

ISSN 2073-7408

**ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ
И ПРИКЛАДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ**

НАУЧНО - ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

6 (362) 2023

Редколлегия

Главный редактор

Радченко С.Ю. д-р техн. наук, проф.

Заместители главного редактора:

Барсуков Г.В. д-р техн. наук, проф.

Гордон В.А. д-р техн. наук, проф.

Подмастерьев К.В. д-р техн. наук,
проф.

Поляков Р.Н. д-р техн. наук, проф.

Шоркин В.С. д-р физ.-мат. наук, проф.

Члены редколлегии:

Голенков В.А. д-р техн. наук, проф. (Россия)

Дунаев А.В. д-р техн. наук, доц. (Россия)

Дьяконов А.А. д-р техн. наук, проф. (Россия)

Емельянов С.Г. д-р техн. наук, проф. (Россия)

Запонец Я. д-р техн. наук, проф. (Чехия)

Зубчинов В.Г. д-р техн. наук, проф.
(Россия)

Киричек А.В. д-р техн. наук, проф. (Россия)

Кузичкин О.Р. д-р техн. наук, проф.
(Россия)

Кухарь В.Д. д-р техн. наук, проф. (Россия)

Лавриненко В.Ю. д-р техн. наук, проф.
(Россия)

Ли Шэнбо. канд. техн. наук, доц. (Китай)

Мирсаилов В.М. д-р физ.-мат. наук, проф.
(Азербайджан)

Пилипенко О.В. д-р техн. наук, проф.
(Россия)

Поляков Р.Н. д-р техн. наук, проф. (Россия)

Распопов В.Я. д-р техн. наук, проф. (Россия)

Савин Л.А. д-р техн. наук, проф.
(Россия)

Смоленцев В.П. д-р техн. наук, проф. (Россия)

Содаткин В.М. д-р техн. наук, проф. (Россия)

Старовойтов Э.И. д-р физ.-мат. наук, проф.
(Беларусь)

Степанов Ю.С. д-р техн. наук, проф. (Россия)

Хейфец М.Л. д-р техн. наук, проф. (Беларусь)

Ответственный редактор:

Тюхта А.В. канд. техн. наук

Адрес редакции

302030, Орловская обл., г. Орел, ул.

Московская, 34

+7 (905) 169 88 99

https://oreluniver.ru/science/journal/fiprpt

E-mail: radsu@rambler.ru

Зарег. в Федеральной службе по
надзору в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций.
Свидетельство ПИ № ФС77-67029
от 30 августа 2016 года

Подписной индекс 29504

по объединенному каталогу

«Пресса России»

на сайтах www.pressa-rg.ru и www.aks.ru

© ОГУ имени И.С. Тургенева, 2023

Журнал индексируется в системе
Российского индекса научного цитирования
РИНЦ, а также в международных системах
Chemical Abstracts и Google Scholar.

В соответствии с письмом ВАК от 06.12.2022
№02-1198 «О Перечне рецензируемых
научных изданий», журнал
«Фундаментальные и прикладные проблемы
техники и технологии» как издание,
входящее в международную базу данных
Chemical Abstracts, приравнивается к
изданиям категории К1.

Содержание

Теоретическая механика и ее приложения

Шоркин В.С., Фроленкова Л.Ю., Ромашин С.Н., Конищева А.И. О связи моделей
поверхностного слоя и нелинейной зависимости частоты от волнового числа
высокочастотных акустических волн..... 3

Механика деформируемого твердого тела, динамика и прочность

Баранов В.Л., Левин А.С. Квазистатическое и динамическое изгибное деформирование
стержневых упругих элементов амортизаторов с сосредоточенными массами..... 11

Машиностроительные технологии и оборудование

Хаббатуллин Р.Р., Кононенко А.С. Исследование стойкости цианакрилатных клеев к
воздействию вибраций и агрессивным средам при бездеформационной фиксации
заготовок на металлорежущих станках..... 20

Морев П.Г., Капырин К.И., Радченко С.Ю., Голенков В.А. Современные проблемы
технологии ИПД (по материалам периодики)..... 28

Колосовский А.М., Рожков А.С., Ожегов Н.М., Черкасов В.Е. Упрочнение рабочих
органов сельскохозяйственных машин..... 43

Петухова В.В., Огородников А.И. Решение обратной задачи теплопроводности в
компьютерном моделировании технологических процессов..... 52

Барсуков Г.В., Тарапанов А.С., Журавлева Т.А., Кожус О.Г., Прасолов Е.А., Петрухин А.В.
Разработка технологии и технологических принципов повышения прочности
частей медного сплава для гидроабразивного резания..... 61

Шлаев К.И. Динамические характеристики угловой фрезерной головки в
программных средах 3D моделирования..... 69

Фроленкова Л.Ю., Шоркин В.С., Тарапанов А.С., Конищева А.И. Разработка алгоритмов и
методик расчета диффузионных процессов в элементах биметаллического провода..... 73

Машиноведение и мехатроника

Поздняков В.В., Поляков Р.Н., Корнеев А.Ю. Влияние режимов работы шестерённого
насоса на трение в роликовых подшипниках и их отказы 79

Горин А.В., Поляков Р.Н., Ушаков Л.С., Серебрянников А.Д. Структурный анализ и синтез
мехатронного механизма на основе импульсного гидродневматического привода 88

Грибанов Е.Н., Гориков А.И., Юшкова Э.Ю., Якунина М.А. Эволюция поверхности
алюминия при его предварительной подготовке и анодировании в силикатно-
щелочном электролите..... 93

Родичев А.Ю., Горин А.В. Система мониторинга состояния узлов и агрегатов
промышленного оборудования..... 101

Сытин А.В., Власова С.А., Серенко И.А., Серебрянников А.Д. Расчет характеристик
радиального лепесткового газодинамического подшипника с изменяемой
геометрией опорной поверхности..... 108

Савин Л.А., Марахин Н.А., Нгуен Тхай Ха, Лю Ифань, Казаков Ю.Н. Гибридные
подшипники жидкостного трения..... 116

Поляков Р.Н., Настепанин К.К., Абакарова Д.А., Бондаренко М.Э. Экспериментальная
установка для исследования адаптивных подшипников скольжения 126

Контроль, диагностика, испытания и управление качеством

Сидорин В.В., Халилулина Н.Б. Математическая модель и метод прогнозирования
ресурсоёмкости и оценки производственно-управленческого потенциала в системе
менеджмента качества организации..... 137

Тугарев А.С., Воронина О.А., Харланова К.С., Мишин В.В. Анализ методов контроля
микроволочных соединений..... 153

Материалы международной научно-технической конференции «Динамика, надежность и долговечность механических и биомеханических систем»

Худойназаров Х., Исмоилов Х. Математическая модель крутильных колебаний
усеченного конического слоя, взаимодействующего с деформируемой средой..... 160

Георгиевская Е.В., Георгиевский Н.В. Цифровые двойники матричного типа для
предиктивной аналитики технического состояния турбомашин..... 172

Литвиненко В.П. Исследование надежности судовых двигателей по условию
форсирования..... 179

Харченко А.О., Корчевский С.В. Совершенствование процесса затылования зубьев
рабочей части мелкоразмерных метчиков..... 184

Журнал входит в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук» ВАК по следующим группам научных специальностей:
2.2.4. Приборы и методы измерения (по видам измерений) (технические науки), 2.2.5. Приборы навигации (технические науки), 2.2.8. Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды (технические науки), 2.2.11. Информационно-измерительные и управляющие системы (технические науки), 2.2.12. Приборы, системы и изделия медицинского назначения (технические науки), 2.5.2. Машиноведение (технические науки), 2.5.3. Трение и износ в машинах (технические науки), 2.5.4. Роботы, мехатроника и робототехнические системы (технические науки), 2.5.5. Технология и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки), 2.5.6. Технология машиностроения (технические науки), 2.5.7. Технологии и машины обработки давлением (технические науки), 2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства (технические науки).

Editorial Committee

Editor-in-chief

Radchenko S.Yu. Doc. Sc. Tech., Prof.

Editor-in-chief Assistants:

Barsukov G.V. Doc. Sc. Tech., Prof.

Gordon V.A. Doc. Sc. Tech., Prof.

Podmasteryev K.V. Doc. Sc. Tech., Prof.

Polyakov R.N. Doc. Sc. Tech., Prof.

Shorkin V.S. Doc. Sc. Ph. – Math., Prof.

Member of editorial board:

Golenkov V.A. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Dunaev A.V. Doc. Sc. Tech., Assist. Prof. (Russia)

Dyakonov A.A. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Emelyanov S.G. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Zapomel Ya. Doc. Sc. Tech., Prof. (Czech Republic)

Zubchaninov V.G. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Kirichek A.V. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Kuzichkin O.R. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Kukhar V.D. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Lavrynenko V.Yu. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Li Shengbo. Cand. Sc. Tech., Assist. Prof. (China)

Mirsalimov V.M. Doc. Sc. Ph. – Math., Prof. (Azerbaijan)

Pilipenko O.V. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Polyakov R.N. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Raspopov V.Ya. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Savin L.A. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Smolenzov V.P. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Soldatkin V.M. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Starovoitov A.L. Doc. Sc. Ph. – Math., Prof. (Belarus)

Stepanov Yu.S. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Heifets M.I. Doc. Sc. Tech., Prof. (Belarus)

Responsible editor:

Tyukhta A.V. Candidate Sc. Tech.

Address

302030, Oryol region, Oryol, st.

Moskovskaya, 34

+7 (905) 169 88 99

<https://oreluniver.ru/science/journal/fipptt>

E-mail: radsu@rambler.ru

Journal is registered in Federal Agency of supervision in sphere of communication, information technology and mass communications. The certificate of registration PI № FS77-67029 from 30.08.2016

Index on the catalogue of the

«Pressa Rossi» 29504

on the websites www.pressa-rf.ru

and www.aks.ru

© Orel State University, 2023

The journal is indexed in the system of the Russian Science Citation Index (RSCI), and also in international systems Chemical Abstracts and Google Scholar.

In accordance with the letter of the Higher Attestation Commission dated December 6, 2022 No. 02-1198 "On the List of Peer-Reviewed Scientific Publications", the journal Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology, as a publication included in the international Chemical Abstracts database, is equated to publications of the K1 category.

Contents

Theoretical mechanics and its applications

- Shorkin V.S., Frolenkova L.Yu., Romashin S.N., Konisheva A.I. On the connection of surface layer models and the nonlinear dependence of frequency on the wave number of high frequency harmonic waves..... 3

Mechanics of deformable solids, dynamics and strength

- Baranov V.L., Levin A.S. Quasi-static and dynamic bending deformation of rod elastic elements of shock absorbers with concentrated masses 11

Machine-building technologies and equipment

- Khabbatullin R.R., Kononenko A.S. Study of the resistance of cyanacrylate adhesives to vibrations and aggressive environments for deformation-free fixation of workpieces on metal cutting machines 20
- Morrev P.G., Kapyrin K.I., Radchenko S.Y., Golenkov V.A. Modern problems of SPD technology (based on periodicals)..... 28
- Kolosovskii A.M., Rozhkov A.S., Ozhegov N.M., Cherkasov V.E. The hardening of agricultural machines working bodies 43
- Petukhova V.V., Ogorodnikov A.I. Solving the inverse problem of heat conduction for simulation of technological processes 52
- Barsukov G.V., Tarapanov A.S., Zhuravleva T.A., Kozhus O.G., Prasolov E.A., Petrukhin A.V. Development of technology and technological principles for increasing the strength of copper feed particles for hydroabrasive chocking 61
- Shlaev K.I. Simulation experiment to determine the dynamic characteristics of an angular milling head in 3D modeling programs 69
- Frolenkova L.Yu., Shorkin V.S., Tarapanov A.S., Konisheva A.I. Development of algorithms and methods for calculation of diffusion processes in elements of bimetal wire 73

Machine Science and Mechatronics

- Pozdnyakov V.V., Polyakov R.N., Korneev A.Yu. Influence of operating modes of a gear pump on friction in rolling element bearings and their failures 79
- Gorin A.V., Polyakov R.N., Ushakov L.S., Serebrnikov A.D. Structural analysis and synthesis of mechatronic mechanism based on pulse hydropneumatic drive 88
- Gribanov E.N., Gorshkov A.I., Yushkova E.Yu., Yakulina M.A. Evolution of the aluminum surface during its preliminary preparation and anodizing in a silicate-alkaline electrolyte 93
- Rodichev A.Yu., Gorin A.V. Condition monitoring system units and units of industrial equipment 101
- Sytin A.V., Vlasova V.S., Serenko I.A., Serebrennikov A.D. Calculation of the characteristics of the thrust leaf gas dynamic bearing by joint solution of gas dynamics and elasticity theory problems 108
- Savin L.A., Marakhin N.A., Nguyen Thai Ha, Liu Yifan, Kazakov Yu.N. Hybrid fluid film bearings 116
- Polyakov R.N., Nastepanin K.K., Abakarova D.R., Bondarenko M.E. Test rig for the study of sliding adaptive bearings 126

Monitoring, Diagnostics, Testing and Quality Management

- Sidorin V.V., Khalilulina N.B. Mathematical model and forecasting method resource intensity and evaluation of production and management potential in the quality management system of the organization 137
- Tugarev A.S., Voronina O.A., Kharlanova K.S., Mishin V.V. Analysis of control methods for micro-wire connections 153

Materials of the international scientific and technical conference «Dynamics, reliability and durability of mechanical and biomechanical systems»

- Khudoynazarov Kh., Ismoilov Kh. Mathematical model of torsional vibrations of a truncated conical layer interacting with a deformable medium 160
- Georgievskaya E.V., Georgievsky N.V. Matrix-type digital twins for predictive analytics of the technical condition of turbomachines 172
- Litvinenko V.P. Marine engine reliability study according to forcing conditions 179
- Kharchenko A.O., Korchevski S.V. Improving the process of backing the teeth of the working part of small-sized taps 184

The journal is included in the «List of peer-reviewed scientific publications in which the main scientific results of dissertations for obtaining the scientific degree of the candidate of sciences, for the academic degree of the doctor of sciences» of the Higher Attestation Commission for the following groups of scientific specialties:

2.2.4. Instruments and measurement methods (by types of measurements) (technical sciences), 2.2.5. Navigation devices (technical sciences), 2.2.8. Methods and devices for monitoring and diagnosing materials, products, substances and the natural environment (technical sciences), 2.2.11. Information-measuring and control systems (technical sciences), 2.2.12. Devices, systems and products for medical purposes (technical sciences), 2.5.2. Mechanical engineering (technical sciences), 2.5.3. Friction and wear in machines (technical sciences), 2.5.4. Robots, mechatronics and robotic systems (technical sciences), 2.5.5. Technology and equipment for mechanical and physical-technical processing (technical sciences), 2.5.6. Engineering technology (technical sciences), 2.5.7. Technologies and machines for forming (technical sciences), 2.5.22. Quality control products. Standardization. Organization of production (technical sciences).

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА И ЕЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

УДК 539.3

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-362-6-3-10

В.С. ШОРКИН, Л.Ю. ФРОЛЕНКОВА, С.Н. РОМАШИН, А.И. КОНИЩЕВА

О СВЯЗИ МОДЕЛЕЙ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ И НЕЛИНЕЙНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ЧАСТОТЫ ОТ ВОЛНОВОГО ЧИСЛА ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН

Аннотация. В работе рассматривается возможность континуального описания свойств тонкого пограничного слоя материала и нелинейности дисперсионного закона высокочастотных акустических волн в рамках одной математической модели. Пограничный слой имеет атомно-молекулярную структуру и континуальные свойства, отличные от структуры и свойств, наблюдаемых в глубине материала. Для объяснения этого часто используется модель моментной упругой среды второго порядка. При описании нелинейности зависимости частоты распространяющихся в однородной линейно упругой среде акустических волн от их волнового числа также обычно применяются туже модель. В работе показано, что такой подход не всегда допустим, указаны условия, когда это возможно.

Ключевые слова: адгезия, механические свойства, нелокальные потенциальные взаимодействия, градиентная теория упругости.

Работа выполнена в ОГУ имени И.С. Тургенева в рамках государственного задания № 075-01466-23-07 на 2023 год и на плановый период 2024 и 2025 годов от 24.11.2023 г., проект № FSGN-2023-002 (1023082800024-8-1.3.2).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Векилов Ю.Х. Электронная структура поверхностей непереходных металлов [Текст] / Ю.Х. Векилов, В.Д. Вернгер, М.Б. Самсонова // Успехи физических наук. – 1987. – Т. 151. – Вып. 2. – С. 341 – 376.
- 2 Gutkin M.Yu. Defect structures on inner interfaces in nanocrystalline and polycrystalline films/ M.Yu. Gutkin, I.A. Ovidko. // Mater. Phys. Mech. – 2009.- Vol. 8, No. 2. – p. 108-148.
- 3 Киттель Ч. Введение в физику твердого тела / Ч. Киттель. – М.: Наука, 1978. 791 с.
- 4 Шоркин В.С. Моделирование эффектов поверхностного слоя и нелинейности дисперсионного закона / В.С. Шоркин, Л.Ю. Фроленкова, М. В. Хорошилова, С. И. Якушина, С. Н. Ромашин // Материалы XXII Международной конференции по вычислительной механике и современным прикладным программным системам (ВМСППС2021), 4–13 сентября 2021 г., Алушта. – М.: Изд-во МАИ, 2021. – С. 296 – 298.
- 5 Shorkin V.S. Initial Damage of Composite Materials / V.S. Shorkin, V.Yu. Presnetsova, V.V. Presniakov, L.Yu. Frolenkova, S.I. Yakushina // New Achievements in Continuum Mechanics and Thermodynamics Part of the Advanced Structured Materials book series (STRUCTMAT). – 2019. V 108. – P. 475–487. https://doi.org/10.1007/978-3-030-13307-8_32.
- 6 Фроленкова Л.Ю. Поверхностная энергия и энергия адгезии упругих тел / Л.Ю. Фроленкова, В.С. Шоркин // Изв. РАН. МТТ. – 2017. – № 1. – С. 76–91.
- 7 Ромашин С.Н. Вариант связи механических и адгезионных свойств твердых материалов / С.Н. Ромашин, В.С. Шоркин // ПММ. – 2020. – Т. 84, В. 3. – С. 387 – 404.
- 8 Shorkin V.S. The adhesive and antiadhesive non-local interaction of solids / V. Presnetsova, S. Romashin, L. Frolenkova, V. Shorkin and S Yakushina // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017 012034. DOI: 10.1088/1757-899X/208/1/012034.
- 9 Фроленкова Л.Ю. Теоретическая оценка характеристик прочности адгезионных и когезионных соединений упругих тел: докт. дисс. / Л.Ю. Фроленкова. – Орел: Орловский государственный технический университет, 2013. – 335 с.
- 10 Presnetsova V.Yu. A variant of describing adhesion interaction in the probe sample system of an atomic-force microscope / V.Yu. Presnetsova, S.N. Romashin, L.Yu. Frolenkova, V.S. Shorkin, S.I. Yakushina // Nanoscience and Technology: An International Journal. –2018. – V. 9. – Iss. 4. – P. 299 – 323. DOI: 10.1615/NanoSciTechnolIntJ.2018026714
- 11 Шоркин В. С. Нелинейные дисперсионные свойства высокочастотных волн в градиентной теории упругости / В.С. Шоркин// Механика твердого тела. – 2011. – № 6. – С. 103 – 121.
- 12 Eringen C. A. Nonlocal Continuum Field Theories / E C. Aringen. – Springer New York. – 2002. – № XVI. – 376 p. <https://doi.org/10.1007/b97697>.

13 Кунин И.А. Теория упругих сред с микроструктурой. Нелокальная теория упругости / И.А. Кунин. – М.: Наука. – 1975. – 416 с.

14 Васильев В.В. Обобщенная теория упругости / В.В. Васильев, С.А. Лурье // Изв. РАН. МТТ. – 2015. – № 4. – С. 16 – 27.

15 Якушина С.И. Математическая модель поврежденности в материалах с неравномерно распределенными механическими свойствами / С.И. Якушина, В.С. Шоркин, С.Н. Ромашин // Материалы XIII Международной конференции по прикладной математике и механике в аэрокосмической отрасли (АММАИ2020), 6–13 сентября 2020 г., Алушта. – М.: Изд-во МАИ, 2020. – С. 363 – 364.

Шоркин Владимир Сергеевич

ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева», г. Орел
доктор физико-математических наук, профессор,
профессор кафедры технической физики и
математики
302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95
Тел. +7 (960) 655-00-77
E-mail: v.s.shorkin@yandex.ru

Фроленкова Лариса Юрьевна

ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева», г. Орел
доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой
машиностроения,
302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95
Тел.: + 7 (906) 568-11-18,
E-mail: Larafrolenkova@yandex.ru

Ромашин Сергей Николаевич

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры технической физики и математики
302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95
Тел.: +7 (919) 267-71-26,
E-mail: sromashin@yandex.ru

Конищева Алёна Игоревна

ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева», г. Орел
студент
г. Орёл ул. Московская д. 34
Тел.: + 7(920) 725-03-77
E-mail: konishevaalena123@gmail.com

V.S. SHORKIN, L.Yu. FROLENKOVA, S.N. ROMASHIN, A.I. KONISHEVA

**ON THE CONNECTION OF SURFACE LAYER MODELS
AND THE NONLINEAR DEPENDENCE OF FREQUENCY
ON THE WAVE NUMBER OF HIGH FREQUENCY HARMONIC WAVES**

Abstract. *The paper examines the possibility of a continuum description of the properties of a thin boundary layer of a material and the nonlinearity of the dispersion law of high-frequency acoustic waves within the framework of one mathematical model. The boundary layer has an atomic-molecular structure and continuum properties that are different from the structure and properties observed deep within the material. To explain this, a second-order moment elastic medium model is often used. When describing the nonlinearity of the dependence of the frequency of acoustic waves propagating in a homogeneous linearly elastic medium on their wave number, the same model is also usually used. The work shows that this approach is not always acceptable; the conditions when this is possible are indicated.*

Keywords: *adhesion, mechanical properties, nonlocal potential interactions, gradient theory of elasticity.*

BIBLIOGRAPHY

- 1 Vekilov Yu.H. Elektronnaya struktura poverhnostej neperehodnyh metallov [Tekst] / Yu.H. Vekilov, V.D. Vernger, M.B. Samsonova // Uspehi fizicheskikh nauk. – 1987. – Т. 151. – Вып. 2. – С. 341 – 376.
- 2 Gutkin M.Yu. Defect structures on inner interfaces in nanocrystalline and polycrystalline films/ M.Yu. Gutkin, I.A. Ovidko. // Mater. Phys. Mech. – 2009.- Vol. 8, No. 2. – p. 108-148.
- 3 Kittel Ch. Vvedenie v fiziku tverdogo tela / Ch. Kittel. – М.: Nauka, 1978. 791 s.
- 4 Shorkin V.S. Modelirovanie effektov poverhnostnogo sloya i nelinejnosti dispersionnogo zakona / V.S. Shorkin, L.Yu. Frolenkova, M. V. Horoshilova, S. I. Yakushina, S. N. Romashin // Materialy XXII Mezhdunarodnoj konferencii po vychislitelnoj mehanike i sovremennym prikladnym programmym sistemam (VMSPPS2021), 4–13 sentyabrya 2021 g., Alushta. – М.: Izd-vo MAI, 2021. – С. 296 – 298.
- 5 Shorkin V.S. Initial Damage of Composite Materials / V.S. Shorkin, V.Yu. Presnetsova, V.V. Presniakov, L.Yu. Frolenkova, S.I. Yakushina // New Achievements in Continuum Mechanics and Thermodynamics Part of the Advanced Structured Materials book series (STRUCTMAT). – 2019. V 108. – P. 475–487. https://doi.org/10.1007/978-3-030-13307-8_32.
- 6 Frolenkova L.Yu. Poverhnostnaya energiya i energiya adgezii uprugih tel / L.Yu. Frolenkova, V.S. Shorkin // Izv. RAN. MTT. – 2017. – № 1. – С. 76– 91.
- 7 Romashin S.N. Variant svyazi mehanicheskikh i adgezionnykh svoystv tverdykh materialov / S.N. Romashin, V.S. Shorkin // PMM. – 2020. – Т. 84, V. 3. – С. 387 – 404.

8 Shorkin V.S. The adhesive and antiadhesive non-local interaction of solids / V. Presnetsova, S. Romashin, L. Frolenkova, V. Shorkin and S Yakushina // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017 012034. DOI: 10.1088/1757-899X/208/1/012034.

9 Frolenkova L.Yu. Teoreticheskaya ocenka harakteristik prochnosti adgezionnyh i kogeziionnyh soedinenij uprugih tel: dokt. diss. / L.Yu. Frolenkova. – Orel: Orlovskij gosudarstvennyj tehničeskij universitet, 2013. – 335 s.

10 Presnetsova V.Yu. A variant of describing adhesion interaction in the probe sample system of an atomic-force microscope / V.Yu. Presnetsova, S.N. Romashin, L.Yu. Frolenkova, V.S. Shorkin, S.I. Yakushina // Nanoscience and Technology: An International Journal. –2018. – V. 9. – Iss. 4. – P. 299 – 323. DOI: 10.1615/NanoSciTechnolIntJ.2018026714

11 Shorkin V. S. Nelinejnye dispersionnye svojstva vysokochastotnyh voln v gradientnoj teorii uprugosti / V.S. Shorkin// Mehanika tverdogo tela. – 2011. – № 6. – S. 103 – 121.

12 Eringen C. A. Nonlocal Continuum Field Theories / E C. Aringen. – Springer New York. – 2002. – № XVI. – 376 r. <https://doi.org/10.1007/b97697>.

13 Kunin I.A. Teoriya uprugih sred s mikrostrukturoj. Nelokalnaya teoriya uprugosti / I.A. Kunin. – M.: Nauka. – 1975. – 416 s.

14 Vasilev V.V. Obobshennaya teoriya uprugosti / V.V. Vasilev, S.A. Lure // Izv. RAN. MTT. – 2015. – № 4. – S. 16 – 27.

15 Yakushina S.I. Matematicheskaya model povrezhdennosti v materialah s neravnomerno raspredelennymi mehanichesкими svojstvami / S.I. Yakushina, V.S. Shorkin, S.N. Romashin // Materialy XIII Mezhdunarodnoj konferencii po prikladnoj matematike i mehanike v aerokosmičeskoj otrasli (AMMAI2020), 6–13 sentyabrya 2020 g., Alushta. – M.: Izd-vo MAI, 2020. –S. 363 – 364.

Shorkin Vladimir Sergeevich

Orel State University, Orel
 Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor,
 Professor of the Department of Technical Physics and
 Mathematics
 302026, Orel, Komsomolskaya st, 95
 Ph.: +7 (960) 655-00-77
 E-mail: v.s.shorkin@yandex.ru

Frolenkova Larisa Yuryevna

Orel State University, Orel
 Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,
 Head of the Department of Mechanical Engineering,
 302026, Orel, Komsomolskaya st, 95
 Ph.: + 7 (906) 568-11-18
 E-mail: Larafrolenkova@yandex.ru

Romashin Sergey Nikolaevich

Orel State University, Orel,
 Candidate of Physical and Mathematical Sciences,
 Associate professor of the Department of Technical
 Physics and Mathematics
 302026, Orel, Komsomolskaya st, 95
 Ph.: +7 (919) 267-71-26,
 E-mail: sromashin@yandex.ru

Konisheva Alena Igorevna

Orel State University, Orel,
 student
 302026, Orel, Komsomolskaya st, 95
 Ph.: + 7(920) 725-03-77
 E-mail: konishevaalena123@gmail.com

© В.С. Шоркин, Л.Ю. Фроленкова, С.Н. Ромашин, А.И. Конищева, 2023

**МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА,
 ДИНАМИКА И ПРОЧНОСТЬ**

УДК 539.3; 624.058.8

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-362-6-11-19

В.Л. БАРАНОВ, А.С. ЛЕВИН

**КВАЗИСТАТИЧЕСКОЕ И ДИНАМИЧЕСКОЕ ИЗГИБНОЕ
 ДЕФОРМИРОВАНИЕ СТЕРЖНЕВЫХ УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ
 АМОРТИЗАТОРОВ С СОСРЕДОТОЧЕННЫМИ МАССАМИ**

Аннотация. В статье проведено моделирование и представлены результаты расчётов и анализ квазистатического и динамического изгибного деформирования упругих стержневых элементов с зафиксированными сосредоточенными массами. Анализируется влияние эффекта наличия сосредоточенных масс на результаты расчётов для различных вариантов исходных данных.

Ключевые слова: сосредоточенная масса, упругий стержневой элемент, изгиб, минимизация.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент № RU 2168144 C1 Российская Федерация, МПК F41 C 23/06. Приклад для огнестрельного оружия: № 99119626/02: заявл. 13.09.1999: опубл. 27.05.2001/ Бондарев Л.В.; заявитель ГУП КБП – 4 с.: ил. – Текст: непосредственный.
2. Патент № RU 164802 U1 Российская Федерация, МПК B60G 11/18, F16F 1/14. Межколесный регулятор собственной нагрузки транспортного средства: № 2015155492/11: заявл. 23.12.2015: опубл. 20.09.2016/ Щитов С.В.; заявитель Валовой Г.А. – 3 с.: ил. – Текст: непосредственный.
3. Патент № RU 147475 U1 Российская Федерация, МПК B60R 3/00. Порог амортизирующий: № 2014125948/11: заявл. 26.05.2014: опубл. 10.11.2014/ Валовой Г.А.; заявитель ФГБОУ ВО Дальневосточный государственный аграрный университет – 9 с.: ил. – Текст: непосредственный.
4. Лалин, В. В. Изгиб геометрически нелинейного консольного стержня. Решение по теориям Кирхгофа и Коссера – Тимошенко / В. В. Лалин, М. О. Беляев // Инженерно-строительный журнал. – 2015. – № 1(53). – С. 39-55.
5. Atanackovic T. M. (1996). Dynamics of Plane Motion of an Elastic Rod / T.M. Atanackovic, L.J. Cveticanin // Journal of Applied Mechanics, 63(2),1996.- P. 392-398.- DOI: 10.1115/1.2788877
6. Баранов, В. Л. Моделирование амортизации СПВ в квазистатической и динамической постановках / В. Л. Баранов, А. С. Левин, Р. А. Тер-Данилов // Научно-практическая конференция профессорско-преподавательского состава ТулГУ с Всероссийским участием: Сборник докладов в 2-х частях. Часть 1. – Тула: Тульский государственный университет, 2021. – С. 58-64.
7. Баранов, В. Л. Динамическое деформирование стержневых элементов амортизаторов стрелкового оружия для следящей нескользящей схемы внешнего нагружения / В. Л. Баранов, А. С. Левин // Известия ТулГУ. Технические науки.- 2020.-№ 11, С. 41-46.
8. Баранов, В. Л. Влияние волновых процессов в стержневых амортизаторах СПВ на их изгибную деструкцию при выстреле / В. Л. Баранов, А. С. Левин, Р. А. Тер-Данилов // Научно-практическая конференция профессорско-преподавательского состава ТулГУ с всероссийским участием: Сборник докладов в 2-х частях. – Часть 1. - Тула: Тульский государственный университет, 2022. – С. 44-49.
9. Euler L. Methodus inveniendi lineas curvas maximi minimive proprietate gaudentes sive solutio problematis isoperimetrici latissimo sensu accepti. – Springer Science & Business Media, 1952. – Т.1.
10. Jimenez J.C. Locally Linearized Runge Kutta method of Dormand and Prince // J.C. Jimenez, A. Sotolongo, J.M. Sanchez-Bornot / Applied Mathematics and Computation 247 (2014).- P. 589-606.
11. Storn, R. Differential Evolution – A Simple and Efficient Heuristic for Global Optimization over Continuous Spaces / R.Storn, K. Price // Journal of Global Optimization vol.11, 1997, - P. 341-359.

