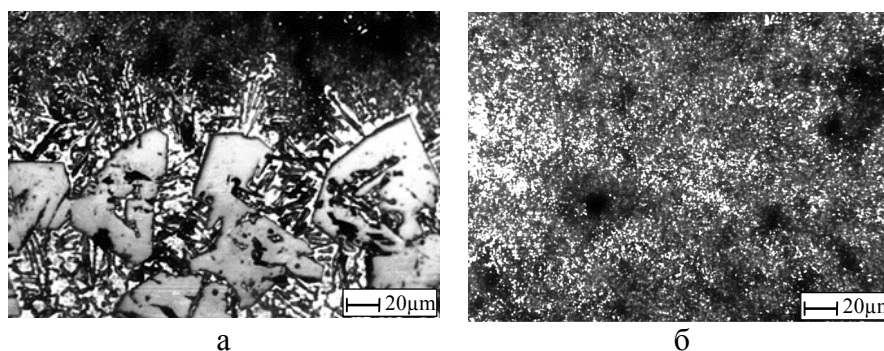


Рис. 3. Микроструктура сплава Al–20%Si в зависимости от технологии модифицирования:
а – модифицирование 0,1% фосфористой меди;
б – наводороживание и модифицирование по новому способу

На основании сравнения приведенных в табл. 2 данных можно сделать заключение, что после обработки по новому способу временное сопротивление как двойного сплава Al–20%Si, так и легированного сплава АК18 увеличивается в 1,5–2,6 раза по сравнению с известными способами, относительное удлинение возрастает в 1,8–2,0 раза. Столь существенное повышение механических свойств обусловлено структурными изменениями: применение указанного способа позволяет получать в заэвтектических сплавах (как двойных, так и легированных) эвтектическую тонкодисперсную структуру.

Заключение

Установлено, что модифицирование сплавов Al–(15÷50) % Si путем обработки расплава модификатором, включающим фосфористую медь, гидрид лития и бор, обеспечивает диспергирование всех структурных составляющих. Совместное применение наводороживания и высокоскоростной кристаллизации модифицированных сплавов способствует дополнительному измельчению и более равномерному распределению кристаллов первичного кремния.

Показано, что обработка расплава комплексным модификатором состава ($\text{Cu}_3\text{P} + \text{LiH} + \text{V}$) существенно повышает прочность и пластичность сплавов $\text{Al}-(15\div 50) \% \text{Si}$: предел прочности увеличивается в 1,5–2,6 раза, относительное удлинение – в 1,8–2,0 раза.

Можно отметить, что применение указанного способа позволяет уже в литом состоянии получать в слитках высокие механические свойства, что исключает необходимость упрочняющей термической обработки.

