

ЖУРНАЛ ВЫХОДИТ ПРИ СОДЕЙСТВИИ МЕЖДУНАРОДНОГО СОЮЗА МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ
ЖУРНАЛ ВХОДИТ В ПЕРЕЧЕНЬ УТВЕРЖДЕННЫХ ВАК РФ ИЗДАНИЙ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ ТРУДОВ СОИСКАТЕЛЕЙ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПО ГРУППАМ НАУЧНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ: 01.02.01 — Теоретическая механика, 01.02.04 — Механика деформируемого твердого тела, 01.02.06 — Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры, 05.02.02 — Машиноведение системы приводов и детали машин, 05.02.04 — Трение и износ в машинах, 05.02.05 — Роботы, мехатроника и робототехнические системы, 05.02.07 — Технология и оборудование механической и физико-технической обработки, 05.02.10 — Сварка, родственные процессы и технологии, 05.02.11 — Методы контроля и диагностика в машиностроении, 05.02.13 — Машины, агрегаты и процессы, 05.02.18 — Теория механизмов и машин, 05.04.11 — Атомное реакторостроение, машины, агрегаты и технология материалов атомной промышленности

2020 Том 21
1 (234)

СОДЕРЖАНИЕ

Современные технологии сборки

- Айдиньян О.В., Губарев П.В., Шапшал А.С. Усовершенствование технологии изготовления катушек обмотки якоря вспомогательных машин постоянного тока 3
- Дроботов А.В., Омаров А.В., Шемелюнас С.С., Гуцин И.А. Организация очереди печати в 3D-принтерах с автоматическим извлечением изделий для мелкосерийного производства продукции 6

Обеспечение качества. Испытания. Контроль

- Дерендяева Е.А., Ваулина Л.М. Основные этапы и положения при разработке и постановке продукции вооружения и военной техники на производство 10
- Куц В.В., Бышкин А.С., Разумов М.С., Кочергин В.С. Экспериментальные исследования процесса сверления отверстий медного сплава в напряженно-деформированном материале заготовки 13
- Дубовик Е.А. Контроль поршневых колец по поршням ДВС автомобилей 16

Трение и смазка в машинах и механизмах

- Карпенко К.И., Мясникова Н.А., Мясников Ф.В., Авиллов В.В. Повышение трибологических характеристик пластичных смазок при введении присадок на основе нестехиометрических соединений молибдена и вольфрама 20
- Щедрин А.В., Чихачева Н.Ю., Бекаев А.А., Томская Н.В. Влияние характера и параметров микрогеометрии поверхности инструмента на коэффициент трения в методах комбинированного дорнования отверстий ... 24

В помощь конструктору, технологу

- Волков Е.Б., Ситдикова С.В. Анализ режимных параметров вибрационного грохота на основе динамической модели его работы 31
- Шишкарёв М.П. Синтез и анализ адаптивной фрикционной муфты с комбинированной обратной связью 36

Информация

- Итоги X Международной научно-практической конференции "Инновации в машиностроении—2019" 43
- Указатель статей, опубликованных в 2019 году 45

Председатель редакционного совета
В.И. КОЛЕСНИКОВ, академик РАН

Редакционный совет

МОСКВА

- А.С. ВАСИЛЬЕВ (главный редактор), д.т.н., проф.
В.В. БАРДУШКИН, д.ф.-м.н.
И.А. БУЯНОВСКИЙ, д.т.н., проф.
М.В. ВАРТАНОВ, д.т.н., проф.
А.А. ГУСЕВ, д.т.н., проф.
С.М. ЗАХАРОВ, д.т.н.
И.Н. ЗИНИНА, к.т.н., доц.
- Ю.Л. ИВАНОВ, д.т.н.
А.В. ИГНАТОВ, к.т.н., доц.
Ю.Г. КОЗЫРЕВ, к.т.н.
А.И. КУМЕНКО, д.т.н., проф.
И.А. ЛЮБИНИН, к.т.н.
Е.А. МИКРИН, д.т.н., акад. РАН
Б.В. ШАНДРОВ, к.т.н., проф.
А.Г. ХОЛОДКОВА, к.т.н., проф.

Региональные редсоветы

РЫБИНСК

- ВЛАДИВОСТОК**
Ю.Н. КУЛЬЧИН, акад. РАН
А.А. СУПОНЯ, к.т.н.
- ВОЛГОГРАД**
М.Г. КРИСТАЛЬ, д.т.н., проф.
В.И. ЛЫСАК, акад. РАН
- ИЖЕВСК**
И.В. АБРАМОВ, д.т.н., проф.
В.Г. ОСЕТРОВ, д.т.н., проф.
Б.А. ЯКИМОВИЧ, д.т.н., проф.
- КАЗАНЬ**
Р.И. АДГАМОВ, д.т.н., проф.
- КОВРОВ**
Ю.З. ЖИТНИКОВ, д.т.н., проф.
- КОМСОМОЛЬСК-НА-АМУРЕ**
Б.Н. МАРЬИН, д.т.н.
А.М. ШПИЛЕВ, д.т.н., проф.
- НИЖНИЙ НОВГОРОД**
С.В. ГОЛУБЕВ, инж.
- ОРЕЛ**
Ю.С. СТЕПАНОВ, д.т.н., проф.
Г.А. ХАРЛАМОВ, д.т.н., проф.
- ОРЕНБУРГ**
А.Н. ПОЛЯКОВ, д.т.н., проф.
А.И. СЕРДЮК, д.т.н., проф.
А.П. ФОТ, д.т.н., проф.
- ПЕРМЬ**
С.М. БЕЛОБОРОДОВ, д.т.н.
В.Ф. МАКАРОВ, д.т.н.
- РОСТОВ-НА-ДОНУ**
А.А. РЫЖКИН, д.т.н., проф.
И.В. КОЛЕСНИКОВ, д.т.н., проф.
- В.Ф. БЕЗЪЯЗЫЧНЫЙ, д.т.н., проф.
В.В. НЕПОМИЛУЕВ, д.т.н., проф.
А.Н. СЕМЕНОВ, д.т.н., проф.
- САМАРА**
Ю.А. ВАШУКОВ, к.т.н., доц.
М.А. ЕВДОКИМОВ, д.т.н., проф.
- САНКТ-ПЕТЕРБУРГ**
Е.В. ШАЛОБАЕВ, к.т.н., проф.
- ТОМСК**
А.В. КОЛУБАЕВ, д.ф.-м.н.
В.Е. ПАНИН, акад. РАН
- ТУЛА**
А.А. МАЛИКОВ, д.т.н., проф.
В.В. ПРЕЙС, д.т.н., проф.
- ХАБАРОВСК**
В.И. ШПОРТ, д.т.н., проф.

Беларусь

- МИНСК**
В.Л. БАСИНОК, д.т.н.
М.Л. ХЕЙФЕЦ, д.т.н., проф.

ГОМЕЛЬ

- В.Е. СТАРЖИНСКИЙ, д.т.н.

Украина

- КИЕВ**
А.С. ЗЕНКИН, д.т.н., проф.
В.А. МАТВИЕНКО, к.т.н.

ДОНЕЦК

- А.Н. МИХАЙЛОВ, д.т.н., проф.

Польша

- П. ЛЕБКОВСКИ, д.т.н.
Е. ЛУНАРСКИ, д.т.н.

Ответственные за подготовку и выпуск номера:

Е.М. НУЖДИНА, И.М. ГЛИКМАН

Журнал зарегистрирован в РОСКОМНАДЗОРЕ.
Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-63953
от 09.12.2015 г.

Журнал распространяется по подписке, которую можно оформить в любом почтовом отделении (индекс по каталогу "Пресса России" — 84967) или непосредственно в издательстве
Тел.: 8 (499) 269-54-98, 269-54-96
E-mail: sborka@mashin.ru, http://www.mashin.ru
Перепечатка, все виды копирования и воспроизведения материалов, публикуемых в журнале "Сборка в машиностроении, приборостроении", допускаются только с разрешения редакции и со ссылкой на источник информации.

THE MONTHLY
JOURNAL
FOR SCIENTISTS
AND MANUFACTURERS

ASSEMBLING



IN MECHANICAL ENGINEERING AND INSTRUMENT-MAKING

THE JOURNAL IS PUBLISHED UNDER THE PATRONAGE OF INTERNATIONAL UNION OF MECHANICAL ENGINEERING

THE JOURNAL IS AMONG THOSE APPROVED BY RF FOR DISSERTATION PUBLICATION BY GROUPS OF SCIENTIFIC SPECIALTIES: 01.02.01 — Theoretical mechanics, 01.02.04 — Mechanics of a deformable solid, 01.02.06 — Dynamics, durability of machines, devices and apparatus, 05.02.02 — Machine science of drive systems and machine parts, 05.02.04 — Friction and wear in machines, 05.02.05 — Robots, mechatronics and robotic systems, 05.02.07 — Technology and equipment for mechanical, physical and technical processing, 05.02.10 — Welding, related processes and technologies, 05.02.11 — Control methods and diagnostics in mechanical engineering, 05.02.13 — Machines, units and processes, 05.02.18 — Theory of mechanisms and machines, 05.04.11 — Nuclear reactor construction of machine, units and technology of the nuclear industry materials

2020 Vol. 21
1 (234)

CONTENTS

Modern technologies in assembly

- Aidinyan O.V., Gubarev P.V., Shapshal A.S.** Improvement of manufacturing technology of armature winding coils of auxiliary DC machines 3
- Drobotov A.V., Omarov A.V., Shemelyunas S.S., Gushchin I.A.** Organization of the print queue in 3D printers with automatic product extraction for small-scale production 6

Quality assurance. Testing. Monitoring

- Derendyaeva E.A., Vaulina L.M.** Basic stages and provisions for the development and position of production of arms and military equipment for production 10
- Kuts V.V., Byshkin A.S., Razumov M.S., Kochergin V.S.** Experimental studies of the drilling of copper alloy holes in the stress-strain material of the workpiece 13
- Dubovik E.A.** Control of piston rings on pistons of internal combustion engines ICE of cars 16

Friction & lubrication in machines and mechanisms

- Karpenko K.I., Myasnikova N.A., Myasnikov F.V., Avilov V.V.** Improvement of tribological characteristics of plastic greases at addition of additives based on nonstoichiometric compounds of molybdenum and tungsten 20
- Shchedrin A.V., Chikhacheva N.Yu., Bekaev A.A., Tomskay N.V.** Influence characters and parameters of microgeometry the tool surface on the coefficient friction in combined burnishing methods 24

Industrial and design engineer's aid

- Volkov E.B., Sitdikova S.V.** Analysis of operating parameters of the vibrating screen based on dynamic models of his work 31
- Shishkarev M.P.** Synthesis and analysis of adaptive friction clutch with a combined feedback 36

Information

- Results** of the X International scientific and practical conference "Innovations in Mechanical Engineering—2019" 43
- Index** of articles published in 2019 45

Chair of Editorial Advisory Board —
Member of Russian Academy of Science
V.I. KOLESNIKOV

Editors

MOSCOW

A.S. VASIL'EV
(Chief editor)
V.V. BARDUSHKIN
I.A. BUYANOVSKY
M.V. VARTANOV
A.A. GUSEV
S.M. ZAKHAROV
I.N. ZININA

Yu.L. IVANOV
A.V. IGNATOV
Yu.G. KOZYREV
A.I. KUMENKO
I.A. LUBININ
E.A. MIKRIN
B.V. SHANDROV
A.G. KHOLODKOVA

Regional editors

VLADIVOSTOK

Yu.N. KULSHIN
A.A. SUPONIA

VOLGOGRAD

M.G. KRISTAL
V.I. LYSAK

IZHEVSK

I.V. ABRAMOV
V.G. OSETROV
B.A. YAKIMOVICH

KAZAN

R.I. ADGAMOV

KOVROV

Yu.Z. ZHITNIKOV

KOMSOMOLSK-ON-AMUR

B.N. MARJIN
A.M. SHPILEV

NIZHNY NOVGOROD

S.V. GOLUBEV

OREL

Yu.S. STEPANOV
G.A. KHARLAMOV

ORENBURG

A.N. POLYAKOV
A.I. SERDUK
A.P. FOT

PERM

S.M. BELOBORODOV
V.F. MAKAROV

ROSTOV-ON-DON

A.A. RYZHKIN
I.V. KOLESNIKOV

RYBINSK

V.F. BEZIACHYCHNI
V.V. NEPOMILUEV
A.N. SEMENOV

SAMARA

Yu.A. VASHUKOV
M.A. EVDOKIMOV

ST.-PETERSBURG

E.V. SHALOBAEV

TOMSK

A.V. KOLUBAEV
V.E. PANIN

TULA

A.A. MALIKOV
V.V. PREYS

KHABAROVSK

V.I. SCHPORT

Belarus

MINSK

V.L. BASINJUK
M.L. KHEIFETZ

GOMEL

V.E. STARZHINSKI

Ukraine

KIEV

A.S. ZENKIN
V.A. MATVIENKO

DONETSK

A.N. MIKHAILOV

Poland

P. LEBKOVSKI
E. LUNARSKII

Executive editors of current issue:

E.M. NUZHINA, I.M. GLIKMAN

The journal is registered by ROSKOMNADZOR.
Registration certificate ПИ № ФС 77-63953. 09.12.2015

Journal is distributed on subscription, which can be issues in any post office (index on the catalogue of the "Pressa Rossii" — 84967) or directly in editorial of the journal.

Ph.: 8 (499) 269-54-98, 269-54-96

E-mail: sborka@mashin.ru, <http://www.mashin.ru>

The reference to the *Assembling in Mechanical Engineering and Instrument-Making Journal* during reprint of the materials is mandatory.

Advertisers are responsible for the content of their advertisements.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ

УДК 629.4

О.В. Айдиньян (Эксплуатационное локомотивное депо Батайск),
П.В. Губарев, канд. техн. наук, **А.С. Шапшал**, канд. техн. наук
(Ростовский государственный университет путей сообщения)
E-mail: glazunovdm@yandex.ru

Усовершенствование технологии изготовления катушек обмотки якоря вспомогательных машин постоянного тока

Рассмотрена технология сушки катушек обмотки якоря вспомогательных машин постоянного тока подвижного состава, в результате чего определена проблема пробоев и межвиткового замыкания обмотки якорей. Для повышения изоляционных свойств обмотки якоря вспомогательных машин постоянного тока подвижного состава выбран лак ГФ-95, обладающий повышенными пропиточными и электроизоляционными свойствами. В результате использования данного лака изоляционные свойства обмотки якоря повышены на 24 %. Технологический процесс пропитки и сушки секций вспомогательных машин постоянного тока лаком ГФ-95 апробирован в Эксплуатационном локомотивном депо Батайск.

The technology of drying the coils of the armature winding of auxiliary DC machines of rolling stock are considered as a result of which the problem of breakdowns and inter-turn closure of the armature winding is determined. To increase the cementing ability of the armature winding of auxiliary DC machines of the rolling stock, GF-95 varnish was selected, which has increased impregnation and coating properties, bringing the binding ability of the auxiliary armature winding of DC machines rolling stock increased by 24 %. Technological process of impregnation and drying sections of the auxiliary DC machines varnish GF-95 tested in Operational locomotive depot Baraysk.

Ключевые слова: подвижной состав, машины постоянного тока, якорные обмотки, цементирующая способность, межвитковое замыкание, технологический процесс, пропитка, сушка.

Keywords: rolling stock, DC machines, anchor windings, cementing capacity, inter-turn closure, technological process, impregnation, drying.

В условиях увеличения массы подвижного состава и скорости его движения особую важность приобретает повышение эксплуатационной надежности электровозов. Технический прогресс в этой области заключается главным образом в разработке новых технологий ремонта с применением ресурсосберегающих принципов и направленным формированием свойств отремонтированных деталей и агрегатов [1–6].

Например, пробои и межвитковые замыкания обмотки якорей вспомогательных машин постоянного тока подвижного состава — частая проблема при заводском ремонте.