Баранов Виктор Леопольдович
ФГБОУ ВО ТулГУ, г. Тула
д-р техн. наук, профессор кафедры СПВ
300012, г. Тула, пр. Ленина, д.92
E-mail: ivts-spv1411@yandex.ru

Левин Артём Сергеевич
АО «НПО «СПЛАВ» им.А.Н. Ганичева», г. Тула
инженер 2 категории
300004, г. Тула, Щегловская засека, д.33
E-mail: levin.as@splavtula.ru

V.L. BARANOV, A.S. LEVIN

QUASI-STATIC AND DYNAMIC BENDING DEFORMATION OF ROD ELASTIC ELEMENTS OF SHOCK ABSORBERS WITH CONCENTRATED MASSES

Abstract. *In the article modeling and results of calculations and analysis of quasi-static and dynamic bending deformation of elastic rod elements with fixed concentrated masses are presented with fixed concentrated masses. The influence of the effect of the presence of concentrated masses on the results of calculations for different variants of initial data is analyzed.*

Keywords: *concentrated mass, elastic rod element, bending, minimization.*

BIBLIOGRAPHY

1. Patent № RU 2168144 C1 Rossiyskaya Federatsia, MPK F41 C 23/06. Pricklad dlya ognestrel'nogo oruzhiya: № 99119626/02: zajavl. 13.09.1999: opubl 27.05.2001/ Bondarev L.V.: zajavitel GUP KBP – 4 s.: il. – Tekst: neposredstvennyi.
2. Patent № RU 164802 U1 Rossiyskaya Federatsia MPK B60G 11/18, F16F 1/14. Mejkolesniy regulyator sobstvennoy nagruzki transportnogo sredstva: № 2015155492/11: zajavl 23.12.2015: opubl. 20.09.2016/ Shitov S.V.; zajavitel Valovoy G.A. -3 s.: il. – Tekst: neposredstvennyi.

4. Lalin V.V. Izgib geometricheski nelineynogo consolnogo stregnja. Resheniye po teoriyam Kirgoff i Crosser-Tymoshenko / V.V. Lalin, M.O. Belyaev // Injenerno-stroitelnyy jurnal.-2015.- № 1(53) – S. 39-55.
5. Atanackovic T. M. (1996). Dynamics of Plane Motion of an Elastic Rod / T.M. Atanackovic, L.J. Cveticanin // Journal of Applied Mechanics, 63(2),1996.- P. 392-398.- DOI: 10.1115/1.2788877.
6. Baranov, V.L. Modelirovaniye amortizacii SPV v cvasistaticheskoy I dinamicheskoy postanovkah / V.L. Baranov, A.S. Levin, R.A. Ter-Danilov // Nauchno-practicheskaya konferenciya professorco prepodavatelskogo sostava TulGU s Vserissiyskim uchastiyem: Sbornik dokladov v 2-h chastyah. Chast 1. – Tula: Tulskiy gosudarstvenniy universitet, 2021. – S. 58-64.
7. Baranov, V.L. Dinamicheskoye deformirovaniye sterjnevih elementov amortizatorov strelkovogo orujia dlya sledyashey neskolzahey shemi vneshnego nagrujeniya / V.L. Baranov, A.S. Levin // Izvesiya TulGU. Tehnicheskiye nauki.- 2020.-№11, S. 41-46.
8. Baranov, V. L. Vliyaniye volnovih processov v sterjnevih amortizatorah SPV na ih izgibnuyu destrukciyu pri vistrele / V. L. Baranov, A. S. Levin, R. A. Ter-Danilov // Nauchno-practicheskaya konferenciya professorco prepodavatelskogo sostava TulGU s Vserissiyskim uchastiyem: Sbornik dokladov v 2-h chastyah. Chast 1. – Tula: Tulskiy gosudarstvenniy universitet, 2022. – S. 44-49.
9. Euler L. Methodus inveniendi lineas curvas maximi minimive proprietate gaudentes sive solutio problematis isoperimetrici latissimo sensu accepti. – Springer Science & Business Media, 1952. – T.1.
10. Jimenez J.C. Locally Linearized Runge Kutta method of Dormand and Prince // J.C. Jimenez, A. Sotolongo, J.M. Sanchez-Bornot / Applied Mathematics and Computation 247 (2014).- P. 589-606.
11. Storn, R. Differential Evolution – A Simple and Efficient Heuristic for Global Optimization over Continuous Spaces / R.Storn, K. Price // Journal of Global Optimization vol.11, 1997, - P. 341-359.

Baranov Viktor Leopoldovich
TSU, Tula
Doctor of Technical Sciences, Professor
300012, Tula, Lenin Ave., 92
E-mail: ivts-spv1411@yandex.ru

Levin Artem Sergeevich
JSC «SPLAV SPA» named after A. Ganichev», Tula
engineer of the 2nd category
300004, Tula, Shcheglovskaya Zaseka Str., 33
E-mail: levin.as@splavtula.ru

© В.Л. Баранов, А.С. Левин, 2023

МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ **И ОБОРУДОВАНИЕ**

УДК 621.792

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-362-6-20-27

Р.Р. ХАББАТУЛЛИН, А.С. КОНОНЕНКО

ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ ЦИАНАКРИЛАТНЫХ КЛЕЁВ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ВИБРАЦИЙ И АГРЕССИВНЫМ СРЕДАМ ПРИ БЕЗДЕФОРМАЦИОННОЙ ФИКСАЦИИ ЗАГОТОВОК НА МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКАХ

Аннотация. Рассмотрены возможности использования полимерного клеевого состава, модифицированного наноразмерными частицами для бездеформационной фиксации заготовок на металлорежущих станках. Приведены методики и результаты исследований адгезионной прочности полимерных составов после вибрационного воздействия и стойкости полимеров к воздействию смазочно-охлаждающих технологических сред.

Ключевые слова: Цианакрилатный полимер, адгезия, нанокомпозиция, стойкость к вибрации, бездеформационная фиксация.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полтавец О.Ф., Зимин В.В., Диланян К.Р. Пути повышения точности обработки корпусных деталей на многоцелевых станках. Обзор. С-3. Технология и автоматизация производства. М.: ЦНИИТЭИавтосельхозмаш. 1990. 90 с.
2. Надежность технических систем / Е.А. Пучин, Е.А. Лисунов, А.В. Чепурин, И.Н. Кравченко и др. – М.: Издательство КолосС, 2010. – 318 с.

3. Кононенко, А. С. Теоретическое обоснование условия применимости способа бездеформационной фиксации заготовок с помощью полимерного клея при механической обработке на фрезерных станках с ЧПУ / А. С. Кононенко, Р. Р. Хаббатуллин // Клеи. Герметики. Технологии. – 2021. – № 12. – С. 20-26.

4. Кононенко А.С. Стойкость к старению и вибрационным нагрузкам полимерного композиционного материала на основе анаэробного герметика «АН-111» / А.С. Кононенко, Д.Н. Псарев, А.Б. Рожнов. // «Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». 2019. № 5 (93). С. 4-8.

5. ГОСТ Р ИСО 10813-1-2011. Вибрация. Руководство по выбору вибростендов. М: Стандартиформ, 2012. - 28 с.

6. Кононенко, А. С. Определение оптимального состава цианакрилатной наноконпозиции для бездеформационной фиксации заготовок на фрезерных станках с ЧПУ / А. С. Кононенко, Р. Р. Хаббатуллин, М. А. Сережкин // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2021. – № 4. – С. 34-39.

7. ГОСТ 14760-69. Клеи. Метод определения прочности при отрыве. - Москва: Издательство стандартов, 1988.

8. Кононенко, А.С. Особенности восстановления шпиндельных валов металлорежущих станков полимерными материалами и наноконпозициями на их основе / Кононенко А.С., Кильдеев Т.А., Соловьева А.А. Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2018. № 10. С. 3-8.

9. Воробьева, Г.Я. Химическая стойкость полимерных материалов [Текст] / Г.Я. Воробьева. – М.: Химия, 1981. – 296 с.

10. Моисеев, Ю.В. Химическая стойкость полимеров в агрессивных средах [Текст] / Ю.В. Моисеев, Г.Е. Зайков. – М.: Химия, 1979. – 288 с.

11. ГОСТ 269–66 (СТ СЭВ 983–89). Резина. Общие требования к проведению физико-механических испытаний [Текст]. – Издание (сентябрь 2001 г.) с Изменениями № 1, 2, 3, утвержденными в июле 1980 г., марте 1986 г., апреле 1990 г. (ИУС 11-80, 6-86, 8-90). – Взамен ГОСТ 269–53; введ. 1966-02-08. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 10 с.

12. ГОСТ ISO 230-2-2016. Нормы и правила испытаний станков. Определение точности и повторяемости позиционирования осей станков с числовым программным управлением [Текст] – Переиздание. Апрель, 2020 г. – М.: Стандартиформ, 2020. – 39 с.

13. ГОСТ 12423–66. Пластмассы. Условия кондиционирования и испытания образцов (проб) [Текст]. – Переиздание март 1981 г. с изменением № 1, утвержденным в феврале 1980 г. (ИУС 3-1980 г.); введ. 1966-12-20. – М.: Изд-во стандартов, 2006. – 6 с.

Кононенко Александр Сергеевич

МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва
доктор технических наук, профессор кафедры
«Технологии обработки материалов»
105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1
Тел. 8 (926) 147-17-50
E-mail: as-kononenko@yandex.ru

Хаббатуллин Роман Радикович

МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва
аспирант кафедры «Технологии обработки
материалов»
105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1
Тел. 8 (964) 530-67-38
E-mail: khabbatullin.roman@yandex.ru

R.R. KHABBATULLIN, A.S. KONONENKO

**STUDY OF THE RESISTANCE OF CYANACRYLATE ADHESIVES
TO VIBRATIONS AND AGGRESSIVE ENVIRONMENTS
FOR DEFORMATION-FREE FIXATION OF WORKPIECES
ON METAL CUTTING MACHINES**

Abstract. *The possibilities of using a polymer adhesive composition modified with nano-sized particles for deformation-free fixation of workpieces on metal-cutting machines are considered. The methods and results of studies of the adhesive strength of polymer compositions after vibration exposure and the resistance of polymers to the effects of lubricating and cooling technological media are presented.*

Keywords: *Cyanoacrylate polymer, adhesion, nanocomposition, vibration resistance, deformation-free fixation.*

BIBLIOGRAPHY

1. Poltavets O.F., Zimin V.V., Dilanyan K.R. Puti povysheniya tochnosti obrabotki korpusnyh detalej na mnogocelevyh stankah [Ways to improve the accuracy of processing body parts on multi-purpose machines]. Review. S-3. Technology and production automation. М.: TsNIITEIavtoselkhoz mash. 1990. 90 p.

2. Nadezhnost tekhnicheskikh sistem [Reliability of technical systems] / E.A. Puchin, E.A. Lisunov, A.V. Chepurin, I.N. Kravchenko and others - М.: KolosS Publishing House, 2010. - 318 p.

3. Kononenko, A. S. Teoreticheskoe obosnovanie usloviya primenimosti sposoba bezdeformacionnoj fiksacii zagotovok s pomoshchyu polimernogo kleya pri mekhanicheskoy obrabotke na frezernykh stankah s CHPU [Theoretical substantiation of the conditions for the applicability of the method of deformation-free fixation of workpieces using polymer glue during mechanical processing on CNC milling machines] / A. S. Kononenko, R. R. Khabbatullin // Adhesives. Sealants. Technologies. – 2021. – No. 12. – P. 20-26.
4. Kononenko A.S. Stojkost k stareniju i vibracionnym nagruzkam polimernogo kompozicionnogo materiala na osnove anaerobnogo germetika «AN-111» [Resistance to aging and vibration loads of a polymer composite material based on anaerobic sealant «AN-111»] / A.S. Kononenko, D.N. Psarev, A.B. Rozhnov. // "Bulletin of the Federal State Educational Institution of Higher Professional Education "Moscow State Agricultural Engineering University named after V.P. Goryachkina." 2019. No. 5 (93). pp. 4-8.
5. GOST R ISO 10813-1-2011. Vibraciya. Rukovodstvo po vyboru vibrostendov [Vibration. Guide to choosing vibration stands] M: Standartinform, 2012. - 28 p.
6. Kononenko, A. S. Opredelenie optimalnogo sostava cianakrilatnoj nanokompozicii dlya bezdeformacionnoj fiksacii zagotovok na frezernykh stankah s CHPU [Determination of the optimal composition of cyanoacrylate nanocomposition for deformation-free fixation of workpieces on CNC milling machines] / A. S. Kononenko, R. R. Khabbatullin, M. A. Serezhkin // Repair. Recovery. Modernization. – 2021. – No. 4. – P. 34-39.
7. GOST 14760-69. Klei. Metod opredeleniya prochnosti pri otryve [Adhesives. Method for determining peel strength]. - Moscow: Standards Publishing House, 1988.
8. Kononenko, A.S. Osobennosti vosstanovleniya shpindelnykh valov metallorzhushchih stankov polimernymi materialami i nanokompoziciyami na ih osnove [Features of restoration of spindle shafts of metal-cutting machines with polymeric materials and nanocompositions based on them] / Kononenko A.S., Kildeev T.A., Solovyova A.A. Repair. Recovery. Modernization. 2018. No. 10. P. 3-8.
9. Vorobyova, G.Ya. Himicheskaya stojkost polimernykh materialov [Chemical resistance of polymer materials] [Text] / G.Ya. Vorobyova. – M.: Chemistry, 1981. – 296 p.
10. Moiseev, Yu.V. Himicheskaya stojkost polimerov v agressivnykh sredah [Chemical resistance of polymers in aggressive environments] [Text] / Yu.V. Moiseev, G.E. Zaikov. – M.: Chemistry, 1979. – 288 p.
11. GOST 269–66 (ST SEV 983–89). Rezina. Obshchie trebovaniya k provedeniyu fiziko-mekhanicheskikh ispytaniy [Rubber. General requirements for physical and mechanical tests] [Text]. – Edition (September 2001) with Amendments No. 1, 2, 3, approved in July 1980, March 1986, April 1990 (IUS 11-80, 6-86, 8-90). – Instead of GOST 269–53; input 1966-02-08. – M.: Standards Publishing House, 2001. – 10 p.
12. GOST ISO 230-2-2016. Normy i pravila ispytaniy stankov. Opredelenie tochnosti i povtoryaemosti pozicionirovaniya osey stankov s chislovyim programmym upravleniem [Norms and rules for testing machine tools. Determination of the accuracy and repeatability of positioning of the axes of machine tools with numerical control] [Text] – Reissue. April, 2020 – M.: Standartinform, 2020. – 39 p.
13. GOST 12423–66. Plastmassy. Usloviya kondicionirovaniya i ispytaniya obrazcov (prob) [Plastics. Conditioning conditions and testing of samples (samples)] [Text]. – Reissue March 1981 with change No. 1, approved in February 1980 (IUS 3-1980); input 1966-12-20. – M.: Standards Publishing House, 2006. – 6 p.

Kononenko Alexander Sergeevich

Bauman Moscow State Technical University, Moscow
 Doctor of Science, Professor of «Materials Processing Technologies» department
 105005, Moscow, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1
 Tel. 8 (926) 147-17-50
 E-mail: as-kononenko@yandex.ru

Khabbatullin Roman Radikovich

Bauman Moscow State Technical University, Moscow
 Postgraduate student of «Materials Processing Technologies» department
 105005, Moscow, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1
 Tel. 8 (964) 530-67-38
 E-mail: khabbatullin.roman@yandex.ru

© P.P. Хаббатуллин, А.С. Кононенко, 2023

УДК 620.186.4 + 620.186.8

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-362-6-28-42

П.Г. МОРЕВ, К.И. КАПЫРИН, С.Ю. РАДЧЕНКО, В.А. ГОЛЕНКОВ

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕХНОЛОГИИ ИПД
 (по материалам периодики)

Аннотация. Обзор посвящён наиболее трудным и нерешённым до сих пор проблемам технологии интенсивной пластической деформации (ИПД), относящимся к области ИПД материаловедения, это: закон Холла-Пётча; поведение и роль носителей пластической деформации – дислокаций, дисклинаций, двойников, полос сдвига; предельное упрочнение и предельное дробление зерна. Представлены фотографии ИПД микроструктур и результаты исследования механических свойств. Обращает на себя внимание резкий

контраст между многообразием и сложностью этих структур и относительной простотой описания эволюции их свойств в ИПД процессах. Обозначены возможные пути решения рассмотренных проблем.

Ключевые слова: интенсивная пластическая деформация, Холла-Пётча закон, дислокация, дисклинация, деформационный двойник, дробление зерна, микроструктура, полоса сдвига.

Работа выполнена в ОГУ имени И.С. Тургенева в рамках государственного задания № 075-01466-23-07 на 2023 год и на плановый период 2024 и 2025 годов от 24.11.2023 г., проект № FSGN-2023-002 (1023082800024-8-1.3.2).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. E.O. Hall The deformation and ageing of mild steel. 3. Discussion of results //Proceedings of the Physical Society of London B 1951, 64: 747–753.
2. N.G. Petch The cleavage strength of polycrystals //Journal of Iron & Steel Institute 1953, 174: 25–28.
3. P.W. Bridgman //Journal of Applied Physics 1943, 14:273.
4. P.W. Bridgman //Journal of Applied Physics 1946, 17:692.
5. Утяшев Ф.З. Наноструктурирование металлических материалов Методами интенсивной пластической деформации // Физика и техника высоких давлений 2010, том 20, № 1, стр. 7 – 25.
6. R.Z. Valiev, N.A. Krasilnikov, N.K. Tsenev, Plastic deformation of alloys with submicron-grained structure Materials Science and Engineering: A, v/137, 35 (1991).
7. J.D. Eshelby, F.C. Frank, F.R. Nabarro The equilibrium of linear arrays of dislocations //Philosophical Magazine 1951, 42: 351–364.
8. S. Cheng, J.A. Spencer, W.W. Milligan Strength and tension/compression asymmetry in nanostructured and ultra-fine grain metals //Acta Materialia 2003, 51: 4505–4518.
9. Y. Estrin, H.S. Kim, F.R. Nabarro A comment on the role of Frank-Read sources in plasticity of nanomaterials // Acta Materialia 2007, 55: 401–407.
10. Y. Estrin, H. Mecking A unified phenomenological description of work hardening and creep based on one-parameter models // Acta Metallurgica 1984, 32: 57–70.
11. Y. Estrin, A. Vinogradov Extreme grain refinement by severe plastic deformation: a wealth of challenging science // Acta Materialia 2013, 61: 782–817.
12. M. J. Starink Dislocation versus grain boundary strengthening in SPD processed metals: Noncausal relation between grain size and strength of deformed polycrystals //Materials Science and Engineering A 2017, 705: 42–45.
13. J. Gubicza Characterization Methods of Lattice Defects, Chapter 2 in Defect Structure and Properties of Nanomaterials (2nd Edition), Woodhead Publishing, 2017, p 27–57.
14. S. N. Naik, S. M. Walley The Hall–Petch and inverse Hall–Petch relations and the hardness of nanocrystalline metals //Journal of Materials Science 2020, 55:2661–2681.
15. A. Gouldstone, N. Chollacoop, M. Dao, J. Li, A.M. Minor, Y.L. Shen Indentation across size scales and disciplines: recent developments in experimentation and modeling 2007, Acta Materialia, 55:4015–4039.
16. I. Brooks, P. Lin, G. Palumbo, G.D. Hibbard, U. Erb Analysis of hardness-tensile strength relationships for electroformed nanocrystalline materials // Materials Science and Engineering A 2008, 491:412–419.
17. P. Zhang, S.X. Li, Z.F. Zhang General relationship between strength and hardness // Materials Science and Engineering A 2011, 529:62–73.
18. Малыгин Г.А. Процессы самоорганизации дислокаций и пластичность кристаллов //Успехи Физических Наук 1999, 169:979–1010.
19. U.F. Kocks, H. Mecking Physics and phenomenology of strain hardening: the FCC case //Progress in Materials Science 2003, 48:171–273.
20. F. Dalla Torre, R. Lapovok, J. Sandlin, P.F. Thomson, C.H.J. Davies, E.V. Pereloma Microstructures and properties of copper processed by equal channel angular extrusion for 1–16 passes // Acta Materialia 2004, 52:4819–4832.
21. L.S. Toth, A. Molinari, Y. Estrin Strain hardening at large strains as predicted by dislocation based polycrystal plasticity model //Journal of Engineering Materials and Technology 2002, 124:71–77.
22. E. Nes, K. Marthinsen Modeling the evolution in microstructure properties during plastic deformation of f.c.c.-metals and alloys – an approach towards a unified model //Materials Science and Engineering A 2002, 322: 176–193.
23. G.A. Malygin Kinetic mechanism of the formation of fragmented dislocation structures upon large plastic deformation //Physics of Solid State 2002, 44:2072–2079.
24. S.J. Basinski, Z.S. Basinski Dislocation in Solids v.4 (Edited by F.R.N. Nabarro) 1979, Amsterdam: North-Holland p. 263.
25. Малыгин Г.А. Прочность и пластичность нанокристаллических материалов и наноразмерных кристаллов //Успехи Физических Наук 2011, 181:1129–1156.
26. A. Vinogradov, Y. Estrin Analytical and numerical approaches to modeling severe plastic deformation // Progress in Materials Science 2018, 95:172–242.
27. S. Mercier, A. Molinari, Y. Estrin Grain size dependence of strength of nanocrystalline materials as exemplified by copper: an elastic-viscoplastic approach //Journal of Materials Science 2007, 42:1455–1465.
28. P.G. Sanders, J.A. Eastman, J.R. Weertman Elastic and tensile behavior of nanocrystalline copper and palladium //Acta Materialia 1997, 45:4019–4025.
29. Поздеев А.А., Трусов П.В., Няшин Ю.И. Большие упругопластические деформации: теория, алгоритмы, приложения. М.: Наука, 1986. 231 с.
30. F. Roters, D. Raabe, G. Gottstein Work hardening in heterogeneous alloys – a microstructural approach based on three internal state variables //Acta Materialia 2000, 48:4181–4025.

31. M. Goerdeler, M. Crumbach, M. Schneider, G. Gottstein, L. Neuman et al. // Materials Science and Engineering A 2004, 387–389: 266–271.
32. В.В. Рыбин Большие упругопластические деформации 1986 М.: Металлургия, 224 с.
33. P. Klimanek, V. Klemm, A. E. Romanov, M. Seefeldt Disclinations in Plastically Deformed Metallic Materials //Advanced Engineering Materials 2001, 3: 877–884.
34. A. E. Romanov, A. L. Kolesnikova Application of disclination concept to solid structures //Progress in Materials Science 2009, 54: 740–769.
35. Колесникова А.Л., Овидко И.А., Романов А.Е. Дислокационно-дисклинационные превращения и обратный закон Холла – Пётча в нанокристаллических материалах //Письма в Журнал Технической Физики 2007, 33 №15: 26–33.
36. Кадич А., Эделен Д. Калибровочная теория дислокаций и дисклинаций 1987, М.: Мир, 167 с.
37. X. H. An, S. D. Wu, Z.G. Wang, Z. F. Zhang Significance of stacking fault energy in bulk nanostructured materials: Insights from Cu and its binary alloys as model systems //Progress in Materials Science 2019, 101: 1–45.
38. X. An, Q. Lin, S. Qu Influence of stacking-fault energy on the accommodation of severe shear strain in Cu-Al alloys during equal-channel angular pressing //Journal of Materials Research 2009, 24: 3636–3646.
39. X.H. An, S.D. Wu, Z.F. Zhang Influence of stacking fault energy on the microstructures, tensile and fatigue properties of nanostructured Cu-Al alloys //Acta Metallurgica Sinica 2017, 50:191–201.
40. Y. Zhang, N.R. Tao, K. Lu Effects of stacking fault energy, strain rate and temperature on microstructure and strength of nanostructured Cu-Al alloys subjected to plastic deformation //Acta Materialia 2011, 59:6048–6058.
41. Морев П.Г., Капырин К.И., Татарченков Н.В., Грядун И.М. К вопросу об упрочнении материалов с линейной диаграммой сжатия // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии 2017, № 3 (323): 102–106.
42. P.G. Morrev, K.I. Kapyrin, L.N. Kurdyumova, I.Yu. Kulikov, N.V. Tatarchenkov V.A. Gordon On construction of SPD stress-strain curve for bronze Cu85–Pb5–Sn5–Zn5 // Materials Science and Engineering: A, 2019, v. 764, p. 137889 (1–9).
43. C. Tomé, G.R. Canova, Kocks U.F., N. Christodoulou, J.J. Jonas The relation between macroscopic and microscopic strain hardening in F.C.C. polycrystals // Acta Metallurgica, 1984, v. 32, p.1637–53.
44. Y. Beygelzimer, L.S.Toth, J.J. Jonas Some physical characteristics of strain hardening in severe plastic deformation // Advanced Engineering Materials, 2015, v.17, p. 1783–91.
45. P.G. Morrev, K.I. Kapyrin, V.A.Gordon, I.M. Gryadunov, S.Yu. Radchenko, D.O. Dorokhov Towards the Problem of Construction an SPD Stress-Strain Curve for Low-Plastic Materials // Key Engineering Materials, 2020, Vol. 839, pp 189–195.
46. Морев П.Г., Капырин К.И., Голенков В.А., Радченко С.Ю., Дорохов Д.О., Прокопов И.О. Построение кривых упрочнения в условиях интенсивной пластической деформации // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2022. № 3 (353). С. 43–53.
47. Taku Sakai, Andrey Belyakov, Rustam Kaibyshev, Hiromi Miura, John J. Jonas Dynamic and post-dynamic recrystallization under hot, cold and severe plastic deformation conditions // Progress in Materials Science 2014, 60: 130–207.

Морев Павел Геннадьевич

ФГБОУ ВПО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орёл.
Кандидат физико-математических наук,
ведущий инженер
302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29
E-mail: paulorel@mail.ru

Капырин Константин Игоревич

Мценский филиал ФГБОУ ВПО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»,
Кандидат технических наук, доцент кафедры инженерно-технических дисциплин
303030, Орловская обл., г. Мценск, ул. Тургенева, 196
E-mail: kostik72@inbox.ru

Радченко Сергей Юрьевич

ФГБОУ ВПО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орёл
Доктор технических наук, профессор, проректор
302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29
E-mail: sur@ostu.ru

Голенков Вячеслав Александрович

ФГБОУ ВПО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орёл,
Доктор технических наук, профессор, руководитель научной школы
302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29
E-mail: president@ostu.ru

P.G. MORREV, K.I. KAPYRIN, S.Y. RADCHENKO, V.A. GOLENKOV

MODERN PROBLEMS OF SPD TECHNOLOGY
(based on periodicals)

Abstract. *The most difficult and unresolved so far problems in severe plastic deformation technology (SPD) are reviewed. These are mainly problems of SPD materials science: the Hall-Petch law; the behavior and role of the plasticity carriers – dislocations, declinations, twins, and shear bands; ultimate strengthen, and ultimate grain refinement. The photo of proper microstructures and the measurement results of their mechanical properties are adduced. Noteworthy is the sharp contrast between the diversity and complexity of these structures and the relative simplicity of describing the evolution of their mechanical properties in SPD processes. The possible ways of solution the problems under consideration are outlined.*

Keywords: *severe plastic deformation, Hall-Petch law, dislocation, disclination, deformation twin, grain refinement, microstructure, shear band*

BIBLIOGRAPHY

1. E.O. Hall The deformation and ageing of mild steel. 3. Discussion of results //Proceedings of the Physical Society of London B 1951, 64: 747–753.
2. N.G. Petch The cleavage strength of polycrystals //Journal of Iron & Steel Institute 1953, 174: 25–28.
3. P.W. Bridgman //Journal of Applied Physics 1943, 14:273.
4. P.W. Bridgman //Journal of Applied Physics 1946, 17:692.
5. F.Z. Utyashev Nanostrukturirovaniye metallicheskih materialov Metodami intensivnoy plasticheskoy deformatsii // Fizika i tekhnika vysokikh davleniy 2010. vol. 20. № 1. pp. 7 – 25.
6. R.Z. Valiev, N.A. Krasilnikov, N.K. Tsenev, Plastic deformation of alloys with submicron-grained structure Materials Science and Engineering: A, v/137, 35 (1991).
7. J.D. Eshelby, F.C. Frank, F.R. Nabarro The equilibrium of linear arrays of dislocations //Philosophical Magazine 1951, 42: 351–364.
8. S. Cheng, J.A. Spencer, W.W. Milligan Strength and tension/compression asymmetry in nanostructured and ultra-fine grain metals //Acta Materialia 2003, 51: 4505–4518.
9. Y. Estrin, H.S. Kim, F.R. Nabarro A comment on the role of Frank-Read sources in plasticity of nanomaterials // Acta Materialia 2007, 55: 401–407.
10. Y. Estrin, H. Mecking A unified phenomenological description of work hardening and creep based on one-parameter models // Acta Metallurgica 1984, 32: 57–70.
11. Y. Estrin, A. Vinogradov Extreme grain refinement by severe plastic deformation: a wealth of challenging science // Acta Materialia 2013, 61: 782–817.
12. M. J. Starink Dislocation versus grain boundary strengthening in SPD processed metals: Noncausal relation between grain size and strength of deformed polycrystals //Materials Science and Engineering A 2017, 705: 42–45.
13. J. Gubicza Characterization Methods of Lattice Defects, Chapter 2 in Defect Structure and Properties of Nanomaterials (2nd Edition), Woodhead Publishing, 2017, p 27–57.
14. S. N. Naik, S. M. Walley The Hall–Petch and inverse Hall–Petch relations and the hardness of nanocrystalline metals //Journal of Materials Science 2020, 55:2661–2681.
15. A. Gouldstone, N. Chollacoop, M. Dao, J. Li, A.M. Minor, Y.L. Shen Indentation across size scales and disciplines: recent developments in experimentation and modeling 2007, Acta Materialia, 55:4015–4039.
16. I. Brooks, P. Lin, G. Palumbo, G.D. Hibbard, U. Erb Analysis of hardness-tensile strength relationships for electroformed nanocrystalline materials // Materials Science and Engineering A 2008, 491:412–419.
17. P. Zhang, S.X. Li, Z.F. Zhang General relationship between strength and hardness // Materials Science and Engineering A 2011, 529:62–73.
18. Malygin G.A. Protsessy samoorganizatsii dislokatsiy i plastichnost kristallov // Uspekhi Fizicheskikh Nauk, 1999, 169:979–1010.
19. U.F. Kocks, H. Mecking Physics and phenomenology of strain hardening: the FCC case //Progress in Materials Science 2003, 48:171–273.
20. F. Dalla Torre, R. Lapovok, J. Sandlin, P.F. Thomson, C.H.J. Davies, E.V. Pereloma Microstructures and properties of copper processed by equal channel angular extrusion for 1–16 passes // Acta Materialia 2004, 52:4819–4832.
21. L.S. Toth, A. Molinari, Y. Estrin Strain hardening at large strains as predicted by dislocation based polycrystal plasticity model //Journal of Engineering Materials and Technology 2002, 124:71–77.
22. E. Nes, K. Marthinsen Modeling the evolution in microstructure properties during plastic deformation of f.c.c.-metals and alloys – an approach towards a unified model //Materials Science and Engineering A 2002, 322: 176–193.
23. G.A. Malygin Kinetic mechanism of the formation of fragmented dislocation structures upon large plastic deformation //Physics of Solid State 2002, 44:2072–2079.
24. S.J. Basinski, Z.S. Basinski Dislocation in Solids v.4 (Edited by F.R.N. Nabarro) 1979, Amsterdam: North-Holland p. 263.
25. Malygin G.A. Prochnost i plastichnost nanokristallicheskih materialov i nanorazmernykh kristallov //Uspekhi Fizicheskikh Nauk, 2011, 181:1129–1156.
26. A. Vinogradov, Y. Estrin Analytical and numerical approaches to modeling severe plastic deformation // Progress in Materials Science 2018, 95:172–242.
27. S. Mercier, A. Molinari, Y. Estrin Grain size dependence of strength of nanocrystalline materials as exemplified by copper: an elastic-viscoplastic approach //Journal of Materials Science 2007, 42:1455–1465.
28. P.G. Sanders, J.A. Eastman, J.R. Weertman Elastic and tensile behavior of nanocrystalline copper and palladium //Acta Materialia 1997, 45:4019–4025.
29. A.A. Pozdeyev, P.V. Trusov, Yu.I. Nyashin Bolshiye uprugoplasticheskiye deformatsii: teoriya. algoritmy. prilozheniya. M.: Nauka, 1986. 231 p.
30. F. Roters, D. Raabe, G. Gottstein Work hardening in heterogeneous alloys – a microstructural approach based on three internal state variables //Acta Materialia 2000, 48:4181–4025.
31. M. Goerdeler, M. Crumbach, M. Schneider, G. Gottstein, L. Neuman at al. // Materials Science and Engineering A 2004, 387–389: 266–271.
32. V.V. Rybin Bolshiye uprugoplasticheskiye deformatsii 1986 M.: Metallurgiya, 224 p.
33. P. Klimanek, V. Klemm, A. E. Romanov, M. Seefeldt Disclinations in Plastically Deformed Metallic Materials //Advanced Engineering Materials 2001, 3: 877–884.