Список литературы

1. *Строганов Г.Б., Ротенберг В.А., Гершман Г.Б.* Сплавы алюминия с кремнием. – М.: Металлургия, 1977. – 272 с.
2. Алюминий: свойства и физическое материаловедение: справочник / [У. Х. Энтони и др.]; под ред. Дж. Е. Хэтча; пер. с англ. Э. З. Непомнящей; под ред. И. Н. Фридляндера. – М.: Металлургия, 1989. – 423 с. – ISBN 5-229-00088-0.
3. *Мондольфо Л.Ф.* Структура и свойства алюминиевых сплавов / пер. с англ.; под ред. Ф.И. Квасова и др. – М.: Металлургия, 1979. – 640 с.
4. *Polmear I.J.* Light alloys: from traditional alloys to nanocrystals. – Amsterdam: Elsevier, 2005. – 421 p. – DOI: 10.1016/B978-0-7506-6371-7.X5000-2.
5. Перспективы развития поршневых заэвтектических силуминов / В.К. Афанасьев, А.Н. Прудников, А.А. Ружило, М.В. Попова // Металлургия машиностроения. – 2003. – № 4. – С. 16–18.
6. О влиянии кремния на тепловое расширение алюминия А7 / В.К. Афанасьев, А.В. Горшенин, М.В. Попова, А.Н. Прудников, М.А. Старостина // Металлургия машиностроения. – 2010. – № 6. – С. 23–26.
7. *Добаткин В.И., Елагин В.И.* Гранулируемые алюминиевые сплавы. – М.: Металлургия, 1981. – 176 с.
8. Спеченные материалы из алюминиевых порошков / [В.Г. Гопиенко, М.Е. Смагоринский, А.А. Григорьев, А.Д. Беллавин; под ред. М.Е. Смагоринского]. – М.: Металлургия, 1993. – 320 с. – ISBN 5-229-00908-X.
9. *Афанасьев В.К., Попова М.В.* Перспективы развития легких сплавов с малым тепловым расширением для космической техники // Металлургия машиностроения. – 2012. – № 6. – С. 8–13.
10. Об особенностях структуры и теплового расширения Al -сплавов с высоким содержанием Si . Ч. 1. Сплавы $\text{Al}-15\div 30\% \text{Si}$ / В.К. Афанасьев, В.В. Герцен, С.В. Долгова, Н.Б. Лаврова, М.В. Попова // Металлургия машиностроения. – 2015. – № 3. – С. 22–27.
11. О природе процессов пластической деформации сплавов $\text{Al}-1\div 50\% \text{Si}$ / В.К. Афанасьев, М.В. Попова, А.В. Горшенин, С.В. Долгова, В.В. Герцен // Металлургия машиностроения. – 2014. – № 3. – С. 2–9.
12. *Напалков В.И., Махов С. В., Поздняков А. В.* Модифицирование алюминиевых сплавов. – М.: МИСИС, 2017. – 347 с.
13. *Афанасьев В.К., Попова М.В.* Новые способы обработки жидких сплавов алюминия с 30–50% кремния // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2001. – № 2. – С. 29–31.
14. Модифицирование силуминов – разные подходы для одной системы легирования / А.О. Кузнецов, Д.А. Шадаев, В.Ю. Конкевич, С.Т. Бочвар, Т.М. Кунявская // Технология легких сплавов. – 2014. – № 4. – С. 75–81.
15. *Ушакова В.В., Попова М.В., Лузянина З.А.* О влиянии обработки расплава на линейное расширение сплавов $\text{Al}-20\div 40\% \text{Si}$ // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 1995. – № 4. – С. 69.

16. Попова М.В., Ружило А.А. Наследственное влияние обработки шихты и расплава на терморасширение заэвтектических силуминов // Литейное производство. – 2000. – № 10. – С. 4–6.
17. Modification of eutectic Si in Al–Si based alloys / J.H. Li, M. Albu, T.H. Ludwig [et al.] // Materials Science Forum. – 2014. – Vol. 794–796. – P. 130–136. – DOI:10.4028/www.scientific.net/MSF.794-796.130.
18. Effect of Ca level on the formation of silicon phases during solidification of hypereutectic Al–Si alloys / A.-H. Kawther, W. Yun, S. Ian, F. Zhongyun // Materials Science Forum. – 2013. – Vol. 765. – P. 117–122. – DOI:10.4028/www.scientific.net/MSF.765.117.
19. Study on dual modification of Al–17%Si alloys by structural heredity / J. Zhang, H. Chen, H. Yu, Y. Jin // Metals. – 2015. – Vol. 5. – P. 1112–1126. – DOI: 10.3390 / met5021112.
20. Haitham R.S. Mechanical properties of the modified Al–12%Si alloy reinforced by ceramic particles // Engineering and Technology Journal. – 2010. – Vol. 28, iss. 2. – P. 289–300.
21. Sarada B.N., Srinivasamurthy P.L., Swetha Microstructural characteristics of Sr and Na modified Al–Mg–Si alloy // International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. – 2013. – Vol. 2, iss. 8. – P. 3975–3983.
22. Martyushev N.V., Bashev V.S., Zyкова A. P. Influence of soaking time of modifier in melt on microstructure of Al–12%Si alloys // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2017. – Vol. 177. – P. 012118. – DOI:10.1088/1757-899X/177/1/012118.
23. Cais J., Weiss V., Svobodova J. Relation between porosity and mechanical properties of Al–Si alloys produced by low-pressure casting // Archives of Foundry Engineering. – 2014 – Vol. 14, iss. 1. – P. 97–102.
24. Structural and mechanical properties of Al–Si alloys obtained by fast cooling of a levitated melt / S.P. Nikanorov, M.P. Volkov, V.N. Gurin [et al.] // Materials Science and Engineering: A. – 2005. – Vol. 390, iss. 1/2. – P. 63–69. – DOI: 10.1016/j.msea.2004.07.037.
25. Srivastava V.C., Mandal R.K., Ojha S.N. Microstructure and mechanical properties of Al–Si alloys produced by spray forming process // Materials Science and Engineering: A. – 2001. – Vol. 304–306. – P. 555–558.
26. Zu F., Li X. Functions and mechanism of modification elements in eutectic solidification of Al–Si alloys: a brief review // China Foundry. – 2014. – Vol. 11, iss. 4. – P. 287–295. – DOI: 10.1016/S0921-5093(00)01514-8.
27. О влиянии водяного пара на формирование свойств высококремнистых Al-сплавов / В.К. Афанасьев, В.В. Герцен, С.В. Долгова [и др.] // Metallurgia машиностроения. – 2015. – № 5. – С. 17–21.
28. Золотаревский В.С. Механические свойства металлов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: МИСИС, 1998. – 400 с.
29. Степнов М.Н., Шаврин А.В. Статистические методы обработки результатов механических испытаний: справочник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2005. – 399 с.
30. Everitt B.S., Dunn G. Applied multivariate data analysis. – London: Arnold; New York: Oxford University Press, 2001. – 342 с.
31. Водородная обработка расплава для увеличения деформируемости высококремнистых Al-сплавов / В.К. Афанасьев, В.В. Герцен, Г.Т. Коровин, С.В. Долгова, М.В. Попова // Metallurgia машиностроения. – 2015. – № 4. – С. 14–18.