Машина постоянного тока — электрическая машина, предназначенная для преобразования механической энергии в электрическую постоянного тока (генератор) или для обрат-

ного преобразования (двигатель). Электрическая машина постоянного тока обратима. Для работы машины постоянного тока необходимо наличие двух обмоток: обмотки возбуждения и обмотки якоря. Первая служит для создания тока магнитного поля, т.е. для возбуждения, а посредством второй происходит преобразование энергии. Исключение составляют магнитоэлектрические машины постоянного тока, в которых имеется лишь одна (якорная) обмотка, так как магнитное поле (возбуждение) в этих машинах создается постоянными магнитами.

Обмотка якоря машины постоянного тока представляет собой замкнутую систему проводников, определенным образом уложенных на сердечнике якоря и присоединенных к коллектору. Якорные обмотки имеют две формы: волновую и петлевую. Якорные обмотки состоят

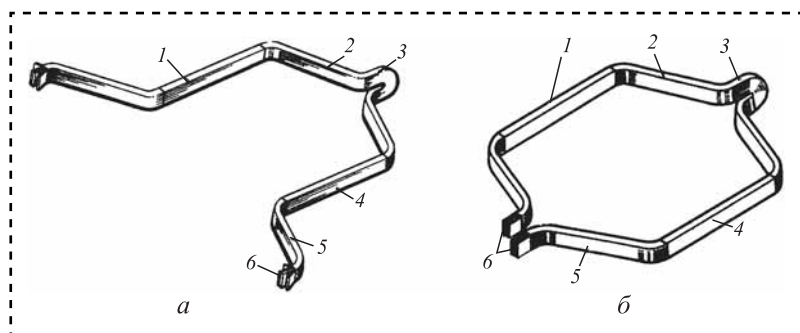


Рис. 1. Формы якорных катушек при волновой (а) и петлевой (б) обмотках:

1, 4 — пазовые части (верхняя и нижняя стороны);
2, 5 — задняя и передняя лобовые части; 3 — задняя головка;
6 — концы секций

из верхней и нижней сторон, задней и передней лобовых частей, задней головки и концов секций, припаиваемых к коллектору (рис. 1).

Элементом обмотки якоря является секция, которая содержит один или несколько витков и присоединяется к двум коллекторным пластинам. Секция состоит из активных сторон, заложенных в пазы сердечника якоря, и лобовых частей, соединяющих эти стороны. При вращении якоря в каждой из активных сторон индуцируется ЭДС. В лобовых же частях секции ЭДС не индуцируется [7–11].

Согласно требованиям технологических инструкций на заводской ремонт вспомогательных машин постоянного тока [12–15] сушку катушек обмотки якоря (секций, см. рис. 1) и пропитку в лаке БТ-987 выполняют по следующей технологии:

- 1) сушка кассеты с секциями 3 ч при температуре 115 °С;
- 2) охлаждение кассеты до 60 °С;
- 3) пропитка кассеты в лаке БТ-987 не менее 30 мин. Условная вязкость лака 29...34 с;
- 4) сток лака 30 мин;
- 5) установка кассеты с секциями в печь выводами вниз;
- 6) сушка секции 3 ч при температуре 115 °С. Во время первых двух часов сушки необходимо поворачивать кассету на 180° каждые 20 мин;
- 7) охлаждение кассеты на воздухе до 60 °С;
- 8) пропитка повторно секции согласно пп. 3 и 4;
- 9) сушка секции в циркулярной печи 11 ч при температуре 115 °С, кассета должна быть повернута выводами вниз; поворот кассеты через 20 мин на 180° первые два часа.

Однако пленки лака БТ-987 термопластичны и не обладают хорошими изоляционными свойствами. Отсюда и неудовлетворительные характеристики вспомогательных машин на линии. Как правило, это пробой и межвитковые замыкания обмотки якорей.

Для исключения подобных случаев предложено изменить технологию пропитки и сушки секций вспомогательных машин постоянного тока, используя в качестве пропиточного лак ГФ-95. Его основу изготавливают путем поликонденсации глицерина и фталевого ангидрида, модифицированных жирными кислотами льняно-

го масла, канифолью и касторовым маслом. Растворителем лака служат толуол, ксилол и скипидар. Он может использоваться как пропиточный так и покровный.

В связи с изменением пропиточного лака изменяется и технологический процесс пропитки и сушки секций вспомогательных машин постоянного тока:

- 1) измерить температуру рабочего лака, а затем условную вязкость (рис. 2) (при данной температуре вязкость должна находиться в области, ограниченной верхней и нижней кривой); рабочая условная вязкость лака ГФ-95 при температуре $20 \pm 0,5$ °С — 31...36 с;
- 2) при условной вязкости рабочего лака ниже нормируемой величины дозавести ванну лаком;
- 3) установить кассету с катушками якорей вспомогательных машин постоянного тока выводными концами вверх на выкатную тележку циркуляционной печи;
- 4) нагреть катушки в циркуляционной печи при температуре 135 °С в течение одного часа.

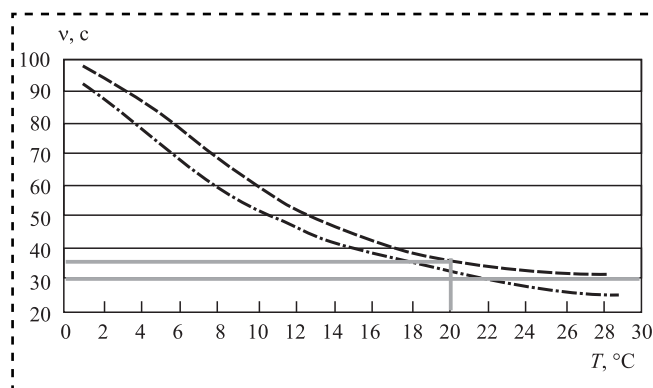


Рис. 2. Зависимость условной вязкости лака ГФ-95 от температуры



5) охладить катушки на воздухе до температуры 50...60 °С. Контроль температуры катушек осуществлять с помощью термомпары;

6) загрузить кассету с катушками в ванну с пропиточным лаком;

7) пропитать катушки в лаке до прекращения выделения пузырьков воздуха, но не менее 15 мин;

8) поднять кассету с катушками из ванны, дать стечь излишкам лака в течение 30 мин;

9) сушить катушки при температуре 135 ± 5 °С 0,5 ч выводными концами вверх;

10) выдвинуть тележку печи, перевернуть стопки с катушками выводными концами вниз;

11) задвинуть тележку;

12) сушить катушки при температуре 135 ± 5 °С 2 ч;

13) по окончании термообработки отключить печь, выкатить тележку.

Усовершенствованная технология пропитки и сушки катушек (секции) якорей вспомогательных машин постоянного тока апробирована в Эксплуатационном локомотивном депо Батайск, что позволило исключить случаи пробоев и межвитковых замыканий якорей на 24 %, обеспечить устойчивую работу вспомогательных машин постоянного тока на линии, уменьшить трудозатраты при изготовлении катушек, а также уменьшить расход электроэнергии на пропитку и сушку секций.

Выводы

1. Рассмотрена технология сушки катушек обмотки якоря вспомогательных машин постоянного тока подвижного состава, в результате чего определена проблема пробоев и межвиткового замыкания обмотки якорей.

2. Для повышения изоляционных свойств обмотки якоря вспомогательных машин постоянного тока подвижного состава выбран лак ГФ-95, обладающий повышенными пропиточными и покровными свойствами.

3. Разработан технологический процесс пропитки и сушки секций вспомогательных машин постоянного тока лаком ГФ-95.

4 Технологический процесс пропитки и сушки секций вспомогательных машин постоянного тока лаком ГФ-95 апробирован в Эксплуатационном локомотивном депо Батайск, в результате чего изоляционные свой-

ства обмотки якоря вспомогательных машин постоянного тока подвижного состава повышены на 24 %.

Библиографический список

1. **Резниченко А.А., Чеботарев Е.А., Тептиков Н.Р., Глазунов Д.В.** Оценка безотказности и готовности локомотивов в период нормальной эксплуатации // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2018. № 3 (39). С. 15–22.

2. **Тептиков Н.Р., Резниченко А.А., Губарев П.В., Глазунов Д.В.** Математические методы принятия решений в системах диагностики и управления на тяговом подвижном составе // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2018. № 1. С. 13–15.

3. **Губарев П.В., Глазунов Д.В., Мищенко Е.С.** Анализ системы ремонта и диагностики локомотивов по фактическому состоянию // Тр. международной научно-практической конференции "Транспорт-2013". Ростовский государственный университет путей сообщения. 2013. С. 143–144.

4. **Глазунов Д.В.** Технологические схемы для триботехнических испытаний узлов транспортного машиностроения // Известия Московского государственного технического университета МАМИ. 2019. № 1 (39). С. 8–16.

5. **Губарев П.В., Тептиков Н.Р., Глазунов Д.В.** Измененная методика тяговых испытаний // Локомотив. 2019. № 6 (750). С. 43.

6. **Чеботарев Е.А., Губарев П.В., Глазунов Д.В.** Повышение надежности тяговой зубчатой передачи грузовых электровозов // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2017. № 8. С. 379–383.

7. **Винокуров В.А., Попов Д.А.** Электрические машины железнодорожного транспорта: учебник для вузов. М.: Транспорт, 1986. 511 с.

8. **Вольдек А.И.** Электрические машины. Л.: Энергия, 1978. 832 с.

9. **Грищенко А.В., Стрекопытов В.В.** Электрические машины и преобразователи подвижного состава: учебник. М.: Издательский центр "Академия", 2005. 320 с.

10. **Захарченко Д.Д., Ротанов Н.А., Горчаков Б.В.** Тяговые электрические машины и трансформаторы. М.: Транспорт, 1979. 303 с.

11. **ГОСТ 15150–69.** Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнение для различных климатических районов, категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды. М.: Стандартинформ, 2010. 72 с.

12. **ГОСТ 21427.2–83.** Сталь электротехническая холоднокатаная изотропная тонколистовая. Технические условия. М.: Изд-во стандартов, 2003. 15 с.

13. **ГОСТ 2582–2013.** Машины электрические вращающиеся тяговые. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2014. 52 с.

14. **ГОСТ 30631–99.** Общие требования к машинам, приборам и другим техническим изделиям в части стойкости к механическим внешним факторам при эксплуатации. М.: Изд-во стандартов, 1999. 32 с.

15. **Руководство** по среднему и капитальному ремонту электрических машин электровозов. РД 103.11.320–2004. М., 2004. 192 с.



УДК 004.9

А.В. Дроботов, канд. техн. наук, А.В. Омаров, С.С. Шемелюнас, И.А. Гущин
(Волгоградский государственный технический университет)
E-mail: a_drobotov@vstu.ru

Организация очереди печати в 3D-принтерах с автоматическим извлечением изделий для мелкосерийного производства продукции

Рассмотрено программное обеспечение для организации очереди печати 3D-принтеров различных производителей. Предложена его доработка в целях поддержки дополнительного оборудования по автоматическому извлечению напечатанного изделия.

Software for queuing 3D printer from various manufacturers was reviewed and analyzed. It is proposed to modify it in order to support additional equipment for automatic extraction of the printed product.

Ключевые слова: 3D-принтер, снятие деталей, извлечение деталей, автоматизация, 3D-печать, очередь печати, управление 3D-принтерами.

Keywords: 3D printer, part removal, part extraction, automation, 3D printing, print queue, 3D printer management.

Введение

При существенном прогрессе аддитивных технологий в последнее время становится целесообразно часть пластмассовых изделий производить с помощью 3D-печати на доступных по цене и универсальных 3D-принтерах [4]. Они не требуют переналадки при смене номенклатуры, но время производства каждого изделия обычно существенно больше, чем при традиционных способах изготовления. В связи с этим возникает потребность в использовании "фермы" (нескольких устройств, объединенных в производственную ячейку) и качественном планировании очереди печати, распределении нагрузки между принтерами, повышении коэффициента загрузки каждого принтера. Для удобного управления работой фермы 3D-принтеров необходимо приложение, которое будет организовывать очередь печати, вести учет готовых изделий и предупреждать пользователя об ошибках. При большой номенклатуре изготавливаемых изделий человеку сложно уследить за этим.

Некоторые производители имеют собственные решения по управлению фермой, но в связи с разработкой устройств автоматического

снятия и извлечения изготовленных изделий из камеры 3D-принтера [5], такое программное обеспечение (ПО) нуждается в серьезной переработке с расширением функционала. Поэтому разработка алгоритма организации очереди печати с учетом использования дополнительного оборудования так актуальна.

Среди существующих производителей в сфере 3D-печати, разрабатывающих ПО для 3D-принтеров, можно отметить Ultimaker Cura Connect [1], который объединяет несколько FDM-принтеров через локальную сеть. Параметры всех принтеров отображаются во вкладке Monitor. Один из принтеров становится хостом (управляющим узлом) группы. Через него проходят все взаимодействия с Cura Connect. Если все подходящие принтеры заняты, задание будет находиться в очереди. Данное решение рассчитано на работу с устройствами и ПО компании Ultimaker, так как имеет встроенные функции, специфичные для принтеров данного производителя.

ПО Stratasys GrabCad Print позволяет работать с FDM и PolyJet-принтерами данной компании. Все взаимодействия между пользователями и принтерами проходят через GrabCad Print сервер, на котором доступен режим рас-



писания, позволяющий просматривать очередь печати всех принтеров, а также режим генерации отчетов. Из недостатков можно отметить совместимость только с определенными принтерами компании Stratasys [2].

В промышленном ПО 3D Systems 3D Sprint для управления SLS-принтерами они объединяются через локальную сеть, задания выполняются в зависимости от поставленного приоритета. Состояние каждого принтера отображается во вкладке Print Queue.

Ни в одном из рассмотренных приложений не предусмотрено равномерное распределение нагрузки на принтеры, нет учета часов работы, что приводит к неравномерному износу принтеров и преждевременным поломкам.

Программная реализация очереди печати с поддержкой устройства автоматического снятия напечатанного изделия

Отсутствие решения, позволяющего использовать 3D-принтеры совместно с дополнительным оборудованием — устройством извлечения напечатанных изделий, — потребовало разработки собственного ПО, учитывающего данную особенность (рис. 1).

Один из возможных способов автоматического планирования и управления печатью группы 3D-принтеров можно реализовать с использованием одноплатного компьютера, устанавливаемого в принтер и работающего под управлением операционной системы Linux, для которой написан WEB-сервер с помощью ASP.NET Core 2.2 (на языке C#) и Typescript (Vue). Он обеспечивает подключение к 3D-принтеру по сети и интерфейс для управления им через браузер с компьютера или мобильного устройства. При доработке имеющегося WEB-сервера каждый принтер сможет взаимодействовать не только с человеком, но и с другими принтерами по сети, распределяя задания по печати. Для межпрограммного взаимодействия целесообразно использование интерфейса REST API через протокол Websocket.