34. A. E. Romanov, A. L. Kolesnikova Application of disclination concept to solid structures //Progress in Materials Science 2009, 54: 740–769.
35. A.L. Kolesnikova, I.A. Ovidko, A.E. Romanov Dislokatsionno–disklinatsionnyye prevrashcheniya i obratnyy zakon Kholla – Petcha v nanokristallicheskih materialakh // Pisma v Zhurnal Tekhnicheskoy Fiziki, 2007, 33 №15: 26–33.
36. A. Kadich, D. Edelen Kalibrovochnaya teoriya dislokatsiy i disklinatsiy 1987. M.: Mir. 167 p.
37. X. H. An, S. D. Wu, Z.G. Wang, Z. F. Zhang Significance of stacking fault energy in bulk nanostructured materials: Insights from Cu and its binary alloys as model systems //Progress in Materials Science 2019, 101: 1–45.
38. X. An, Q. Lin, S. Qu Influence of stacking-fault energy on the accommodation of severe shear strain in Cu-Al alloys during equal-channel angular pressing //Journal of Materials Research 2009, 24: 3636–3646.
39. X.H. An, S.D. Wu, Z.F. Zhang Influence of stacking fault energy on the microstructures, tensile and fatigue properties of nanostructured Cu-Al alloys //Acta Metallurgica Sinica 2017, 50:191–201.
40. Y. Zhang, N.R. Tao, K. Lu Effects of stacking fault energy, strain rate and temperature on microstructure and strength of nanostructured Cu-Al alloys subjected to plastic deformation //Acta Materialia 2011, 59:6048–6058.
41. P.G. Morev, K.I. Kapyrin, N.V. Tatarchenkov, I.M. Gryadunov K voprosu ob uprochnenii materialov s lineynoy diagrammy szhatiya // Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii 2017. № 3 (323): 102–106.
42. P.G. Morrev, K.I. Kapyrin, L.N. Kurdyumova, I.Yu. Kulikov, N.V. Tatarchenkov V.A. Gordon On construction of SPD stress-strain curve for bronze Cu85–Pb5–Sn5–Zn5 // Materials Science and Engineering: A, 2019, v. 764, p. 137889 (1–9).
43. C. Tomé, G.R. Canova, Kocks U.F., N. Christodoulou, J.J. Jonas The relation between macroscopic and microscopic strain hardening in F.C.C. polycrystals // Acta Metallurgica, 1984, v. 32, p.1637–53.
44. Y. Beygelzimer, L.S.Toth, J.J. Jonas Some physical characteristics of strain hardening in severe plastic deformation // Advanced Engineering Materials, 2015, v.17, p. 1783–91.
45. P.G. Morrev, K.I. Kapyrin, V.A.Gordon, I.M. Gryadunov, S.Yu. Radchenko, D.O. Dorokhov Towards the Problem of Construction an SPD Stress-Strain Curve for Low-Plastic Materials // Key Engineering Materials, 2020, Vol. 839, pp 189–195.
46. P.G. Morev, K.I. Kapyrin, V.A. Golenkov, S.Yu. Radchenko, D.O. Dorokhov, I.O. Prokopov Postroyeniye krivykh uprochneniya v usloviyakh intensivnoy plasticheskoy deformatsii // Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. 2022. № 3 (353). S. 43–53.
47. Taku Sakai, Andrey Belyakov, Rustam Kaibyshev, Hiromi Miura, John J. Jonas Dynamic and post-dynamic recrystallization under hot, cold and severe plastic deformation conditions // Progress in Materials Science 2014, 60: 130–207.

Morev Pavel Gennadievich

«Orel State University», Orel
Ph.D. engineer-researcher Scientific research department
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
E-mail: paulorel@mail.ru

Kapyrin Konstantin Igorerovich

Mtsensk Branch «Orel State University», Ph.D.,
Docent department of the general engineering disciplines
303030, The Oryol region, Mtsensk, street Turgeneva, 196
E-mail: kostik72@inbox.ru

Radchenko Sergey Yurievich

«Orel State University», Orel
Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-Rector
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
E-mail: sur@ostu.ru

Golenkov Vyacheslav Aleksandrovich

«Orel State University», Orel
Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the
Scientific School
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
E-mail: president@ostu.ru

© П.Г. Морев, К.И. Капырин, С.Ю. Радченко, В.А. Голенков, 2023

УДК 621.791.923;5;04;927

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-362-6-43-51

А.М. КОЛОСОВСКИЙ, А.С. РОЖКОВ, Н.М. ОЖЕГОВ, В.Е. ЧЕРКАСОВ

УПРОЧНЕНИЕ РАБОЧИХ ОРГАНОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

Аннотация. В статье рассмотрено совершенствование технологии восстановления и повышения надежности и долговечности быстроизнашивающихся деталей почвообрабатывающих машин, каким является технология дуговой наплавки твердыми сплавами, включающая нанесение деформирующих покрытий в виде отдельных полос, валиков или точек. Установлена наиболее стойкая к износу схема нанесения твердых сплавов на тело долота культиватора и лемеха плуга при известном типе почвы - дерново-слабоподзолистая, глееватая и гранулометрическом составе – лёгкий суглинок. Наплавки износостойких материалов на рабочие органы сельскохозяйственных машин работают и оказывают сопротивление физическому износу, обеспечивает ресурса до 40%, что обеспечивает существенную экономию при закупке данных рабочих органов для сельхозмашин.

Ключевые слова: технология, восстановление, наплавка, покрытие, сплав, долото, лемех, износ, ресурс.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Система испытаний сельскохозяйственной техники. ФГБУ «Государственный испытательный центр» Минсельхоза РФ- Текст: электронный. - URL: www.sistemamis.ru;
2. Гончаренко, В.В. Технология восстановления и упрочнения лемехов плугов металлокерамическими пластинами // Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. ФГОУ ВПО РГАЗУ, Москва -2007. – 16 с. - Текст: электронный. - URL: <https://www.dissercat.com/content/tehnologiya-vosstanovleniya-i-uprochneniya-lemekhov-plugov-metallokeramicheskimi-plastinami>;
3. Гуревич, Ю. Е. Расчет и основы конструирования деталей машин: учебник: в 2 т. Том 1. Исходные положения. Соединения деталей машин. Детали передач / Ю. Е. Гуревич, А. Г. Схиртладзе. – Москва: КУРС: ИНФРАМ, 2020. – 240 с. - ISBN 978-5-906923-29-5. - Текст: электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1073038>;
4. Зангиев, А. А. Практикум по эксплуатации машинно-тракторного парка: учебное пособие / А. А. Зангиев, А. Н. Скороходов. – 4-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2020. – 464 с.
5. Зуев А.А. Технология машиностроения: учебник для вузов по спец.311900; 2-е изд., испр, и доп. СПб.: «Лань», 2003. 496 с.
6. Колосовский А.М. Пути повышения надежности и долговечности ответственных деталей машин на основе перспективных материалов и технологий // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2020. № 5 (343). С. 46-54;
7. Колосовский А.М., Тристанова Е.Б., Черкашина Е.Ф. Анализ современных лазерных методов упрочнения деталей машин и инструмента // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2021. № 1 (345). С. 53-59;
8. Колосовский А.М., Вихтевский В.И., Тристанова Е.Б., Черкашина Е.Ф. Анализ развития комбинированных электрофизических методов упрочнения деталей машин и инструмента // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2021. № 2 (346). С. 77-85;
9. Новиков, В. С. Обеспечение долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин: монография / В.С. Новиков. – Москва: ИНФРА-М, 2019. – 155 с.;
10. Ожегов Н.М., Рожков А.С., Садаускас В.Б. Эксплуатационные испытания наплавленных лемехов // Контентус. 2013. № 11 (16). С. 89-93;
11. Ожегов Н.М., Суховский Д.А. Особенности нанесения тонкослойных покрытий на рабочие органы сельскохозяйственных машин высокоскоростной наплавкой. Известия Международной академии аграрного образования. 2021. № S55. С. 53-56;
12. Рожков А.С., Архипов В.В., Кирякин Н.С., Черток М.Е. Совершенствование элементов технологии упрочнения рабочих органов сельскохозяйственных машин. E-Scio. 2017. №7 (10);
13. Рожков А.С., Архипов В.В. Совершенствование элементов технологии упрочнения рабочих органов сельскохозяйственных машин. В сборнике: Балтийский Морской Форум, материалы VI Международного Балтийского морского форума: в 6 т. 2018. С. 168-174.
14. Ряднов, А. И. Эксплуатация машинно-тракторного парка: учебное пособие / А. И. Ряднов, Р. В. Шарипов, С. В. Тронев. – Волгоград: Волгоградский ГАУ, 2019. – 140 с.;
15. Сайт производителя Т590 СпецЭлектрод, Москва. - Текст: электронный. - URL: <http://www.spetselectrode.ru/electrod/t590.htm>;
16. Сибикин, Ю. Д. Охрана труда и электробезопасность: учебное пособие / Ю. Д. Сибикин. - 4-е изд., перераб. и доп. - Москва; Вологда: ИнфраИнженерия, 2021. - 312 с. - ISBN 978-5-9729-0577-5. - Текст: электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1836201>;
17. Схиртладзе, А. Г. Сопrotивление материалов: учебник: В 2 ч. Ч. 1 / А.Г. Схиртладзе, А.В. Чеканин, В.В. Волков. - Москва: КУРС: ИНФРА-М, 2018. - 272 с. - ISBN 978-5-906923-65-3. - Текст: электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/933939>;
18. Теплинский, Н. И. Основы механизации сельскохозяйственного производства: учебно-методическое пособие / Н. И. Теплинский, А. И., Королев, Е. Е. Шередеккина. – Воронеж: ВГАУ, 2017. – 107 с.;
19. Шалимов, М. П. Сварка: введение в специальность: учебное пособие / М.П. Шалимов, В.И. Панов, Е.Б. Вотинова. – Москва: ИНФРА-М, 2022. – 309 с.

Колосовский Андрей Михайлович

Калининградский филиал Санкт-Петербургского государственного аграрного университета (КФ СПбГАУ)
Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры механизации сельского хозяйства
Тел.+7(921) 617-61-64
238630, Россия, Калининградская обл., г. Полесск, ул. Советская, д. 10
E-mail: andrew.kol61@gmail.com

Рожков Александр Сергеевич

Калининградский филиал Санкт-Петербургского государственного аграрного университета (КФ СПбГАУ)
Кандидат технических наук, директор Калининградского филиала, зав.кафедрой механизации сельского хозяйства
Тел.+7(904)617-80-69
238630, Россия, Калининградская обл., г. Полесск, ул. Советская, д. 10
E-mail: alex-ser-rozhkov@mail.ru

Ожегов Николай Михайлович

Санкт-Петербургский государственный аграрный университет (СПбГАУ)
Тел. +7(812)470-04-22
Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры автомобилей, тракторов и технического сервиса
196601, Санкт-Петербург, Пушкин, Петербургское шоссе, 2
E-mail: kaf.atts@spbgau.ru

Черкасов Валерий Евгеньевич

Калининградский филиал Санкт-Петербургского государственного аграрного университета (КФ СПбГАУ)
Тел. (+7921) 712-67-22
Старший преподаватель кафедры механизации сельского хозяйства
238630, Россия, Калининградская обл., г. Полесск, ул. Советская, д. 10
E-mail: cher_val@mail.ru

A.M. KOLOSOVSKII, A.S. ROZHKOVA, N.M. OZHEGOVA, V.E. CHERKASOVA

THE HARDENING OF AGRICULTURAL MACHINES WORKING BODIES

Abstract. *The article discusses the improvement of the technology for restoring and improving the reliability and durability of wearing parts of tillage machines, which is the technology of arc surfacing with hard alloys, including the application of deforming coatings in the form of separate strips, rollers or dots. The most wear-resistant scheme of applying hard alloys to the body of the cultivator bit and the ploughshare has been established with a certain type of soil - sod-weakly podzolic, gleyish and granulometric composition - light loam. Surfacing of wear-resistant materials on the working bodies of agricultural machines work and resist physical wear, provides an increase in resource up to 40%, which provides significant savings in the purchase of these working bodies for agricultural machines.*

Keywords: *technology, restoration, surfacing, coating, alloy, chisel, ploughshare, wear, resource.*

BIBLIOGRAPHY

1. Sistema ispytaniy selskokhozyaystvennoy tekhniki. FGBU «Gosudarstvennyy ispytatelnyy tsentr» Minselkhoza RF- Tekst: elektronnyy. - URL: www.sistemamis.ru;
2. Goncharenko, V.V. Tekhnologiya vosstanovleniya i uprochneniya lemekhov plugov metallokeramicheskimi plastinami//Avtoref. diss. na soisk. uch. step. kand. tekhn. nauk. FGOU VPO RGAZU, Moskva -2007. – 16 s. - Tekst: elektronnyy. - URL: https://www.dissercat.com/content/tekhnologiya-vosstanovleniya-i-uprochneniya-lemekhov-plugov-metallokeramicheskimi-plastinami;
3. Gurevich, Yu. Ye. Raschet i osnovy konstruirovaniya detaley mashin: uchebnik: v 2 t. Tom 1. Iskhodnye polozheniya. Soedineniya detaley mashin. Detali peredach / Yu. Ye. Gurevich, A. G. Skhirtladze. – Moskva: KURS: INFRAM, 2020. – 240 s. - ISBN 978-5-906923-29-5. - Tekst: elektronnyy. - URL: https://znanium.com/catalog/product/1073038;
4. Zangiev, A. A. Praktikum po ekspluatatsii mashinno-traktornogo parka: uchebnoe posobie / A. A. Zangiev, A. N. Skorokhodov. – 4-e izd., ster. – Sankt-Peterburg: Lan, 2020. – 464 s.
5. Zuev A.A. Tekhnologiya mashinostroeniya: uchebnik dlya vuzov po spets.311900; 2-e izd., ispr, i dop. SPb.: «Lan», 2003. 496 s.
6. Kolosovskiy A.M. Puti povysheniya nadezhnosti i dolgovechnosti otvetstvennykh detaley mashin na osnove perspektivnykh materialov i tekhnologiy//Fundamentalnye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. 2020. № 5 (343). S. 46-54;
7. Kolosovskiy A.M., Tristanova Ye.B., Cherkashina Ye.F. Analiz sovremennykh lazernykh metodov uprochneniya detaley mashin i instrumenta//Fundamentalnye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. 2021. № 1 (345). S. 53-59;
8. Kolosovskiy A.M., Vikhtevskiy V.I., Tristanova Ye.B., Cherkashina Ye.F. Analiz razvitiya kombinirovannykh elektrofizicheskikh metodov uprochneniya detaley mashin i instrumenta//Fundamentalnye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. 2021. № 2 (346). S. 77-85;
9. Novikov, V. S. Obespechenie dolgovechnosti rabochikh organov pochvoobrabatyvayushchikh mashin: monografiya / V.S. Novikov. – Moskva: INFRA-M, 2019. – 155 s.;

10. Ozhegov N.M., Rozhkov A.S., Sadauskas V.B. Eksploatatsionnye ispytaniya naplavlennykh lemekhov // Kontentus. 2013. № 11 (16). S. 89-93;
11. Ozhegov N.M., Sukhovskiy D.A. Osobennosti naneseniya tonkosloynnykh pokrytiy na rabochie organy selskokhozyaystvennykh mashin vysokoskorostnoy naplavkoy. Izvestiya Mezhdunarodnoy akademii agrarnogo obrazovaniya. 2021. № S55. S. 53-56;
12. Rozhkov A.S., Arkhipov V.V., Kiryakin N.S., Chertok M.Ye. Sovershenstvovanie elementov tekhnologii uprochneniya rabochikh organov selskokhozyaystvennykh mashin. E-Scio. 2017. №7 (10);
13. Rozhkov A.S., Arkhipov V.V. Sovershenstvovanie elementov tekhnologii uprochneniya rabochikh organov selskokhozyaystvennykh mashin. V sbornike: Baltiyskiy Morskoy Forum, materialy VI Mezhdunarodnogo Baltiyskogo morskogo foruma: v 6 t. 2018. S. 168-174.
14. Ryadnov, A. I. Eksploatatsiya mashinno-traktornogo parka: uchebnoe posobie / A. I. Ryadnov, R. V. Sharipov, S. V. Tronev. – Volgograd: Volgogradskiy GAU, 2019. – 140 s.;
15. Sayt proizvoditelya T590 SpetsElektrod, Moskva. - Tekst: elektronnyy. - URL: <http://www.spetselectrode.ru/electrod/t590.htm>;
16. Sibikin, Yu. D. Okhrana truda i elektrobezopasnost: uchebnoe posobie / Yu. D. Sibikin. - 4-e izd., pererab. i dop. - Moskva; Volodga: InfraInzheneriya, 2021. - 312 s. - ISBN 978-5-9729-0577-5. - Tekst: elektronnyy. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1836201>;
17. Skhirtladze, A. G. Soprotivlenie materialov: uchebnik: V 2 ch. Ch. 1 / A.G. Skhirtladze, A.V. Chekanin, V.V. Volkov. - Moskva: KURS: INFRA-M, 2018. - 272 s. - ISBN 978-5-906923-65-3. - Tekst: elektronnyy. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/933939>;
18. Teplinskiy, N. I. Osnovy mekhanizatsii selskokhozyaystvennogo proizvodstva: uchebno-metodicheskoe posobie / N. I. Teplinskiy, A. I., Korolev, Ye. Ye. Sheredekina. – Voronezh: VGU, 2017. – 107 s.;
19. Shalimov, M. P. Svarka: vvedenie v spetsialnost: uchebnoe posobie / M.P. Shalimov, V.I. Panov, Ye.B. Votnova. – Moskva: INFRA-M, 2022. – 309 s.

Kolosovskii Andrei Mikhailovich

St. Petersburg State Agrarian University, Kaliningrad Branch
PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Agricultural Mechanization
238630, Russia, Kaliningrad region, Polessk, Sovetskaya str., 10
Ph. +7(921) 617-61-64
E-mail: andrew.kol61@gmail.com

Rozhkov Aleksandr Sergeevich

St. Petersburg State Agrarian University, Kaliningrad Branch
PhD, Director of the Kaliningrad Branch, Head of the Department of Agricultural Mechanization
238630, Russia, Kaliningrad region, Polessk, Sovetskaya str., 10
Ph. +7(904)617-80-69
E-mail: alex-ser-rozhkov@mail.ru

Ozhegov Nikolai Mikhailovich

St. Petersburg State Agrarian University
Dr. Tech. Sc., Professor, Professor of the Department of Automobiles, Tractors and Technical Service
196601, St. Petersburg, Pushkin, Peterburgskoe shosse, 2
Ph. +7(812)470-04-22
E-mail: kaf.att@spbgau.ru

Cherkasov Valerii Evgenevich

St. Petersburg State Agrarian University, Kaliningrad Branch
Senior Lecturer of the Department of Agricultural Mechanization
238630, Russia, Kaliningrad region, Polessk, Sovetskaya str., 10
Ph. (+7921) 712-67-22
E-mail: cher_val@mail.ru

© А.М. Колосовский, А.С. Рожков, Н.М. Ожегов, В.Е. Черкасов, 2023

УДК 517.95

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-362-6-52-60

В.В. ПЕТУХОВА, А.И. ОГОРОДНИКОВ

РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ В КОМПЬЮТЕРНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Аннотация. В данной работе были проанализированы различные методы решения обратной задачи теплопроводности для восстановления свойств песчаной смеси, применяемой в технологии изготовления литейных форм способом 3D-печати. Исходные данные для решения обратной задачи получены в натурных и вычислительных экспериментах. В натурных экспериментах наблюдали за кристаллизацией стали в цилиндрической литейной форме, выполненной из исследуемой песчаной смеси, и регистрировали показания установленных в форме термопар. В вычислительных экспериментах решали прямую задачу теплопроводности, симулировали аналогичный натурному эксперименту теплофизический процесс на конечно-разностной сетке и фиксировали изменение температуры в точках размещения термопар. Решением обратной задачи методом

Левенберга–Марквардта совместили экспериментальные и расчетные температурные кривые.

Ключевые слова: обратная задача, уравнение теплопроводности, технологические процессы, литейные формы, аддитивные технологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Огородников И. Н. Введение в обратные задачи физической диагностики / И. Н. Огородников. – Екатеринбург: Уральский университет, 2017. – 128 с.
2. Огородникова О. М. Компьютерное моделирование теплового режима изложницы при кристаллизации слитков черновой меди / О. М. Огородникова, Д. Г. Рябов, В. С. Радя // Цветные металлы. – 2013. – № 5 (845). – С. 89–93.
3. Огородникова О. М. Формирование высокотемпературных дефектов в двухфазных металлических структурах / О. М. Огородникова // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2011. – Т. 54, № 1–3. – С. 144–149.
4. Огородникова О. М. Напряженно–деформированное состояние металла в эффективном интервале кристаллизации / О. М. Огородникова // Литейное производство. – 2012. – № 9. – С. 21–24.
5. Алифанов О. М. Обратные задачи теплообмена / О. М. Алифанов. – М.: Машиностроение, 1988. – 280 с.
6. Бек Дж. Некорректные обратные задачи теплопроводности / Дж. Бек, Б. Блакуэлл, Ч. Сент–Клэр. – М.: Мир, 1989. – 312 с.
7. Ватульян А.О. Об особенностях решения коэффициентной обратной задачи теплопроводности для двусоставного слоя / А.О. Ватульян, С.А. Нестеров // Известия Саратовского университета. Серия: Математика. Механика. Информатика. – 2019. – Т. 19, вып. 4. – С. 409–423.
8. Огородникова О. М. О параллельном вычислении температурных полей на послойной конечно–элементной сетке / О. М. Огородникова // Литейное производство. – 2014. – № 11. – С. 30–32.
9. Огородникова О. М. Расчетно–экспериментальная корректировка баз данных для компьютерного моделирования литейных технологий / О. М. Огородникова, С. В. Мартыненко // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2015. – Т. 81, № 10. – С. 40–43.
10. Кабанихин С. И. Обратные и некорректные задачи / С. И. Кабанихин. – Новосибирск: Сибирское научное издательство, 2009. – 457 с.
11. Латтес Р. Метод квазиобращения и его приложения / Р. Латтес, Ж.Л. Лионс. – М.: Мир, 1970. – 336 с.
12. Тихонов А. Н. Нелинейные некорректные задачи / А. Н. Тихонов, А. С. Леонов, А. Г. Ягола. – М.: Наука, 1995. – 310 с.
13. Огородникова О.М. Применение алгоритма Левенберга–Марквардта в компьютерном моделировании литейных дефектов / О. М. Огородникова, С. В. Мартыненко // Дефектоскопия. – 2015. – № 5. – С. 63–68.
14. Ogorodnikova O.M. Reconstruction of thermo–physical properties to improve material database for casting simulation / O.M. Ogorodnikova, S.V. Yeltsin, S.V. Martynenko // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. – Vol. 971. – AN 032089.
15. Ogorodnikova O.M. Simulation of centrifugal casting and structure of Fe–Ni–C– super–invar alloy / O.M. Ogorodnikova, V.I. Chermensky, I.V. Konchakovsky // Solid State Phenomena. – 2017. – V. 265. – P. 1142–1147.
16. Огородникова О.М. Консолидированный компьютерный анализ отливки, технологии литья и литейного сплава / О. М. Огородникова // Литейное производство. – 2015. – № 2. – С. 32–34.

Виктория Васильевна Петухова

Уральский федеральный университет,
студентка магистратуры
г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19
Тел: +7(902) 262-04-39
Petukhova.Viktoria@bk.ru

Алексей Игоревич Огородников

Уральский федеральный университет,
кандидат технических наук,
доцент кафедры электронного машиностроения
г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19
Тел: +7 (912) 218-17-25
A.I.Ogorodnikov@urfu.ru

V.V. PETUKHOVA, A.I. OGORODNIKOV

SOLVING THE INVERSE PROBLEM OF HEAT CONDUCTION FOR SIMULATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES

Abstract. *In this work, various methods for solving the inverse problem of heat conduction were investigated to restore the properties of the sand mixture used in the technology of manufacturing molds by 3D printing. The initial data for solving the inverse problem were obtained in natural and computational experiments. In natural experiments, the*

crystallization of steel was observed in the cylindrical mold made from the sand mixture, and the temperatures from the thermocouples installed in the mold were recorded. In computational experiments, the direct problem of heat conduction was solved, and a thermo-physical process similar to a natural experiment was simulated on a finite-difference mesh. Then the changes in temperature at the points, where real thermocouples were placed, were recorded. By solving the inverse problem, the experimental and calculated temperature curves were combined.

Keywords: *inverse problem, heat equation, technological processes, casting molds, additive technologies.*

BIBLIOGRAPHY

1. Ogorodnikov I. N. Introduction to inverse problems of physical diagnostics / Ekaterinburg: Ural University. 2017. 128 p.
2. Ogorodnikova O. M., Ryabov D. G., Radya V. S. Computer simulation of thermal conditions of mold during the crystallization of blister copper ingots // Non-ferrous metals. 2013. No. 5 (845). pp. 89–93.
3. Ogorodnikova O. M. Creation of high-temperature defects in two-phase metal structures // Russian Physics Journal. 2011. Vol. 54, No. 1–3. pp. 144–149.
4. Ogorodnikova O. M. Stress-strain state of metal in the effective crystallization range // Liteynoye proizvodstvo. 2012. No. 9. pp. 21–24.
5. Alifanov O. M. Inverse problems of heat transfer / M.: Mashinostroenie. 1988. 280 p.
6. Beck J., Blackwell B., Sent-Clair C. Ill-posed inverse problems of heat conduction / M.: Mir. 1989. 312 p.
7. Vatulyan A.O., Nesterov S.A. On the features of solving the coefficient inverse problem of heat conduction for a two-component layer // News of Saratov University. Series: Mathematics. Mechanics. Computer science. 2019. Vol. 19, No. 4. pp. 409–423.
8. Ogorodnikova O. M. On parallel computation of temperature fields on a layered finite element mesh // Liteynoye proizvodstvo. 2014. No. 11. pp. 30–32.
9. Ogorodnikova O. M., Martynenko S. V. Computational and experimental adjustment of the databases for computer simulation of cast technologies // Industrial laboratory. Diagnostics of materials. 2015. Vol. 81. No. 10. pp. 40–43.
10. Kabanikhin S.I. Inverse and ill-posed problems / Novosibirsk: Siberian Scientific Publishing House. 2009. 457 p.
11. Lattes R., Lyons J. L. Quasi-inversion method and its applications / M.: Mir. 1970. 336 p.
12. Tikhonov A. N., Leonov A. S., Yagola A. G. Nonlinear ill-posed problems / M.: Nauka. 1995. 310 p.
13. Application of the Levenberg-Marquardt algorithm in computer simulation of cast defects // Russian Journal of Nondestructive Testing. 2015. No. 5. pp. 63–68.
14. Ogorodnikova O.M., Yeltsin S.V., Martynenko S.V. Reconstruction of thermo-physical properties to improve material database for casting simulation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 971. AN 032089.
15. Ogorodnikova O.M., Chermensky V.I., Konchakovskiy I.V. Simulation of centrifugal casting and structure of Fe–Ni–C–super-invar alloy // Solid State Phenomena. 2017. Vol. 265. pp. 1142–1147.
16. Ogorodnikova O.M. Conjoint computer-aided analysis of cast alloy, casting technology and component // Liteynoye proizvodstvo. 2015. No. 2. pp. 32–34.