NEW MODIFIER FOR ALUMINIUM ALLOYS WITH HIGH SILICIUM CONTENT**Afanasyev V.K.**¹, D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: in_afanaseva@mail.ru**Popova M.V.**¹, D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: m.popova@rdtc.ru**Prudnikov A.N.**, D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: a.prudnikov@mail.ru**Sagalakova M.M.**², Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: m_sagalakova@mail.ru¹ Siberian State Industrial University, 42 Kirov st., Novokuznetsk, 654007, Russian Federation² Khakass Technical Institute of the Branch of Siberian Federal University, 27 Shchetinkina st., Abakan, 655017, Russian Federation**Abstract**

Introduction. Modification is widely used to improve structural characteristics and mechanical properties of high-silicon silumins. For silumines of the eutectic composition, the task of modifying the structure is complicated by the fact that it is necessary to achieve dispersion of crystals not only eutectic, but also primary silicon. Therefore, the development of methods for modifying high-silicon alloys of the Al-Si system is still an urgent task. **The purpose of the work:** is to study the structure and mechanical properties of aluminum alloys with a 15-50% silicon after modifying them with a mixture of phosphorous copper, lithium hydride and boron. **Research methods:** metallographic analysis, determination of mechanical properties. **Results and discussion.** It was found that the modification by the proposed method contributes to the formation of the fine structure of Al - (15÷50) % Si alloys, especially after high-speed crystallization. The greatest effect is achieved for alloys containing Si 30-50%. It is shown that treatment of liquid alloy by the complex modifier (Cu₃P + LiH + B) in combination with hydrogen saturation and high speed of crystallization significantly increases mechanical strength and plasticity of Al-alloys (15÷50) of Si %: strength increases by 1.5-2.6 times, relative lengthening - by 1.8-2.0 times. Use of the developed method makes it possible to obtain high mechanical properties in ingots already in cast state, which eliminates the need for strengthening heat treatment.

Keywords

Aluminium, Silicium, modification, microstructure strength, ductility

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО НАПИСАНИЮ НАУЧНОЙ СТАТЬИ

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

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

1. Общие комментарии

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

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

Избегайте:

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

Научная статья должна иметь определенную структуру, которая описана ниже.

2. Заглавие и сведения об авторах

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

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

3. Аннотация (реферат)

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

4. Ключевые слова

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

5. Введение

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

6. Описание экспериментальной части и теоретической/вычислительной работы

6.1. Материал, испытываемые образцы и порядок проведения испытаний

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

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

При проведении испытаний приводится следующая информация.