Наиболее удобным и расширяемым способом разработки данного ПО является его представление в виде отдельных сервисов, взаимодействующих между собой. В операционных системах семейства Linux существует встроенный механизм межпроцессорного взаимодействия сервисов — D-Bus. Системный сервис предоставляет набор различных интер-

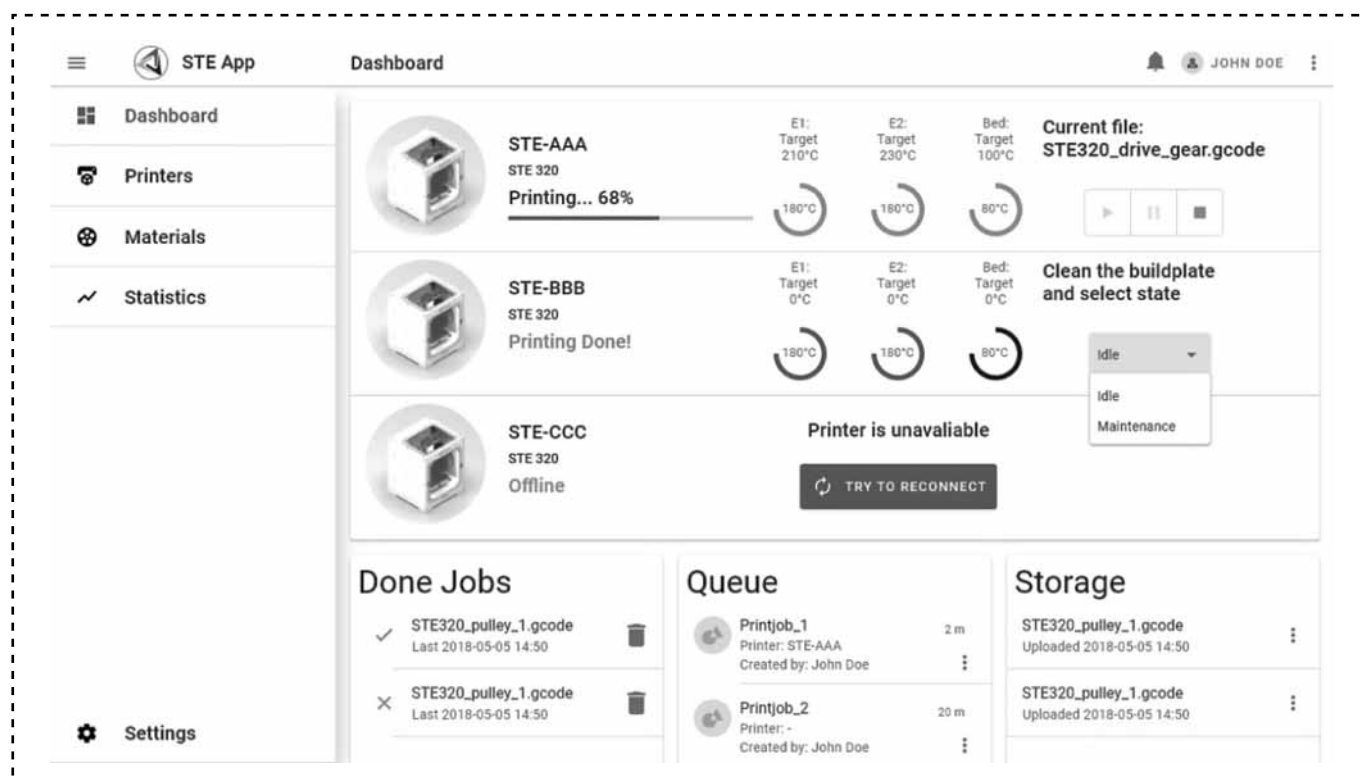


Рис. 1. Интерфейс ПО для управления фермой 3D-принтеров с автоматическим извлечением изделий

фейсов для взаимодействия с базой данных и очередь заданий на печать: *IPrintersService* — интерфейс управления принтерами и работы с таблицей принтеров; *IUsersService* — интерфейс управления пользователями и их авторизацией; *IPrintJobsService* — интерфейс для работы с заданиями на печать и управлением очередью; *IDoneJobsService* — интерфейс для работы с выполненными заданиями; *IFileStorageService* — интерфейс для работы с файлами G-Code; *IConnectionService* — интерфейс, обеспечивающий подключение принтеров друг к другу; *INotificationsService* — интерфейс для работы с уведомлениями.

Каждое задание на печать включает в себя информацию о G-Code файле [3], дате создания задания, пользователе, создавшем задание, принтере для печати. В дальнейшем задание на печать можно доработать, например, задать несколько возможных принтеров-исполнителей со схожими параметрами (рабочим объемом, числом и типом печатающих головок) и задать печать изделия определенным материалом.

Работа очереди происходит в цикле в отдельном потоке (рис. 2). Очередь заданий на печать построена по принципу FIFO ("первым пришел — первым ушел"). После окончания

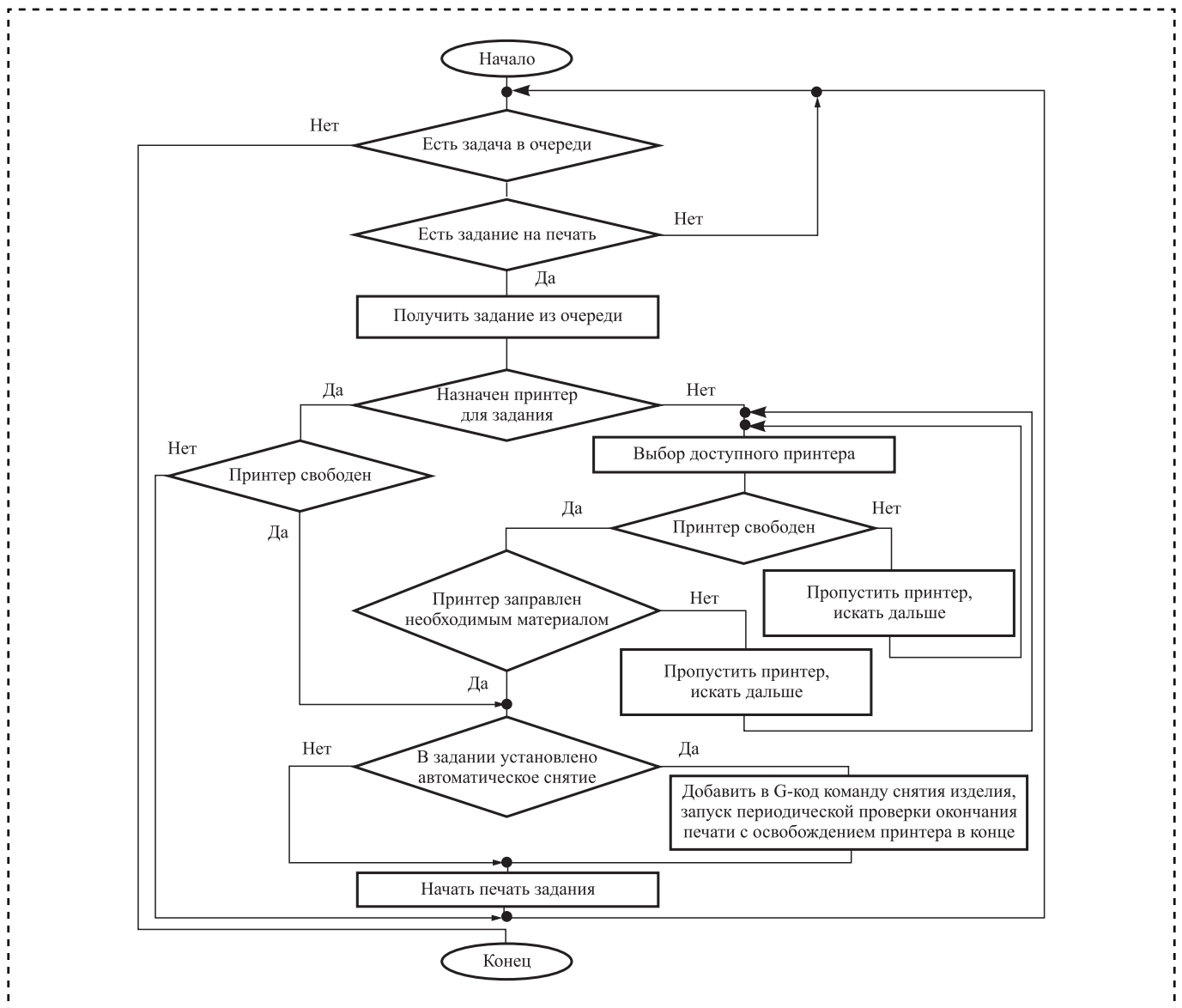


Рис. 2. Блок-схема алгоритма работы очереди



печати включается дополнительное оборудование — устройство извлечения напечатанных изделий. После окончания его работы принтер вновь готов принимать задания на печать. Также возможно сохранение файлов — будет разрешено пользователям повторно посылать файлы из очереди, печати вместо того, чтобы посылать их заново из прикладной программы. Принтеры можно отключать от работы в очереди, переводя их в режим обслуживания. В этом режиме задания на принтер не направляются, а системный техник проводит обслуживание принтера, калибровку платформы, экструдеров, проверку натяжения ремней и т.д.

Заключение

Необходимость в автоматическом извлечении напечатанных изделий из камеры 3D-принтера — одно из главных препятствий на пути к полной автоматизации производства, не позволяющая принтерам работать без простоя при отсутствии человека на предприятии. Разрабатываемые устройства и предложенное программное обеспечение нацелены на решение этой задачи, что способствует повышению коэффициента использования 3D-принтеров,

их равномерной загрузке, изготовлению изделий к нужному моменту времени и бесперебойному снабжению сборочных процессов.

Библиографический список

1. **Cura Connect Installation and user manual:** [Электронный ресурс]. URL: <https://ultimaker.com/download/71923/Cura> (дата обращения: 12.07.2019).
2. **Managing and monitoring your print queue:** [Электронный ресурс]. URL: <https://help.grabcad.com/article/207-managing-and-monitoring-your-print-queue?locale=en> (дата обращения: 12.07.2019).
3. **Гущин И.А., Авдеев А.Р., Швец А.А.** Преобразование объемной модели изделия в управляющий код для 3D-принтера // XX региональная конференция молодых исследователей Волгоградской области / редкол.: А.В. Навроцкий (отв. ред.) [и др.]; Комитет молодежной политики Волгогр. обл., Совет ректоров вузов Волгогр. обл., ВолгГТУ. Волгоград, 2016. С. 206—208.
4. **Дроботов А.В., Авдеев А.Р., Швец А.А.** Анализ способов повышения производительности устройств объемной печати для изготовления сборочных изделий // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2015. № 11. С. 3—6.
5. **Patent US 20140220168A1**, United States: B29C 67/00. AUTOMATED THREE-DIMENSIONAL PRINTED PART REMOVAL / Alfonso Alexander Perez, Christopher Michael Haid, Forrest W. Pieper, Mateo Pena Doll; заявитель и патентообладатель Massachusetts Institute of Technology; filed. 16.01.2014; publ. date 07.08.2014.



ООО "Издательство "Инновационное машиностроение"
продолжает подписку на журнал

"СБОРКА В МАШИНОСТРОЕНИИ, ПРИБОРОСТРОЕНИИ"

- За наличный и безналичный расчет.*
- С любого номера и на любой срок.*
- Без почтовых наценок.*

Присылайте заказ и обращайтесь за дополнительной информацией
в отдел продаж, маркетинга и рекламы:

107076, г. Москва, Колодезный пер., д. 2а, стр. 2

Тел.: 8 (495) 785-60-69

e-mail: realiz@mashin.ru, www.mashin.ru

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА. ИСПЫТАНИЯ. КОНТРОЛЬ

УДК 623.4.018

Е.А. Дерендяева, Л.М. Ваулина

(ЗАО "СКБ", г. Пермь, Пермский национальный исследовательский политехнический университет)

E-mail: katya-derendyaev@mail.ru

Основные этапы и положения при разработке и постановке продукции вооружения и военной техники на производство

Рассмотрены основные этапы разработки и постановки на производство образцов вооружения и военной техники, предусмотренные Государственными военными стандартами Российской Федерации. Проведен анализ основных руководящих документов для организации разработки и постановки военной продукции на производство.

The main stages of development and production of weapons and military equipment provided for by the State military standards of the Russian Federation are considered. The analysis of the main guidelines for the organization of the development and production of military products is carried out.

Ключевые слова: разработка, постановка, вооружение, военная техника, производство, модернизация, опытно-конструкторские работы.

Keywords: development, production, weapons, military equipment, production, modernization, development work.

В настоящее время совершенствование и модернизация вооруженных сил проходят во многих странах мира. К вооружению и военной технике (ВиВТ) предъявляют требования в части повышения дальности и точности стрельбы и мощности боеприпасов, но при этом современные системы вооружения должны обеспечивать минимальное время развертывания подразделений при минимальном количестве членов расчета.

Иностранные производители, понимая данные тенденции, проводят различные опытно-конструкторские работы, применяя современные высокопрочные и одновременно легкие материалы, позволяющие разрабатываемым изделиям значительно превосходить аналоги по характеристикам за счет расширения функционала и повышения их качества, оставаясь в той же весовой категории (классе) либо даже переходя в более легкие категории.

Наша страна из-за недостаточного финансирования предприятий оборонно-промышленного комплекса (ОПК) в течение длительного времени продолжает терять на рынке вооружений некогда объемный сектор поставок ВиВТ.

Основные стадии и виды работ жизненного цикла продукции включают в себя два основных этапа — разработку продукции и постановку ее на производство.

Основные руководящие документы производства ВиВТ при организации разработки и постановке продукции на производство — Государственные военные стандарты РФ — ГОСТ РВ 15.301, ГОСТ РВ 2.902 и ГОСТ РВ 15.203.

ГОСТ РВ 15.301 — устанавливает основные положения и порядок постановки на производство вновь разработанных (модернизированных) изделий ВиВТ [4].

ГОСТ РВ 2.902 — устанавливает порядок проверки, согласования и утверждения конструкторской документации (КД), присвоения изделиям ВиВТ индексов заказчика, а также порядок внесения изменений в эту документацию [1].

ГОСТ РВ 15.203 — устанавливает группы опытно-конструкторских работ (ОКР), этапы ОКР (составных частей ОКР (СЧ ОКР)), требования к выполнению ОКР, порядок выполнения и приемки этапов ОКР (СЧ ОКР), функции основных участников ОКР и их вза-



имоотношения и определяет основной состав документов, разрабатываемых в процессе выполнения ОКР (СЧ ОКР) и общие правила их выполнения [2].

Для ОКР сложились следующие стандартные этапы ее выполнения, при этом по согласованию с заказчиком этапы могут исключаться или объединяться:

— согласование тактико-технического задания (ТТЗ), поступающего от заказчика. При рассмотрении изделий ВиВТ в качестве заказчика выступает Министерство обороны РФ в лице ответственных подразделений;

— разработка рабочей КД (РКД), технологической документации, КД на специальные средства технологического оснащения, ремонтной КД и эксплуатационной документации (в зависимости от требований, заданных в ТТЗ);

— изготовление опытных образцов;

— предварительные испытания опытных образцов;

— доработка опытного образца по результатам предварительных испытаний;

— государственные испытания опытных образцов;

— согласование и утверждение КД для организации промышленного (серийного) производства.

Головной исполнитель ОКР совместно с исполнителями составных частей ОКР (СЧ ОКР) обязаны качественно разработать документацию, выдержать сроки разработки и обеспечить соответствие технических показателей разрабатываемой продукции требованиям ТТЗ, а также действующим нормативным документам на данную продукцию.

Головной изготовитель опытных образцов обязан обеспечить соответствие изготавливаемой продукции требованиям технологической документации.

Требования к качеству продукции устанавливаются в ТТЗ, технических условиях на изготовление, комплекте РКД и технологической документации.

Тактико-техническое задание — основной определяющий документ для разработки продукции ВиВТ. Оно содержит основные требования к разрабатываемому изделию, а также основные эксплуатационные характеристики, которые должно обеспечить разработанное и изготовленное изделие.

Разработку технического задания осуществляет заказчик, согласовывая его с головным исполнителем. Действие технического задания заканчивается после утверждения акта межведомственной комиссии по утверждению РКД и присвоения документации литеры "О₁" [1].

В ТТЗ указывается необходимость проведения тех или иных видов испытаний. Если их проведение не оговорено в ТТЗ, то вид и периодичность определяет разработчик, в соответствии с требованиями нормативных документов.

Основные виды испытаний при изготовлении опытного образца:

— предварительные испытания;

— государственные (межведомственные) испытания.

Предварительные испытания проводят в целях определения соответствия опытного образца требованиям ТТЗ. Предварительные испытания организует и проводит головной исполнитель, привлекая головного изготовителя и государственного заказчика по программам и методикам испытаний, разработанным головным исполнителем и согласованным с заказчиком.

В случае, если в результате предварительных испытаний выявлена необходимость корректировки РКД и/или доработки опытного образца (опытной партии), головной исполнитель совместно с предприятиями-соисполнителями корректируют РКД и/или проводят доработку опытного образца и уведомляют о готовности к повторным испытаниям. Заказчик принимает решение о проведении повторных испытаний.