Petukhova Viktoria
Ural Federal University
Master student
19 Mira Str., Ekaterinburg
Tel: +7(902) 262-04-39
Petukhova.Viktoria@bk.ru

Ogorodnikov Alexey Igorevich
Ural Federal University
Candidate of Engineering Sciences
Associate Professor
19 Mira Str., Ekaterinburg
Tel: +7 (912) 218-17-25
A.I.Ogorodnikov@urfu.ru

© В.В. Петухова, А.И. Огородников, 2023

УДК 621.9

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-362-6-61-68

Г.В. БАРСУКОВ, А.С. ТАРАПАНОВ, Т.А. ЖУРАВЛЕВА,
О.Г. КОЖУС, Е.А. ПРАСОЛОВ, А.В. ПЕТРУХИН

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ
ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ЧАСТИЦ МЕДНОГО ШЛАКА
ДЛЯ ГИДРОАБРАЗИВНОГО РЕЗАНИЯ**

Аннотация. В статье рассматривается технология и технологические принципы синтеза диффузионного слоя карбида кремния на поверхности частицы медного шлака для создания нового абразива повышенной прочности. Определены режимы химико-термической обработки частицы медного шлака в среде кристаллического и аморфного углерода с добавками минерализаторов в виде карбоната бария, криолита и хлорида натрия, что позволяет направленно регулировать фазовый состав и структуру поверхностного слоя.

Ключевые слова: абразив, медный шлак, гидроабразивное резание, диффузионное покрытие, высокотемпературная обработка, карбюризация.

Работа выполнена в рамках проекта РФФ № 22-29-01599.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барсуков Г.В., Степанов Ю.С., Кожус О.Г., Журавлева Т.А. Оптимизация параметров компонентов оборудования для гидроабразивной резки, обеспечивающая повышение эффективности обработки // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2020. № 3 (341). С. 50-58.
2. Кожус О.Г., Барсуков Г.В., Прасолов Е.А., Данильченко С.Г. Создание абразива с полимерной оболочкой, обеспечивающего повышение эффективности гидроабразивного резания // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2021. № 6 (350). С. 38-44.
3. Kaya, Serkan Aydin, Gokhan Karakurt, Izzet. An experimental study on the cutting depth produced by abrasive waterjet: how do abrasive and rock properties affect the cutting process?. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2023. 125. 1-13. doi:10.1007/s00170-023-11053-5.
4. Aydin, Gokhan Kaya, Serkan Karakurt, Izzet. Effect of abrasive type on marble cutting performance of abrasive waterjet. *Arabian Journal of Geosciences*. 2019. 12. doi: 10.1007/s12517-019-4475-0.
5. Aydin, Gokhan Kaya, Serkan Karakurt, Izzet. Utilization of solid-cutting waste of granite as an alternative abrasive in abrasive waterjet cutting of marble. *Journal of Cleaner Production*. 2017. 159. 241-247. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.04.173.
6. Ponomarev V.B., Kataev A.V., Postovoi I.V. Technical Solution for the Disposal of Solid Slag from Metallurgical Plants with Production of Abrasive Powders. *KnE Materials Science*. Vol. 2020, pp. 78–83
7. Hongyu Tian, Zhengqi Guo, Jian Pan, Deqing Zhu, Congcong Yang, Yuxiao Xue, Siwei Li, Dingzheng Wang Comprehensive review on metallurgical recycling and cleaning of copper slag // *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 168, 2021.
8. Agus, M., Bortolussi, A., Ciccu, R., Imolesi, E., Vargiu, A. Stone cutting with Diajet // *The International Mining Congress of Turkey*, pp. 29-35., Ankara, Turkey, 1995.
9. Zhang, W., Tao, P., Chen, Y. et al. Study on isothermal crystallization kinetics of Zr₅₅,7Cu₂₂,4Ni₇,2Al₁₄,7. *Sci Rep* 12, 5060 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-08848-z>
10. Lelito, J. Crystallization Kinetics Analysis of the Amorphouse Mg₇₂Zn₂₄Ca₄ Alloy at the Isothermal Annealing Temperature of 507 K. *Materials* 2020, 13, 2815. <https://doi.org/10.3390/ma13122815>
11. Cheng, Sixue, McKenna, Gregory B. Isothermal Crystallization and Time-Temperature Transformation of Amorphous Nifedipine: A Case of Polymorphism Formation and Conversion. *Mol. Pharmaceutics* 2021, 18, 7, 2786-2802.
12. Sarfo, P.; Wyss, G.; Ma, G.; Das, A. Carbothermal Reduction of Copper Smelter Slag for Recycling into Pig Iron and Glass. *Miner. Eng.* 2017, 107, 8-19.
13. Wang, J.-P.; Erdenebold, U. A Study on Reduction of Copper Smelting Slag by Carbon for Recycling into Metal Values and Cement Raw Material. *Sustainability* 2020, 12, 1421. <https://doi.org/10.3390/su12041421>
14. Косолапова Т.Я. Неметаллические тугоплавкие соединения. / Т.Я. Косолапова, Т.В. Андреева, Т.Б. Бартницкая и др. – М.: Металлургия, 1985.–224 с.
15. Лайнер А.И. Производство глинозема/ А.И. Лайнер, Н.И. Еремин, Ю.А. Лайнер, И.З. Певзнер.– М.: Металлургия, 1978. – 344с.
16. Барсуков Г.В., Шоркин В.С., Фроленкова Л.Ю., Журавлева Т.А., Кожус О.Г., Прасолов Е.А. Исследование твердости абразива с диффузионным слоем карбида кремния для гидроабразивного резания по значениям поверхностной энергии // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2023. № 3 (359). С. 68-76.

Барсуков Геннадий Валерьевич

Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева,
доктор технических наук,
профессор кафедры машиностроения
г. Орёл ул. Московская д. 34
Тел: +79038806976

Тарапанов Александр Сергеевич

Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева,
доктор технических наук,
профессор кафедры машиностроения
г. Орёл ул. Московская д. 34
Тел: +79038806976

awj@list.ru

Журавлева Татьяна Александровна
Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана
Кандидат технических наук, докторант
г. Калуга, ул. Баженова, д. 2.
Тел.: + 7 (4862) 413295
E-mail: awj@list.ru

Прасолов Егор Александрович
Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева,
аспирант кафедры машиностроения
г. Орёл ул. Московская д. 34
Тел: +79038806976
awj@list.ru

tarapanov@rambler.ru

Кожус Ольга Геннадьевна
Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева,
кандидат технических наук,
ведущий инженер отдела организационного
сопровождения НИР
г. Орёл ул. Наугорское ш. 29
Тел: +79038806976
okozyhus@mail.ru

Петрухин Антон Владимирович
Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева,
аспирант кафедры машиностроения
г. Орёл ул. Московская д. 34
Тел: +79038806976
awj@list.ru

G.V. BARSUKOV, A.S. TARAPANOV, T.A. ZHURAVLEVA, O.G. KOZHUS,
E.A. PRASOLOV, A.V. PETRUKHIN

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY AND TECHNOLOGICAL PRINCIPLES FOR INCREASING THE STRENGTH OF COPPER FEED PARTICLES FOR HYDROABRASIVE CHOCKING

Abstract. *The article discusses the technology and technological principles of synthesis of a diffusion layer of silicon carbide on the surface of a copper slag particle to create a new abrasive of increased strength. The modes of chemical-thermal treatment of a copper slag particle in a medium of crystalline and amorphous carbon with additives of mineralizers in the form of barium carbonate, cryolite and sodium chloride are determined, which allows directional control of the phase composition and structure of the surface layer.*

Keywords: *abrasive, copper slag, waterjet cutting, diffusion coating, high temperature treatment, carburation.*

BIBLIOGRAPHY

1. Barsukov G.V., Stepanov Yu.S., Kozhus O.G., Zhuravleva T.A. Optimization of parameters of components of equipment for waterjet cutting, ensuring an increase in processing efficiency // Fundamental and applied problems of engineering and technology. 2020. No. 3 (341). pp. 50-58.
2. Kozhus O.G., Barsukov G.V., Prasolov E.A., Danilchenko S.G. The creation of an abrasive with a polymer shell that provides an increase in the efficiency of waterjet cutting // Fundamental and applied problems of engineering and technology. 2021. No. 6 (350). pp. 38-44.
3. Kaya, Serkan Aydin, Gokhan Karakurt, Izzet. An experimental study on the cutting depth produced by abrasive waterjet: how do abrasive and rock properties affect the cutting process?. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2023. 125. 1-13. doi:10.1007/s00170-023-11053-5.
4. Aydin, Gokhan Kaya, Serkan Karakurt, Izzet. Effect of abrasive type on marble cutting performance of abrasive waterjet. Arabian Journal of Geosciences. 2019. 12. doi: 10.1007/s12517-019-4475-0.
5. Aydin, Gokhan Kaya, Serkan Karakurt, Izzet. Utilization of solid-cutting waste of granite as an alternative abrasive in abrasive waterjet cutting of marble. Journal of Cleaner Production. 2017. 159. 241-247. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.04.173.
6. Ponomarev V.B., Kataev A.V., Postovoi I.V. Technical Solution for the Disposal of Solid Slag from Metallurgical Plants with Production of Abrasive Powders. KnE Materials Science. Vol. 2020. 2020, pp. 78–83
7. Hongyu Tian, Zhengqi Guo, Jian Pan, Deqing Zhu, Congcong Yang, Yuxiao Xue, Siwei Li, Dingzheng Wang Comprehensive review on metallurgical recycling and cleaning of copper slag // Resources, Conservation and Recycling, Volume 168, 2021.
8. Agus, M., Bortolussi, A., Ciccu, R., Imolesi, E., Vargiu, A. Stone cutting with Diajet // The International Mining Congress of Turkey, pp. 29-35., Ankara, Turkey, 1995.
9. Zhang, W., Tao, P., Chen, Y. et al. Study on isothermal crystallization kinetics of Zr₅₅,7Cu₂₂,4Ni₇,2Al₁₄,7. Sci Rep 12, 5060 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-08848-z>
10. Lelito, J. Crystallization Kinetics Analysis of the Amorphouse Mg₇₂Zn₂₄Ca₄ Alloy at the Isothermal Annealing Temperature of 507 K. Materials 2020, 13, 2815. <https://doi.org/10.3390/ma13122815>

11. Cheng, Sixue, McKenna, Gregory B. Isothermal Crystallization and Time-Temperature Transformation of Amorphous Nifedipine: A Case of Polymorphism Formation and Conversion. *Mol. Pharmaceutics* 2021, 18, 7, 2786-2802.
12. Sarfo, P.; Wyss, G.; Ma, G.; Das, A. Carbothermal Reduction of Copper Smelter Slag for Recycling into Pig Iron and Glass. *Miner. Eng.* 2017, 107, 8-19.
13. Wang, J.-P.; Erdenebold, U. A Study on Reduction of Copper Smelting Slag by Carbon for Recycling into Metal Values and Cement Raw Material. *Sustainability* 2020, 12, 1421. <https://doi.org/10.3390/su12041421>
14. Kosolapova T.Ya. Nonmetallic refractory compounds. / T.Ya. Kosolapova, T.V. Andreeva, T.B. Bartnitskaya et al. – М.: Metallurgy, 1985.-224 p.
15. Liner A.I. Alumina production/ A.I. Liner, N.I. Eremin, Yu.A. Liner, I.Z. Pevzner.– М.: Metallurgy, 1978. – 344s.
16. Barsukov G.V., Shorkin V.S., Frolenkova L.Yu., Zhuravleva T.A., Kozhus O.G., Prasolov E.A. Investigation of the hardness of an abrasive with a diffusion layer of silicon carbide for waterjet cutting by surface energy values //Fundamental and applied problems of engineering and technology. 2023. No. 3 (359). pp. 68-76.

Barsukov Gennady Valeryevich

Oryol State University
named after I.S. Turgenev,
Doctor of Technical Sciences,
Professor of the Department of Mechanical Engineering
Orel, Moskovskaya str., 34
+79038806976
awj@list.ru

Zhuravleva Tatiana Alexandrovna

Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical
University
Candidate of Technical Sciences, doctoral
student, Kaluga, Bazhenova str., 2.
+ 7 (4862) 413295
E-mail: awj@list.ru

Prasolov Egor Alexandrovich

Oryol State University
named after I.S. Turgenev,
postgraduate student of the Department of Mechanical
Engineering
Orel, Moskovskaya str., 34
+79038806976
awj@list.ru

Tarapanov Alexander Sergeevich

Oryol State University
named after I.S. Turgenev,
Doctor of Technical Sciences,
Professor of the Department of Mechanical Engineering
Orel, Moskovskaya str., 34
+79038806976
tarapanov@rambler.ru

Kozhus Olga Gennadievna

Oryol State University
named after I.S. Turgenev,
Candidate of Technical Sciences,
Leading Engineer of the Department of Organizational
Support of Research
Orel, Naugorskoe sh. 29
+79038806976
okozhus@mail.ru

Petrukhin Anton Vladimirovich

Oryol State University
named after I.S. Turgenev,
postgraduate student of the Department of Mechanical
Engineering
Orel, Moskovskaya str., 34
+79038806976
awj@list.ru

© Г.В. Барсуков, А.С. Тарапанов, Т.А. Журавлева, О.Г. Кожус, Е.А. Прасолов, А.В. Петрухин, 2023

УДК 621.9.06

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-362-6-69-72

К.И. ШЛАЕВ

ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УГЛОВОЙ ФРЕЗЕРНОЙ ГОЛОВКИ В ПРОГРАММНЫХ СРЕДАХ 3D МОДЕЛИРОВАНИЯ

Аннотация. Для расширения технологических возможностей металлорежущих станков используются угловые фрезерные головки, которые обеспечивают возможность обработки деталей сложной формы. Однако, необходимо учесть влияние такого оборудования на динамические характеристики станка. В некоторых случаях использование угловых головок снижает динамическое качество станка. В настоящей работе рассмотрены результаты моделирования динамических характеристик угловой фрезерной головки в программных средах 3D моделирования NX CAD, Solid Works и Autodesk Inventor. Выполнено сравнение полученных результатов с экспериментальными данными. Выявлена разница смоделированных собственных частот и частоты, полученной методом прямого эксперимента.

Ключевые слова: угловая фрезерная головка, вибродиагностика, динамическая характеристика, имитационное моделирование, собственная частота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. K.I. Shlaev, F.S. Sabirov Research of the dynamic characteristics of the angular milling head. Modern high technologies. 132 (2022) 62-66.
2. Козочкин М.П., Маслов А.Р., Сабиров Ф.С. Испытания и диагностика технологического оборудования: учебное пособие / М.: ИЦ МГТУ «Станкин», 2012, 250с.
3. Jui-Pin Hung, Wei-Zhu Lin Investigation of the Dynamic Characteristics and Machining Stability of a Bi-rotary Milling Tool. Advances in Science and Technology Research Journal. 13 (2019) 14-22.
4. Сабиров Ф.С., Шемякин А.А. Оперативная оценка виброустойчивости станков и состояния шпиндельных подшипников // Вестник машиностроения, №8, 2015, с. 14-16.
5. Справка по SOLIDWORKS [Электронный ресурс]. URL: https://help.solidworks.com/2016/Russian/WhatsNew/c_wn2016_new_curvature_based_mesher.htm (дата обращения 26.02.2023г.)

Шлаев Кирилл Иванович
ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»
г. Москва
Аспирант кафедры станков
E-mail: kir.shl@ya.ru

K.I. SHLAEV

SIMULATION EXPERIMENT TO DETERMINE THE DYNAMIC CHARACTERISTICS OF AN ANGULAR MILLING HEAD IN 3D MODELING PROGRAMS

Abstract. *Angular milling heads expand the capabilities of machine tools. It is necessary to take into account the impact of such equipment on the dynamic characteristics of the machine. In some cases, the use of angular milling heads reduces the dynamic quality of the machine. In this paper, the results of modeling the dynamic characteristics of an angular milling head in NX CAD, Solid Works and Autodesk Inventor 3d modeling programs are considered. The results obtained were compared with experimental data. The data obtained by simulation modeling differ from the data obtained by the experimental method. This is due to the different ways of obtaining the equation of motion in program solvers.*

Keywords: *angular milling head, vibroacoustic diagnostics, dynamic characteristics, simulation modeling, natural frequency.*

BIBLIOGRAPHY

1. K.I. Shlaev, F.S. Sabirov Research of the dynamic characteristics of the angular milling head. Modern high technologies. 132 (2022) 62-66.
2. Kozochkin M.P., Maslov A.P., Sabirov F.S. Testing and diagnostics of technological equipment: textbook / Moscow, IC MSTU «Stankin», 2012, 250p.
3. Jui-Pin Hung, Wei-Zhu Lin Investigation of the Dynamic Characteristics and Machining Stability of a Bi-rotary Milling Tool. Advances in Science and Technology Research Journal. 13 (2019) 14-22.
4. Sabirov F.S., Shemyakin A.A. Operational assessment of vibration resistance of machine tools and the condition of spindle bearings // Bulletin of Mechanical Engineering, №8, 2015, P. 14-16.
5. Help for SOLIDWORKS [Electronic resource]. URL: https://help.solidworks.com/2016/Russian/WhatsNew/c_wn2016_new_curvature_based_mesher.htm (26.02.2023 г.)

Shlaev Kirill Ivanovich
Moscow State University of Technology
“STANKIN”, Moscow
Postgraduate student of the Department of machine tools
E-mail: kir.shl@ya.ru

Л.Ю. ФРОЛЕНКОВА, В.С. ШОРКИН, А.С. ТАРАПАНОВ, А.И. КОНИЩЕВА

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ И МЕТОДИК РАСЧЕТА ДИФФУЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕМЕНТАХ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ПРОВОДА

Аннотация. В работе предложена методика и алгоритм проверки влияния адгезии на диффузионные процессы для биметаллического провода. Методика базируется на известных представлениях о парных и тройных потенциальных нелокальных взаимодействиях бесконечно малых частиц сплошных твердых тел. Проведены расчеты, позволяющие оценить степень влияния адгезии на диффузионные процессы разных пар материалов.

Ключевые слова: адгезия, диффузионные процессы, механические свойства, нелокальные потенциальные взаимодействия, шероховатость, сплошная упругая среда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Северин В. И. Давление пара и теплота сублимации меди [Текст] / В.И. Северин, А.В. Цепляева, Ю.А. Приселков, Л.П. Рябцева // Теплофизика высоких температур. – 1986. – Т. 24. – В. 3. – С. 487 – 492.
- Пат. 2611054 Российская федерация, МПК Н Н01В 7/29. Провод обмоточный термостойкий / Белослудцев К.И., Витковский И.В. и др.; заявитель и патентообладатель: Акционерное общество «НИИ ЭФА им. Д.В. Ефремова (АО «НИИЭФА»). Заявл. 27.08.2015; опубл. 21.02.2017, Бюл. № 6. – 2 с.
- Ромашин С.Н. Вариант связи механических и адгезионных свойств твердых материалов [Текст] / С.Н. Ромашин, В.С. Шоркин // Прикладная математика и механика. – 2020. – Т. 84. – Вып. 3. – С. 387 – 404.
- Витковский И.В. Адгезионно-диффузионное формирование многослойной стенки жидкометаллического проточного тракта бланкета термоядерного реактора [Текст] / И.В. Витковский, Л.Ю. Фроленкова, В.С. Шоркин // Журнал технической физики. – 2012. – Т. 82 – № 7. – С. 117 – 122.
- Фроленкова Л.Ю. Поверхностная энергия и энергия адгезии упругих тел [Текст] / Л.Ю. Фроленкова, В.С. Шоркин // Изв. РАН. МТТ. – 2017. – № 1. – С. 76 – 91.
- Frolenkova L.Yu. Method of calculating the surface and adhesion energies of elastic bodies [Text] / L.Yu. Frolenkova, V.S. Shorkin // PNRPU Mechanics Bulletin. – 2013. – № 1. – P. 235 – 259.
- Presnetsova V.Yu. A variant of describing adhesion interaction in the probe sample system of an atomic-force microscope [Text] / V.Yu. Presnetsova, S.N. Romashin, L.Yu. Frolenkova, V.S. Shorkin, S.I. Yakushina // Nanoscience and Technology: An International Journal. – 2018. – V. 9. – Iss. 4. – P. 299 – 323. <http://dx.doi.org/10.1615/NanoSciTechnolIntJ.2018026714>.
- ГОСТ 25142-82 Шероховатость поверхности [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 2018. – 16 с.
- Белов П.А. Теория идеальных адгезионных взаимодействий [Текст] / П.А. Белов, С.А. Лурье // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2007. – Т. 13. – № 4. – С. 519 – 536.

Фроленкова Лариса Юрьевна

ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева», г. Орел
доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой
машиностроения,
302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95
Тел.: +7 (906) 568-11-18,
E-mail: Larafrolenkova@yandex.ru

Шоркин Владимир Сергеевич

ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева», г. Орел
доктор физико-математических наук, профессор,
профессор кафедры технической физики и математики
302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95
Тел. +7 (960) 655-00-77
E-mail: v.s.shorkin@yandex.ru

Тарапанов Александр Сергеевич

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
доктор технических наук, профессор
302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95
Тел.: +7 (920) 287-77-74,
E-mail: tarapanov@rambler.ru

Конищева Алёна Игоревна

ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева», г. Орел
студент
г. Орёл ул. Московская д. 34
Тел.: +7(920) 725-03-77
E-mail: konishevaalena123@gmail.com

L.Yu. FROLENKOVA, V.S. SHORKIN, A.S. TARAPANOV, A.I. KONISHEVA

DEVELOPMENT OF ALGORITHMS AND METHODS FOR CALCULATION OF DIFFUSION PROCESSES IN ELEMENTS OF BIMETAL WIRE

Abstract. The paper proposes a method and algorithm for testing the influence of adhesion on diffusion processes for a bimetallic wire. The technique is based on the well-known concepts of paired and triple potential nonlocal interactions of infinitesimal particles of solid solids. Calculations have been carried out to evaluate the degree of influence of adhesion on the diffusion processes of different pairs of materials.

Keywords: adhesion, diffusion processes, mechanical properties, nonlocal potential interactions, roughness, continuous elastic medium.

BIBLIOGRAPHY

- 1 Severin V.I. Davlenie para i teplota sublimacii medi [Tekst] / V.I. Severin, A.V. Ceplyaeva, Yu.A. Priselkov, L.P. Ryabceva // Teplofizika vysokih temperatur. – 1986. – T. 24. – V. 3. – S. 487 – 492.
- 2 Pat. 2611054 Rossijskaya federaciya, MPK N H01B 7/29. Provod obmotochnyj termozharostojkij / Belosludcev K.I., Vitkovskij I.V. i dr.; zayavitel i patentoobladatel: Akcionernoe obshchestvo «NII EFA im. D.V. Efremova (AO «NIEFA»). Žayavl. 27.08.2015; opubl. 21.02.2017, Byul. № 6. – 2 s.
- 3 Romashin S.N. Variant svyazi mekhanicheskikh i adgezionnyh svojstv tverdyh materialov [Tekst] / S.N. Romashin, V.S. Shorkin // Prikladnaya matematika i mekhanika. – 2020. – T. 84. – Vyp. 3. – S. 387 – 404.
- 4 Vitkovskij I.V. Adgezionno-diffuzionnoe formirovanie mnogoslojnoj stenki zhidkometallicheskogo protochnogo trakta blanketa termoyadernogo reaktora [Tekst] / I.V. Vitkovskij, L.Yu. Frolenkova, V.S. Shorkin // Zhurnal tekhnicheskoy fiziki. – 2012. – T. 82 – № 7. – S. 117 – 122.
- 5 Frolenkova L.Yu. Poverhnostnaya energiya i energiya adgezii uprugih tel [Tekst] / L.Yu. Frolenkova, V.S. Shorkin // Izv. RAN. MTT. – 2017. – № 1. – S. 76 – 91.
- 6 Frolenkova L.Yu. Method of calculating the surface and adhesion energies of elastic bodies [Text] / L.Yu. Frolenkova, V.S. Shorkin // PNRPU Mechanics Bulletin. – 2013. – № 1. – P. 235 – 259.
- 7 Presnetsova V.Yu. A variant of describing adhesion interaction in the probe sample system of an atomic-force microscope [Text] / V.Yu. Presnetsova, S.N. Romashin, L.Yu. Frolenkova, V.S. Shorkin, S.I. Yakushina // Nanoscience and Technology: An International Journal. – 2018. – V. 9. – Iss. 4. – P. 299 – 323. <http://dx.doi.org/10.1615/NanoSciTechnolIntJ.2018026714>.
- 8 GOST 25142-82 Sherohovatost poverhnosti [Tekst]. – M.: Izd-vo standartov, 2018. – 16 s.
- 9 Belov P.A. Teoriya idealnyh adgezionnyh vzaimodejstvij [Tekst] / P.A. Belov, S.A. Lure // Mekhanika kompozicionnyh materialov i konstrukcij. – 2007. – T. 13. – № 4. – S. 519 – 536.

Frolenkova Larisa Yuryevna
Orel State University, Orel
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,
Head of the Department of Mechanical
Engineering,
302026, Orel, Komsomolskaya st, 95
Ph.: + 7 (906) 568-11-18
E-mail: Larafrolenkova@yandex.ru

Shorkin Vladimir Sergeevich
Orel State University, Orel
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor,
Professor of the Department of Technical Physics and
Mathematics
302026, Orel, Komsomolskaya st, 95
Ph.: +7 (960) 655-00-77
E-mail: v.s.shorkin@yandex.ru

Tarapanov Aleksandr Sergeevich
Orel State University, Orel
Doctor of Technical Sciences, Professor
Professor of the Department of Mechanical Engineering,
302026, Orel, Komsomolskaya st, 95
Ph.: + 7 (920) 287-77-74,
E-mail: tarapanov@rambler.ru

Konisheva Alena Igorevna
Orel State University, Orel,
student
302026, Orel, Komsomolskaya st, 95
Ph.: + 7(920) 725-03-77
E-mail: konishevaalena123@gmail.com

© Л.Ю. Фроленкова, В.С. Шоркин, А.С. Тарапанов, А.И. Конищева, 2023

МАШИНОВЕДЕНИЕ И МЕХАТРОНИКА

УДК 621.822.6

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-362-6-79-87

В.В ПОЗДНЯКОВ, Р.Н. ПОЛЯКОВ, А.Ю. КОРНЕЕВ

**ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ШЕСТЕРЁННОГО НАСОСА
НА ТРЕНИЕ В РОЛИКОВЫХ ПОДШИПНИКАХ И ИХ ОТКАЗЫ**

Аннотация. В статье проводится анализ критических узлов шестерённых насосов для перекачки масел типа НМШ производства АО «ГМС Ливгидромаш». Описаны особенности режимов смазывания роликовых подшипников валов насоса, обоснованы причины отказов из-за переменного объёма смазочного материала. На основании известных методик выполнена оценка момента трения на различных режимах работы насоса, обосновано влияние типа смазки на уровень потерь мощности, в том числе при эффекте замещения исходной пластичной смазки роликовых подшипников на смазку перекачиваемой средой.

Ключевые слова: шестерённый насос, отказ, подшипник качения, смазка, кинематическая вязкость, момент трения, потери мощности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Marine Cooling Pumps – The Ultimate Guide [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.carverpump.com/marine-cooling-pumps-the-ultimate-guide/> (дата обращения: 06.07.2022).
2. Rehmann, C. Improvements in bearing life using new sealing technology / C. Rehmann // Proceedings of the twenty-second international pump user symposium. – Houston, 2005. – P. 103–111. – Библиогр.: с. 105–106.
3. Roberts, D.C. Extending Equipment Life through Improved Sealing Technology / D.C. Roberts // Power-Gen International. – New Orleans, 2007. – P. 1-27. – Библиогр.: с. 15–21.
4. ГОСТ 23258-78. Смазки пластичные. Наименование и обозначение [Текст]. – Введ. 1979–07–01. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – IV, 6 с.: ил.; 29 см.
5. Трение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://technobearing.ru/upload/old_site/trenie.pdf (дата обращения: 06.07.2022).
6. Малахов, В.А. Применение температурного коэффициента в методиках расчета силы сопротивления вращению роликов ленточных конвейеров для современных пластичных смазок [Текст] / В.А. Малахов, А.В. Тропаков, А.С. Полянский // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № 9. – С. 74-81. – Библиогр.: с. 79
7. Ровенских, А.С. Исследование влияния температуры на вязкостные характеристики смазочных материалов / А.С. Ровенских, Е.Г. Шебенкова, В.А. Игумина, А.Е. Карючина // Молодой ученый. – 2019. – № 49(287). – С. 202-206. – Библиогр.: с. 201-203.
8. Цветков, Ю.Н. Природа вязкостно-температурной зависимости смазочных масел [Текст] / Ю.Н. Цветков, М.Ю. Власов, Л.И. Дехтярь // Вестник Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2017. – Т. 9 – № 6. – С. 1242-1251. – Библиогр.: с. 1244-1246.
9. ГОСТ 25371-2018. Расчет индекса вязкости по кинематической вязкости [Текст]. – Введ. 218–05–30. – М.: Стандартиформ 1978. – V, 16 с.: ил.; 21 см.
10. Вязкость: энциклопедия техники [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://enciklopediya-tehniki.ru/vyazkost.html> (дата обращения: 06.07.2022).
11. Перель, Л. Подшипники качения. Справочник [Текст] / Л. Перель. – М.: Машиностроение, 1983. – 336 с. [1] с.: ил.; 22 см. – ISBN (АСТ) (в пер.).

Поздняков Владислав Владиславович
 ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»,
 аспирант
 302020, г. Орёл, Наугорское шоссе,
 29
 Тел. +79996019638
 E-mail: funreader@inbox.ru

Поляков Роман Николаевич
 ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»,
 доктор техн. наук, зав.
 кафедрой мехатроника,
 механика и робототехника
 302020, г. Орёл, Наугорское
 шоссе, 29
 Тел. +79038819381
 E-mail: romanpolak@mail.ru

Корнеев Андрей Юрьевич
 ФГБОУ ВО «Орловский
 государственный
 университет имени И.С. Тургенева»
 302030, г. Орел, ул. Московская, 34
 Декан ФСПО,
 Доктор технических наук, доцент
 Тел. 8-906-662-44-22
 E-mail: korneev_andrey@mail.ru

V.V. POZDNYAKOV, R.N. POLYAKOV, A.YU. KORNEEV

INFLUENCE OF OPERATING MODES OF A GEAR PUMP ON FRICTION IN ROLLING ELEMENT BEARINGS AND THEIR FAILURES

Abstract. *The article is devoted to the influence of lubrication on the temperature mode of operation of roller bearings in oil pumps. Causes and frequency of bearing failures are estimated and expediency of thermal calculation of heat losses on different types of lubricating liquids is substantiated. On the basis of known methods the estimation of heat quantity release in the process of operation is made. The influence of lubrication level and pump geometry on the friction torque of rolling bearings in the process of operation when the liquid seeps into the cavity of the unit has been investigated.*

Keywords: *rolling bearings, thermal calculation, grease, self-lubricating liquid, oil bath, kinematic viscosity.*

BIBLIOGRAPHY

1. Marine Cooling Pumps – The Ultimate Guide [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.carverpump.com/marine-cooling-pumps-the-ultimate-guide/> (date of the application: 06.07.2022).
2. Rehmann, C. Improvements in bearing life using new sealing technology / C. Rehmann // Proceedings of the twenty-second international pump user symposium. – Houston, 2005. – P. 103–111. – Bibliogr.: p. 105–106.
3. Roberts, D.C. Extending Equipment Life through Improved Sealing Technology / D.C. Roberts // Power-Gen International. – New Orleans, 2007. – P. 1-27. – Bibliogr.: p. 15–21.
4. GOST 23258-78. Lubricants are plastic. Name and designation [Text]. – Introd. 1979–07–01. – М.: Standards Publisher, 1978. – IV, 6 с.: ill.; 29 cm.
5. Friction [Electronic resource]. – Access mode: https://technobearing.ru/upload/old_site/trenie.pdf (date of the application: 06.07.2022).