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

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

6.2. Результаты экспериментов

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

6.3. По теоретической/вычислительной работе

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

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

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

7. Обсуждение

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

8. Выводы

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

9. Список литературы

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

В списке литературы обязательно включайте иностранные источники (желательно не менее 50 %, исключение – публикации по региональной тематике); число цитируемой литературы чаще всего от 15 до 30 ссылок. Списки литературы (*References*) – это демонстрация вашей эрудиции, информированности о текущих исследованиях в данной области, поэтому цитируемые публикации должны быть как можно более новыми (но и увеличивать их чрезмерно, без причины тоже не следует). Ссылки на свои работы приветствуются, но проявляйте умеренность.

ПОДГОТОВКА АННОТАЦИИ

(структура, содержание и объем авторского резюме (аннотации) к научным статьям в журнале; фрагменты из работы **О. В. Кирилловой «Редакционная подготовка научных журналов для включения в зарубежные индексы цитирования: методические рекомендации. – Москва, 2012»**, кандидата технических наук, заведующей отделением ВИНТИ РАН, члена Консультативного совета по формированию контента (Content Selection and Advisory Board – CSAB) SciVerse Scopus, Elsevier)

Авторское резюме должно излагать существенные факты работы и не должно преувеличивать или содержать материал, который отсутствует в основной части публикации. Результаты работы описывают предельно точно и информативно. Приводятся основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, обнаруженные взаимосвязи и закономерности. При этом отдается предпочтение новым результатам и данным долгосрочного значения, важным открытиям, выводам, которые опровергают существующие теории, а также данным, которые, по мнению автора, имеют практическое значение. Выводы могут сопровождаться рекомендациями, оценками, предложениями, гипотезами, описанными в статье.

Сведения, содержащиеся в заглавии статьи, не должны повторяться в тексте авторского резюме. Следует избегать лишних вводных фраз (например, «автор статьи рассматривает...»). Исторические справки, если они не составляют основное содержание документа, описание ранее опубликованных работ и общеизвестные положения в авторском резюме, не приводятся.

В тексте авторского резюме следует употреблять синтаксические конструкции, свойственные языку научных и технических документов, и избегать сложных грамматических конструкций. В тексте авторского резюме следует применять значимые слова из текста статьи. Текст авторского резюме должен быть лаконичен и четок, свободен от второстепенной информации, лишних вводных слов, общих и незначащих формулировок. Текст должен быть связным, разрозненные излагаемые положения должны логично вытекать одно из другого. Сокращения и условные обозначения применяют в исключительных случаях или дают их расшифровку и определения при первом употреблении в авторском резюме. В авторском резюме не делаются ссылки на номер публикации в списке литературы к статье.

Объем текста авторского резюме определяется содержанием публикации (объемом сведений, их научной ценностью и/или практическим значением), но не менее 100–250 слов (для русскоязычных публикаций – предпочтительнее больший объем).

Пример авторского резюме на русском языке

Значительная часть инновационных планов по внедрению изменений, содержащих в своей основе нововведения, либо не доходит до практической реализации, либо в действительности приносит гораздо меньше пользы, чем планировалось. Одна из причин этих тенденций кроется в отсутствии у руководителя реальных инструментов по планированию, оценке и контролю над инновациями. В статье предлагается механизм стратегического планирования компании, основанный на анализе как внутренних возможностей организации, так и внешних конкурентных сил, поиске путей использования внешних возможностей с учетом специфики компании. Стратегическое планирование опирается на свод правил и процедур, содержащих серию методов, использование которых позволяет руководителям компаний обеспечить быстрое реагирование на изменение внешней конъюнктуры. К таким методам относятся: стратегическое сегментирование; решение проблем в режиме реального времени; диагностика стратегической готовности к работе в условиях будущего; разработка общего плана управления; планирование предпринимательской позиции фирмы; стратегическое преобразование организации. Процесс стратегического планирования представлен в виде замкнутого цикла, состоящего из 9 последовательных этапов, каждый из которых представляет собой логическую последовательность мероприятий, обеспечивающих динамику развития системы. Результатом разработанной автором методики стратегического планирования является предложение перехода к «интерактивному стратегическому менеджменту», который в своей концептуальной основе ориентируется на творческий потенциал всего коллектива и изыскание путей его построения на базе оперативного преодоления ускоряющихся изменений, возрастающей организационной сложности и непредсказуемой изменчивости внешнего окружения.