Результаты предварительных испытаний отражают в протоколах испытаний и Акте предварительных испытаний, указывая, при каких условиях опытный образец (опытную партию) ВиВТ возможно предъявить на государственные испытания. После положительно проведенных предварительных испытаний рабочей КД присваивается литера "О".

Государственные испытания (ГИ) опытного образца (опытной партии) — обязательные. Их проводят в целях оценки боевых возможностей создаваемого образца ВиВТ, а также проверки и подтверждения соответствия технических и эксплуатационных характеристик опытного образца ВиВТ требованиям ТТЗ на разработку. Государственные испытания орга-



низует и проводит государственный заказчик с привлечением головного исполнителя и головного изготовителя изделия.

Государственные испытания проводят по программам и методикам испытаний, разработанным в соответствии с ГОСТ РВ 15.211. Программы и методики государственных испытаний разрабатывает и утверждает государственный заказчик, согласовывая с головным исполнителем [3].

Государственные испытания опытного образца (опытной партии) проводит комиссия, назначаемая заказчиком. Председателем комиссии назначается представитель заказчика. В состав комиссии входят представители заказчика, предприятия-разработчика и предприятия-изготовителя. При необходимости в состав комиссии могут быть включены заинтересованные представители от других предприятий.

Если по результатам ГИ комиссия установила необходимость значительной корректировки КД и доработки опытного образца из-за несоответствия требованиям ТТЗ, принимается решение о прекращении (приостановке) испытаний до устранения указанных недостатков и документального подтверждения их устранения.

Результаты испытаний отражаются в протоколах и Акте. Акт ГИ утверждают совместным решением головного исполнителя и головного изготовителя. При обнаружении недостатков РКД, документов на каталогизацию и опытного образца, не противоречащих требованиям ТТЗ, составляют План-график мероприятий по устранению этих недостатков с указанием срока их выполнения и получают результаты проверки соответствия состава и комплектности опытного образца изделия технической документации.

Испытания проводят на аккредитованных испытательных полигонах, лабораториях и в технических центрах.

Положительные результаты ГИ дают право на предъявление РКД для организации промышленного (серийного) производства.

Цель этапа утверждения РКД в качестве документации литеры "О₁" — согласование и утверждение РКД для организации промышленного (серийного) производства и присвоение ей литеры "О".

Головной исполнитель направляет государственному заказчику уведомление о готовности РКД для проверки и утверждения.

Заказчик после получения уведомления приказом назначает состав межведомственной комиссии (МВК). Председателем комиссии назначают представителя от заказчика.

МВК проводит проверку РКД в соответствии с ГОСТ РВ 2.902. Результаты проверки отражаются в Акте МВК, который утверждается совместным решением заказчика и головного изготовителя.

По результатам работы МВК может быть выявлена необходимость дополнительной корректировки РКД, что также отражается в Акте и разрабатывается План-график корректировки РКД со сроками выполнения.

При положительном решении МВК РКД утверждается в качестве документации промышленного (серийного) производства и входящим в нее документам присваивается литера "О", представляются знак заказчика и номер решения.

Разработка и постановка продукции на производство изделий ВиВТ — сложный, долгий и дорогостоящий процесс, способствующий развитию нашей тяжелой промышленности.

Российская Федерация всегда славилась своими образцами вооружения и военной техники, обладающими внушительным могуществом и безотказностью в бою. Для сохранения лидирующих позиций на мировом рынке необходимо проводить разработку новых образцов ВиВТ и модернизацию существующих.

Библиографический список

1. **ГОСТ РВ 2.902—2005.** Единая система конструкторской документации. Порядок проверки, согласования и утверждения конструкторской документации. М.: Стандартинформ, 2005. 29 с.
2. **ГОСТ РВ 15.203—2001.** Система разработки и постановки продукции на производство. Военная техника. Порядок выполнения опытно-конструкторских работ по созданию изделий и их составных частей. М.: Стандартинформ, 2014. 112 с.
3. **ГОСТ РВ 15.211—2002.** Система разработки и постановки продукции на производство. Военная техника. Порядок разработки программ и методик испытаний опытных образцов изделий. М.: Госстандарт России, 2002. 18 с.
4. **ГОСТ РВ 15.301—2003.** Система разработки и постановки продукции на производство. Военная техника. Постановка на производство изделий. М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. 35 с.



УДК 673.15

В.В. Куц, д-р техн. наук, **А.С. Бышкин**, **М.С. Разумов**, канд. техн. наук
(Юго-Западный государственный университет, г. Курск),
В.С. Кочергин (АО "Геомаш", г. Щигры Курской обл.)
E-mail: koshergin@mail.ru

Экспериментальные исследования процесса сверления отверстий медного сплава в напряженно-деформированном материале заготовки*

Проведены экспериментальные исследования процесса сверления отверстий медного сплава в напряженно-деформированном материале заготовки. Показано, что осевая сила резания уменьшается. Величина этой силы играет важную роль при сверлении отверстий малого диаметра.

Experimental studies of the drilling of copper alloy holes in an stress-strain material of the workpiece have been carried out. It is shown that the axial cutting force decreases. The magnitude of this force plays an important role in drilling small-diameter holes.

Ключевые слова: упругие деформации, напряженно-деформированный материал, заготовка, отверстие, сверление.

Keywords: elastic deformation, stress-strain material, billet, hole, drilling.

Сверление отверстий — одна из распространенных операций при изготовлении деталей [1—3], вследствие чего повышение эффективности данного процесса — актуальная задача. Для повышения эффективности процесса сверления на базе Юго-Западного государственного университета разработан способ сверления при предварительном напряженно-деформированном состоянии материала заготовки при котором образец подвергают упругой деформации при нагрузке, не превышающей предел пропорциональности материала заготовки, т.е. при снятии нагрузки размеры заготовки не меняются. Для выявления влияния технологических параметров на процесс сверления отверстий в напряженно-деформированном материале заготовки разработана экспериментальная установка.

Основная ее часть выполнена из двух закаленных пластин (рис. 1). Центральное от-

верстие в верхней пластине выполняет роль кондуктора и служит для доступа сверла к испытуемой заготовке, а стрелочные индикаторы и болты позволяют создать требуемую

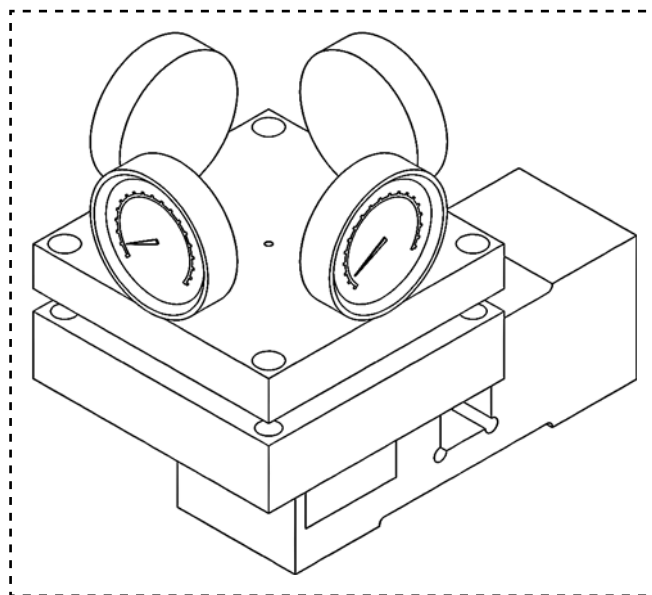


Рис. 1. Элемент конструкции нагружения при экспериментальных исследованиях сверления отверстий в напряженно-деформированном материале заготовки

* Работа выполнена в рамках финансирования Стипендии Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам, осуществляющим перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики, на 2018—2020 годы СП-591.2018.1.

нагрузку на испытуемый материал (болты, проходят через верхнюю пластину, вкручиваются в нижнюю пластину в отверстия с резьбой, а испытуемый образец находится в центральной части между пластинами). После установления индикаторов в нулевое положение последовательно затягивают болты по четверти оборота до достижения на всех четырех индикаторах определенного значения перемещения, которое должно соответствовать полученному экспериментальным путем пределу пропорциональности испытуемого материала.

Пределы упругости определяют экспериментально, так как табличные значения варьируются в разных источниках.

Образец устанавливают между неподвижной и подвижной опорными площадками. Нагружают образец предварительной малой нагрузкой F_0 , регистрируемой датчиком нагрузки, фиксируют положение подвижной опоры и определяют размер l_0 . От блока управления сигнал подается на шаговый двигатель. Нагружают образец, фиксируя нагрузку F_i . Перемещение Δl выбирают исходя из необходимой точности измерения. При измерении предела упругости материала после первого нагружения нагрузку уменьшают до F_0 и регистрируют положение подвижной опоры, определяют размер l_i . Если условие

$$\frac{|l_0 - l_i|}{l_0} \geq 0,0005 \quad (1)$$

не выполняется, то повторяют несколько циклов нагружения, перемещая подвижную опору в каждом цикле на $n\Delta l$ (n — номер цикла нагружения) и фиксируя новое значение нагрузки F_i . Циклы нагружения и разгружения проводят, пока не выполнится условие (1). Далее определяют предел упругости:

$$\sigma_u = \frac{|F_i + F_{i-1}|}{2s}, \quad (2)$$

где F_i и F_{i-1} — нагрузка при i -м и $(i-1)$ -м цикле нагружения, после которого выполнилось условие (1);

s — площадь поперечного сечения образца.

По этой методике определено предельное упругое состояние для образца в виде цилиндра с диаметром и высотой 10 мм из медного сплава марки М1. Образец сжимали между

двумя плитами на 0,6 мм и регистрировали показания индикаторами часового типа, расположенными по различным сторонам верхней пластины.

В нижней части пластины выполнены отверстия с резьбой для крепления датчика регистрации осевой нагрузки, закрепленного в тисках станка (рис. 2).

Для проведения эксперимента составлена матрица планирования полного факторного эксперимента типа 2^3 , в которой учтены параметры: подача S , частота вращения шпинделя n , нагрузка на образец (таблица). Сверление проводили спиральным сверлом стандартной заточки диаметром 3 мм. После обработки экспериментальных данных получены эмпирические зависимости осевой силы, множественный коэффициент корреляции которой $R = 0,997$:

$$P_z = \frac{2726,846S^{0,31}}{n^{0,23}L^{0,15}}.$$

Построены графики зависимости осевой силы от подачи и частоты вращения при классическом сверлении и сверлении отверстий медного сплава в напряженно-деформированном материале заготовки (рис. 3).

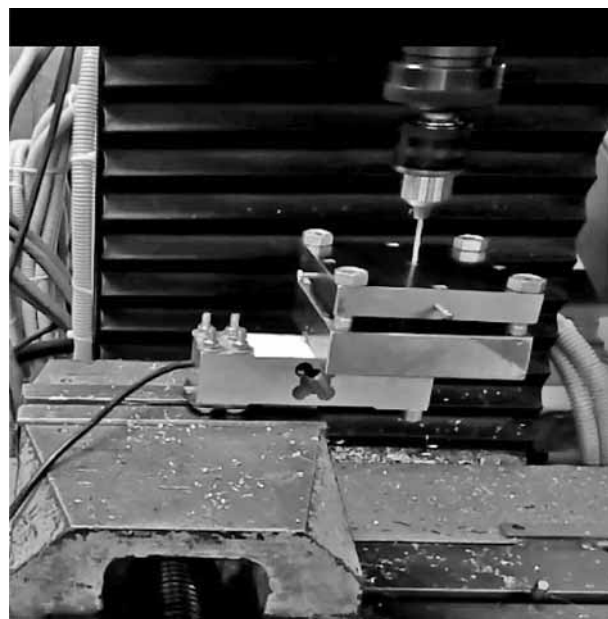


Рис. 2. Фрагмент исследования осевой силы при сверлении отверстий в напряженно-деформированном материале заготовки

Матрица эксперимента

№ п/п	X_1		X_2		X_3		P_{z1} , Н	P_{z2} , Н	P_z , Н
	Код	S , мм/мин	Код	n , мин ⁻¹	Код	L , мм			
1	–	10	–	80	–	0,1	233,91	233,93	233,92
2	+	100	–	80	–	0,1	364,80	364,82	364,81
3	–	10	+	800	–	0,1	111,77	111,82	111,79
4	+	100	+	800	–	0,1	221,60	221,66	221,63
5	–	10	–	80	+	0,6	128,43	128,49	128,46
6	+	100	–	80	+	0,6	329,48	329,52	329,50
7	–	10	+	800	+	0,6	91,20	91,20	91,20
8	+	100	+	800	+	0,6	194,16	194,18	194,17

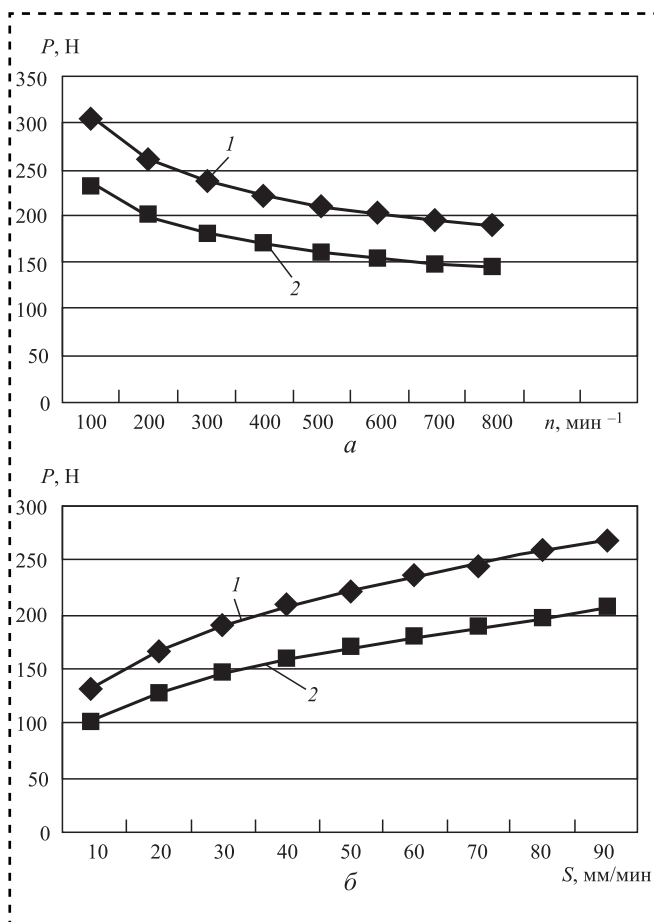


Рис. 3. Графики зависимостей осевой силы от: a — частоты вращения; b — подачи; 1 — классическое сверление; 2 — сверление отверстий медного сплава в напряженно-деформированном материале заготовки

Анализ полученных данных показал, что при сверлении отверстий в напряженно-деформированном материале заготовки из медного сплава М1 осевая сила уменьшается до 30 %, что важно при сверлении отверстий малого диаметра.