6. Malakhov, V.A. Application of the temperature coefficient in methods for calculating the resistance force to rotation of rollers of belt conveyors for modern greases [Text] / V.A. Malakhov, A.V. Tropakov, A.S. Polyansky // Mining Information and Analytical Bulletin. – 2016. – № 9. – P. 74-81. – Bibliogr.: p. 79.
7. Rovenskikh, A.S. Study of the effect of temperature on the viscosity characteristics of lubricants / A.S. Rovenskikh, E.G. Shebenkova, V.A. Iguminova, A.E. Karyuchinam // Young scientist. – 2019. – № 49 (287). – P. 202-206. – Bibliogr.: p. 201-203.
8. Tsvetkov, Yu.N. The nature of the viscosity-temperature dependence of lubricating oils [Text] / Yu.N. Tsvetkov, M.Yu. Vlasov, L.I. Dekhtyar // Bulletin of the State University of Marine and River Fleet. Admiral S.O. Makarov. – 2017. – V. 9 – № 6. – P. 1242-1251. – Bibliogr.: p. 1244-1246.
9. GOST 25371-2018. Calculation of the viscosity index from kinematic viscosity [Text]. – Introd. 218-05-30. – M.: Standartiform 1978. – V, 16 p.: ill.; 21 cm.
10. Viscosity: encyclopedia of technology [Electronic resource]. – Access mode: <https://enciklopediya-tehniki.ru/vyazkost.html> (date of the application: 06.07.2022).
11. Perel, L. Rolling bearings. Directory [Text] / L. Perel. – M.: Mashinostroenie, 1983. – 336 c. [1] with: ill.; 22 cm. – ISBN (ACT) (bound).

Pozdnyakov Vladislav Vladislavovich
Orel State University named after I.S. Turgenev
graduate student
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph.: +79996019638
E-mail: funreader@inbox.ru

Polyakov Roman Nikolaevich
Orel State University named after I.S. Turgenev
doctor of technical Sciences,
associate professor of the department
mechatronics, mechanics and
robotics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse,
29
Ph.:+79038819381
E-mail:romanpolak@mail.ru

Korneev Andrey Yurievich
Orel State University named after I.S. Turgenev,
302030, Orel, Moskovskaya street,
34
Dean of faculty of mean professional
education
Doctor of technical sciences,
assistant professor
Tel. 8-906-662-44-22
E-mail: korneev_andrey@mail.ru

© В.В Поздняков, Р.Н. Поляков, А.Ю. Корнеев, 2023

УДК 621.822

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-362-6-88-92

А.В. ГОРИН, Р.Н. ПОЛЯКОВ, Л.С. УШАКОВ, А.Д. СЕРЕБРЕННИКОВ

СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ И СИНТЕЗ МЕХАТРОННОГО МЕХАНИЗМА НА ОСНОВЕ ИМПУЛЬСНОГО ГИДРОПНЕВМАТИЧЕСКОГО ПРИВОДА

***Аннотация.** в статье рассматривается краткий анализ развития инженерных коммуникаций в условиях плотной городской застройки. основные принципы построения динамической модели. Описывается математическая модель мехатронного механизма на основе импульсного гидропневматического привода. Представлен анализ структурных схем мехатронного механизма на основе импульсного гидропневматического привода. Показаны результаты синтеза мехатронного механизма, применимого для статико-динамической машины. Предложена схема мехатронного механизма для бестрашнейного строительства трубопроводов на основе импульсного гидропневматического привода.*

Ключевые слова: анализ, синтез, структура, механизм, гидравлический привод, мехатронный механизм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ушаков, Л.С. Гидравлические машины ударного действия / Л.С. Ушаков, Ю.Е. Котылев, В.А. Кравченко. – М.: Машиностроение, 2000. - 416 с.
2. Горин, А.В. Объемный гидропривод комбинированной машины для образования скважин в грунтах: монография / А.В. Горин, Д.Н. Ешуткин, М.А. Горина. - Оrel: Госуниверситет - УНПК, 2015. – 127 с.
3. Горин, А.В. Применение гидравлических машин ударного действия для образования скважин в грунтах: монография / А.В. Горин, Д.Н. Ешуткин, М.А. Горина. - Оrel: Госуниверситет - УНПК, 2015. – 151 с.
4. Бондаренко, М.Э., Поляков Р.Н., Токмакова М.А., Серебрянников А.Д. Анализ экспериментальных исследований активной комбинированной опоры ротора / Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии №1(357) – 2023. С.133 – 140.
5. Ешуткин, Д.Н. Высокопроизводительные гидропневматические ударные машины для прокладки инженерных коммуникаций: учебное пособие для вузов / Д.Н.Ешуткин, Ю.М.Смирнов, В.И.Цой, В.Л.Исаев. – М.: Стройиздат, 1990. – 171с.
7. Ешуткин, Д.Н. Прикладная теория гидравлических машин ударного действия: монография / Ешуткин Д.Н., Котылев Ю.Е. – М.: Машиностроение - 1, 2007. – 176с.

8. Шутин Д.В., Настепанин К.К. Управление сервоклапанами для реализации активной смазки гидростатодинамических подшипников / *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии* №3(359) – 2023. С.137 – 144.

9. Р.Н. Поляков, А.В. Внуков, М.А. Токмакова, И.В. Родичева. Исследование лабиринтных уплотнений в мехатронных механизмах / *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии* №6(350) – 2021. С.71 – 77.

10. Горин, А.В. Моделирование привода статико-динамической машины для бестраншейного строительства трубопроводов [Текст] / Д.Н. Ешуткин, А.В. Журавлева, А.В. Горин // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. – Орел: Изд-во ФГОУ ВПО «Госуниверситет - УНПК» – 2011. – № 3 (287). – С. 20-26.

11. Горин, А.В. Влияние смазочного материала на работу импульсного гидропневматического привода / А.В. Горин, Л.С. Ушаков, А.В. Горин // *Гидродинамическая теория смазки-120 лет: труды междунар. науч. симп. В 2 т.* – М.: Машиностроение-1; Орел: ОрелГТУ, 2006. – Т. 2. - С. 122-124.

Горин Андрей Владимирович

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
канд. техн. наук, доцент кафедры мехатроники,
механики и робототехники
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
E-mail: gorin57@mail.ru

Поляков Роман Николаевич

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
доктор. техн. наук, доцент
заведующий кафедрой мехатроники, механики и
робототехники
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
E-mail: romanpolak@mail.ru

Ушаков Леонид Семенович

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
доктор. техн. наук, профессор кафедры дорожные
строительные и подъемно-транспортные машины
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
E-mail: gorin57@mail.ru

Серебренников Антон Дмитриевич

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
студент
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
E-mail: silver 57@mail.ru

A.V. GORIN, R.N. POLYAKOV, L.S. USHAKOV, A.D. SEREBRNIKOV

STRUCTURAL ANALYSIS AND SYNTHESIS OF MECHATRONIC MECHANISM BASED ON PULSE HYDROPNEUMATIC DRIVE

Abstract. *The article discusses a detailed analysis of the development of engineering communications in dense urban areas. basic principles of building a dynamic model. A mathematical model of a mechatronic mechanism based on a pulse hydropneumatic drive is described. An analysis of the structural diagrams of a mechatronic mechanism based on a pulse hydropneumatic drive is presented. The results of the synthesis of a mechatronic mechanism applicable to a static-dynamic machine are shown. A scheme of a mechatronic mechanism for trenchless construction of pipelines based on a pulsed hydropneumatic drive is proposed.*

Keywords: *analysis, synthesis, structure, mechanism, hydraulic drive, mechatronic mechanism.*

BIBLIOGRAPHY

1. Ushakov, L.S. Hydraulic impact machines / L.S. Ushakov, Yu.E. Kotylev, V.A. Kravchenko. - М.: Mashinostroenie, 2000. - 416 p.
2. Gorin, A.V. Volumetric hydraulic drive of a combined machine for the formation of wells in soils: monograph / A.V. Gorin, D.N. Yeshutkin, M.A. Gorin. Eagle: State University - UNPK, 2015. - 127 p.
3. Gorin, A.V. The use of hydraulic impact machines for the formation of wells in soils: monograph / A.V. Gorin, D.N. Yeshutkin, M.A. Gorin. Eagle: State University - UNPK, 2015. - 151 p.
4. Bondarenko, M.E., Polyakov R.N., Tokmakova M.A., Serebrennikov A.D. Analysis of experimental studies of the active combined rotor support / *Fundamental and applied problems of engineering and technology* No. 1 (357) - 2023. P. 133 - 140.
5. Yeshutkin, D.N. Eshutkin D.N., Smirnov Yu.M. – М.: Stroyizdat, 1990. – 171p.
7. Yeshutkin, D.N. Applied theory of shock hydraulic machines: monograph / Eshutkin D.N., Kotylev Yu.E. - М.: Mashinostroenie - 1, 2007. - 176s.
8. Shutin D.V., Nastepanin K.K. Control of servo valves for the implementation of active lubrication of hydrostatic dynamic bearings / *Fundamental and applied problems of engineering and technology* No. 3 (359) - 2023. P. 137 - 144.
9. R.N. Polyakov, A.V. Vnukov, M.A. Tokmakova, I.V. Rodichev. Study of labyrinth seals in mechatronic mechanisms / *Fundamental and applied problems of engineering and technology* No. 6 (350) - 2021. P. 71 - 77.

10. Gorin, A.V. Modeling the drive of a static-dynamic machine for trenchless pipeline construction [Text] / D.N. Yeshutkin, A.V. Zhuravleva, A.V. Gorin // Fundamental and applied problems of engineering and technology. - Orel: Publishing House of FGOU VPO "State University - UNPK" - 2011. - No. 3 (287). - S. 20-26.

11. Gorin, A.V. Influence of a lubricant on the operation of an impulse hydropneumatic drive / A.V. Gorin, L.S. Ushakov, A.V. Gorin // Hydrodynamic theory of lubrication-120 years: Proceedings of the Intern. scientific symp. In 2 volumes - M.: Mashinostroenie-1; Orel: OrelGTU, 2006. - T. 2. - S. 122-124.

Gorin Andrei Vladimirovich

Orel State University named after I.S. Turgenev
candidate of technical sciences, associate professor of the
department mechatronics, mechanics and robotics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
E-mail: gorin57@mail.ru

Polyakov Roman Nikolaevich

Orel State University named after I.S. Turgenev
doctor of technical Sciences, associate professor of the
department mechatronics, mechanics and robotics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
E-mail: romanpolak@mail.ru

Ushakov Leonid Semyonovich

Orel State University named after I.S. Turgenev
doctor of technical Sciences, associate professor of the
department construction, road
and material handling machines
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
E-mail: gorin57@mail.ru

Serebrennikov Artem Dmitrievich

Orel State University named after I.S. Turgenev
student
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
E-mail: silver57@mail.ru

© А.В. Горин, Р.Н. Поляков, Л.С. Ушаков, А.Д. Серебренников, 2023

УДК 62-405

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-362-6-93-100

Е.Н. ГРИБАНОВ, А.И. ГОРШКОВ, Э.Ю. ЮШКОВА, М.А. ЯКУНИНА

ЭВОЛЮЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ АЛЮМИНИЯ ПРИ ЕГО ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКЕ И АНОДИРОВАНИИ В СИЛИКАТНО-ЩЕЛОЧНОМ ЭЛЕКТРОЛИТЕ

Аннотация. В работе систематически изучено влияние механической, химической и термической подготовки поверхности алюминия на её морфологию методами атомно-силовой, электронной и металлографической микроскопии. Установлен механизм формирования тонких пленок алюмосиликатов, полученных электрохимически на поверхности предварительно обработанной алюминиевой подложки (механическая шлифовка, травление в смеси кислот и термический обжиг) из водных силикатно-щелочных растворов. Установлено, что на первом этапе синтеза происходит травление поверхности алюминиевого анода, а образующиеся ячейки выступают в качестве пор, в которых формируется фаза алюмосиликата. Сделано предположение о формировании пленок по пути автокаталитического зародышеобразования, прямой зависимости скорости формирования кристаллической фазы от напряжения, при котором проведен синтез.

Ключевые слова: алюминий, алюмосиликаты, защитное покрытие, электрохимическое анодирование.

Работа выполнена в рамках НИР «Теоретические основы и практическое применение материалов на основе алюмосиликатов».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yasakau K.A., Tedim J., Zheludkevich M.L., Ferreira M.G.S. Handbook of Smart Coatings for Materials Protection: Smart coatings for corrosion protection: an overview. Cambridge: Woodhead Publishing, 2014. P. 224–274.
2. Бантураби, С. А. Мировой рынок алюминия и роль государства в развитии алюминиевой промышленности / С. А. Бантураби // XXX Международные Плехановские чтения: Сборник статей аспирантов и молодых ученых, Москва, 14 марта 2017 года. – Москва: Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, 2017. – С. 267-271.
3. Хазанов, Л. Г. Перспективы роста потребления алюминия, в том числе в автомобильной промышленности / Л. Г. Хазанов // Технология колесных и гусеничных машин. – 2012. – № 3. – С. 39-41.
4. Свойства и применение механических соединений типа штифт с обжимной головкой для грузовых вагонов из алюминиевого сплава марки 1565ч / А. Д. Конюхов, А. М. Дриц, А. К. Шуртаков, Т. Н. Воробьева // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2014. – № 3. – С. 9-16.
5. C50L HuckBolt. Huck-engineered lockbolts for the most challenging applications. Waco, Alcoa Fastening Systems, 2012. 8 p.

6. Mori, R. A new structured aluminium-air secondary battery with a ceramic aluminium ion conductor / R. Mori // RSC Advances. – 2013. – Vol. 3, No. 29. – P. 11547-11551. – DOI 10.1039/c3ra42211a.
7. Jinsub Choi. Fabrication of monodomain porous alumina using nanoimprint lithography and its applications: Dissertation...Doktor-Ingenieur. - 2004. - 103 p.
8. Пометун Е.В., Тишков В.И., Пометун А.А. Практические аспекты предварительной обработки алюминиевой поверхности в промышленных технологиях электрохимического окисления // Вестник Московского университета. Серия 2: Химия. – 2018. - №6 – С.445-449.
9. Горшков А. И., Грибанов Е. Н., Марков О. И., Оскотская Э. Р. Структура и фотокаталитические свойства пленок на основе алумосиликатов // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. - 2022. - Т.12. - №1. - С.131-145.
10. Грибанов Е.Н. Физико-химические характеристики и механизм сорбции алюмосиликатом ионов некоторых металлов из водных растворов // Сорбционные и хроматографические процессы. - 2020. - Т.20. - №6. - С. 719-725.
11. Crini G., Lichtfouse E. Green Adsorbents for Pollutant Removal: Fundamentals and Design. Switzerland: Springer International Publishing. - 2018. - 399 p.
12. Deng, Z. Pulsed laser deposition of zeolite NaX thin films on silica fibers / Z. Deng, K.J. Balkus // Microporous and Mesoporous Materials. – 2002. – V. 56. – I. 1. – P. 47-53.
13. Li, Q. Photochemical template removal and spatial patterning of zeolite MFI thin films using UV/ozone treatment / Q. Li, M.L. Amweg, C.K. Yee et al. // Microporous and Mesoporous Materials. – 2005. – V. 87. – I. 1. – P. 45-51.
14. Hao, J.-N. Hybrid polymer thin films with a lanthanide-zeolite A host-guest system: coordination bonding assembly and photo-integration / J.-N. Hao, B. Yan // New Journal of Chemistry. – 2014. – V. 38. – I. 8. – P. 3540-3547.
15. Bosnar, S. Influence of anions on the kinetics of zeolite A crystallization: A population balance analysis / S. Bosnar, T. Antonić-Jelić, J. Bronić et al. // Journal of Crystal Growth. – 2004. – V. 267. – I. 1-2. – P. 270-282.
16. Koltsova, T.N. Zeolites mutinatie, terranovatie, and boggsite: Structure-composition relationship / T.N. Koltsova // Inorganic Materials. – 2006. – V. 42. – I. 6. – P. 658-664.
17. Ribeiro, F.R. Structure-activity relationship in zeolites / F.R. Ribeiro, F. Alvarez, C. Henriques et al. // Journal of Molecular Catalysis A: Chemical. – 1995. – V. 96. – I. 3. – P. 245-270.
18. Gao, X. State of acidic center and acidity of dealuminated HY zeolites investigated by solid-state NMR spectroscopy / X. Gao, Y. Zhang, L. Lu et al. // Acta Petroleum Sinica (Petroleum Processing). – 2012. – V. 28. – I. 2. – P. 180-187.
19. Choi, J. Fabrication of monodomain porous alumina using nanoimprint lithography and its applications: Doctoral thesis / Choi Jinsub. – Halle (Saale): Universitäts und Landesbibliothek Sachsen-Anhalt, 2004. – 109 p. DOI: 10.25673/3398.
20. Griбанов Е.Н., Gorshkov A.I., Khripunov Y.V. et al. On the synthesis and morphology and formation peculiarities of an aluminosilicate film on a substrate // Journal of Surface Investigation: X-Ray, Synchrotron and Neutron Techniques. – 2021. – V. 15. – I. 1. – P. 16-23.

Грибанов Евгений Николаевич
 ОГУ имени И.С. Тургенева
 302026, Россия, г. Орёл, ул. Комсомольская, 95
 к.х.н., доцент, зав. кафедрой химии
 E-mail: gribanoven@gmail.com

Юшкова Элеонора Юрьевна
 ОГУ имени И.С. Тургенева
 302026, Россия, г. Орёл, ул. Комсомольская, 95
 доцент
 E-mail: savally2@gmail.com

Горшков Александр Игоревич
 ОГУ имени И.С. Тургенева
 302026, Россия, г. Орёл, ул. Комсомольская, 95
 старший преподаватель
 E
 m
Якунина Мария Андреевна
 ОГУ имени И.С. Тургенева
 302026, Россия, г. Орёл, ул. Комсомольская, 95
 студент
 E-mail: griadynova6565@gmail.com

E.N. GRIBANOV, A.I. GORSHKOV, E.Yu. YUSHKOVA, M.A. YAKUNINA

EVOLUTION OF THE ALUMINUM SURFACE DURING ITS PRELIMINARY PREPARATION AND ANODIZING IN A SILICATE-ALKALINE ELECTROLYTE

Abstract. *The influence of mechanical, chemical and thermal preparation of the aluminum surface on its morphology by atomic force, electron and metallographic microscopy methods has been systematically studied. The mechanism of formation of thin films of aluminosilicates obtained electrochemically on the surface of a pretreated aluminum substrate (mechanical grinding, etching in a mixture of acids and thermal firing) from aqueous silicate-alkaline solutions has been established. It is established that at the first stage of synthesis, the surface of the aluminum anode is*

etched, and the resulting cells act as pores in which the aluminosilicate phase is formed. An assumption is made about the formation of films along the path of autocatalytic nucleation, a direct dependence of the rate of formation of the crystalline phase on the voltage at which the synthesis is carried out.

Keywords: *aluminum, aluminosilicates, protective coating, electrochemical anodizing.*

BIBLIOGRAPHY

1. Yasakau K.A., Tedim J., Zheludkevich M.L., Ferreira M.G.S. Handbook of Smart Coatings for Materials Protection: Smart coatings for corrosion protection: an overview. Cambridge: Woodhead Publishing, 2014, pp. 224–274.
2. Banturabi, S. A. The global aluminum market and the role of the state in the development of the aluminum industry / S. A. Banturabi // XXX International Plekhanov Readings: Collection of articles by graduate students and young scientists, Moscow, March 14, 2017. – Moscow: Russian Economic University named after G.V. Plekhanov, 2017. – P. 267-271.
3. Khazanov, L. G. Prospects for the growth of aluminum consumption, including in the automotive industry / L. G. Khazanov // Technology of wheeled and tracked vehicles. – 2012. – No. 3. – P. 39-41.
4. Properties and application of mechanical connections of the pin type with a crimp head for freight cars made of aluminum alloy grade 1565ch / A. D. Konyukhov, A. M. Drits, A. K. Shurtakov, T. N. Vorobyova // Bulletin of Scientific Research Institute of Railway Transport. – 2014. – No. 3. – P. 9-16.
5. C50L HuckBolt. Huck-engineered lockbolts for the most challenging applications. Waco, Alcoa Fastening Systems, 2012. 8 p.
6. Mori, R. A new structured aluminum-air secondary battery with a ceramic aluminum ion conductor / R. Mori // RSC Advances. – 2013. – Vol. 3, No. 29. – P. 11547-11551. – DOI 10.1039/c3ra42211a.
7. Jinsub Choi. Fabrication of monodomain porous aluminum using nanoimprint lithography and its applications: Dissertation...Doktor-Ingenieur. - 2004. - 103 p.
8. Pometun E.V., Tishkov V.I., Pometun A.A. Practical aspects of pre-treatment of aluminum surfaces in industrial technologies of electrochemical oxidation // Bulletin of Moscow University. Episode 2: Chemistry. – 2018. - No. 6 – P.445-449.
9. Gorshkov A.I., Griбанov E.N., Markov O.I., Oskotskaya E.R. Structure and photocatalytic properties of films based on aluminosilicates // Proceedings of the South-Western State University. Series: Equipment and technology. - 2022. - T.12. - No. 1. - P.131-145.
10. Griбанov E.N. Physico-chemical characteristics and mechanism of sorption of some metal ions from aqueous solutions by aluminosilicate // Sorption and chromatographic processes. - 2020. - T.20. - No. 6. - pp. 719-725.
11. Crini G., Lichtfouse E. Green Adsorbents for Pollutant Removal: Fundamentals and Design. Switzerland: Springer International Publishing. - 2018. - 399 p.
12. Deng, Z. Pulsed laser deposition of zeolite NaX thin films on silica fibers / Z. Deng, K.J. Balkus // Microporous and Mesoporous Materials. – 2002. – V. 56. – I. 1. – P. 47-53.
13. Li, Q. Photochemical template removal and spatial patterning of zeolite MFI thin films using UV/ozone treatment / Q. Li, M.L. Amweg, C.K. Yee et al. // Microporous and Mesoporous Materials. – 2005. – V. 87. – I. 1. – P. 45-51.
14. Hao, J.-N. Hybrid polymer thin films with a lanthanide-zeolite A host-guest system: coordination bonding assembly and photo-integration / J.-N. Hao, B. Yan // New Journal of Chemistry. – 2014. – V. 38. – I. 8. – P. 3540-3547.
15. Bosnar, S. Influence of anions on the kinetics of zeolite A crystallization: A population balance analysis / S. Bosnar, T. Antičić-Jelić, J. Bronić et al. // Journal of Crystal Growth. – 2004. – V. 267. – I. 1-2. – P. 270-282.
16. Koltsova, T.N. Zeolites mutinatie, terranovatie, and boggsite: Structure-composition relationship / T.N. Koltsova // Inorganic Materials. – 2006. – V. 42. – I. 6. – P. 658-664.
17. Ribeiro, F.R. Structure-activity relationship in zeolites / F.R. Ribeiro, F. Alvarez, C. Henriques et al. // Journal of Molecular Catalysis A: Chemical. – 1995. – V. 96. – I. 3. – P. 245-270.
18. Gao, X. State of acidic center and acidity of dealuminated HY zeolites investigated by solid-state NMR spectroscopy / X. Gao, Y. Zhang, L. Lu et al. // Acta Petroleum Sinica (Petroleum Processing). – 2012. – V. 28. – I. 2. – P. 180-187.
19. Choi, J. Fabrication of monodomain porous aluminum using nanoimprint lithography and its applications: Doctoral thesis / Choi Jinsub. – Halle (Saale): Universitäts und Landesbibliothek Sachsen-Anhalt, 2004. – 109 p. DOI: 10.25673/3398.
20. Griбанov E.N., Gorshkov A.I., Khripunov Y.V. et al. On the synthesis and morphology and formation peculiarities of an aluminosilicate film on a substrate // Journal of Surface Investigation: X-Ray, Synchrotron and Neutron Techniques. – 2021. – V. 15. – I. 1. – P. 16-23.

Griбанov Evgeny Nikolaevich

Oryol State University named after I.S. Turgenev
Address: 302026, Russia, Oryol, st. Komsomolskaya, 95
Candidate of Chemical Sciences,
associate professor, head of the department of Chemistry
E-mail: gribanoven@gmail.com

Gorshkov Aleksander Igorevich

Oryol State University named after I.S. Turgenev
Address: 302026, Russia, Oryol, st. Komsomolskaya, 95
senior lecturer
E-mail: gorshkov.a.i@yandex.ru

Yushkova Eleonora Yurievna

Oryol State University named after I.S. Turgenev

Yakunina Maria Andreevna

Oryol State University named after I.S. Turgenev

Address: 302026, Russia, Oryol, st. Komsomolskaya, 95
senior lecturer E-mail: savally2@gmail.com

Address: 302026, Russia, Oryol, st. Komsomolskaya, 95
student
E-mail: griadunova6565@gmail.com

© Е.Н. Грибанов, А.И. Горшков, Э.Ю. Юшкова, М.А. Якунина, 2023

УДК 62-932.4

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-362-6-101-107

А.Ю. РОДИЧЕВ, А.В. ГОРИН

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ УЗЛОВ И АГРЕГАТОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Аннотация. В статье представлен краткий анализ развития предприятий и фирм машиностроительной отрасли с точки зрения развития система мониторинга состояния узлов и агрегатов промышленного оборудования. Рассматриваются последние достижения в области удаленной диагностики, ключевые компоненты дистанционной диагностики мехатронных устройств, включая механизмы сбора, передачи, анализа данных. Выявляются преимущества и проблемы внедрения систем удаленной диагностики, учитываются такие факторы, как кибербезопасность, конфиденциальность данных. Приведены примеры использования рассматриваемой технологии в индустрии.

Ключевые слова: диагностика, параметр, система мониторинга, технология, кибербезопасность, анализ.

Представленный материал выполнен за счет гранта Российского научного фонда №22-79-00289, <https://rscf.ru/project/22-79-00289/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. X.X. Jiang, Q.Y. Song, H.E. Wang, G.F. Du, J.F. Guo, C.Q. Shen, Z.K. Zhu, Central frequency mode decomposition and its applications to the fault diagnosis of rotating machines, *Mech. Mach. Theory* 174 (2022), 104919.
2. S. Ren, Y. Zhang, Y. Liu, T. Sakao, D. Huisingh, C.M.V.B. Almeida, A comprehensive review of big data analytics throughout product lifecycle to support sustainable smart manufacturing: A framework, challenges and future research directions, *J. Clean. Prod.* 210 (2019) 1343–1365.
3. J. Wang, L. Ye, R.X. Gao, C. Li, L. Zhang, Digital twin for rotating machinery fault diagnosis in smart manufacturing, *Int. J. Prod. Res.* 57 (12) (2019) 3920–3934.
4. H.G. Chen, M.Y. Xu, C.Z. Fu, R.J. Song, Z. Li, Mechanical fault diagnosis of gis based on mfccs of sound signals, in: 5th Asia Conference on Power and Electrical Engineering (ACPEE), IEEE, China, 2020, pp. 1487–1491.
5. C. Vununu, K.R. Kwon, E.J. Lee, K.S. Moon, S.H. Lee, Automatic fault diagnosis of drills using artificial neural networks, in: 16th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA), IEEE, Mexico, 2017, pp. 992–995.
6. T. Tran, J. Lundgren, Drill fault diagnosis based on the scalogram and mel spectrogram of sound signals using artificial intelligence, *IEEE Access* 8 (2020) 203655–203666.
7. M. Nacchia, F. Fruggiero, A. Lambiase, K. Bruton, A systematic mapping of the advancing use of machine learning techniques for predictive maintenance in the manufacturing sector, *Appl. Sci.* 11 (2021) 2546.
8. Sagioglu, S. and Sinanc, D., 2013, May. Big data: A review. In 2013 international conference on collaboration technologies and systems (CTS) (pp. 42–47). IEEE. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6567202> (09.06.2023)
9. Duri, S., Gruteser, M., Liu, X., Moskowitz, P., Perez, R., Singh, M. and Tang, J.M., 2002, September. Framework for security and privacy in automotive telematics. In Proceedings of the 2nd international workshop on Mobile commerce (pp. 25–32) – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/570705.570711> (09.06.2023)
10. Masoud Aliramezani, Charles Robert Koch, Mahdi Shahbakhti. Modeling, diagnostics, optimization, and control of internal combustion engines via modern machine learning techniques: A review and future directions. *Progress in Energy and Combustion Science*, Volume 88, January 2022, 100967
11. Fei Li, Tan Yigitcanlar, Madhav Nepal, Kien Nguyen, Fatih Dur. Machine learning and remote sensing integration for leveraging urban sustainability: A review and framework. *Sustainable Cities and Society*, Volume 96, September 2023, 104653
12. Andreas, G., Torsten, G. (2001). A new approach for a multi-fuel, torque based ECU concept using automatic code generation. SAE technical paper. No. 2001- 01-0267.
13. Guenther, D.W., Gerhardt, J. (2000). MOTRONIC-torque guided engine management systems to meet future challenges in emissions and fuel consumption reduction. SAE technical paper. No: 20 0 0-01-1420.
14. Guzzella, L, Onder, C. H. (2010). Introduction to modeling and control of internal combustion engine systems (2nd ed.). Springer.
15. Hammel, C., Jessen, B., Andreas, C.T., & Harald, H. (2003). A common software architecture for diesel and gasoline engine control systems of the new generation EDC/ME (D) 17. SAE technical paper. No: 2003-01-1048.
16. Hillion, M., Chauvin, J., & Petit, N. (2008). Open-loop combustion timing control of a spark-ignited engine. In IEEE conference on decision and control.