Это же авторское резюме на английском языке

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

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

Пример структурированного авторского резюме из иностранного журнала в Scopus

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

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

Results: As an approach of noninvasive functional imaging, quantitative resonance spectroscopic imaging (MRSI) measured abnormalities of mitochondrial and energetic dysfunction (via ¹H or 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.

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

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

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

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

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

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

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

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

ПОДГОТОВКА РУКОПИСИ

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

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

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

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

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

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

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ РУКОПИСЕЙ

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

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

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

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

Математические формулы. Сложные и многострочные формулы должны быть целиком набраны в

редакторе формул **Microsoft Equation 3.0**. Используется только сквозная нумерация.

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

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

Англоязычный блок должен включать следующую информацию: **Заглавие работы; Фамилию И.О. (всех авторов); Аффiliation всех авторов; Аннотация (Abstract)** 100-150 слов; **Ключевые слова (Keywords)**.

Научная публикация должна иметь следующую структуру:

1. **Заглавие** (должно быть как можно короче и отражать содержание текста).

2. **Аннотация:**

• **на русском языке** на основе ГОСТ 7.9-95 – сжатый обзор содержания работы (по ГОСТ не менее 10 строк, 850 знаков), указывает на ключевые проблемы, на подход к этим проблемам и на достижения работы; следует применять значимые слова из текста статьи;

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

3. **Ключевые слова** (должны отображать содержание работы). На английском языке - использовать термины из контролируемых словарей.

4. **Введение** (краткий обзор по состоянию проблемы с цитатами или ссылками на актуальную литературу; в конце раздела необходимо сформулировать цель или задачу нового исследования и то как вы это сделали).

5. **Теория** (для теоретических работ) или **методика** экспериментального исследования (для экспериментальных работ). Следует избегать повторений, излишних подробностей и известных положений, подробных выводов формул и уравнений (приводить лишь окончательные формулы, пояснив, как они получены).

6. **Результаты и обсуждение.**

7. **Выводы** (по результатам работы, описанной в данной статье; следует быть лаконичным).

8. **Список литературы:** не менее 15 – 25 наименований источников (оформлять в соответствии с ГОСТ Р 7.05-2008 «Библиографическая ссылка»). Составляется по ходу упоминания литературы в тексте и приводится в конце рукописи. Ссылки в тексте на литературу даются в квадратных скобках, например [1], [2, 3], [4–7], [4, стр. 23–28]. Внимание авторы, в работе не должно быть более 30 % собственных статей, не менее 50 % - литература за последние 10 лет, обязательно включайте иностранные источники (желательно не менее 50 %).

9. **Англоязычный блок статьи** подготавливается на следующей странице, сразу же после русскоязычного списка литературы. Правила оформления данного раздела работы представлены ниже.

10. **Сведения для РИНЦ.**

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ АНГЛОЯЗЫЧНОГО БЛОКА СТАТЬИ В ЖУРНАЛЕ «АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ»

Англоязычная часть статьи должна включать в себя:

Заголовок (Title), переведенный с русского языка. В переводе заглавий статей на английский язык не должно быть никаких транслитераций с русского языка, кроме непереводаемых названий собственных имен и др. объектов, имеющих собственные названия; также не используется непереводаемый сленг, известный только русскоговорящим специалистам. Это также касается авторских аннотаций и ключевых слов;

Аффiliation (Affiliation).

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

Аннотация (Abstract) - по объему больше аннотации на русском языке и включает **100 - 250 слов**,

рекомендуется следовать хронологии статьи, использовать англоязычную специальную терминологию, не включать несущественные детали и использовать активный, а не пассивный залог, избегать сложных грамматических конструкций (не применимых в научном английском языке);

Ключевые слова (Keywords);

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

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

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

Уважаемые Авторы, в связи с включением журнала «*Обработка металлов (технология • оборудование • инструменты)*» в международную базу данных библиографического описания и научного цитирования *Web of Science* изменены правила оформления представляемых рукописей. Главная цель изменений состоит в том, чтобы сделать основные положения и выводы публикуемых в журнале статей доступными для широкой зарубежной аудитории, не владеющей русским языком. Особое значение теперь приобретают англоязычная аннотация к статье (*Abstract*) и список использованной автором литературы (*References*), поскольку именно они, а не текст самой статьи, находят отражение в системах *Scopus* и *Web of Science*. По своему содержанию и информативности *Abstract* и *References* должны привлечь внимание зарубежных читателей к теме статьи. Соответственно, в интересах автора тщательно подойти к подготовке этих блоков статьи и обеспечить их максимально высокое качество.