Библиографический список

1. Сидорова В.В., Разумов М.С. Устройство для вибрационного сверления // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2014. № 4 (306). С. 51–54.
2. Барботько А.И., Масленников А.В. Резание материалов: учебное пособие. Старый Оскол: Тонкие наукоемкие технологии, 2009. 576 с.
3. Существующие методы обеспечения низкочастотных вибраций инструмента с целью дробления стружки при сверлении глубоких отверстий / С.А. Воронов и др. // *Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана*. 2014. № 12. С. 842–857.
4. Драчев О.И., Расторгуев Д.А., Салабаев Д.Е. Повышение эффективности вибрационной обработки глубоких отверстий // *Металлообработка*. 2006. № 2. С. 2–5.
5. Пат. № 2169058 РФ, МПК В23 В 29/03. Устройство для обработки глубоких отверстий / О.И. Драчев, Д.А. Расторгуев, О.В. Бойченко. № 99127545/02; заявл. 22.12.99; опубл. 20.06.01. Бюл. № 17.
6. Кумабэ Д. Вибрационное резание / пер. с яп. С.Л. Масленникова, под ред. И.И. Портнова, В.В. Белова. М.: Машиностроение, 1985. 424 с.
7. Емельянов С.Г., Разумов М.С., Гречухин А.Н., Сидорова В.В. Выявление эмпирических зависимостей конструктивных параметров устройства для наложения вибраций на осевое усилие при сверлении отверстий малого диаметра // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 10-3. С. 484–488.
8. Razumov M.S., Sidorova V.V., Grechukhin A.N. Automated control of process conditions during drilling with imposition of vibrations // *Metallurgical and Mining Industry*. 2014. № 5. P. 20–24.
9. Разумов М.С., Заворин М.К., Гатиев М.Ш., Бышкин А.С. Приспособление для сверления отверстий с наложением вибраций на заготовку // *Современные материалы, техника и технология: сб. науч. статей 8-й Междунар. науч.-практ. конф.* 2018. С. 347–352.
10. Куц В.В., Разумов М.С., Бышкин А.С., Дрынова О.И. Способ и устройство для определения предела упругости в заготовках деталей // *Инновации, качество и сервис в технике и технологиях: сб. науч. тр. 7-й Междунар. науч.-практ. конф.* 2017. С. 216–218.
11. Куц В.В., Бышкин А.С., Разумов М.С. Сверление отверстий в напряженно-деформированном материале заготовки // *Современные материалы, техника и технология*. 2018. № 3 (18). С. 20–23.
12. Способ контроля погрешности формообразования внутренних поверхностей / М.С. Разумов и др. // *Техника и технологии: пути инновационного развития: сб. науч. тр. 7-й Междунар. науч.-практ. конф.* 2018. С. 234–240.



УДК 656.13:05.22.10

Е.А. Дубовик (Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону)
E-mail: dubovik1982@list.ru

Контроль поршневых колец по поршням ДВС автомобилей

Рассмотрен процесс технологического контроля поршневых колец по поршням двигателей внутреннего сгорания (ДВС) автомобилей, а также применяемый при этом процесс инструмент.

The process of technological control of piston rings on the pistons of internal combustion engines (ICE) of cars, as well as the tool used in this process, is considered.

Ключевые слова: двигатель, зазор, контроль, поршневые кольца.

Keywords: engine, clearance, control, piston rings.

Качество поршневых колец серьезно влияет на параметры двигателя. Полнота или залегание поршневых колец приводит к уменьшению полной мощности двигателя, снижает его приемистость. Увеличение зазора между поршнями и цилиндрами, между поршневыми кольцами и канавками на поршне вызывает "биение" поршня в цилиндре и шум. Звук обычно не звонкие, приглушенные, лучше всего они прослушиваются при малой частоте вращения коленчатого вала и под нагрузкой. Износ поршневых колец приводит к повышенному расходу масла.

Значения конструктивных параметров поршневых колец бензиновых и дизельных двигателей представлены в таблице.

Современная тенденция уменьшения габаритных размеров и массы двигателя реализуется прежде всего за счет высоты и массы поршня. Так, высота верхнего компрессионного кольца бензиновых двигателей составляет всего 1,2...1,5 мм, а дизельных — 2,5...3,0 мм. Наиболее распространены верхние кольца дизельных двигателей высотой 2,0 мм, а при малых диаметрах цилиндра высота первого кольца может быть 1,75 мм и даже 1,5 мм. Средние кольца современных бензиновых двигателей имеют высоту 1,50...1,75 мм, а дизельных — 2,0...2,5 мм и увеличенную радиальную ширину.

Тенденция уменьшения высоты поршневых колец касается и высоты маслосъемных колец. За последние 8—10 лет высота колец снизилась

с 2,8...4,75 мм до 2,0...2,5 мм у целого ряда двигателей.

Расчет колец:

определяется среднее давление кольца на стенку цилиндра, которое должно обеспечивать достаточную герметичность камеры сгорания и не должно резко увеличивать потери мощности двигателя на трение колец о стенки цилиндра;

строится эпюра давления кольца по окружности;

Характеристики поршневых колец бензиновых и дизельных двигателей автомобиля

Параметр	Двигатели	
	бензиновые	дизельные
Толщина днища поршня δ/D	0,05...0,09	0,12...0,2
Высота поршня H/D	0,08...1,2	1...1,5
Высота верхней части поршня h_1/D	0,45...0,75	0,6...1,0
Радиальная толщина кольца t/D : компрессионного маслосъемного	0,035...0,045 0,030...0,043	0,040...0,045 0,038...0,043
Радиальный зазор кольца в канавке поршня Δt , мм: компрессионного маслосъемного	0,70...0,96 0,9...1,1	0,70...0,96 0,9...1,1
Высота кольца a , мм	1,5...4,0	3,0...5,0
Разность между зазорами замка кольца в свободном и рабочем состоянии A_0/t	2,5...4,0	3,2...4,0

определяются напряжения изгиба, возникающие в сечении, противоположном замку, при надевании кольца на поршень и в рабочем состоянии;

устанавливаются монтажные зазоры в прямом замке кольца.

Среднее давление $p_{\text{ср}}$ кольца на стенку цилиндра определим по формуле:

$$p_{\text{ср}} = 0,152E \frac{A_0/t}{\left(\frac{D}{t-1}\right)^3 \left(\frac{D}{t}\right)}, \quad (1)$$

где E — модуль упругости материала кольца;

A_0 — разность между зазорами кольца в свободном и рабочем состояниях;

D — диаметр кольца;

t — ширина кольца.

Допустимое среднее радиальное давление $p_{\text{ср}}$ для компрессионных колец 0,11...0,37 МПа; для маслосъемных колец 0,2...0,4 МПа.

Повышение давления p кольца на стенку цилиндра у замка должно составлять для колец бензиновых двигателей примерно $(1,4...2,0)p_{\text{ср}}$, а для дизельных — $(1,8...2,5)p_{\text{ср}}$. При этом эпюра давления кольца на стенки цилиндра имеет грушевидную и каплевидную формы (рис. 1).

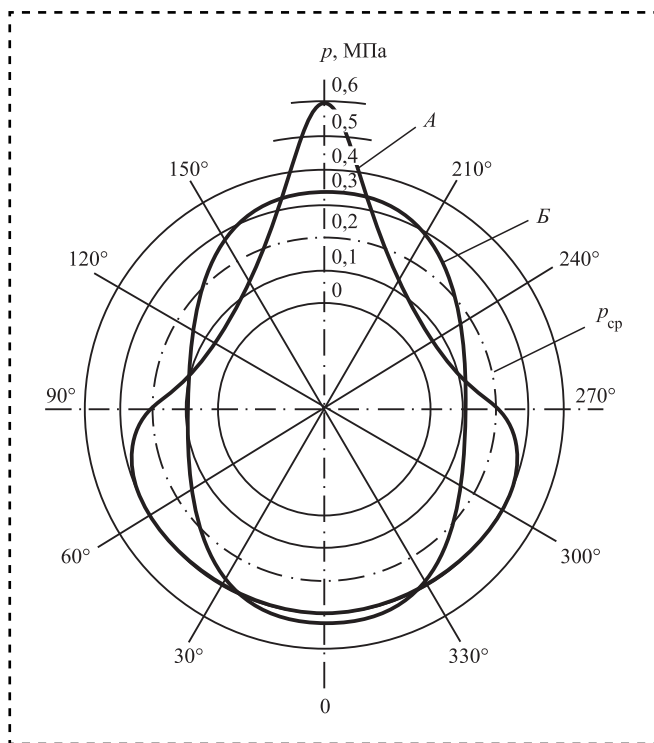


Рис. 1. Эпюры радиальных давлений поршневых колец: А — грушевидная; В — овальная; $p_{\text{ср}}$ — среднее радиальное давление

Новое кольцо, изготовленное с заранее заданной эпюрой давления и установленное в цилиндр, не должно иметь просветов между наружной поверхностью и зеркалом цилиндра. Значительное повышение давления у замка способствует равномерному износу кольца по окружности.

Напряжения изгиба, возникающие в сечении кольца, противоположном замку: в рабочем состоянии

$$\sigma_{\text{из1}} = 2,61p_{\text{ср}} \left(\frac{D}{t} - 1\right)^2; \quad (2)$$

при надевании его на поршень

$$\sigma_{\text{из2}} = \frac{4E \left(1 - 0,114 \frac{A_0}{t}\right)}{m \left(\frac{D}{t} - 1,4\right) \left(\frac{D}{t}\right)}, \quad (3)$$

где m — коэффициент, зависящий от способа надевания кольца, $m = 1,57$.

Монтажный зазор Δ_k в прямом замке поршневого кольца в холодном состоянии определяем по формуле:

$$\Delta_k = \Delta'_k + \pi D [\alpha_k (T_k - T_0) - \alpha_{\text{ц}} (T_{\text{ц}} - T_0)], \quad (4)$$

где Δ'_k — минимально допустимый зазор в замке кольца во время работы двигателя, $\Delta'_k = 0,06...0,1$ мм;

α_k и $\alpha_{\text{ц}}$ — коэффициенты линейного расширения материала кольца и гильзы цилиндра;

T_k , $T_{\text{ц}}$ и T_0 — температура кольца, стенок цилиндра в рабочем состоянии и начальная температура соответственно; при жидкостном охлаждении $T_k = 473...573$ К, $T_{\text{ц}} = 383...388$ К; при воздушном охлаждении $T_k = 523...723$ К; $T_{\text{ц}} = 443...463$ К; $T_0 = 293$ К.

Поршневые кольца проверяют на наличие трещин, раковин, сколов на торцах и особенно в замке.

Контроль поршневых колец по высоте осуществляют микрометрами, плоскими шаблонами с проходной и непроходной сторонами и щелевыми калибрами.

Проверка только высоты кольца выявляет его коробление. Поэтому целесообразно, проверив высоту поршневого кольца в двух-трех точках, пропустить его через щелевой калибр. Обычные соотношения размеров для щели калибра:

$$l = D_{\text{ц}} + (30...40); \quad (5)$$

$$b = D_{\text{ц}}/3; \quad (6)$$

$$h = h_{\text{к}} + (0,03...0,04), \quad (7)$$

где l — длина калибра, мм;

$D_{\text{ц}}$ — диаметр цилиндра, для которого предназначено поршневое кольцо;

b — ширина калибра-щели;

$h_{\text{к}}$ — номинальная высота кольца;

h — высота щели калибра.

Поршневое кольцо должно проходить через щелевой калибр под действием собственного веса. Измеряют высоту у двух и проверяют коробление не менее чем у 10 поршневых колец.

Упругость поршневых колец оценивают на приборе, показанном на рис. 2.

Прибор устанавливают строго в горизонтальное положение. Правильность установки проверяют уровнем, помещенным внутри прилива станины. Большой 1 и малый 2 передвижные грузы устанавливают в положение 0 и открывают запорное приспособление весового механизма. Если равновесие нарушено, то его восстанавливают противовесом.

После регулировки закрывают запорное приспособление весового механизма и на площадку прибора в специальный паз устанавливают поршневое кольцо 3 так, чтобы замок его располагался, как показано на рис. 2. Зажимают поршневое кольцо до зазора в замке, закрепляют подвижный кронштейн 4 стопором 5 и открывают запорное приспособление весового механизма. Меняя нагрузку и положение подвиж-

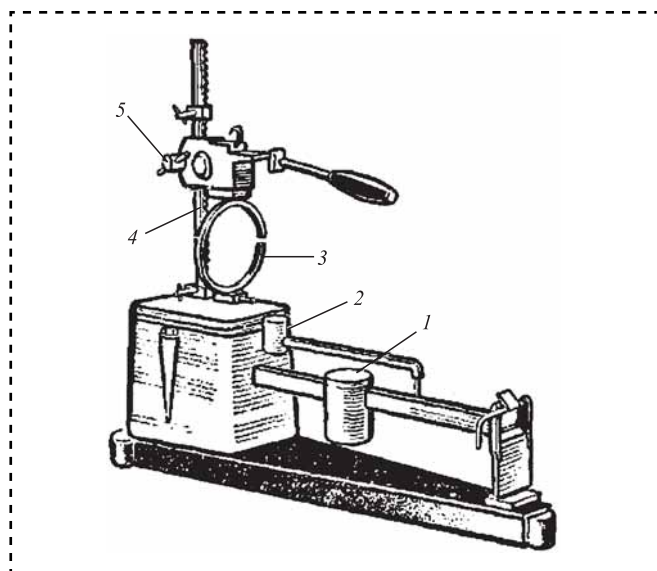


Рис. 2. Приспособление для проверки упругости поршневых колец

ного кронштейна, добиваются при равновесном положении шкалы требуемого размера зазора.

По калибру зазор в стыке проверяют шупом (рис. 3). Поршневые кольца по поршню подбирают прокаткой по канавке.

Контроль поршневых колец на плотность прилегания к стенкам цилиндров проводят на приборе, состоящем из светонепроницаемого ящика 1, на задней крышке которого установлена электрическая лампа 8, а в передней крышке неподвижно закреплена обойма 3 (рис. 4). В обойму устанавливают (в зависимости от размера проверяемого поршневого кольца) сменные калиброванные обоймы 4. Поршневое кольцо сверху прикрывают крышкой 6. В передней крышке установлено матовое стекло 7 (при установке матовой электрической лампы стекло не обязательно).

Проверяемое поршневое кольцо вставляют в предварительно подобранную по ремонтному размеру обойму 4 и выравнивают его специальной пробкой или днищем поршня. Затем кольцо накрывают крышкой 6 и включают лампу. При этом наличие просвета между стенками обоймы и поршневым кольцом недопустимо.

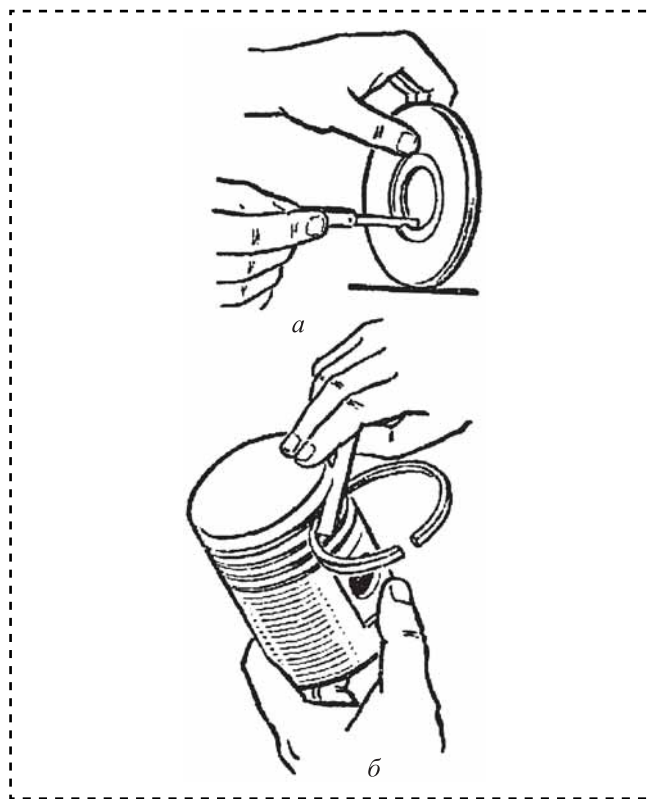


Рис. 3. Подбор поршневых колец:
а — по калибру; б — по поршню

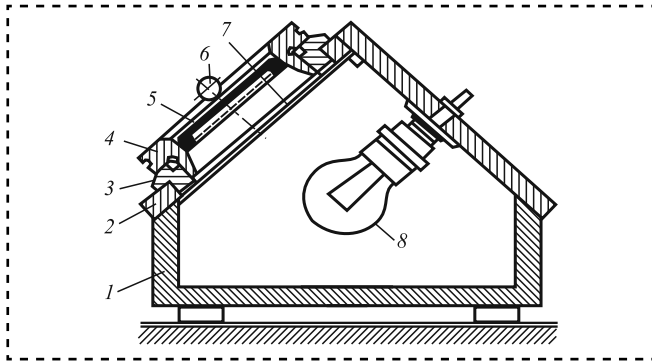


Рис. 4. Прибор для проверки плотности прилегания поршневого кольца к стенкам цилиндра:

1 — светонепроницаемый ящик; 2 — крышка ящика; 3 — неподвижно закрепленная обойма камеры; 4 — сменная калиброванная обойма; 5 — поршневое кольцо; 6 — крышка с ручкой; 7 — защитное матовое стекло; 8 — лампа

Результаты измерений высоты поршневых колец, проверки их на коробление, упругость при сосредоточенной нагрузке, величину зазоров в замке и по высоте в канавке, по плотности прилегания к стенкам цилиндра сравнивают с требованиями руководства по капитальному ремонту автомобилей и делают заключение о пригодности поршневых колец к работе.