17. Isermann, R. (2005). Model-based fault-detection and diagnosis–Status and applications. *Annual Reviews in Control*, 29, 71–85.
18. Isermann, R. (2014). *Engine modeling and control–Modeling and electronic management of internal combustion engines*. Springer Verlag
19. Mandal, A.K., Panarotto, F., Cortesi, A., Ferrara, P. and Spoto, F., 2019. Static analysis of Android Auto infotainment and on-board diagnostics II apps. *Software: Practice and Experience*, 49(7), pp.1131-1161. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/spe.2698> (09.06.2023)
20. You, S., Krage, M. and Jalics, L., 2005. Overview of remote diagnosis and maintenance for automotive systems (No. 2005-01-1428). *SAE Technical Paper*. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2005-01-1428/\(09.06.2023\)](https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2005-01-1428/(09.06.2023))
21. B. Ashok, S. Denis Ashok, C. Ramesh Kumar. A review on control system architecture of a SI engine management system. *Annual Reviews in Control* (2016).
22. E.M. Portniagin, A.A. Ivasinkova, O.A. Svirbutovich, A.V. Gorban, N.A. Gorban Analysis of the headlights checking parameters, *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 632 (1) (2019) 012031.
23. R. Rucco, A. Sorriso, M. Liparoti, G. Ferraioli, P. Sorrentino, M. Ambrosanio, F. Baselice, Type and Location of Wearable Sensors for Monitoring Falls during Static and Dynamic Tasks in Healthy Elderly: A Review, *Sensors*. 18 (5) (2018) 1613, <https://doi.org/10.3390/s18051613>.

Родичев Алексей Юрьевич,

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева
К.т.н., доцент кафедры Мехатроника, механика и робототехника
Россия, 302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29
E-mail: rodfox@yandex.ru

Горин Андрей Владимирович

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева
К.т.н., доцент кафедры Мехатроника, механика и робототехника
Россия, 302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29
E-mail: gorin57@mail.ru

A.Yu. RODICHEV, A.V. GORIN

CONDITION MONITORING SYSTEM UNITS AND UNITS OF INDUSTRIAL EQUIPMENT

Abstract. *The article presents a brief analysis of the development of enterprises and firms in the engineering industry from the point of view of the development of a system for monitoring the condition of components and assemblies of industrial equipment. The latest advances in the field of remote diagnostics, key components of remote diagnostics of mechatronic devices, including mechanisms for collecting, transmitting, and analyzing data are considered. The advantages and problems of implementing remote diagnostic systems are identified, factors such as cybersecurity and data confidentiality are taken into account. Examples of the use of the technology in question in industry are given.*

Keywords: *diagnostics, parameter, monitoring system, technology, cybersecurity, analysis.*

BIBLIOGRAPHY

1. X.X. Jiang, Q.Y. Song, H.E. Wang, G.F. Du, J.F. Guo, C.Q. Shen, Z.K. Zhu, Central frequency mode decomposition and its applications to the fault diagnosis of rotating machines, *Mech. Mach. Theory* 174 (2022), 104919.
2. S. Ren, Y. Zhang, Y. Liu, T. Sakao, D. Huisingh, C.M.V.B. Almeida, A comprehensive review of big data analytics throughout product lifecycle to support sustainable smart manufacturing: A framework, challenges and future research directions, *J. Clean. Prod.* 210 (2019) 1343–1365.
3. J. Wang, L. Ye, R.X. Gao, C. Li, L. Zhang, Digital twin for rotating machinery fault diagnosis in smart manufacturing, *Int. J. Prod. Res.* 57 (12) (2019) 3920–3934.
4. H.G. Chen, M.Y. Xu, C.Z. Fu, R.J. Song, Z. Li, Mechanical fault diagnosis of gis based on mfccs of sound signals, in: 5th Asia Conference on Power and Electrical Engineering (ACPEE), IEEE, China, 2020, pp. 1487–1491.
5. C. Vununu, K.R. Kwon, E.J. Lee, K.S. Moon, S.H. Lee, Automatic fault diagnosis of drills using artificial neural networks, in: 16th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA), IEEE, Mexico, 2017, pp. 992–995.
6. T. Tran, J. Lundgren, Drill fault diagnosis based on the scalogram and mel spectrogram of sound signals using artificial intelligence, *IEEE Access* 8 (2020) 203655–203666.
7. M. Nacchia, F. Fruggiero, A. Lambiase, K. Bruton, A systematic mapping of the advancing use of machine learning techniques for predictive maintenance in the manufacturing sector, *Appl. Sci.* 11 (2021) 2546.
8. Sagioglu, S. and Sinanc, D., 2013, May. Big data: A review. In 2013 international conference on collaboration technologies and systems (CTS) (pp. 42-47). IEEE. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6567202> (09.06.2023)
9. Duri, S., Gruteser, M., Liu, X., Moskowitz, P., Perez, R., Singh, M. and Tang, J.M., 2002, September. Framework for security and privacy in automotive telematics. In Proceedings of the 2nd international workshop on Mobile commerce (pp. 25-32) – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/570705.570711> (09.06.2023)
10. Masoud Aliramezani, Charles Robert Koch, Mahdi Shabbakhti. Modeling, diagnostics, optimization, and control of internal combustion engines via modern machine learning techniques: A review and future directions. *Progress in Energy and Combustion Science*, Volume 88, January 2022, 100967

11. Fei Li, Tan Yigitcanlar, Madhav Nepal, Kien Nguyen, Fatih Dur. Machine learning and remote sensing integration for leveraging urban sustainability: A review and framework. *Sustainable Cities and Society*, Volume 96, September 2023, 104653
12. Andreas, G., Torsten, G. (2001). A new approach for a multi-fuel, torque based ECU concept using automatic code generation. SAE technical paper. No. 2001- 01-0267.
13. Guenther, D.W., Gerhardt, J. (2000). MOTRONIC-torque guided engine management systems to meet future challenges in emissions and fuel consumption reduction. SAE technical paper. No: 20 0 0-01-1420.
14. Guzzella, L, Onder, C. H. (2010). Introduction to modeling and control of internal combustion engine systems (2nd ed.). Springer.
15. Hammel, C., Jessen, B., Andreas, C.T., & Harald, H. (2003). A common software architecture for diesel and gasoline engine control systems of the new generation EDC/ME (D) 17. SAE technical paper. No: 2003-01-1048.
16. Hillion, M., Chauvin, J., & Petit, N. (2008). Open-loop combustion timing control of a spark-ignited engine. In IEEE conference on decision and control.
17. Isermann, R. (2005). Model-based fault-detection and diagnosis—Status and applications. *Annual Reviews in Control*, 29, 71–85.
18. Isermann, R. (2014). Engine modeling and control—Modeling and electronic management of internal combustion engines. Springer Verlag
19. Mandal, A.K., Panarotto, F., Cortesi, A., Ferrara, P. and Spoto, F., 2019. Static analysis of Android Auto infotainment and on-board diagnostics II apps. *Software: Practice and Experience*, 49(7), pp.1131-1161. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/spe.2698> (09.06.2023)
20. You, S., Krage, M. and Jalics, L., 2005. Overview of remote diagnosis and maintenance for automotive systems (No. 2005-01-1428). SAE Technical Paper. - [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2005-01-1428/>(09.06.2023)
21. B. Ashok, S. Denis Ashok, C. Ramesh Kumar. A review on control system architecture of a SI engine management system. *Annual Reviews in Control* (2016).
22. E.M. Portniagin, A.A. Ivasinkova, O.A. Svirbutovich, A.V. Gorban, N.A. Gorban Analysis of the headlights checking parameters, *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 632 (1) (2019) 012031.
23. R. Rucco, A. Sorriso, M. Liparoti, G. Ferraioli, P. Sorrentino, M. Ambrosanio, F. Baselice, Type and Location of Wearable Sensors for Monitoring Falls during Static and Dynamic Tasks in Healthy Elderly: A Review, *Sensors*. 18 (5) (2018) 1613, <https://doi.org/10.3390/s18051613>.

Rodichev Aleksey Yurievich
Orel State University
Adress: 302020, Russia, Orel, Naugorskoe shosse, 29
candidate of technical Sciences, associate professor
of the department mechatronics, mechanics and robotics
E-mail: rodfox@yandex.ru

Gorin Andrei Vladimirovich
Orel State University
Adress: 302020, Russia, Orel, Naugorskoe shosse, 29
candidate of technical Sciences, associate professor
of the department mechatronics, mechanics and robotics
E-mail: gorin57@mail.ru

© А.Ю. Родичев, А.В. Горин, 2023

УДК 621.822

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-362-6-108-115

А.В. СЫТИН, С.А. ВЛАСОВА, И.А. СЕРЕНКО, А.Д. СЕРЕБРЕННИКОВ

РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК РАДИАЛЬНОГО ЛЕПЕСТКОВОГО ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО ПОДШИПНИКА С ИЗМЕНЯЕМОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Аннотация. В статье представлен обзор упруго-демпферных опор скольжения роторов высокоскоростных турбомашин, с акцентом на лепестковые газодинамические подшипники. Дальнейшее развитие данного вида конструкций заключается в применении мехатронных систем, корректирующих форму опорной поверхности для минимизации износа в процессе пуска и останова, контроля и реагирования на непредвиденные ситуации в процессе работы.

Ключевые слова: мехатронные лепестковые подшипники, упруго-демпферные опоры, пьезоэлектрические актуаторы

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шишкин И.Л. Турбомашинны на газовых опорах. – Владивосток: Изд-во Далневост. Ун-та, 1985. – 188с.:ил.
2. Пешти Ю.В. Газовая смазка. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1993.– 382 с.
3. Шутин Д.В. Совершенствование гидростатодинамических подшипников посредством регулирования параметров подачи смазочного материала: дис. кандидата технических наук: 05.02.02 / Шутин Денис Владимирович. – Орёл, 2015. – 192 с.

4. Головнин В.А., Каплунов И.А., Малышкина О.В., Педько Б.Б., Мовчкова А.А. Физические основы, методы исследования и практическое применение пьезоматериалов. – М: Техносфера, 2013. – 272 с.
5. Sharapov, V. (2011) Piezoceramic sensors, Springer Verlag, Heidelberg, Dordrecht, London, New York, 498 p.
6. Патент РФ № 2581101. Многолопестковый газо-динамический подшипник с активным управлением. / Л.А. Савин, А.В. Сытин, С.Д. Антонов, В.О. Тюрин, 2014г.
7. Патент JPH № 0454309. GASBEARING / Tsumaki Nobuo. Огубл. 21.02.1992.
8. Полонский А.Ф. Пьезоэлектричество. – Москва: Изд-во технико-теоретической литературы, 1960. – 68с.:ил.

Сытин Антон Валерьевич
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»,
канд. техн. наук, доцент кафедры
кафедры мехатроники, механики и робототехники
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
E-mail: sytin@mail.ru

Власова Светлана Александровна
ФГКВООУ ВО «Академия Федеральной службы
охраны Российской Федерации», г. Орел
сотрудник
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
E-mail: s.a.vlasova@inbox.ru

Серенко Илья Александрович
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»,
студент
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
E-mail: ilyaserenko@gmail.com

Серебренников Артем Дмитриевич
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»,
студент
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
E-mail: silver57.93@mail.com

A.V. SYTIN, V.S. VLASOVA, I.A. SERENKO, A.D. SEREBRENNIKOV

CALCULATION OF THE CHARACTERISTICS OF THE THRUST LEAF GAS DYNAMIC BEARING BY JOINT SOLUTION OF GAS DYNAMICS AND ELASTICITY THEORY PROBLEMS

Abstract. *This paper presents mathematical modeling of the steady-state operation of a rotor-bearing system containing a thrust lobe bearing. Modeling of the bearing under consideration is based on the iterative solution of the Reynolds equation and additional expressions that allow determining the deformation of the elastic elements. The results of the present study show how changing the geometric parameters, e.g. the thickness of the upper part and the corrugated element, the distance between the individual protrusions affects the operation of the bearing in question.*

Keywords: *Thrust vane gas bearing (ULGP); wear of elastic elements; service life of the rotor support system; finite difference method.*

BIBLIOGRAPHY

1. Shishkin I.L. Turbomachines on gas supports. – Vladivostok: Dalnevost Publishing House. Univ., 1985. – 188 p.: ill.
2. Peshti Yu.V. Gas lubrication. – М.: MSTU im. N.E. Bauman, 1993.– 382 p.
3. Shutin D.V. Improving hydrostatic-dynamic bearings by regulating lubricant supply parameters: dis. Candidate of Technical Sciences: 02/05/02 / Shutin Denis Vladimirovich. – Orel, 2015. – 192 p.
4. Golovnin V.A., Kaplunov I.A., Malysheva O.V., Pedko B.B., Movchikova A.A. Physical foundations, research methods and practical application of piezomaterials. – М: Tekhnosphere, 2013. – 272 p.
5. Sharapov, V. (2011) Piezoceramic sensors, Springer Verlag, Heidelberg, Dordrecht, London, New York, 498 p.
6. RF Patent No. 2581101. Multi-lobe gas-dynamic bearing with active control. / L.A. Savin, A.V. Sytin, S.D. Antonov, V.O. Tyurin, 2014
7. JPH Patent No. 0454309. GASBEARING / Tsumaki Nobuo. Publ. 02/21/1992.
8. Polonsky A.F. Piezoelectricity. – Moscow: Publishing house of technical and theoretical literature, 1960. – 68 p.: ill.

Sytin Anton Valerievich
Orel State University named after I.S. Turgenev
candidate of technical sciences, associate professor of the
department mechatronics, mechanics and robotics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
E-mail: sitin@mail.ru

Vlasova Svetlana Alexandrovna
Academy of the Federal Security Service of the Russian
Federation, Orel
employee
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
E-mail: s.a.vlasova@inbox.ru

Serenko Ilya Aleksandrovich
Orel State University named after I.S. Turgenev

Serebrennikov Artem Dmitrievich
Orel State University named after I.S. Turgenev

student
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
E-mail: ilyaserenko@gmail.com

student
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
E-mail: silver57@mail.ru

© А.В. Сытин, С.А. Власова, И.А. Серенко, А.Д. Серебренников, 2023

УДК 621.822

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-362-6-116-125

Л.А. САВИН, Н.А. МАРАХИН, НГУЕН ТХАЙ ХА, ЛЮ ИФАНЬ, Ю.Н. КАЗАКОВ

ГИБРИДНЫЕ ПОДШИПНИКИ ЖИДКОСТНОГО ТРЕНИЯ

Аннотация: Проведен анализ особенностей гибридных и комбинированных опор роторов. Рассмотрены показатели работоспособности и классификация гибридных подшипников жидкостного трения. Представлены конструктивные схемы, математическая модель и результаты расчета грузоподъемности и энергетических характеристик различных видов гибридных подшипников. Выявлены закономерности функционирования гибридных подшипников для определения оптимальных геометрических размеров, обеспечивающих необходимые динамические и энергетические параметры опор.

Ключевые слова: Опоры роторов, гибридные подшипники жидкостного трения, цилиндрические и конические подшипники скольжения, гидродинамический и гидростатический режим смазки, грузоподъемность, энергетические и динамические характеристики, моделирование.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-19-00789, <https://rscf.ru/project/22-19-00789/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савин, Л.А. Моделирование роторных систем с опорами жидкостного трения: монография / Л.А. Савин, О.В. Соломин. – М.: Машиностроение–1, 2006. 444 с.
2. Поляков, Р. Н. Основы теории и методология расчета комбинированных опор роторов: специальность 05.02.02 «Машиноведение, системы приводов и детали машин»: Диссертация на соискание доктора технических наук / Поляков, Р. Н.; ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет». – Тула, 2017. – 438 с.
3. Патент 2346192 Российская Федерация, МПК F16C 21/00. Комбинированная гибридная опора / Л. А. Савин, А. Ю. Корнеев [и др.]. - № 2007124220/11; заявл. 27.06.2007; опубл. 10.02.2009 г.
4. Патент 2336440 Российская Федерация, МПК F16C 21/00. Управляемая комбинированная опора / Л. А. Савин, А. Ю. Корнеев [и др.]. - № 2007114201/11; заявл. 16.04.2007; опубл. 20.10.2008 г.
5. Журавлев. Ю.Н. Активные магнитные подшипники: Теория, расчет, применение / Журавлев. Ю.Н. СПб: "Политехника", 2003 – 206 с.
6. Shengbo Li, Alexander Babin, Denis Shutin, Yuri Kazakov, Yifan Liu, Zhaobo Chen, Leonid Savin Active hybrid journal bearings with lubrication control: Towards machine learning / Tribology International, 175 (2022) 107805.
7. Бедчер Ф.С., Ломакин А.А. Определение критического числа оборотов ротора насоса с учетом сил, возникающих в уплотнениях/ Паро- и газотурбостроение. 1957, вып.5, с.249-269.
8. Соломин, О. В., Савин, Л. А., Сидоренко, А. С. Вычислительная процедура определения характеристик гибридного подшипника жидкостного трения, совмещающего гладкую и многоклиновую опорные поверхности / О. В. Соломин, Л. А. Савин, А. С. Сидоренко // Трение и износ. – 2006. – № 5. – С. 505-513.
9. Патент 2324081 Российская Федерация, МПК F16C 17/02 Подшипник скольжения / Л.А. Толстиков, А. С. Сидоренко [и др.]. - № 2004129420/11; заявл. 07.10.2004; опубл. 10.05.2008 г.
10. Satish C. Sharma, Vikas M. Phalle, S.C. Jain Performance analysis of a multirecess capillary compensated conical hydrostatic journal bearing / Tribology International, 44 (2011) 617–626.
11. Satish C. Sharma, Vikas M. Phalle, S.C. Jain Influence of wear on the performance of a multirecess conical hybrid journal bearing compensated with orifice restrictor / Tribology International, 44 (2011) 1754–1764.
12. Xiaobo Zuo, Jianmin Wang, Ziqiang Yin, Shengyi Li Comparative performance analysis of conical hydrostatic bearings compensated by variable slot and fixed slot / Tribology International, 66 (2013) 83–92.
13. Aston R. L. Design of conical hydrostatic journal bearings / R. L. Aston, J. P. ODonoghue, W. B. Rowe // Machinery and Production Engineering. - 1970. – Vol. 116, № 2988. – P. 250-254.
14. Korneev A.Yu. Steady Characteristics of the Water-Lubricated Conical Bearings / S.B. Li, H.R. Ao, H.Y. Jiang, A.Yu. Korneev, L.A. Savin // Journal of Donghua University (English Edition), 2012, 29(2), pp. 115 – 122 (Scopus).

Савин Леонид Алексеевич
ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г Орёл
д.т.н., профессор, профессор кафедры мехатроники, механики и робототехники

Марахин Никита Алексеевич
ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г Орёл
Аспирант
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел. 8 (4862) 41 98 49

302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
8(4862) 41–98–49
E-mail: savin3257@mail.ru

Нгуен Тхай Ха

ФГБОУ ВО «Орловский государственный
университет имени И.С. Тургенева», г Орёл
Аспирант
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
8(4862) 41–98–49
E-mail: havcn@mail.ru

Лю Ифань

ФГБОУ ВО «Орловский государственный
университет имени И.С. Тургенева», г Орёл
Аспирант
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел. 8 (4862) 41 98 49
E-mail: liuyifan0094@qq.com

Казаков Юрий Николаевич

ФГБОУ ВО «Орловский государственный
университет имени И.С. Тургенева», г Орёл
Аспирант
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел. 8 (4862) 41 98 49
E-mail: kazakyurii@yandex.ru

L.A. SAVIN, N.A. MARAKHIN, NGUYEN THAI HA, LIU YIFAN, YU.N. KAZAKOV

HYBRID FLUID FILM BEARINGS

Abstract. *An analysis of the features of hybrid and combined rotor bearings was carried out. The performance indicators and classification of hybrid fluid film bearings are considered. Design diagrams, a mathematical model and the results of calculating the load capacity and energy characteristics of various types of hybrid bearings are presented. The key relations of functioning of hybrid bearings have been identified to determine the optimal geometric dimensions that provide the necessary dynamic and energy parameters of the bearings.*

Keywords: *rotor bearings, hybrid fluid film bearings, cylindrical and conical plain bearings, hydrodynamic and hydrostatic lubrication modes, load capacity, energy and dynamic characteristics, modeling.*

BIBLIOGRAPHY

1. Savin, L.A. Modeling of rotor systems with fluid friction supports: monograph / L.A. Savin, O.V. Solomin. – M.: Mashinostroenie–1, 2006. 444 p.
2. Polyakov, R. N. Fundamentals of theory and methodology for calculating combined rotor supports: specialty 05.02.02 “Mechanical science, drive systems and machine parts”: Dissertation for the Doctor of Technical Sciences / Polyakov, R. N.; Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Tula State University. - Tula, 2017. - 438 p.
3. Patent 2346192 Russian Federation, IPC F16C 21/00. Combined hybrid support / L. A. Savin, A. Yu. Korneev [etc.]. - No. 2007124220/11; application 06/27/2007; publ. 02/10/2009
4. Patent 2336440 Russian Federation, IPC F16C 21/00. Controlled combined support / L. A. Savin, A. Yu. Korneev [etc.]. - No. 2007114201/11; application 04/16/2007; publ. October 20, 2008
5. Zhuravlev. Yu.N. Active magnetic bearings: Theory, calculation, application / Zhuravlev. Yu.N. St. Petersburg: "Polytechnika", 2003 - 206 p.
6. Shengbo Li, Alexander Babin, Denis Shutin, Yuri Kazakov, Yifan Liu, Zhaobo Chen, Leonid Savin Active hybrid journal bearings with lubrication control: Towards machine learning / Tribology International, 175 (2022) 107805.
7. Bedcher F.S., Lomakin A.A. Determination of the critical speed of the pump rotor, taking into account the forces arising in the seals / Steam and gas turbine engineering. 1957, issue 5, pp. 249-269.
8. Solomin, O. V., Savin, L. A., Sidorenko, A. S. Computational procedure for determining the characteristics of a hybrid fluid friction bearing combining smooth and multi-wedge bearing surfaces / O. V. Solomin, L. A. Savin, A. S. Sidorenko // Friction and wear. - 2006. - No. 5. - P. 505-513.
9. Patent 2324081 Russian Federation, IPC F16C 17/02 Sliding bearing / L.A. Tolstikov, A. S. Sidorenko [and others]. - No. 2004129420/11; application 10/07/2004; publ. 05/10/2008
10. Satish C. Sharma, Vikas M. Phalle, S.C. Jain Performance analysis of a multirecess capillary compensated conical hydrostatic journal bearing / Tribology International, 44 (2011) 617–626.
11. Satish C. Sharma, Vikas M. Phalle, S.C. Jain Influence of wear on the performance of a multirecess conical hybrid journal bearing compensated with orifice restrictor / Tribology International, 44 (2011) 1754–1764.
12. Xiaobo Zuo, Jianmin Wang, Ziqiang Yin, Shengyi Li Comparative performance analysis of conical hydrostatic bearings compensated by variable slot and fixed slot / Tribology International, 66 (2013) 83–92.
13. Aston R. L. Design of conical hydrostatic journal bearings / R. L. Aston, J. P. ODonoghue, W. B. Rowe // Machinery and Production Engineering. - 1970. – Vol. 116, No. 2988. – P. 250-254.

14. Korneev A.Yu. Steady Characteristics of the Water-Lubricated Conical Bearings / S.B. Li, H.R. Ao, H.Y. Jiang, A.Yu. Korneev, L.A. Savin // Journal of Donghua University (English Edition), 2012, 29(2), pp. 115 – 122 (Scopus).

Savin Leonid Alekseevich

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel
Doctor of sciences, professor, professor at the
department of mechatronics, mechanics and robotics
302020, Orel, Naugorskoye shosse, 29
8(4862) 41–98–49
E-mail: savin3257@mail.ru

Marakhin Nikita Alekseevich

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel
Graduate student
302020, Orel, Naugorskoye shosse, 29
8(4862) 41–98–49

Nguyen Thai Ha

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel
Graduate student
302020, Orel, Naugorskoye shosse, 29
8(4862) 41–98–49
E-mail: havcn@mail.ru

Liu Yifan

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel
Graduate student
302020, Orel, Naugorskoye shosse, 29
8(4862) 41–98–49
E-mail: liuyifan0094@qq.com

Kazakov Yuri Nikolaevich

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel
Graduate student
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph. 8 (4862) 41 98 49
E-mail: kazakyurii@yandex.ru

© Л.А. Савин, Н.А. Марахин, Нгуен Тхай Ха, Лю Ифань, Ю.Н. Казаков, 2023

УДК 621.822.5

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-362-6-126-136

Р.Н. ПОЛЯКОВ, К.К. НАСТЕПАНИН, Д.А. АБАКАРОВА, М.Э. БОНДАРЕНКО

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АДАПТИВНЫХ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ

Аннотация. *Активное управление гидродинамическими подшипниками позволяет воздействовать на динамические и трибологические характеристики роторно-опорной системы посредством регулирования формы и размера радиального зазора. Для исследования свойств активного управления гидродинамическим подшипником скольжения была разработана подшипниковая опора с регулированием формы и размера масляного клина. Для отслеживания качественных свойств представленного подшипника модернизирована контрольно-измерительная система на базе программно-аппаратных средств National Instruments. Сформулирована гипотеза эксперимента по изучению динамических характеристик роторно-опорной системы в процессе управления. Впервые введено понятие адаптивного самоцентрирования как самостоятельного эффекта, характеризующего уменьшение амплитуд колебаний при принудительном изменении жёсткостных характеристик подшипника скольжения.*

В результате проведённого эксперимента будет представлена АЧХ роторной системы и будет сделан вывод о работоспособности системы с активным управлением формы и размером зазора гидродинамического подшипника.

Ключевые слова: *подшипники скольжения, роторные системы, критическая частота, самоцентрирование, активное управление, изменение формы и размера радиального зазора.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кельзон А.С., Цимаских Ю.П., Яковлев В.И. Динамика роторов в упругих опорах. - М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы. 1982. - 280 с.
2. Шутин Д. В. Совершенствование гидростатодинамических подшипников посредством регулирования параметров подачи смазочного слоя: дис. Канд. Техн наук: 05.02.02. - Тула, 2016. - 192 с.
3. Arvidsson T. Патент США №4915510, 1986.
4. Bently D.E., Grant J.W. Патент США №5769545, 1996.

5. Oledzki W.J. Патент США №8523445, 2010.
6. Deckler D.C., Veillette R.J., Braun M.J., Choy F.K. Simulation and Control of an Active Tilting-Pad Journal Bearing // STLE Tribology Trans, 47, 2000. PP. 440-458.
7. An Wu, Zhijun Cai, de Queiroz M.S. Model-Based Control of Active Tilting-Pad Bearings. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 2008. PP.112- 122.
8. Cai Z., de Queiroz M.S., Khonsari M.M. Adaptive control of active tilting-pad bearings // Proceedings of the American Control Conference. Vol.4, 2003. PP.2907-2912.
9. Santos I.F. Design and Evaluation of Two Types of Active Tilting Pad Journal Bearings // The Active Control of Vibration. Mechanical Engineering Publications Limited, 1994. PP. 79-87.
10. M.A. Haugaard. On Controllable Elastohydrodynamic Fluid Film Bearings. DTU Mechanical Engineering, PhD thesis, 2011. 182 p.
11. Hesselbach J., Abel-Keilhack C. Active hydrostatic bearing with magnetorheological fluid // Journal of Applied Physics. Vol. 93, Issue 10. 2003. PP. 8441-8449.
12. Wilson D.S. Патент США №5059845, 1996.
13. Habermann H., Liard G. An active magnetic bearing system // Precision Engineering. Vol. 2, Issue 3, 1980. PP. 139-140.
14. Bleuler H., Vischer D., Schweitzer G., Traxler A., Zlatnik D. New concepts for cost-effective magnetic bearing control // Automatica. Vol. 30, Issue 5, 1994. PP. 871-876
15. El-Shafei A. Патент США №20080224556, 2008.
16. Hannum N.P., Nielson C.E. Performance and Application of High Speed Long Life LH2 Hybrid Bearings for Reusable Rocket Engine Turbomachinery. NASA TM-83417. Accession number N83-26923/3. 1983. 26 p.
17. Farmakopoulos P.G., Nikolakopoulos M.G. Design of an active hydromagnetic journal bearing // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology. Vol. 227. 2013. PP. 673-694
18. Tammi M. J. Identification and active feedback-feedforward control of rotor // Acoustics and Vibration. 2007. 12. № 1. PP. 7-14
19. Santos I.F. Mechatronics Applied to Machine Elements with Focus on Active Control of Bearing, Shaft and Blade Dynamics. PhD thesis. Technical University of Denmark, 2010. 107 p.
20. Патент № 2749362 С1 Российская Федерация, МПК G01M 13/04. Установка для исследования роторных систем с активным управлением: № 2020130345: заявл. 14.09.2020; опубл. 09.06.2021 / А. Ю. Родичев, Л. А. Савин, А. С. Фетисов [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "ОРЛОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени И.С. ТУРГЕНЕВА". – EDNCZZMBB
21. Shenglun Zhang. Vibration suppression mechanism research of adjustable elliptical journal bearing under synchronous unbalance load / Shenglun Zhang, Hua Xu, Lei Zhang, Yu Xing, Yanan Guo // Tribology International. ELSEVIER. - 2019. - № 132 - С. 185-198.
22. Патент № CN102022431В. Эллиптический подшипник скольжения: CN201010593906: заявл. 17.12.2010; опубл. 2013.01.02 / 徐华, 裴世源 – 5 с.
23. Polyakov R., Savin L., Fetisov A. Analysis of the conditions for the occurrence of the effect of a minimum of friction in hybrid bearings based on the load separation principle // Proc IMechE Part J:J Engineering Tribology0(0) 1-10 DOI: 10.1177/1350650118777143]
24. Data acquisition system // National Instruments URL: <http://www.ni.com>. (дата обращения: 09.10.2023).
25. НПО «Измерительной техники» // Измерительная Техника URL: <https://www.izmtch.ru/about/> (дата обращения: 09.10.2023).
26. Pepperl + Fuchs – Россия // PEPPERL+FUCHS URL: <https://pepperl-fuchs.imall.pro/?yclid=3034923371120295935> (дата обращения: 09.10.2023).
27. Алиев Т.А. Экспериментальный анализ. – М.: Машиностроение, 1991. – 272 с.
28. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. – СПб: Питер, 2002. – 608 с.
29. Polyakov, R., Majorov, S., Kudryavcev, I., Krupenin, N. Predictive analysis of rotor machines fluid-film bearings operability / Vibroengineering Procedia, Vol. 30, 2020, p. 61-67.
30. A. Chasalevris and F. Dohnal Improving stability and operation of turbine rotors using adjustable journal bearings / A. Chasalevris and F. Dohnal // Tribol. Int.–2016. vol. 104, pp. 369–382, doi: 10.1016/j.triboint.2016.06.022.