Англоязычная часть статьи подготавливается на следующей странице, сразу же после *русскоязычного списка литературы* и включается в себя:

- **Заголовок (Title)**, переведенный с русского языка. В переводе заглавий статей на английский язык не должно быть никаких транслитераций с русского языка, кроме непереводаемых названий собственных имен и др. объектов, имеющих собственные названия; также не используется непереводаемый сленг, известный только русскоговорящим специалистам. Это также касается авторских аннотаций и ключевых слов;

- **Аффилиация (Affiliation)**.

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

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

- **Ключевые слова (Keywords);**

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

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

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

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

Правила подготовки списка литературы в англоязычном блоке статьи*

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

Для подготовки описания этих видов документов необходимо учитывать тот факт, что эти публикации отсутствуют в системе и не предназначены для установления соответствий между публикациями и ссылками на них. Однако они также должны быть обязательно представлены в романском алфавите. Поэтому их 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 документам;

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

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

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

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

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

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

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

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

* 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.

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

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

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

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

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

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

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

Описание статьи из журналов:

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

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

Описание статьи из электронного журнала:

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

Если статья имеет DOI – обязательно указать его!

Описание статьи с DOI:

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

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

Описание статьи из продолжающегося издания (сборника трудов)

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

Описание материалов конференций:

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

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

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

Описание книги (монографии, сборники):

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

Ot katastrofy k vozrozhdeniyu: prichiny i posledstviya razrusheniya SSSR [From disaster to rebirth: the causes and consequences of the destruction of the Soviet Union]. Moscow, HSE Publ., 1999. 381 p.

Lindorf L.S., Mamikonians L.G., eds. *Ekspluatatsiya turbogeneratorov s neposredstvennym okhlazhdeniem* [Operation of turbine generators with direct cooling]. Moscow, Energiya Publ., 1972. 352 p.

Kanevskaya R.D. *Matematicheskoe modelirovanie gidrodinamicheskikh protsessov razrabotki mestorozhdenii uglevodorodov* [Mathematical modeling of hydrodynamic processes of hydrocarbon deposit development]. Izhevsk, 2002. 140 p.

Izvekov V.I., Serikhin N.A., Abramov A.I. *Proektirovanie turbogeneratorov* [Design of turbo-generators]. Moscow, MEI Publ., 2005, 440 p.

Latyshev V.N. *Tribologiya rezaniya. Kn. 1: Friksionnye protsessy pri rezanie metallov* [Tribology of Cutting, Vol. 1: Frictional Processes in Metal Cutting], Ivanovo, Ivanovskii Gos. Univ. Publ., 2009. 245 p.

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

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

Описание переводной книги:

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

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

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

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

Описание неопубликованного документа:

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

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

Описание Интернет-ресурса:

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

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

Описание диссертации или автореферата диссертации:

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

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

Описание ГОСТа:

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

ИЛИ

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

Описание патента:

Palkin M.V., e.a. *Sposob orientirovaniia po krenu letatel'nogo apparata s opticheskoi golovkoi samonavedeniia* [The way to orient on the roll of aircraft with optical homing head]. Patent RF, no. 2280590, 2006.

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

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

Описание анонимных документов:

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

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

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

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

Подписано в печать 22.04.2021. Выход в свет 07.05.2021. Формат 60 × 84 1/8. Бумага офсетная.
Тираж 20 экз. Уч.-изд. л. 24,18. Печ. л. 13,0. Изд. № 79. Заказ № 478.

Издательство Новосибирского государственного технического университета
630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20. Тел.: (383)-346-31-87.

Отпечатано в типографии Новосибирского государственного технического университета
630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

ТЕХНОЛОГИЯ ОБОРУДОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТЫ

ISSN 1994-6309 (Print)

ISSN 2541-819X (Online)

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

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

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

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

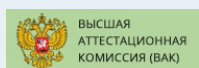
Присутствуют разделы: «Технология», «Оборудование», «Инструменты», «Материаловедение», «Научно-техническая информация» и др.



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




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





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

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

 http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov

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

 +7 (383) 346-17-75

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

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



НОВОСИБИРСК