Закончив комплектование, поршневые кольца укладывают в специальные ящики или передвижные стеллажи.

На рис. 5 предложена структурно-логическая схема для оценки качества контроля поршневых колец по поршням двигателей внутреннего сгорания автомобиля.

Качество показателей контроля поршневых колец по поршням двигателей автомобиля определяют с помощью интегрального показателя достаточности, в состав которого входит функционал [1]:

$$J(B) = \sum_{r=1}^{p-1} \sum_{k=r+1}^p [d_{rk}(B) - q_{rk}]^2. \quad (8)$$

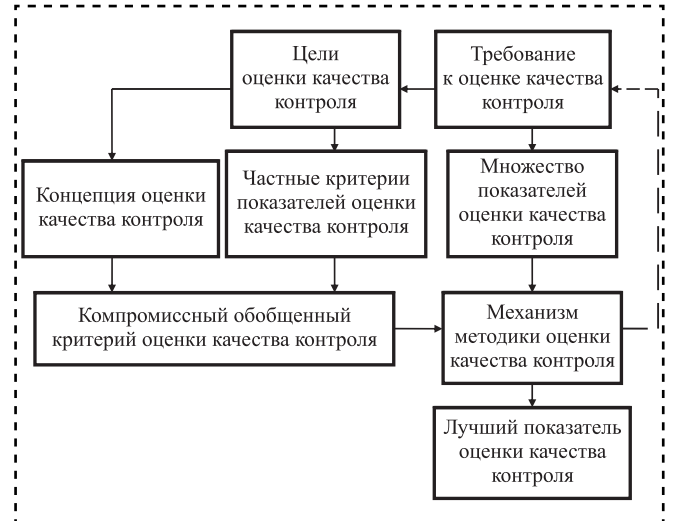


Рис. 5. Структурно-логическая схема контроля поршневых колец по поршням двигателей внутреннего сгорания автомобиля

Алгоритм поиска интегрального показателя достаточности реализован на ЭВМ ЕС-1841 в виде экспертной программы "Выбор".

Программа "Выбор" позволяет выполнять многокритериальную оценку рейтингового выбора множества различных вариантов качества показателей контроля поршневых колец. С помощью этой программы, возможно рассмотрение качественных и количественных факторов проверки качества и оценки показателей качества контроля поршневых колец.

Библиографический список

1. Авен П.О. Построение интегрального показателя в критериальном пространстве // Автоматика и Телемеханика. 1985. № 4. С. 87–91.

ТРЕНИЕ И СМАЗКА В МАШИНАХ И МЕХАНИЗМАХ

УДК 656.2:621.891

К.И. Карпенко, Н.А. Мясникова, канд. физ.-мат. наук, Ф.В. Мясников, В.В. Авилов
(Ростовский государственный университет путей сообщения)
E-mail: ksenija_karpenko@bk.ru

Повышение трибологических характеристик пластичных смазок при введении присадок на основе нестехиометрических соединений молибдена и вольфрама*

Представлены результаты применения присадок на основе нестехиометрических соединений Mo и W для повышения трибологических характеристик железнодорожных пластичных смазок ЛЗ-ЦНИИ и ЦИАТИМ-201. Установлено, что введение в дисперсионную среду смазок данного типа присадок повышает трибологические свойства без ухудшения эксплуатационных параметров.

The results of the use of additives based on non-stoichiometric compounds Mo and W to improve railway greases LZ-CNII and CIATIM 201 are presented. It has been established that the introduction of lubricants of this type of additives into the dispersion medium improves the tribological properties without deteriorating the performance parameters of these lubricants.

Ключевые слова: пластичный смазочный материал, ЛЗ-ЦНИИ, ЦИАТИМ-201, трение, износостойкость, смазочная пленка, антифрикционная присадка, нестехиометрическое соединение.

Keywords: plastic lubricant, LZ-CNII, CIATIM 201, friction, wear resistance, lubricating film, antifriction additive, non-stoichiometric.

Введение

Один из путей повышения эксплуатационной надежности, износостойкости и увеличение ресурса железнодорожной техники заключается в разработке новых смазочных композиций (СК), содержащих эффективные присадки, способствующие формированию стабильной смазочной пленки на трибоконтакте. Эта пленка должна длительно сохраняться на поверхности трения за счет образования прочных химических связей между фрагментами присадок и металлической поверхностью. В значительной мере именно химическая природа и физико-химические свойства присадок определяют возможность создания антифрикционной пленки.

В качестве противоизносных присадок широко используют неорганические вещества, например, сульфаты, молибдаты некоторых металлов и др. Для пластичных смазок целесообразно использовать присадки неорганической природы на основе полимерных фосфатов некоторых металлов, которым присуща термическая стабильность и затрудненная окисляемость [1–3]. Их антифрикционные свойства обусловлены слоистой структурой в зоне трения.

В данной работе в качестве присадок к пластичным смазкам использовали наноразмерные частицы нестехиометрических соединений молибдена и вольфрама. Выбор этих соединений обусловлен их способностью обладать переменными степенями окисления. Нестехиометрические соединения молибдена и вольфрама со смешанными степенями окисления имеют слоистую структуру, вследствие чего их можно рассматривать как перспектив-

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 18-58-00026 и № 17-20-03176.



ные антифрикционные добавки [4, 5]. Мелко-дисперсные (40...60 нм) оксиды молибдена и вольфрама, введенные в смазочный материал, способствуют формированию защитных антифрикционных пленок в области трения.

Методика проведения эксперимента и полученные результаты

В качестве матрицы выбрали активно применяемые для смазывания узлов трения железнодорожной техники смазочные материалы ЛЗ-ЦНИИ и ЦИАТИМ-201. В качестве присадок вводили оксиды WO_2 , MoO_2 или нестехиометрические соединения W и Mo, которые получали методом восстановления водородом в водном солянокислом растворе вольфрамовых и молибденовых кислот, как по отдельности, так и совместно [4]. Из растворов продукты адсорбировали поверхностно-активными веществами. Полученные соединения $H_{01}WO_3 \cdot 1,06H_2O$ и $H_{1,0}MoO_3 \cdot 2H_2O$ использовали в качестве присадок.

Размер частиц полученных нестехиометрических соединений W и Mo оценивали на дисковой центрифуге CPS Model DC24000: измеряли концентрацию частиц каждого размера за счет использования центробежной седиментации в оптически прозрачном вращающемся диске, заполненном жидкостью. На основе теории рассеяния света Ми в результате расчетов измерение прозрачности преобразуется в распределение относительного веса. Присадки получали как в результате синтеза искоемых соединений, так и при помощи тон-

кого (до 40...60 нм) измельчения на бисерной мельнице Netzsch MicroCer. На рис. 1 приведена кривая распределения для синтезированной присадки $H_{01}WO_3 \cdot 1,06H_2O$. Максимальное число частиц имеют размеры 45...55 нм. Аналогичные результаты получены на присадке $H_{1,0}MoO_3 \cdot 2H_2O$.

Трибологические испытания СК с разработанными присадками проводили на различных машинах трения для моделирования работы различных узлов трения и оценки износостойкости подвижных соединений и эффективности данных присадок.

Износные свойства исследовали на четырехшариковой машине трения ЧМТ-1 в течение 60 мин с частотой вращения 1400 мин^{-1} , нагрузке 196 Н (таблица).

Диаметр пятна износа уменьшается при вводе в пластичные смазки ЛЗ-ЦНИИ и ЦИАТИМ-201 как присадок на основе оксидов WO_2 и MoO_2 , так и присадок нестехиометрических соединений $H_{01}WO_3 \cdot 1,06H_2O$ и $H_{1,0}MoO_3 \cdot 2H_2O$. Максимальный эффект от введения наблюдали при концентрациях присадок 3...3,5 %. Однако уменьшение пятна износа при введении оксидов составляет 20...25 %, а для нестехиометрических соединений — 33...40 %. Существенное уменьшение диаметра пятна износа при трибологических испытаниях на ЧМТ-1 пластичных смазок ЛЗ-ЦНИИ и ЦИАТИМ-201 с присадками нестехиометрических соединений $H_{01}WO_3 \cdot 1,06H_2O$ и $H_{1,0}MoO_3 \cdot 2H_2O$ свидетельствует о том, что разработанные СК способны образовывать на металлических поверхностях защитные антифрикционные пленки, обеспечивающие смазочное действие.

На рис. 2 на стр. 2 обложки представлены зависимости коэффициента трения от времени трибоконтакта, полученные на торцевой машине трения. Испытания проводили по схеме "стальной диск — три стальных пальца" в смазочной среде. Узел трения машины представляет собой подвижный держатель, на котором закрепляют три цилиндрических пальца диаметром 10 мм и длиной 30 мм с осями, расположенными под углом 120° друг относительно друга, и стальной диск (контртело) диаметром 10,2 мм, фиксируемый в специальной чашке.

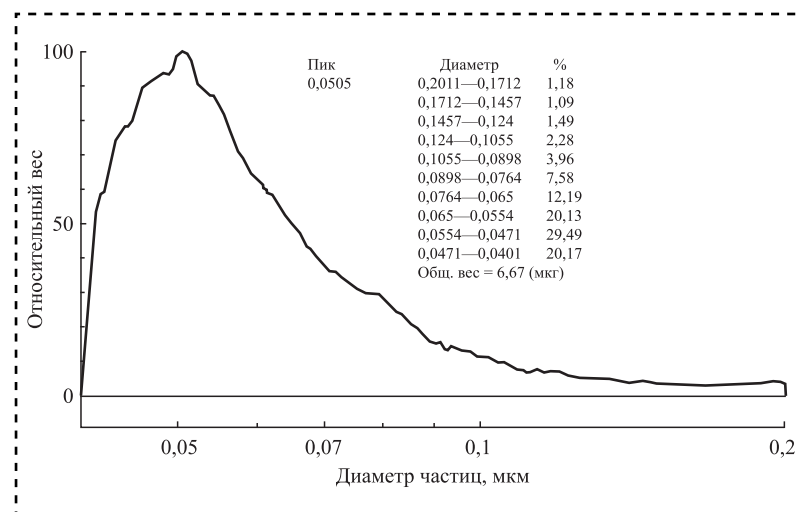


Рис. 1. Распределение размера частиц в зависимости от их численности для присадки $H_{01}WO_3 \cdot 1,06H_2O$

Исследование износных свойств на ЧМТ-1

Массовая доля присадки	Диаметр пятна износа, мм			
	WO ₂	H ₀₁ WO ₃ ·1,06H ₂ O	MoO ₂	H _{1,0} MoO ₃ ·2H ₂ O
<i>СК на основе ЛЗ-ЦНИИ с различными присадками</i>				
—	0,460	0,460	0,460	0,460
0,5	0,460	0,460	0,460	0,450
1,0	0,460	0,440	0,460	0,440
1,5	0,440	0,420	0,450	0,400
2,0	0,410	0,360	0,440	0,320
2,5	0,400	0,320	0,420	0,300
3,0	0,390	0,290	0,400	0,260
3,5	0,400	0,310	0,410	0,260
4,0	0,460	0,340	0,440	0,250
4,5	0,470	0,350	0,460	0,270
5,0	0,490	0,400	0,480	0,310
<i>СК на основе ЦИАТИМ-201 с различными присадками</i>				
—	0,580	0,580	0,580	0,580
0,5	0,580	0,580	0,580	0,570
1,0	0,580	0,560	0,570	0,550
1,5	0,560	0,540	0,530	0,520
2,0	0,540	0,500	0,530	0,480
2,5	0,520	0,460	0,500	0,440
3,0	0,460	0,340	0,440	0,390
3,5	0,460	0,340	0,440	0,390
4,0	0,480	0,360	0,460	0,400
4,5	0,500	0,380	0,460	0,430
5,0	0,550	0,410	0,500	0,450

Испытательная установка работает при различных режимах: нагрузках от 30 до 1000 Н и скоростях скольжения от 0,1 до 10 м/с. При такой конструкции машины трения остановить и возобновить испытания возможно в любой момент времени. При этом не нарушается поверхность трибоконтакта, что позволяет исследовать в любые временные интервалы стабильность смазочной пленки на контртеле и кинетику ее формирования.

Кинетику образования и стабильность смазочной пленки на фрикционном контакте исследовали на спектрофотометре Nicolet 380 методом ИК-Фурье МНПВО спектроскопии. На рис. 3 на стр. 2 обложки приведены ИК-Фурье МНПВО спектры поверхности стального диска

в процессе трибоконтакта при использовании исходной СК ЛЗ-ЦНИИ (рис. 3, а), СК ЛЗ-ЦНИИ + 3 % WO₂ (рис. 3, б) и СК ЛЗ-ЦНИИ + 3 % H₀₁WO₃·1,06H₂O (рис. 3, в).

Спектры ИК-Фурье МНПВО исследовали через определенные интервалы (1–2 ч) трибоконтакта до тех пор, пока на поверхности контртела регистрировались полосы поглощения. Интенсивные полосы валентных колебаний связей С–Н в областях 2850...2980 см⁻¹ и деформационных колебаний 1463 см⁻¹ при малом времени трибоконтакта наблюдали во всех ИК-спектрах поверхностей дисков как с исходными СК, так и с исследованными. После трибоконтакта на поверхности появляются новые полосы в областях 1725 и 1562 см⁻¹, относящиеся к валентным колебаниям карбонильных групп –С=О, образование которых связано с трибоокислением. Эти полосы имеют большую интенсивность и позволяют фиксировать даже малое количество смазочной пленки на поверхности контртела. Появление полос, соответствующих колебаниям связей С–О–С, С=О (1060...1150, 1695...1740 см⁻¹), свидетельствует также о процессах окисления и деструкции базового масла.

Для исходной смазки ЛЗ-ЦНИИ после 8 ч трибоконтакта смазочная пленка на контртеле практически не обнаружено (рис. 3, а, кривая 3). Для СК ЛЗ-ЦНИИ + 3 % WO₂ в спектрах поверхности трения полосы поглощения регистрируются до 12 ч (рис. 3, б, кривая 3). При трибосопряжении со СК ЛЗ-ЦНИИ + 3 % H₀₁WO₃·1,06H₂O смазочная пленка сохраняется длительное время, полосы значительной интенсивности наблюдали и после 16 ч работы (рис. 3, в, кривая 4). Аналогичные результаты получены и для нестехиометрических соединений Мо. Таким образом, исследованные присадки нестехиометрических соединений W и Mo способствуют образованию стабильной смазочной пленки и могут значительно продлить ресурс работы СК.

Выводы

Проведенные исследования работоспособности железнодорожных пластичных смазок ЛЗ-ЦНИИ и ЦИАТИМ-201 при использовании в качестве наноприсадок нестехиометрических соединений W и Mo показали существенное уменьшение коэффициента трения и сниже-



ние диаметра пятна износа при использовании СК с этими присадками. Это свидетельствует о формировании на поверхности трибосопряжения антифрикционных защитных пленок вторичных структур, которые имеют сложное строение и кроме частиц износа содержат также продукты окисления и полимеризации масляной основы. Между металлической поверхностью контртела и структурными фрагментами присадки возможно образование прочных химических связей. Все эти эффекты зависят от дисперсности введенной присадки. Такие пленки обеспечивают длительное смазочное действие на трибоконтакте.

Полученные результаты позволят разработать широкий спектр высокоэффективных СК с нанодобавками для трибосистем.