Поляков Роман Николаевич

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»,
доктор техн. наук, зав. кафедрой мехатроника,
механика и робототехника
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
Тел. +79038819381

Настепанин Кирилл Константинович

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
Студент магистратуры
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
Тел. +79534136923
E-mail: nastepanin02@mail.ru

Абакарова Диана Рамазановна

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»,
Аспирант
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
Тел. +79919333103

Бондаренко Максим Эдуардович

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»,
кандидат техн. наук, доцент кафедры мехатроника,
механика и робототехника
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29

R.N. POLYAKOV, K.K. NASTEPANIN, D.R. ABAKAROVA, M.E. BONDARENKO

TEST RIG FOR THE STUDY OF SLIDING ADAPTIVE BEARINGS

Abstract. *Active control of hydrodynamic bearings makes it possible to influence the dynamic and tribological characteristics of the rotor-support system by adjusting the shape and size of the radial clearance. To study the active control properties of a hydrodynamic sliding bearing, a bearing support with control of the shape and size of the oil wedge was developed. To monitor the quality properties of the presented bearing, the control and measuring system based on National Instruments software and hardware has been modernized. A hypothesis has been formed for an experiment to study the dynamic characteristics of the rotor-support system during the control process. For the first time, the concept of adaptive self-centering was introduced as an independent effect that characterizes a decrease in vibration amplitudes with a forced change in the rigid characteristics of a sliding bearing.*

As a result of the experiment, the frequency response of the rotor system will be presented and a conclusion will be drawn about the operability of the system with active control of the shape and gap size of the hydrodynamic bearing.

Keywords: *fluid-film bearings, rotor systems, critical frequency, self-centering, active control, changing the shape and size of the radial clearance.*

BIBLIOGRAPHY

1. Kelzon A.S., Tsimsikh Yu.P., Yakovlev V.I. Dynamics of rotors in elastic supports. - M.: Science. Main editorial office of physical and mathematical literature. 1982. - 280 p.
2. Shutin D.V. Improvement of hydrostatodynamic bearings by regulating the parameters of the lubricant layer supply: dis. Cand. Technical Sciences: 02/05/02. - Tula, 2016. - 192 p.
3. Arvidsson T. US Patent No. 4915510, 1986
4. Bently D.E., Grant J.W. US Patent No. 5769545, 1996.
5. Oledzki W.J. US Patent No. 8523445, 2010
6. Deckler D.C., Veillette R.J., Braun M.J., Choy F.K. Simulation and Control of an Active Tilting-Pad Journal Bearing // STLE Tribology Trans, 47, 2000. PP. 440-458.
7. An Wu, Zhijun Cai, de Queiroz M.S. Model-Based Control of Active Tilting-Pad Bearings. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 2008. PP.112-122.
8. Cai Z., de Queiroz M.S., Khonsari M.M. Adaptive control of active tilting-pad bearings // Proceedings of the American Control Conference. Vol.4, 2003. PP.2907-2912.
9. Santos I.F. Design and Evaluation of Two Types of Active Tilting Pad Journal Bearings // The Active Control of Vibration. Mechanical Engineering Publications Limited, 1994. PP. 79-87.
10. M.A. Haugaard. On Controllable Elastohydrodynamic Fluid Film Bearings. DTU Mechanical Engineering, PhD thesis, 2011. 182 p.
11. Hesselbach J., Abel-Keilhack C. Active hydrostatic bearing with magnetorheological fluid // Journal of Applied Physics. Vol. 93, Issue 10. 2003. PP. 8441-8449.
12. Wilson D.S. US Patent No. 5059845, 1996.
13. Habermann H., Liard G. An active magnetic bearing system // Precision Engineering. Vol. 2, Issue 3, 1980. PP. 139-140.
14. Bleuler H., Vischer D., Schweitzer G., Traxler A., Zlatnik D. New concepts for cost-effective magnetic bearing control // Automatica. Vol. 30, Issue 5, 1994. PP. 871-876
15. El-Shafei A. US Patent No. 20080224556, 2008.
16. Hannum N.P., Nielson C.E. Performance and Application of High Speed Long Life LH2 Hybrid Bearings for Reusable Rocket Engine Turbomachinery. NASA TM-83417. Accession number N83-26923/3. 1983. 26 p.
17. Farmakopoulos P.G., Nikolakopoulos M.G. Design of an active hydromagnetic journal bearing // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology. Vol. 227. 2013. PP. 673-694
18. Tammi M. J. Identification and active feedback-feedforward control of rotor // Acoustics and Vibration. 2007. 12. No. 1. PP. 7-14
19. Santos I.F. Mechatronics Applied to Machine Elements with Focus on Active Control of Bearing, Shaft and Blade Dynamics. PhD thesis. Technical University of Denmark, 2010. 107 p.
20. Patent No. 2749362 C1 Russian Federation, IPC G01M 13/04. Installation for studying rotor systems with active control: No. 2020130345: application. 09/14/2020: publ. 06/09/2021 / A. Yu. Rodichev, L. A. Savin, A. S. Fetisov [etc.]; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "ORYOL STATE UNIVERSITY NAMED AFTER I.S. TURGENEV". -EDNCZZMBB
21. Shenglu Zhang. Vibration suppression mechanism research of adjustable elliptical journal bearing under synchronous unbalance load / Shenglu Zhang, Hua Xu, Lei Zhang, Yu Xing, Yanan Guo // Tribology International. ELSEVIER. - 2019. - No. 132 - P. 185-198.

22. Patent No. CN102022431B. Elliptical plain bearing: CN201010593906: appl. 12/17/2010: publ. 2013.01.02 / 徐华, 裴世源 – 5 s
23. Polyakov R., Savin L., Fetisov A. Analysis of the conditions for the occurrence of the effect of a minimum of friction in hybrid bearings based on the load separation principle // Proc IMechE Part J:J Engineering Tribology0(0) 1–10DOI: 10.1177/1350650118777143]
24. Data acquisition system // National Instruments URL: <http://www.ni.com>. (access date: 10/09/2023).
25. NPO “Measuring Technology” // Measuring Technology URL: <https://www.izmteh.ru/about/> (access date: 10/09/2023).
26. Pepperl + Fuchs – Russia // PEPPERL+FUCHS URL: <https://pepperl-fuchs.imall.pro/?yclid=3034923371120295935> (access date: 10/09/2023).
27. Aliev T.A. Experimental analysis. – M.: Mashinostroenie, 1991. – 272 p.
28. Sergienko A.B. Digital signal processing. – St. Petersburg: Peter, 2002. – 608 p.
29. Polyakov, R., Majorov, S., Kudryavcev, I., Krupenin, N. Predictive analysis of rotor machines fluid-film bearings operability / Vibroengineering Procedia, Vol. 30, 2020, p. 61-67.
30. A. Chasalevris and F. Dohnal Improving stability and operation of turbine rotors using adjustable journal bearings / A. Chasalevris and F. Dohnal // Tribol. Int.–2016. vol. 104, pp. 369–382.

Polyakov Roman Nikolaevich

Orel State University named after I.S. Turgenev
doctor of technical Sciences, associate professor of the
department mechatronics, mechanics and robotics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph.: +79038819381
E-mail: romanpolak@mail.ru

Nastepanin Kirill Konstantinovich

Orel State University named after I.S. Turgenev
Masters student
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Tel. +79534136923
E-mail: nastepanin02@mail.ru

Abakarova Diana Ramazanovna

Orel State University named after I.S. Turgenev
Graduate student
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph.: +79919333103
E-mail: dinovka@mail.ru

Bondarenko Maxim Eduardovich

Orel State University named after I.S. Turgenev
candidat of technical Sciences, associate professor of the
department mechatronics, mechanics and robotics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Tel. +79538174922
E-mail: maxbondarenko22@yandex.ru

© Р.Н. Поляков, К.К. Настепанин, Д.А. Абакарова, М.Э. Бондаренко, 2023

**КОНТРОЛЬ, ДИАГНОСТИКА, ИСПЫТАНИЯ
И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ**

УДК 658.51

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-362-6-137-152

В.В. СИДОРИН, Н.Б. ХАЛИЛЮЛИНА

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
РЕСУРСОЁМКОСТИ И ОЦЕНКИ ПРОИЗВОДСТВЕННО-
УПРАВЛЕНЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА В СИСТЕМЕ МЕНЕДЖМЕНТА
КАЧЕСТВА ОРГАНИЗАЦИИ**

Аннотация. *Статья посвящена разработке математической модели прогнозирования потребности в обеспечении ресурсами процессов системы менеджмента качества (СМК) организации и оценки её производственных возможностей по их освоению. Представлен разработанный на основе математической модели метод анализа потребностей в ресурсах процессов СМК организации и оценки возможности организации выполнить требования заказчиков работ в установленные сроки. Цель разработки математической модели и метода - формирование основы для разработки специализированного программного обеспечения управления процессами и различными видами деятельности в СМК организаций на основе цифровых информационных технологий (ЦИТ). Математическая модель прогнозирования ресурсоёмкости планируемых работ и оценки производственных возможностей организации по освоению требуемых ресурсов в анализе внутренней и внешней среды организации является также инструментом принятия решений на всех уровнях управления организацией. Оптимизация принимаемых решений в результате применения представленных математической модели и метода может выполняться как с применением ЦИТ, так и использованием традиционных экспертных методов.*

Ключевые слова: система менеджмента качества, математическая модель, ресурсы, процессы, прогнозирование, производственный потенциал, ресурсоёмкость, цифровые информационные технологии, принятие решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сидорин В.В. Система менеджмента качества в цифровой экономике // Методы менеджмента качества, 2018, №2, - С.28-35.
2. Ковригин Е.А. Интеграция современных цифровых технологий в систему менеджмента качества высокотехнологичных предприятий: Дис. к.т.н.: 05.02.23, [Место защиты: ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого»]. – СПб.: 2020. – 144 с.
3. Сидорин В.В., Халилюлина Н.Б. Система управления проектированием и разработкой наукоемкой высокотехнологичной продукции на основе цифровых информационных технологий // Автоматизация в промышленности – 2023. – № 3. – С. 23-31.
4. ГОСТ Р ИСО 9001-2015. Системы менеджмента качества. Требования. М.: Стандартиформ, 2015. -18 с.
5. ГОСТ Р 58876-2020 Системы менеджмента качества организаций авиационной, космической и оборонной отраслей промышленности. Требования/М.:ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», -38с.
6. ГОСТ РВ 0015-002-2020. Система разработки и постановки на производство военной техники. Системы менеджмента качества. Требования
7. Бережная Е.В. Математические методы моделирования экономических систем: учеб. пособие/ Е. В. Бережная, В. И. Бережной. - изд. 2-е, перераб. и доп. - М: Финансы и статистика, 2008. – 430 с.
8. Глухов В.В., Медников М.Д., Коробко С.Б. Математические методы и модели для менеджмента. 3-е изд. – СПб.: Издательство «Лань», 2007. – 528 с.
9. Калянов Г. Н. Моделирование, анализ, реорганизация и автоматизация бизнес-процессов: учеб. Пособие. – М.: Финансы и статистика, 2007. – 240 с.
10. Снитко О.А. Формирование системы управления ресурсами предприятия [Электронный ресурс]//Вестник Белгородского университета кооперации, экономики и права/ О. А. Снитко – Режим доступа: <http://vestnik.buker.ru/articles...>
11. Сидорин В.В. Процесс обеспечения продукцией, поставляемых внешними поставщиками, в СМК организаций авиационной, космической и оборонной отраслей промышленности // Вестник качества, вып.2, 2022 г., - С.3-32.
12. Горлов В.Н. Исследование и проектирование автоматизированной информационной системы менеджмента качества // Вестник качества, вып.5/6, 2022 г., - С.18-27.
13. Железнов Э.Г., Комиссаров П.В., Цымай Ю.В. Исследование эргатических систем управления // Современные наукоемкие технологии. – 2021. – № 4. – С. 37-41;
14. Гугелев А.В., Хаценко А.Н. Моделирование централизации управленческих процессов регулирования качества продукции в целях оптимизации // Вестник качества, вып.5, 2021 г., - С.13-16.

Сидорин Виктор Викторович

Автономная некоммерческая организация «Институт испытаний и сертификации вооружения и военной техники» (АНО «ИНИС ВВТ»), г. Москва
Руководитель Учебного центра доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры электроники Института перспективных технологий и индустриального программирования РТУ Московского МИРЭА, 111524, Москва, Электродная улица, д.10
e-mail: wwsid@yandex.ru; sidorin@inis.ru

Халилюлина Надежда Борисовна

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук» ИПФ РАН, г. Нижний Новгород
Заведующая сектором системы менеджмента качества, аспирант кафедры электроники Института перспективных технологий и индустриального программирования РТУ МИРЭА, г. Москва
603950, г. Нижний Новгород, БОКС-120, ул. Ульянова, 46
e-mail: nbh@ipfran.ru

V.V. SIDORIN, N.B. KHALILULINA

MATHEMATICAL MODEL AND FORECASTING METHOD RESOURCE INTENSITY AND EVALUATION OF PRODUCTION AND MANAGEMENT POTENTIAL IN THE QUALITY MANAGEMENT SYSTEM OF THE ORGANIZATION

Abstract. *The article is devoted to the development of a mathematical model for predicting the need to provide resources for the processes of the quality management system (QMS) of an organization and assessing its production capabilities for their development. The paper presents a method developed on the basis of a mathematical model for analyzing the resource needs of the organizations QMS processes and assessing the organizations ability to fulfill the requirements of work customers in a timely manner. The purpose of developing a mathematical model and method is to form the basis for the development of specialized software for managing processes and various types of activities in the QMS of organizations based on digital information technologies (CIT). The mathematical model of forecasting the resource intensity of the planned work and assessing the production capabilities of the organization for the development of the required resources in the analysis of the internal and external environment of the organization is also a decision-making tool at all levels of management of the organization. Optimization of the decisions made as a result of the application of the presented mathematical model and method can be performed both with the use of CIT and using traditional expert methods.*

Keywords: *quality management system, mathematical model, resources, processes, forecasting, production potential, resource intensity, digital information technologies, decision-making.*

BIBLIOGRAPHY

1. Sidorin V.V. Sistema menedzhmenta kachestva v cifrovoj ekonomike // *Metody menedzhmenta kachestva*, 2018, №2, - S.28-35.
2. Kovrigin E.A. Integraciya sovremennyh cifrovyyh tekhnologiy v sistemu menedzhmenta kachestva vysokotekhnologichnyh predpriyatij: Dis. k.t.n.: 05.02.23, [Mesto zashchity: FGAOU VO «Sankt-Peterburgskij Politekhnikeskij universitet Petra Velikogo»]. – SPb.: 2020. – 144 s.
3. Sidorin V.V., Halilyulina N.B. Sistema upravleniya proektirovaniem i razrabotkoj naukoemkoj vysokotekhnologichnoj produkcii na osnove cifrovyyh informacionnyh tekhnologij // *Avtomatizaciya v promyshlennosti – 2023*. – № 3. – S. 23-31.
4. GOST R ISO 9001-2015. Sistemy menedzhmenta kachestva. Trebovaniya. M.: Standartinform, 2015. -18 s.
5. GOST R 58876-2020 Sistemy menedzhmenta kachestva organizacij aviacionnoj, kosmicheskoy i oboronnoj otraslej promyshlennosti. Trebovaniya/M.:FGUP « STANDARTINFORM », -38s.
6. GOST RV 0015-002-2020. Sistema razrabotki i postanovki na proizvodstvo voennoj tekhniki. Sistemy menedzhmenta kachestva. Trebovaniya
7. Berezhnaya E.V. Matematicheskie metody modelirovaniya ekonomicheskikh sistem: ucheb. posobie/ E. V. Berezhnaya, V. I. Berezhnoj. - izd. 2-e, pererab. i dop. - M: Finansy i statistika, 2008. – 430 s.
8. Gluhov V.V., Mednikov M.D., Korobko S.B. Matematicheskie metody i modeli dlya menedzhmenta. 3-e izd. – SPb.: Izdatelstvo «Lan», 2007. – 528 s.
9. Kalyanov G. N. Modelirovanie, analiz, reorganizaciya i avtomatizaciya biznes-processov: ucheb. Posobie. – M.: Finansy i statistika, 2007. – 240 s.
10. Snitko O.A. Formirovanie sistemy upravleniya resursami predpriyatiya [Elektronnyj resurs]//*Vestnik Belgorodskogo universiteta kooperacii, ekonomiki i prava/ O. A. Snitko – Rezhim dostupa: <http://vestnik.bukep.ru/articles...>*
11. Sidorin V.V. Process obespecheniya produkciej, postavlyaemyh vneshnimi postavshchikami, v SMK organizacij aviacionnoj, kosmicheskoy i oboronnoj otraslej promyshlennosti // *Vestnik kachestva*, vyp.2, 2022 g., - S.3-32.
12. Gorlov V.N. Issledovanie i proektirovanie avtomatizirovannoj informacionnoj sistemy menedzhmenta kachestva // *Vestnik kachestva*, vyp.5/6, 2022 g., - S.18-27.
13. ZHeleznov E.G., Komissarov P.V., Cymaj YU.V. Issledovanie ergaticheskikh sistem upravleniya // *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*. – 2021. – № 4. – S. 37-41;
14. Gugelev A.V., Hacenko A.N. Modelirovanie centralizacii upravlencheskikh processov regulirovaniya kachestva produkcii v celyah optimizacii // *Vestnik kachestva*, vyp.5, 2021 g., - S.13-16.

Sidorin Viktor Viktorovich

Autonomous non-profit organization
"Institute of Testing and Certification of Weapons and Military Equipment" (ANO "InIS VVT"), Moscow
Head of the Training Center, Doctor of Technical Sciences, Professor,
Professor of the Department of Electronics of the Institute of Advanced Technologies and Industrial Programming of the Moscow MIREA RTU,
111524, Moscow, Electrode Street, 10
e-mail: wwsid@yandex.ru; sidorin@inis.ru

Khalilulina Nadezhda Borisovna

Federal State Budgetary Scientific Institution
Federal Research Center A.V. Gaponov-Grekhov
Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences (IPF RAS), Nizhny Novgorod
Head of the Quality Management System Sector,
Postgraduate student of the Electronics Department of the Institute of Advanced Technologies and Industrial Programming of RTU MIREA, Moscow 603950,
Nizhny Novgorod, BOX-120, Ulyanova str., 46
e-mail: nbh@ipfran.ru

А.С. ТУГАРЕВ, О.А. ВОРОНИНА, К.С. ХАРЛАНОВА, В.В. МИШИН

АНАЛИЗ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ МИКРОПРОВОЛОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Аннотация. Статья посвящена анализу методов контроля микропроволочных соединений в процессе сборки микросхем. Рассмотрены визуальные, механические и электрические методы контроля, выявлены основные причины возникновения дефектов при разварке микропроволочных соединений.

Ключевые слова: микропроволочные соединения, методы контроля, визуальный контроль, инструментальный контроль, дефекты соединений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Шмаков М. Микросварка при производстве микросборок и гибридных интегральных микросхем // Технологии в электронной промышленности – 2006, № 6. – С. 64-68.
- 2 Ланин В.Л., Петухов И.Б. Формирование микросварных соединений в интегральных схемах контактной микросваркой // Технологии в электронной промышленности – 2010, № 7 – С. 54-58.
- 3 Evaluation of New Substrate Surface Finish: Electroless Nickel/Electroless Palladium/Immersion Gold (ENEPIG) / Chun-Hsien Fu, Liang-Yi Hung, Don-Son Jiang, Chiang-Cheng Chang, Y. P. Wang, C.S. Hsiao // IEEE 1931 2008 Electronic Components and Technology Conference. PP. 1931-1935.
- 4 SB²-WB: A new process solution for advanced wire-bonding / Matthias Fettke, Andrej Kolbasow, Georg Friedrich, Anna Palys, Vinith Bejugam and Thorsten Teutsch // Conference: 2019 IEEE 69th Electronic Components and Technology Conference (ECTC). PP. 1-8.
- 5 Сборка интегральных микросхем АО «НИИЭТ» – <https://vk.com/video/@niiet>
- 6 РД 11 0274-90 Микросхемы интегральные. Технические требования к техническому процессу сборки. ОКП
- 7 Ланин В.Л., Петухов И.Б. Контроль микросварных соединений проволочного монтажа в технологии «кристалл на плате» // Компоненты и технологии – 2017, № 9 – С. 118–120.
- 8 Кудряшов И. Технология микросварки проволочных выводов // Производство электроники. – 2007, №5. С. 1-5.
- 9 Digital Control of Bonding Force for Gold Wire Bonding Machine / Xiaochu Wang, Zhongjun Zhu, Jian Gao, Xin Chen, Yonggang Wu. // TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering. Vol.11, No.3, March 2013, PP. 1568-1578.
- 10 Fuliang Wang, Yun Chen, Lei Han Effect of Capillary Trace on Dynamic Loop Profile Evolution in Thermosonic Wire Bonding. // IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing Technology 2(9) 2012. PP. 1550-1557.
- 11 Ланин В., Петухов И., Передков Н. Контроль качества микросварных соединений / Ланин В., Петухов И., Передков Н. // Технологии в электронной промышленности. – 2021. № 2. – С. 66–69.
- 12 Филатов И.С., Армянинов А.С., Маматказин Т.Р. Влияние параметров ультразвуковой сварки на прочность контактных соединений выводов интегральных микросхем // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2019, Т.25. №1. – С. 146-153.
- 13 Тестер механических испытаний УМС-ТМИ-02/5000// «Эко-Тех Микроэлектроника» – <https://microbond.com/ums-tmi-02>.

Тугарев Алексей Святославович

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орёл
Доцент кафедры электроники, радиотехники и систем связи
302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 40
E-mail: tugarev@yandex.ru

Воронина Оксана Александровна

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орёл
Доцент кафедры электроники, радиотехники и систем связи
302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 40
E-mail: Voronina_o_a@mail.ru

Харланова Кристина Сергеевна

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орёл
Аспирант кафедры электроники, радиотехники и систем связи
302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 40
E-mail: Kristina-hks@mail.ru

Мишин Владислав Владимирович

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орёл
Заведующий кафедрой электроники, радиотехники и систем связи
302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 40
E-mail: zam_fdo@mail.ru

A.S. TUGAREV, O.A. VORONINA, K.S. KHARLANOVA, V.V. MISHIN

ANALYSIS OF CONTROL METHODS FOR MICRO-WIRE CONNECTIONS

Abstract. *The article is devoted to the analysis of methods of control of micro-wire connections in the process of chip packaging. The main causes of defects during the boiling of micro-wire connections have been identified.*

Keywords: *micro-wire connections, control methods, visual control, instrumental control, connection defects.*

BIBLIOGRAPHY

- 1 Shmakov M. Microwelding in the production of microassemblies and hybrid integrated circuits // Technologies in the electronics industry - 2006, 6. - P. 64-68.
- 2 Lanin V.L., Petukhov I.B. Formation of microwelded joints in integrated circuits contact micro-welding // Technology in electronics industry -2010, 7 - P. 54-58.
- 3 Evaluation of New Substrate Surface Finish:Electroless Nickel/Electroless Palladium/Immersion Gold (ENEPIG) /Chun-Hsien Fu, Liang-Yi Hung, Components-Components-Jiang, Chiang-Cheng Chang, Y. P. Technology, C. Iason/Electronic Jiang. PP. 1931-1935.
- 4 SB²-WB: A new process solution for advancedwire-bonding / Matthias Fettke, Andrej Kolbasow, Georg Friedrich, Anna Palys, Vinith Bejugam and Thorsten Teutsch // Conference: 2019 IE69TH Electronic Technology (ECTC). PP. 1-8.
- 5 Assembly of integrated circuits JSC «NIIET» - <https://vk.com/video/@niiet>.
- 6 RD 11 0274-90 Integrated chips. Technical requirements for the technical assembly process. OCP
- 7 Lanin V.L., Petukhov I.B. Control of microwelded wire installation joints in «crystal on board» / Components and technologies - 2017, 9 - P. 118-120.
- 8 Kudryashov I. Microwelding technology of wire pins // Electronics production. - 2007, 5. С. 1-5.
- 9 Digital Control of Bonding Force for Gold Wire Bonding Machine / Xiaochu Wang, Zhongjun Zhu, Jian Gao, Xin Chen, Yonggang Wu. // TELNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering. Vol.11, No.3, March 2013, PP. 1568-1578.
- 10 Fuliang Wang, Yun Chen, Lei Han Effect of Capillary Trace on Dynamic Loop Profile Evolution in Thermosonic Wire Bonding. // IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing Technology 2(9) 2012. PP. 1550-1557.
- 11 Lanin V., Cock I., Peredkov N. Quality control of microwelded joints / Lanin V., Petukhov I., Peredkov N. // Technologies in electronics industry. - 2021. 2. - P. 66-69.
- 12 Filatov I.S., Armeyaninov A.S., Mamatkazin T.R. Influence of ultrasonic welding parameters on the strength of contact connections of integrated chip // Vestnik of Tambov State Technical University. - 2019, T.25. 1. - P. 146-153.
- 13 Mechanical Test Tester YMS-TMI-02/5000/«Eco-Tech Microelectronics» - <https://micro-bond.com/ums-tmi02>.

Tugarev Aleksey Svyatoslavovich

Orel State University
Associate Professor of the Department of Electronics,
Radio Engineering and Communication Systems
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 40
E-mail: tugarev@yandex.ru

Kharlanova Kristina Sergeevna

Orel State University
Postgraduate student of the Departments of Electronics,
Radio Engineering and Communication Systems
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 40
E-mail: Kristina-hks@mail.ru

Voronina Oksana Aleksandrovna

Orel State University
Associate Professor of the Department of Electronics,
Radio Engineering and Communication Systems
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 40
E-mail: Voronina_o_a@mail.ru

Mishin Vladislav Vladimirovich

Orel State University
Head of the Department of Electronics, Radio
Engineering and Communication Systems
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 40
E-mail: zam_fdo@mail.ru

© А.С. Тугарев, О.А. Воронина, К.С. Харланова, В.В. Мишин, 2023

**МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
«ДИНАМИКА, НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ
МЕХАНИЧЕСКИХ И БИОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ»**

УДК 539.3

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-362-6-160-171

Х. ХУДОЙНАЗАРОВ, Х. ИСМОИЛОВ

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ
УСЕЧЕННОГО КОНИЧЕСКОГО СЛОЯ, ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩЕГО
С ДЕФОРМИРУЕМОЙ СРЕДОЙ**

Аннотация. В предлагаемой статье разработана математическая модель нестационарных крутильных колебаний конической упругой оболочки, находящейся в деформируемой среде. Выведены уточненные уравнения крутильных колебаний конической оболочки из однородного и изотропного материала, из которых, в частном случае, можно получить некоторые известные уравнения колебания классического типа. Предложен алгоритм, позволяющий по полю искомых функций однозначно определить напряженно-деформированное состояние точек произвольного сечения рассматриваемой оболочки по пространственной координате и времени. Проанализированы некоторые предельные и частные случаи, следующие из полученных результатов. В частности, как предельный случай уравнений колебания оболочки, выведены уравнения крутильных колебаний усеченного конического стержня и круговой цилиндрической оболочки.

Ключевые слова: коническая оболочка, математическая модель, колебания, деформируемая среда, напряжение, деформация, реакция окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Khayrulla Khudoynazarov, Dilshod Kholikov and Jamshid Abdurazakov. Torsional vibrations of a conical elastic shell, *AIP Conference Proceedings*, **2637**, 030024, (2022); <https://doi.org/10.1063/5.0118846>
2. A. H. Sofiyev. "Large-amplitude vibration of non-homogeneous orthotropic composite truncated conical shell". In: *Composites Part B: Engineering* 61 (2014), pp. 365–374.
3. Filippov, I.G., Kudajazarov, K. (1998) Boundary value problems of longitudinal oscillations of the circular cylindrical shells *Gongye Jianzhu/Industrial Construction*, 28(12). 34–40.
4. Khudoynazarov, K., Yalgashev, B. 2021 Longitudinal vibrations of a cylindrical shell filled with a viscous compressible liquid. *E3S Web of Conferences* **264**, 02017. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126402017>
5. Farbod Alijani, Marco Amabili. Non-linear vibrations of shells: A literature review from 2003 to 2013. *International Journal of Non-Linear Mechanics*, Elsevier, 2014.
6. Sofiyev A.H. The non-linear vibration of FGM truncated conical shells. June 2012. *Composite Structures* 94(7):2237–2245. DOI: 10.1016/j.compstruct.2012.02.005
7. Франческо Пелликано. Колебания круговых цилиндрических оболочек: теория и эксперименты. *Journal of Sound and Vibration*. 2007. Volume 303, Issues 1–2, г., страницы 154-170
8. Khayrulla Khudoynazarov, Jamshid Abdurazakov and Dilshod Kholikov Nonlinear torsional vibrations of a circular cylindrical elastic shell, *AIP Conference Proceedings*, **2637**, 020003 (2022); <https://doi.org/10.1063/5.0118844>.
9. Марко Амабили, Прабакаран Баласубрамания, Нелинейные вынужденные колебания слоистых композитных конических оболочек с использованием уточненной теории сдвиговой деформации. Июнь 2020 г. *Композитные конструкции* 249: 112522. DOI: 10.1016 / j.compstruct.2020.112522
10. M.Bakhtiari, A.A. Lakis, Y.Kerboua, Nonlinear Vibration of Truncated Conical Shells: Donnell, Sanders and Nemeth Theories. *International Journal of Nonlinear Sciences and Numerical Simulation* 2019. 21(1). DOI: 10.1515/ijnsns-2018-0377
11. Hamid Aris, Habib Ahmadi Nonlinear vibration analysis of FGM truncated conical shells subjected to harmonic excitation in thermal environment. *Mechanics Research Communications*. Volume 104, March 2020, 103499
12. Amir Shekari, Faramarz Ashenai Ghasemi, Keramat Malekzadehfard, Free Damped Vibration of Rotating Truncated Conical Sandwich Shells Using an Improved High-Order Theory, *Lat. Am. j. solids struct.* vol.14 no.12 Rio de Janeiro Dec. 2017. <https://doi.org/10.1590/1679-78253977>
13. Филиппов И.Г., Филиппов С.И. Колебательные и волновые процессы в сплошных сжимаемых средах – Москва: «ВИНИТИ», 2007, 429 с.
14. Ахмедов А.Б., Шешенин С.В. О построении нелинейных уравнений движения ортотропных пластин, *Вестник Московского государственного университета, серия Механика* 2012, 67(3), С. 66–68.

15. Kushnarenko V.M., Beridze S.P. Free longitudinal vibrations of a conical rod, *Bulletin of OSU Technical Sciences, Mechanical Engineering, transport and Energy*, 2000, no.3 (In Russian).

16. Beridze S.P. Free torsional vibrations of a conical rod, *Bulletin of OSU Technical Sciences, Mechanical Engineering and Transport*, 1999, no.3 (In Russian).