Библиографический список

1. Мясникова Н.А., Мантуров Д.С., Лебединский К.С., Новиков Е.С. Экспериментальное изучение

свойств смазочных композиций с присадками на основе фосфоровольфрамов // Вестник РГУПС. 2018. № 1. С. 21–26.

2. Ермаков С.Ф. Влияние смазочных материалов и присадок на триботехнические характеристики твердых тел. Часть 2. Активное управление трением // Трение и износ. 2012. Т. 33. № 3. С. 275–283.

3. Механизм смазочного действия присадок полифосфатов и гетерополифосфатов в трибосистемах / В.И. Колесников и др. // Журнал прикладной химии. 2017. Т. 90. № 5. С. 609–619.

4. Карпенко К.И., Мясникова Н.А. Способы получения нестехиометрических соединений на основе W и Mo и исследование трибологических характеристик пластичных смазок с этими присадками // Транспорт: наука, образование, производство: сб. науч. тр. 2019. Т. 1. С. 339–342.

5. Karpenko K.I., Novikov E.S., Danilchenko S.A., Avilov V.V. The Study of the Tribological, Thermal and Physical Properties of Phenylone C-2 Based Composites Containing Nonstoichiometric Molybdenum and Tungsten Oxides // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 226. No. 03015.



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ИННОВАЦИОННОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ»



СПРАВОЧНИК ТЕХНОЛОГА

Под общей редакцией А.Г. Сулова

Цена 9500 руб.

2019 г. 800 с.

За последние 40 лет впервые издан совершенно новый Справочник технолога. В его написании приняли участие 69 докторов и кандидатов технических наук из 17 регионов Российской Федерации. В книге приведен справочный материал, необходимый технологу при разработке технологических процессов изготовления деталей и сборки узлов. Последовательность изложения справочного материала соответствует методологии технологической подготовки производства. Изложен справочный материал по производству заготовок, назначению припусков, базированию, технологическим способам обработки заготовок, обеспечению качества деталей и сборочных единиц, методике разработки технологических процессов, обработке заготовок, в том числе на станках с ЧПУ и обрабатывающих центрах, и сборке изделий машиностроения и авиадвигателестроения.

Приведена нормализованная технологическая документация для разработки технологических процессов. Впервые изложена методология технологической подготовки цифровых производств.

Для инженерно-технических работников промышленных предприятий, студентов, аспирантов и преподавателей технических вузов.

ПРИБРЕСТИ КНИГУ ПО ЦЕНЕ ИЗДАТЕЛЯ МОЖНО, ПРИСЛАВ ЗАЯВКУ

по e-mail: realiz@mashin.ru

Дополнительная информация по телефону (495) 785-60-69 и на сайте WWW.MASHIN.RU

А.В. Щедрин, канд. техн. наук (МГТУ им. Н.Э. Баумана),
Н.Ю. Чихачева (МОО "Академия проблем качества"),
А.А. Бекаев, канд. техн. наук (Московский политехнический университет),
Н.В. Томская (МОУ "Демидовский лицей")
E-mail: bekaev@list.ru

Влияние характера и параметров микрогеометрии поверхности инструмента на коэффициент трения в методах комбинированного дорнования отверстий

С использованием теоретических положений адгезионно-деформационной теории трения И.В. Крагельского исследовано влияние характера и параметров микрогеометрии поверхности инструмента на коэффициент трения скольжения в методах комбинированного (деформирующе-режущего) дорнования отверстий.

On based by theoretical positions of the adhesion-deformation theory friction of the I.V. Kragelskii for influence characters and parameters of the tool surface microgeometry to coefficient of sliding friction in the methods of the combination (deforming-cutting) the machining holes has been investigated.

Ключевые слова: регулярный микрорельеф, коэффициент трения скольжения, комбинированное дорнование.

Keywords: regular microrelief, coefficient of sliding friction, combined burnishing.

Как свидетельствует структурно-параметрический анализ методов дорнования отверстий — коэффициент трения скольжения является важным параметром, влияющим на системный синтез оптимально-эффективных характеристик соответствующих технологических операций [1—6].

В настоящее время методы дорнования целенаправленно совершенствуются за счет совместного применения регулярной микрогеометрии воздействующих поверхностей инструмента и различных смазывающе-охлаждающих технологических сред, а также способов их применения [7—16].

Для оценки влияния характера и параметров микрогеометрии поверхности инструмента на коэффициент трения скольжения в методах комбинированного дорнования предварительно провели следующие экспериментальные исследования.

В качестве обрабатывающего инструмента применяли сборный дорн-прошивку (рис. 1), сменные деформирующие элементы которого из быстрорежущей стали марки Р6М5 имели геометрические

параметры: диаметр по калибрующей ленточке $D_d = 22$ мм; угол рабочего и обратного конуса 8° ; ширина калибрующей ленточки $L_d = 10$ мм.

Регулярный микрорельеф (РМР) на воздействующих поверхностях деформирующих элементов (рабочий и обратный конусы, калибрующая ленточка) выполняли алмазным выглаживателем на универсальном токарном станке в виде однозаходных винтовых канавок радиусом 1,5 мм, шагом $Ш_k$: 0,5; 1,0; 1,5 мм и

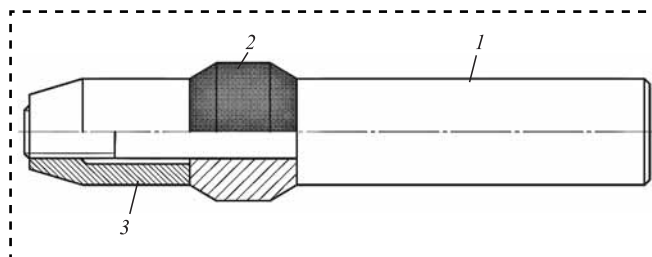


Рис. 1. Конструкция экспериментального дорна-прошивки: 1 — оправка; 2 — деформирующий элемент; 3 — передняя направляющая

глубиной Γ_k на участке калибрующей ленточки 7 и 17 мкм. Нулевые параметры РМР ($\Gamma_k = \text{Ш}_k = 0$) соответствуют исходному иррегулярному микрорельефу (ИРМ), полученному шлифованием и доводкой с высотой максимального микровыступа поверхности $H_{\max} = 0,9$ мкм.

Продольные профилограммы калибрующих ленточек деформирующих элементов представлены на рис. 2.

В качестве экспериментальных образцов-заготовок применяли полые цилиндры из стали 12ХНЗА (исходная твердость НВ = 1925 МПа) с наружным диаметром 39 мм и высотой 40 мм. Предварительная обработка отверстий образцов-заготовок — растачивание. Скорость дорнования 4 м/мин, технологическая смазка — сульфозфрезол.

Абсолютная деформация отверстий образцов-заготовок при дорновании i варьировалась на двух уровнях 0,25 и 1 мм.

На рис. 3 представлены некоторые характерные осциллограммы суммарной силы дорнования F_d . Выявлено, что РМР с глубиной канавок $\Gamma_k = 17$ мкм помимо деформирования оказывает параллельное режущее воздействие в режиме

микрорезания, на наличие которого указывала образующаяся микростружка, максимальный диаметр отверстий образцов-деталей и специфический характер осциллограмм 3 и 5.

Причиной микрорезания является малый (10...200 мкм) продольный радиус кривизны при вершинах выступов РМР с глубиной канавок $\Gamma_k = 17$ мкм [15].

После статистической обработки осциллограмм суммарной силы дорнования F_d получили следующую систему эмпирических зависимостей в виде удельной (погонной) силы дорнования q_d , Н/мм:

$$\left\{ \begin{aligned} q_d &= \frac{F_d}{\pi D_d} \\ q_d(\Gamma_k = \text{Ш}_k = 0) &= 257,96 + 668,93i; \\ q_d(\Gamma_k = 7 \text{ мкм}; \text{Ш}_k = 0,5 \text{ мм}) &= 356,83 + 541,98i; \\ q_d(\Gamma_k = 17 \text{ мкм}; \text{Ш}_k = 0,5 \text{ мм}) &= 621 + 443,4i; \quad (1) \\ q_d(\Gamma_k = 7 \text{ мкм}; \text{Ш}_k = 1 \text{ мм}) &= 283,73 + 680,37i; \\ q_d(\Gamma_k = 17 \text{ мкм}; \text{Ш}_k = 1 \text{ мм}) &= 539,22 + 473,21i; \\ q_d(\Gamma_k = 7 \text{ мкм}; \text{Ш}_k = 1,5 \text{ мм}) &= 241 + 719,25i; \\ q_d(\Gamma_k = 17 \text{ мкм}; \text{Ш}_k = 1,5 \text{ мм}) &= 454,21 + 558,5i. \end{aligned} \right.$$

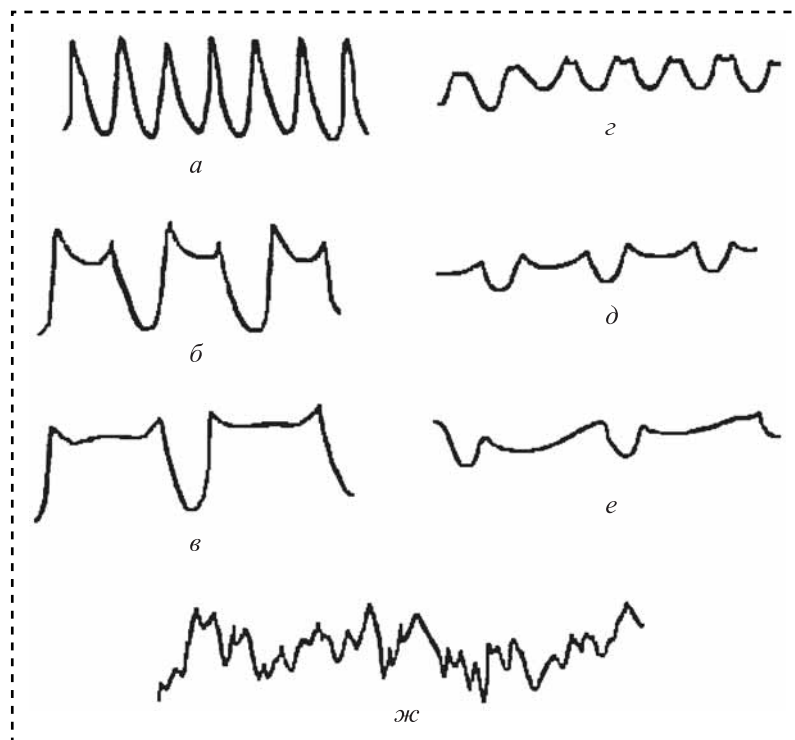


Рис. 2. Продольные профилограммы поверхности калибрующих ленточек деформирующих элементов:

a — $\Gamma_k = 17$ мкм, $\text{Ш}_k = 0,5$ мм; $б$ — $\Gamma_k = 17$ мкм, $\text{Ш}_k = 1$ мм; $в$ — $\Gamma_k = 17$ мкм, $\text{Ш}_k = 1,5$ мм; $г$ — $\Gamma_k = 7$ мкм, $\text{Ш}_k = 0,5$ мм; $д$ — $\Gamma_k = 7$ мкм, $\text{Ш}_k = 1$ мм; $е$ — $\Gamma_k = 7$ мкм, $\text{Ш}_k = 1,5$ мм; $ж$ — $\Gamma_k = \text{Ш}_k = 0$, $H_{\max} = 0,9$ мкм

Погонная сила q_d позволяет учесть масштабный фактор — диаметр отверстия, а суммарная сила обеспечивает подбор энергосиловых параметров технологического оборудования для реализации соответствующей технологической операции дорнования [8, 17].

Анализ характеристик силовой динамики [1, 6, 15] исследуемых методов дорнования отверстий — системы (1) показал, что их максимальные значения приходятся на РМР с глубиной канавок $\Gamma_k = 17$ мкм из-за параллельного с деформированием микрорезания. Однако из-за значительной "маслоемкости" РМР по сравнению с ИРМ (см. рис. 2) полностью исключается адгезия обрабатываемого материала при непрерывной обработке больших партий заготовок, когда из-за разогрева инструмента происходят разрушение слоя смазки и выход из оптимального режима трения [8].

На рис. 4 представлены зависимости коэффициента уточнения по параметру шероховатости поверхности

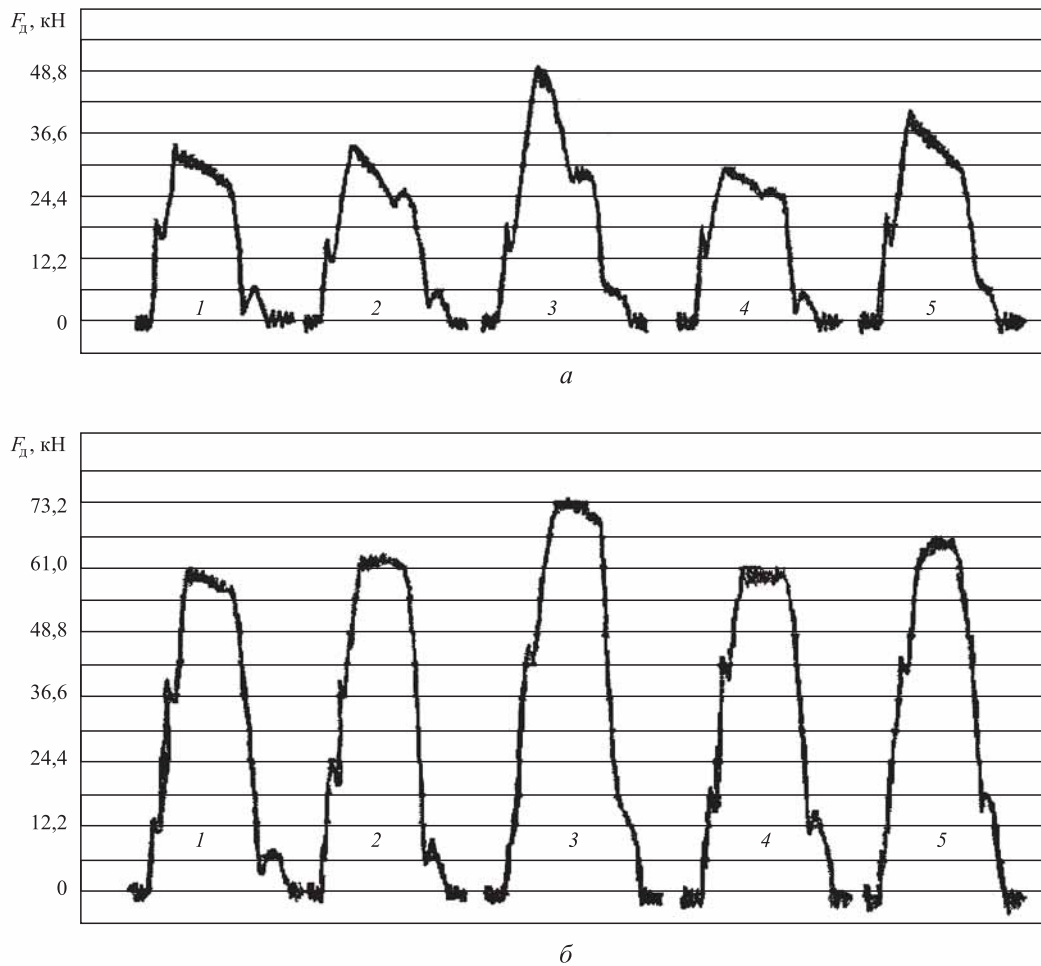


Рис. 3. Характерные осциллограммы суммарной силы дорнования отверстий в образцах-заготовках из стали 12ХН3А: *a* – $i = 0,25$ мм; *б* – $i = 1$ мм; 1 – $\Gamma_k = \text{Ш}_k = 0$; 2 – $\Gamma_k = 7$ мкм, $\text{Ш}_k = 0,5$ мм; 3 – $\Gamma_k = 17$ мкм, $\text{Ш}_k = 0,5$ мм; 4 – $\Gamma_k = 7$ мкм, $\text{Ш}_k = 1$ мм; 5 – $\Gamma_k = 17$ мкм, $\text{Ш}_k = 1$ мм

отверстий образцов-деталей, полученных в результате дорнования [7, 12]. РМР по сравнению с ИМР более интенсивно деформирует исходные микровыступы поверхности отверстия после растачивания, так как каждый выступ РМР является индентором, оказывающим дополнительное воздействие на обрабатываемый материал в пределах микроуровня.