17. Khalmuradov, R.I., Khudoynazarov, K., Nishanov, U.A. Elastic-plastic deformation of a round plate reinforced with stiffeners. *Magazine of Civil Engineering*. 2022. 116(8). Article no. 11613. DOI: 10.34910/MCE.116.13

18. Khudoynazarov Kh.Kh. Transversal vibrations of thick and thin cylindrical shells, interacting with deformable medium. *Shell structures. Theory and applications: proceedings of the 8th international conference on shell structures (SSTA 2005), 12-14 October 2005, Jurata, Gdansk, Poland. Shell Structures: Theory and Applications*. 2006. London: Taylor & Francis Group, pp.343–347

19. Khudoynazarov Kh.Kh., Khalmuradov R.I., Yalgashev B.F. Prodolno–radialnye kolebaniya uprugoy tsilindricheskoj obolochki s vyazkoy sjimaemoy jidkostyu [Longitudinal-radial vibrations of a elastic cylindrical shell filled with a viscous compressible liquid]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Matematika i mekhanika – Tomsk State University Journal of Mathematics and Mechanics*. No 69. pp. 139–154. DOI: 10.17223/19988621/69/11.

Хайрулла Худойназаров

Самаркандский государственный университет им. Шарофа Рашидова. Профессор кафедры теоретической и прикладной механики. Узбекистан, г.Самарканд 140104, Университетский бульвар, 15
Тел. +998977517250
E-mail: kh.khudoyn@gmail.com

Хурсандбек Исмоилов

Самаркандский государственный университет им. Шарофа Рашидова. Докторант кафедры теоретической и прикладной механики. Узбекистан, г.Самарканд 140104, Университетский бульвар, 15
Тел. +998944733989
E-mail: hursandbek.1989@mail.ru

KH. KHUDOYNazarov, KH. ISMOILOV

MATHEMATICAL MODEL OF TORSIONAL VIBRATIONS OF A TRUNCATED CONICAL LAYER INTERACTING WITH A DEFORMABLE MEDIUM

Abstract. *In this article, a mathematical model of unsteady torsional vibrations of a conical elastic shell located in a deformable medium is developed. Refined equations for torsional vibrations of a conical shell made of a homogeneous and isotropic material are derived, from which, in a particular case, some well-known vibration equations of the classical type can be obtained. An algorithm is proposed that makes it possible to unambiguously determine, from the field of required functions, the stress-strain state of points of an arbitrary section of the shell under consideration in spatial coordinates and time. Some limiting and special cases are analyzed, following the results obtained. In particular, as a limiting case of shell vibration equations, equations of torsional conical vibrations of a truncated conical rod from a circular cylindrical shell are derived.*

Keywords: *conical shell, mathematical model, vibrations, deformable medium, stress, deformation, environmental reaction*

BIBLIOGRAPHY

1. Khayrulla Khudoynazarov, Dilshod Kholikov and Jamshid Abdurazakov Torsional vibrations of a conical elastic shell, *AIP Conference Proceedings*, **2637**, 030024 (2022); <https://doi.org/10.1063/5.0118846>

2. A. H. Sofiyev. “Large-amplitude vibration of non-homogeneous orthotropic composite truncated conical shell”. In: *Composites Part B: Engineering* 61 (2014), pp. 365–374.

3. Filippov, I.G., Kudajazarov, K. (1998) Boundary value problems of longitudinal oscillations of the circular cylindrical shells *Gongye Jianzhu/Industrial Construction*, 28(12). 34–40.

4. Khudoynazarov, K., Yalgashev, B. 2021 Longitudinal vibrations of a cylindrical shell filled with a viscous compressible liquid. *E3S Web of Conferences* **264**, 02017. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126402017>

5. Farbod Alijani, Marco Amabili. Non-linear vibrations of shells: A literature review from 2003 to 2013. *International Journal of Non-Linear Mechanics*, Elsevier, 2014.

6. Sofiyev A.H. The non-linear vibration of FGM truncated conical shells. June 2012. *Composite Structures* 94(7):2237–2245. DOI: 10.1016/j.compstruct.2012.02.005

7. Франческо Пелликано. Колебания круговых цилиндрических оболочек: теория и эксперименты. *Journal of Sound and Vibration*. 2007. Volume 303, Issues 1–2, г., страницы 154-170

8. Khayrulla Khudoynazarov, Jamshid Abdurazakov and Dilshod Kholikov Nonlinear torsional vibrations of a circular cylindrical elastic shell, *AIP Conference Proceedings*, **2637**, 020003 (2022); <https://doi.org/10.1063/5.0118844>.

9. Марко Амабили, Прабакаран Баласубрамания, Нелинейные вынужденные колебания слоистых композитных конических оболочек с использованием уточненной теории сдвиговой деформации. Июнь 2020 г. *Композитные конструкции* 249: 112522. DOI: 10.1016 / j.compstruct.2020.112522

10. M.Bakhtiari, A.A. Lakis, Y.Kerboua, Nonlinear Vibration of Truncated Conical Shells: Donnell, Sanders and Nemeth Theories. *International Journal of Nonlinear Sciences and Numerical Simulation* 2019. 21(1). DOI: 10.1515/ijnsns-2018-0377
11. Hamid Aris, Habib Ahmadi Nonlinear vibration analysis of FGM truncated conical shells subjected to harmonic excitation in thermal environment. *Mechanics Research Communications*. Volume 104, March 2020, 103499
12. Amir Shekari, Faramarz Ashenai Ghasemi, Keramat Malekzadehfard, Free Damped Vibration of Rotating Truncated Conical Sandwich Shells Using an Improved High-Order Theory, *Lat. Am. j. solids struct.* vol.14 no.12 Rio de Janeiro Dec. 2017. <https://doi.org/10.1590/1679-78253977>
13. Филиппов И.Г., Филиппов С.И. Колебательные и волновые процессы в сплошных сжимаемых средах – Москва: «ВИНИТИ», 2007, 429 с.
14. Ахмедов А.Б., Шешенин С.В. О построении нелинейных уравнений движения ортотропных пластин, *Вестник Московского государственного университета, серия Механика* 2012, 67(3), С. 66–68.
15. Kushnarenko V.M., Beridze S.P. Free longitudinal vibrations of a conical rod, *Bulletin of OSU Technical Sciences, Mechanical Engineering, transport and Energy*, 2000, no.3 (In Russian).
16. Beridze S.P. Free torsional vibrations of a conical rod, *Bulletin of OSU Technical Sciences, Mechanical Engineering and Transport*, 1999, no.3 (In Russian).
17. Khalmuradov, R.I., Khudoynazarov, K., Nishanov, U.A. Elastic-plastic deformation of a round plate reinforced with stiffeners. *Magazine of Civil Engineering*. 2022. 116(8). Article no. 11613. DOI: 10.34910/MCE.116.13
18. Khudoynazarov Kh.Kh. Transversal vibrations of thick and thin cylindrical shells, interacting with deformable medium. *Shell structures. Theory and applications: proceedings of the 8th international conference on shell structures (SSTA 2005), 12-14 October 2005, Jurata, Gdansk, Poland. Shell Structures: Theory and Applications*. 2006. London: Taylor & Francis Group, pp.343–347
19. Khudoynazarov Kh.Kh., Khalmuradov R.I., Yalgashev B.F. Prodolno–radialnye kolebaniya uprugoy tsilindricheskoy obolochki s vyazkoy sjimaemoy jidkostyu [Longitudinal-radial vibrations of a elastic cylindrical shell filled with a viscous compressible liquid]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Matematika i mekhanika – Tomsk State University Journal of Mathematics and Mechanics*. No 69. pp. 139–154. DOI: 10.17223/19988621/69/11.

Khairulla Khudoynazarov

Samarkand State University named after Sharof Rashidov. Professor of the Department of Theoretical and Applied Mechanics. 100104, 15 University Boulevard, Samarkand, Uzbekistan.
Тел. +998(97) 751-72-50
e-mail: kh.khudoyn@gmail.com

Khursandbek Ismoilov

Samarkand State University named after Sharof Rashidov. Doctoral student of the Department of Theoretical and Applied Mechanics 100104, 15 University Boulevard, Samarkand, Uzbekistan.
Тел. +998(94) 473-39-89
E-mail: hursandbek.1989@mail.ru

© Х. Худойназаров, Х. Исмоилов, 2023

УДК 004.891.2:621.165:621.224

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-362-6-172-178

Е.В. ГЕОРГИЕВСКАЯ, Н.В. ГЕОРГИЕВСКИЙ

ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ МАТРИЧНОГО ТИПА ДЛЯ ПРЕДИКТИВНОЙ АНАЛИТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТУРБОМАШИН

Аннотация. В последние годы в энергетике все чаще для решения различных задач используются цифровые двойники процессов и объектов. Однако, для мощных турбомашин этот процесс сталкивается с рядом сложностей, которые до сих пор не удалось до конца преодолеть. Предложенный в статье подход к предиктивной аналитике технического состояния турбомашин с использованием цифровых двойников матричного типа позволяет отказаться от концепции виртуального близнеца реального объекта и перейти к матрице готовых решений, учесть все индивидуальные особенности и режимы работы оборудования, выявить неблагоприятные режимные факторы, значительно расширить горизонты прогнозирования. В статье представлены основные положения концепции создания цифрового двойника матричного типа, архитектура и описание алгоритмов, а также технология прогнозирования. Предложенные решения опробованы на одной из российских ГЭС, и в дальнейшем могут быть внедрены на многие генерирующие объекты.

Ключевые слова: турбомашинa, предиктивная аналитика, цифровой двойник, надежность, ресурс.

Представленные в статье материалы получены в рамках выполнения научно-исследовательских работ по грантам Фонда содействия инновациям № 3288ГС1/55639 от 27.11.2019 и № 4373ГС2/55639 от 01.12.2021 при технической и финансовой поддержке Фонда Сколково.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ведомственный проект «Цифровая энергетика» Доступно в интернете (дата 09.10.2023) <https://minenergo.gov.ru/node/14559>.
2. Грабчак Е.П. Оценка технического состояния энергетического оборудования в условиях цифровой экономики //Надежность и безопасность энергетики. – 2018. – Т. 10. – №. 4. – С. 268-274.
3. Богущ Б.Б. О модернизации оборудования и внедрении современных информационных технологий для обеспечения энергобезопасности и энергоэффективности работы ГЭС и ГАЭС. // Международный форум РЭН-2019, «Энергоэффективность и энергобезопасность гидроэнергетических объектов в контексте модернизации энергетического оборудования и цифровой трансформации».
4. Головина, Е.Ю., Самаркина, Е.В., Буйнова, Н.Е., Евлоева, М.В. Цифровизация и цифровая трансформация теплоэнергетики как фактор повышения эффективности тепловой инфраструктуры (обзор) //Теплоэнергетика. – 2022. – №. 6. – С. 3-16.
5. Михайлов В.Е. Цифровой тренд отраслевого инжиниринга в целях устойчивого развития энергетики и энергомашиностроения //Вопросы электротехнологии. – 2021. – №. 1 (30). – С. 24.
6. Л Массель Л. В., Массель А. Г., Копайгородский А. Н. Эволюция технологий исследований энергетики и применения их результатов: от математических моделей и компьютерных программ к цифровым двойникам и цифровым образам //Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2019. – №. 4 (16). – С. 5-19.
7. Горский Ю.А., Паутова Т.А., Гаврилов П.А., Тамм А.Ю., Боровков А.И. // В сб.: Климовские чтения - 2022: перспективные направления развития авиадвигателестроения. Сборник статей научно-технической конференции. Санкт-Петербург, 2022. С. 189-196.
8. Неменко А. В., Никитин М. М. Прогнозная оценка технического состояния сложной механической системы //Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2021. – №. 1. – С. 39-44.
9. Grieves M., Vickers J. Digital twin: Mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems // in Transdisciplinary perspectives on complex systems: Springer, 2017, pp. 85-113.
10. ПРАНА. Система прогнозтики и удаленного мониторинга. Доступно в интернете (дата 10.10.2020) <https://prana-system.com/>.
11. Георгиевская Е. В., Георгиевский Н. В. Цифровой двойник гидроагрегата: стереотипы и «грязные данные» //Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. – 2021. – Т. 299. – С. 69-76.
12. Георгиевская Е. В., Георгиевский Н. В. Цифровой двойник гидроагрегата: новое или хорошо забытое старое? //Гидротехника. – 2021. – №. 2. – С. 62-65.

Георгиевская Евгения Викторовна
ООО «Центр конструкторско-
технологических инноваций»
Кандидат физико-математических наук
Директор по науке
Адрес: 197022, Санкт-Петербург,
наб. реки Карповки д. 5 лит. Я
Тел. +7(921)971-64-43
E-mail: sciencedir@cdti.ru

Георгиевский Николай Владимирович
ООО «Центр конструкторско-
технологических инноваций»
Кандидат технических наук
Генеральный директор
Адрес: 197022, Санкт-Петербург,
наб. реки Карповки д. 5 лит. Я
Тел. +7(921)971-64-43
E-mail: gendir@cdti.ru

E.V. GEORGIEVSKAIA, N.V. GEORGIEVSKY

MATRIX-TYPE DIGITAL TWINS FOR PREDICTIVE ANALYTICS OF THE TECHNICAL CONDITION OF TURBOMACHINES

Abstract. *In recent years, digital twins of processes and objects have been increasingly used to solve various problems in the energy industry. However, for powerful turbomachines this process faces a number of difficulties that have not been completely overcome so far. The article proposes the approach to predictive analytics of turbomachinery technical condition using matrix-type digital twins. It allows to abandon the concept of virtual duplicate of a real object and move to the matrix of ready-made solutions, to take into account all individual features and modes of equipment operation, to identify unfavorable mode factors, to significantly expand the horizons of forecasting. The article presents the main provisions of the concept of creating a digital twin of matrix type, architecture and description of algorithms, as well as forecasting technology. The proposed solutions have been tested at one of the Russian HPPs, and in the future can be implemented at many generating facilities.*

Keywords: *turbomachine, predictive analytics, digital twin, reliability, lifetime.*

BIBLIOGRAPHY

1. Vedomstvennyj proekt «Cifrovaya energetika» Dostupno v internete (data 09.10.2023) <https://minenergo.gov.ru/node/14559>.
2. Grabchak E.P. Ocenka tekhnicheskogo sostoyaniya energeticheskogo oborudovaniya v usloviyah cifrovoj ekonomiki //Nadezhnost i bezopasnost energetiki. – 2018. – Т. 10. – №. 4. – S. 268-274.
3. Bogush B.B. O modernizacii oborudovaniya i vnedrenii sovremennyh informacionnyh tekhnologij dlya obespecheniya energobezopasnosti i energoeffektivnosti raboty GES i GAES. // Mezhdunarodnyj forum REN-2019, «Energoeffektivnost i energobezopasnost gidroenergeticheskikh ob"ektov v kontekste modernizacii energeticheskogo oborudovaniya i cifrovoj transformacii».
4. Golovina, E.YU., Samarkina, E.V., Bujnova, N.E., Evloeva, M.V. Cifrovizaciya i cifrovaya transformaciya teploenergetiki kak faktor povysheniya effektivnosti teplovoj infrastruktury (obzor) //Teploenergetika. – 2022. – №. 6. – S. 3-16.
5. Mihajlov V.E. Cifrovoj trend otraslevogo inzhiniringa v celyah ustojchivogo razvitiya energetiki i energomashinostroeniya //Voprosy elektrotekhnologii. – 2021. – №. 1 (30). – S. 24.
6. L Massel L. V., Massel A. G., Kopajgorodskij A. N. Evolyuciya tekhnologij issledovanij energetiki i primeneniya ih rezultatov: ot matematicheskikh modelej i kompyuternyh programm k cifrovym dvojniam i cifrovym obrazam //Informacionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii. – 2019. – №. 4 (16). – S. 5-19.
7. Gorskiy YU.A., Pautova T.A., Gavrilov P.A., Tamm A.YU., Borovkov A.I. // V sb.: Klimovskie chteniya - 2022: perspektivnye napravleniya razvitiya aviadvigatelestroeniya. Sbornik statej nauchno-tekhnicheskoy konferencii. Sankt-Peterburg, 2022. S. 189-196.
8. Nemenko A. V., Nikitin M. M. Prognoznaya ocenka tekhnicheskogo sostoyaniya slozhnoj mekhanicheskoy sistemy //Fundamentalnye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. – 2021. – №. 1. – S. 39-44.
9. Grieves M., Vickers J. Digital twin: Mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems // in Transdisciplinary perspectives on complex systems: Springer, 2017, pp. 85-113.
10. PRANA. Sistema prognostiki i udalennogo monitoringa. Dostupno v internete (data 10.10.2020) <https://prana-system.com/>.
11. Georgievskaya E. V., Georgievskij N. V. Cifrovoj dvojniki gidroagregata: stereotipy i «gryaznye dannye» //Izvestiya Vserossijskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta gidrotekhniki im. BE Vedeneeva. – 2021. – Т. 299. – S. 69-76.
12. Georgievskaya E. V., Georgievskij N. V. Cifrovoj dvojniki gidroagregata: novoe ili horosho zabytoe staroe? //Gidrotekhnika. – 2021. – №. 2. – S. 62-65.

Georgievskaya Evgeniia Victorovna
Center of design and technological innovation» LLC
Ph.D. (Physical&Matemactical Sciences)
Director for Science
197022, Saint-Petersburg
Nab. reki Karpovki, d. 5, str. YA
Tel. +7(921)971-64-43
E-mail: sciencedir@cdti.ru

Georgievsky Nikolay Vladimirovich
Center of design and technological innovation» LLC
Ph.D. (Technical Sciences)
General Director
Ph.D. (Technical Sciences)
197376, Saint-Petersburg
Nab. reki Karpovki, d. 5, str. YA
Tel. +7(921)971-64-43
E-mail: gendir@cdti.ru

© Е.В. Георгиевская, Н.В. Георгиевский, 2023

УДК 621.43

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-362-6-179-183

В.П. ЛИТВИНЕНКО

ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ СУДОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПО УСЛОВИЮ ФОРСИРОВАНИЯ

Аннотация. В статье рассмотрены условия форсирования судовых двигателей внутреннего сгорания с позиций снижения нагрузки на детали цилиндропоршневой группы.

Ключевые слова. дизель, фронт пламени, удельная площадь поршня, давление газов, динамические напряжения, износ деталей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рожанский Г.С. Судовые двигатели внутреннего сгорания/Г.С. Рожанский.- Л.: Судостроение, 1989. – 423с.
2. Абрамчук Ф.Н. Разработка узловой модели комплекта поршня быстроходного дизеля /Ф.Н. Абрамчук// Вестник ХНАДУ. - 2011. - Вып. 3.
3. Вибе И.И. Теория двигателей внутреннего сгорания: Конспект лекций/И.И. Вибе Челябинск: Изд-во Челябин. политехн. ин-та, 1974. - 252 с.
4. Григорьев М.А. Обеспечение надежности двигателей/М.А. Григорьев, В.А. Долецкий.- М.: Из-во стандартов, 1977. – 324с.
5. Двигатели внутреннего сгорания (тепловозные двигатели и газотурбинные установки)/ А.Э. Симсон и др. – М.; Транспорт, 1980, - 384с.
6. Пахомов Ю.А. Судовые энергетические установки с двигателями внутреннего сгорания. Учебник – М.: ТрансЛит, 2007 – 528с.
7. Мировое судовое дизелестроение. Концепции конструирования, анализ международного опыта: Учебн. Пособие/ Г.А. Конкс, В.А. Ляшко – М.: Машиностроение, 2005. – 512с.

Литвиненко Владимир Петрович

Азовский морской институт (Мариупольский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Севастопольский государственный университет» в Донецкой Народной Республике. г. Мариуполь, канд. техн. наук, доцент.
287510 ДНР, г. о. Мариуполь, г. Мариуполь, ул. Черноморская – 19.
Тел. +79497142543.
E-mail: jltinski@mail.ru

V.P. LITVINENKO

MARINE ENGINE RELIABILITY STUDY ACCORDING TO FORCING CONDITIONS

Abstract. *The article discusses the conditions for boosting marine internal combustion engines from the standpoint of reducing the load on the parts of the cylinder-piston group.*

Keywords: *diesel, flame front, specific piston area, gas pressure, dynamic stresses, wear of parts.*

BIBLIOGRAPHY

1. Rozhansky G.S. Marine internal combustion engines/G.S. Rozhansky.- L.: Shipbuilding, 1989. – 423 p.
2. Abramchuk F.N. Development of a node model of a high-speed diesel piston kit / F.N. Abramchuk Bulletin of XNADU. - 2011. - Issue. 3.
3. Vibe I.I. Theory of internal combustion engines: Lecture notes/I.I. Vibe Chelyabinsk: Chelyabinsk Publishing House. Polytechnic Institute, 1974. - 252 p.
4. Grigoriev M.A. Ensuring engine reliability/M.A. Grigoriev, V.A. Doletsky. - M.: Iz-vo standarts, 1977. - 324 p.
5. Internal combustion engines (diesel engines and gas turbine units)/ A.E. Simson et al. - M.; Transport, 1980, - 384 p.
6. Pakhomov Yu.A. Marine power plants with internal combustion engines. Textbook – M.: TransLit, 2007 – 528 p.
7. Global marine diesel industry. Design concepts, analysis of international experience: Textbook. Benefit / G.A. Conks, V.A. Lyashko - M.: Mechanical Engineering, 2005. - 512 p.

Litvinenko Vladimir Petrovich

Azov Maritime Institute (Mariupol branch of the federal state autonomous educational institution of higher education "Sevastopol State University" in the Donetsk Peoples Republic. Mariupol, Candidate of Technology sciences, associate professor. 287510 DPR, about. Mariupol, Mariupol, st. Black Sea - 19.
Tel. +79497142543.
E-mail: jltinski@mail.ru

© В.П. Литвиненко, 2023

УДК 621.993

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-362-6-184-195

А.О. ХАРЧЕНКО, С.В. КОРЧЕВСКИЙ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАТЫЛОВАНИЯ ЗУБЬЕВ РАБОЧЕЙ ЧАСТИ МЕЛКОРАЗМЕРНЫХ МЕТЧИКОВ

Аннотация. Статья посвящена вопросам совершенствования процесса затылования зубьев рабочей части мелкоразмерных метчиков. Рассматриваются существующие конфигурации поперечных сечений метчиков, способы и схемы их формообразований. Традиционно, процесс затылования зубьев рабочей части метчиков осуществляется посредством радиального перемещения инструмента, что влечет за собой искажения профиля резьбы. В статье рассматриваются способы затылования мелкоразмерных метчиков, при которых инструменту сообщается осевое возвратно-поступательное перемещение, а также сочетание осевого с возвратно-поступательным радиальным, что обеспечивает высокую точность обработки и при значительных по величине коэффициентах затылования. Представлены схемы процесса и описания конструкции станочного оборудования, позволяющего реализовать вышеуказанную технологию.

Ключевые слова: процесс затылования, мелкоразмерный метчик, рабочая часть мелкоразмерного метчика, точность и качество резьбы, способ осевого затылования, резьбошлифовальный станок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Меньшаков В.М. Бесстружечные метчики / В.М. Меньшаков, Г.П. Урлапов, В.С. Серeda. – М.: Машиностроение, 1976. – 167 с.
2. Рабкин А.Л. Затыловочные станки / А.Л. Рабкин. – М.: Машиностроение, 1976. – 128 с.
3. Якухин В.Б. Оптимальная технология изготовления резьб / В.Б. Якухин. – М.: Машиностроение, 1985. – 184 с.
4. Мирнов И.Я. Затылование режущей части метчиков для нарезания точных резьб / И.Я. Мирнов, О.А. Анпилогов // СТИН – 1984. – №4. – С.18 – 19.
5. Матвеев В.В. Нарезание точных резьб / В.В. Матвеев. – М.: Машиностроение, 1978. – 88 с.
6. Рыжов Э.В. Раскатывание резьб / Э.В. Рыжов, О.С. Андрейчиков, А.Е. Шешков. – М.: Машиностроение, 1974. – 122 с.
7. Братан С.М. Повышение точности формообразования мелкоразмерных резьб метчиками в алюминиевых сплавах / С.М. Братан, Ф.Н. Канареев, П.А. Новиков, А.О. Харченко. – М.: Вузovский учебник: ИНФРА-М, 2017. – 164 с.
8. А.с. № 841778 SU, МПК В23В 1/00, В23В 5/42. Способ затылования зубьев режущих инструментов и станок для его осуществления / Канареев Ф.Н., Харченко А.О., Сицкий Г.Н.; заявитель и правообладатель Севастопольский приборостр. ин-т.; опубл. 30.06.1981.
9. Харченко А.О. Прогрессивные устройства и инструменты для мелкоразмерного резьбонарезания в отверстиях / А.О. Харченко, А.А. Харченко // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – Орел: ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», 2023. № 2 (358). – С. 35-41. DOI:10.33979/2073-7408-2023-358-2-35-41.
10. Харченко А.О. Практикум по научно-исследовательской деятельности в машиностроении / А.О. Харченко, С.М. Братан, А.А. Харченко, Е.А. Владецкая. – М.: Центркаталог, 2022. – 288 с.

Харченко Александр Олегович
 ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь
 Кандидат технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения»
 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33
 Тел. 54-05-57
 E-mail: khao@list.ru

Корчевский Сергей Викторович
 ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь
 Аспирант кафедры «Технология машиностроения»
 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33
 Тел. +79782721499
 E-mail: LEV9456@yandex.ru

A.O. KHARCHENKO, S.V. KORCHEVSKI

IMPROVING THE PROCESS OF BACKING THE TEETH OF THE WORKING PART OF SMALL-SIZED TAPS

Abstract. The article is devoted to the issues of improving the process of backing the teeth of the working part of small-sized taps. The existing configurations of cross-sections of taps, methods and schemes of their shaping are considered. Traditionally, the process of backing the teeth of the working part of the taps is carried out by means of radial movement of the tool, which entails distortion of the thread profile. The article discusses the methods of backing of small-sized taps, in which the tool is informed of axial reciprocating displacement, as well as a combination of axial and reciprocating radial, which ensures high processing accuracy and with significant coefficients of backing. The process diagrams and descriptions of the design of the machine tool equipment that allows the implementation of the above technology are presented.

Keywords: the process of backing, a small-sized tap, the working part of a small-sized tap, the accuracy and quality of the thread, the method of axial backing, a thread grinding machine.

BIBLIOGRAPHY

1. Menshakov V.M. Besstruzhechnye metchiki (Unstructured taps) / V.M. Menshakov, G.P. Uralpov, V.S. Sereda. – М.: Mashinostroyeniye, 1976. – 167 s.
2. Rabkin A.L. Zatylovochnye stanki (Backing machines) / A.L. Rabkin – М.: Mashinostroyeniye, 1976. – 128 s.
3. Yakukhin V.B. Optimalnaya tehnologiya izgotovleniya rezb (Optimal thread manufacturing technology) / V.B. Yakukhin – М.: Mashinostroyeniye, 1985. – 184 s.
4. Mirnov I.Ya. Zatylovaniye rezhushey chasti metchikov dlya narezaniya tochnykh rezb (Backing of the cutting part of taps for cutting precise threads) / I.Ya. Mirnov, O.A. Anpilogov // STIN – 1984/ – №4. – S.18 – 19.
5. Matveyev V.V. Narezaniye tochnykh rezb (Precision thread cutting) / V.V. Matveyev. – М.: Mashinostroyeniye, 1978. – 88 s.
6. Ryzhov E.V. Raskatyvaniye rezb (Thread rolling out) / E.V. Ryzhov, O.S. Andreychikov, A.E. Steshkov. – М.: Mashinostroyeniye, 1974. – 122 s.
7. Bratan S.M. Povysheniye tochnosti formoobrazovaniya melkorazmernykh rezb metchikami v alyuminiyevykh splavakh (Improving the accuracy of forming small-sized threads with taps in aluminum alloys) / S.M. Bratan, F.N. Kanareyev, P.A. Novikov, A.O. Kharchenko. – М.: Vuzovskiy uchebnik: INFRA-M, 2017. – 164 s.
8. А. s. 841778 SU, МПК B23B 1/00, B23B 5/42. Sposob zatylovaniya zubyev rezhushchikh instrumentov i stanok dlya yego osushchestvleniya (Method for backing teeth of cutting tools and a machine for its implementation) / Kanareyev F.N., Kharchenko A.O., Sitskiy G.N.; zayavitel i pravoobladatel Sevastopolskiy priborostr. in-t.; opubl. 30.06.1981.
9. Kharchenko A.O. Progressivnyye ustroystva i instrumenty dlya melkorazmernogo rezb narezaniya v otverstiyakh (Progressive devices and tools for small-size threading in holes) / A.O. Kharchenko, A.A. Kharchenko // Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. – Oryol: FGBOU VO «OGU imeni I.S. Turgeneva», 2023. № 2 (358). – S. 35-41. DOI: 10.33979/2073-7408-2023-358-2-35-41.
10. Kharchenko A.O. Praktikum po nauchno-issledovatel'skoy deyatel'nosti v mashinostroyenii (Workshop on research activities in mechanical engineering) / A.O. Kharchenko, S.M. Bratan, A.A. Kharchenko, E.A. Vladetskaya. – М.: Tsentrkatalog, 2022. – 288 s.

Kharchenko Alexander Olegovich

"Sevastopol State University", Sevastopol
Ph.D., professor of the department "Technology of mechanical engineering"
299053, Sevastopol, Universitetskaya St., 33
54-05-57
E-mail: khao@list.ru

Korchevski Sergey Viktorovich

"Sevastopol State University", Sevastopol
Postgraduate student of the department "Technology of mechanical engineering"
299053, Sevastopol, Universitetskaya St., 33
+79782721499
E-mail: LEV9456@yandex.ru

© А.О. Харченко, С.В. Корчевский, 2023

Адрес издателя:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
302026, Орловская область, г. Орел, ул. Комсомольская, 95
Тел. (4862) 75–13–18
<http://oreluniver.ru>
E-mail: info@oreluniver.ru

Адрес редакции:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
302030, Орловская область, г. Орел, ул. Московская, 34
+7 (905) 169 88 99

<https://oreluniver.ru/science/journal/fipptt>
E-mail: radsu@rambler.ru

Материалы статей печатаются в авторской редакции

Право использования произведений предоставлено авторами на основании
п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации

Технический редактор Тюхта А.В.
Компьютерная верстка Тюхта А.В.

Подписано в печать 11.12.2023 г.
Дата выхода в свет 26.12.2023 г.
Формат 70X108/16. Усл. печ. л. 12,25
Цена свободная. Тираж 1000 экз.
Заказ №282

Отпечатано с готового оригинал–макета
на полиграфической базе ОГУ имени И.С. Тургенева
302026, Орловская область, г. Орёл, ул. Комсомольская, д. 95