В итоге реализуется многоцикловая деформация поверхностного слоя исходного отверстия. Зависимость на рис. 4 дополнительно иллюстрирует существенные возможности РМР по более интенсивному исправлению (меньшему технологическому наследованию) данной погрешности исходного отверстия.

Для оценки влияния характера и параметров микрогеометрии воздействующих поверхностей инструмента на коэффициент трения скольжения [6, 15] в экспериментально исследованных методах дорнования отверстий используем упрощенную формулу И.В. Крагельского [16]:

$$f = f_a + f_d = \left(\frac{\tau_0}{\text{HB}_3} + \beta \right) + \left(0,4 \sqrt{\frac{\varepsilon_3 H_{3\text{max}}}{R_{\text{пр}}}} \right), \quad (2)$$

где f_a, f_d – адгезионная и деформационная составляющие коэффициента трения скольжения соответственно;

τ_0 – прочность адгезионной связи при отсутствии нормального контактного давления, МПа;

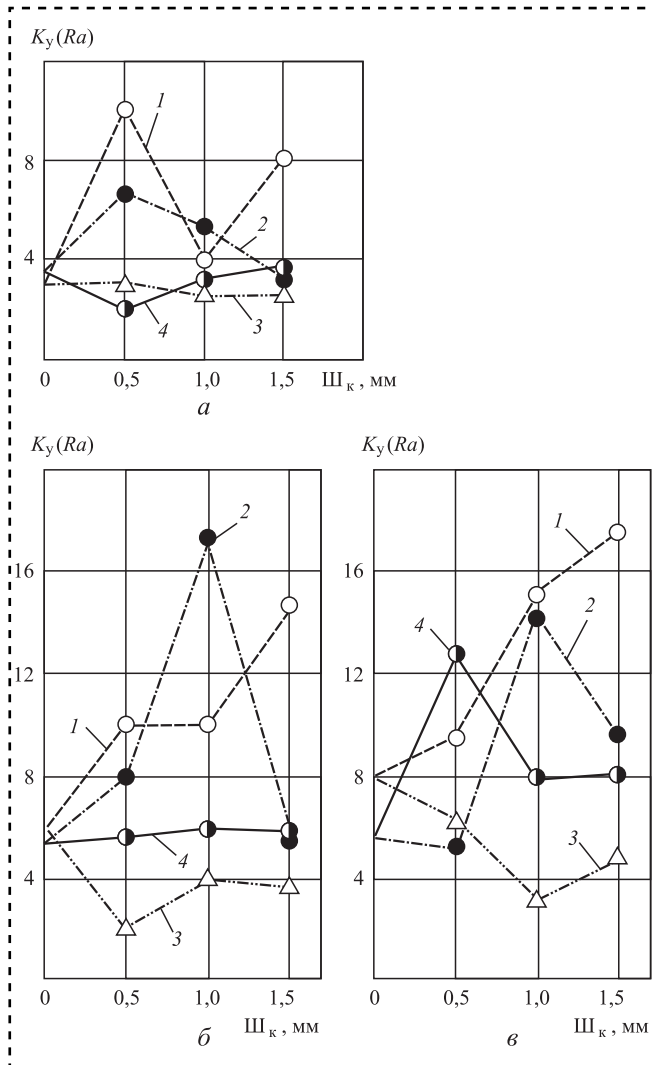


Рис. 4. Зависимость коэффициента уточнения по параметру шероховатости поверхности образцов-деталей из стали 12ХНЗА от параметров РМР, абсолютной деформации и исходной шероховатости поверхности отверстия образцов-заготовок:

a — $Ra_3 = 1$ мкм; *б* — $Ra_3 = 2$ мкм; *в* — $Ra_3 = 3$ мкм; 1 — $\Gamma_k = 7$ мкм, $i = 0,25$ мм; 2 — $\Gamma_k = 7$ мкм, $i = 1$ мм; 3 — $\Gamma_k = 17$ мкм, $i = 0,25$ мм; 4 — $\Gamma_k = 17$ мкм, $i = 1$ мм

$HВ_3$ — исходная твердость материала образцов-заготовок по Бринеллю, МПа;

β — пьезокоэффициент влияния нормального контактного давления на прочность адгезионной связи ($\beta = 0$);

ε_3 — относительная деформация максимального микровыступа шероховатой поверхности отверстия образцов-заготовок;

$H_{3 \max}$ — высота максимального микровыступа шероховатой поверхности отверстия образцов-заготовок, мкм;

$R_{пр}$ — приведенный радиус кривизны при вершине единичного микровыступа шерохо-

ватой поверхности деформирующего элемента дорна-прошивки, мкм.

Параметр τ_0 для каждого типа РМР определяется путем деления свободного члена зависимостей из системы (1) на ширину калибрующей ленточки деформирующего элемента дорна-прошивки L_L :

$$R_{пр} = \frac{2R_x R_y}{R_x + R_y}, \quad (3)$$

где R_x, R_y — продольный и поперечный радиусы кривизны при вершине единичного микровыступа шероховатой поверхности деформирующего элемента дорна-прошивки соответственно, мкм.

Величину R_x определим по продольным профилограммам калибрующих ленточек деформирующих элементов (см. рис. 2) [15]:

$$R_y = 0,5D_L; \quad (4)$$

$$\varepsilon_3 = \left(1 - \frac{1}{K_y(Ra)}\right). \quad (5)$$

Исходные данные для расчета и анализа коэффициента трения скольжения приведены в таблице.

На рис. 5 приведена зависимость коэффициента трения скольжения от абсолютной де-

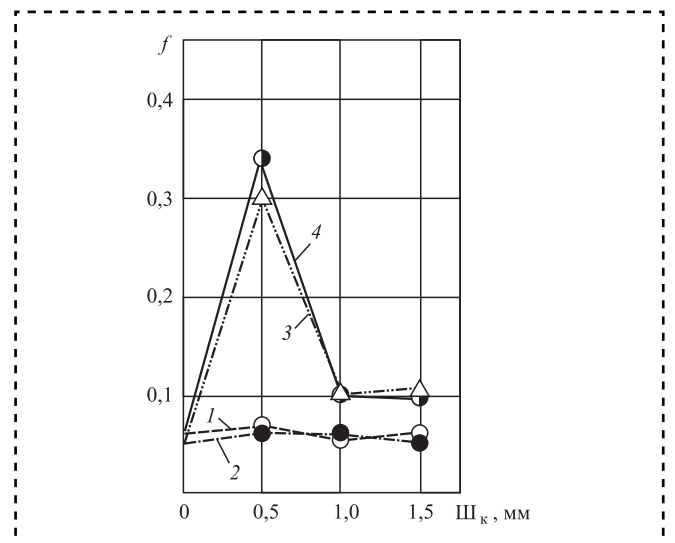


Рис. 5. Зависимость коэффициента трения скольжения при дорновании отверстий в образцах-заготовках из стали 12ХНЗА от абсолютной деформации и параметров РМР, воздействующих на поверхности деформирующего элемента дорна-прошивки:

1 — $\Gamma_k = 7$ мкм, $i = 0,25$ мм; 2 — $\Gamma_k = 7$ мкм, $i = 1$ мм; 3 — $\Gamma_k = 17$ мкм, $i = 0,25$ мм; 4 — $\Gamma_k = 17$ мкм, $i = 1$ мм

Исходные данные для расчета коэффициента трения скольжения

Исходные данные	Параметры РМР						
	$\Gamma_k = 0;$ $\text{Ш}_k = 0$	$\Gamma_k = 7 \text{ мкм};$ $\text{Ш}_k = 0,5 \text{ мм}$	$\Gamma_k = 17 \text{ мкм};$ $\text{Ш}_k = 0,5 \text{ мм}$	$\Gamma_k = 7 \text{ мкм};$ $\text{Ш}_k = 1 \text{ мм}$	$\Gamma_k = 17 \text{ мкм};$ $\text{Ш}_k = 1 \text{ мм}$	$\Gamma_k = 7 \text{ мкм};$ $\text{Ш}_k = 1,5 \text{ мм}$	$\Gamma_k = 17 \text{ мкм};$ $\text{Ш}_k = 1,5 \text{ мм}$
$H_{z \text{ max}}$	$\frac{15,702}{13,032}$	$\frac{17,1}{14,94}$	$\frac{14,52}{16,05}$	$\frac{15,906}{16,464}$	$\frac{18,78}{16,296}$	$\frac{22,896}{16,476}$	$\frac{20,64}{15,24}$
ε_z	$\frac{0,834}{0,813}$	$\frac{0,897}{0,848}$	$\frac{0,756}{0,89}$	$\frac{0,923}{0,929}$	$\frac{0,799}{0,873}$	$\frac{0,901}{0,893}$	$\frac{0,844}{0,866}$
$R_x, \text{ мкм}$	585	545	12,5	827	198	1024	204
$R_y, \text{ мкм}$	10 995	11 000	11 010	10 995	11 002	10 997	11 005
$R_{\text{пр}}, \text{ мкм}$	1110	1038	25	1654	389	1873	400
$\tau_0, \text{ МПа}$	25,796	35,683	62,1	28,373	53,922	24,1	45,421

Примечание. В числителе приведены значения для $i = 0,25 \text{ мм}$, в знаменателе для $i = 1 \text{ мм}$.

формации отверстия образцов-заготовок, а также от характера и параметров микрогеометрии воздействующих поверхностей деформирующего элемента дорна-прошивки. Максимум коэффициента трения приходится на РМР с глубиной канавок $\Gamma_k = 17 \text{ мкм}$ из-за параллельного микрорезания, которое является предельным видом фрикционной связи с точки зрения эксплуатации узлов трения машин, но служит эффективным способом воздействия на обрабатываемый материал с точки зрения

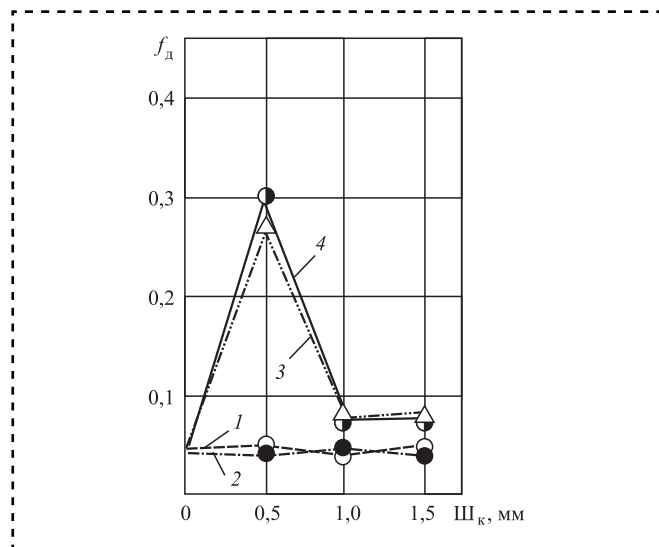


Рис. 6. Зависимость деформационной составляющей коэффициента трения скольжения при дорновании отверстий в образцах-заготовках из стали 12ХН3А от абсолютной деформации и параметров РМР воздействующих поверхностей деформирующего элемента дорна-прошивки:

1 — $\Gamma_k = 7 \text{ мкм}$, $i = 0,25 \text{ мм}$; 2 — $\Gamma_k = 7 \text{ мкм}$, $i = 1 \text{ мм}$;
3 — $\Gamma_k = 17 \text{ мкм}$, $i = 0,25 \text{ мм}$; 4 — $\Gamma_k = 17 \text{ мкм}$, $i = 1 \text{ мм}$

технологических методов обработки материалов [1, 6, 7, 10–12, 15].

Характер изменения коэффициента трения хорошо согласуется с силовыми зависимостями (1). С помощью зависимостей на рис. 6 и 7 выполнен качественный и количественный анализ коэффициента трения скольжения (см. рис. 5) в виде его адгезионной и деформационной составляющей. Наибольшее доленое значение имеет деформационная составляющая, а не адгезионная компонента. При этом

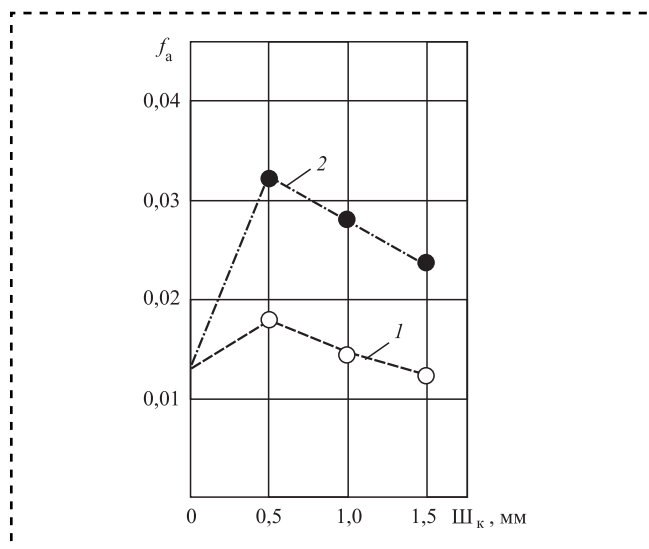


Рис. 7. Зависимость адгезионной составляющей коэффициента трения скольжения при дорновании отверстий в образцах-заготовках из стали 12ХН3А от абсолютной деформации и параметров РМР воздействующих поверхностей деформирующего элемента дорна-прошивки:

1 — $\Gamma_k = 7 \text{ мкм}$, $i = 0,25 \dots 1 \text{ мм}$; 2 — $\Gamma_k = 17 \text{ мкм}$, $i = 0,25 \dots 1 \text{ мм}$

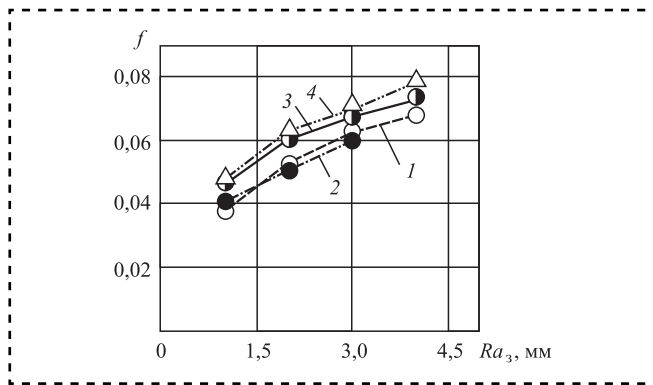


Рис. 8. Зависимость коэффициента трения скольжения при дорновании отверстий в образцах-заготовках из стали 12ХН3А от абсолютной деформации, исходной шероховатости отверстия и параметров РМР воздействующих поверхностей деформирующего элемента дорна-прошивки:

1 — $\Gamma_k = \text{Ш}_k = 0$, $i = 0,25$ мм; 2 — $\Gamma_k = \text{Ш}_k = 0$, $i = 1$ мм; 3 — $\Gamma_k = 7$ мкм, $\text{Ш}_k = 0,5$ мм, $i = 0,25$ мм; 4 — $\Gamma_k = 7$ мкм, $\text{Ш}_k = 0,5$ мм, $i = 1$ мм

явление микрорезания влияет на обе составляющие коэффициента трения скольжения.

С использованием зависимостей рис. 4 проанализировали влияние на коэффициент трения скольжения исходного параметра шероховатости поверхности отверстия образцов-заготовок после растачивания Ra_3 (рис. 8).

Анализ этой зависимости показывает, что с увеличением исходного параметра шероховатости поверхности отверстия коэффициент трения скольжения возрастает за счет соответствующего увеличения деформационной составляющей, так как адгезионная составляющая (рис. 9) с увеличением Ra_3 за счет параметра τ_0 уменьшается незначительно. Умень-

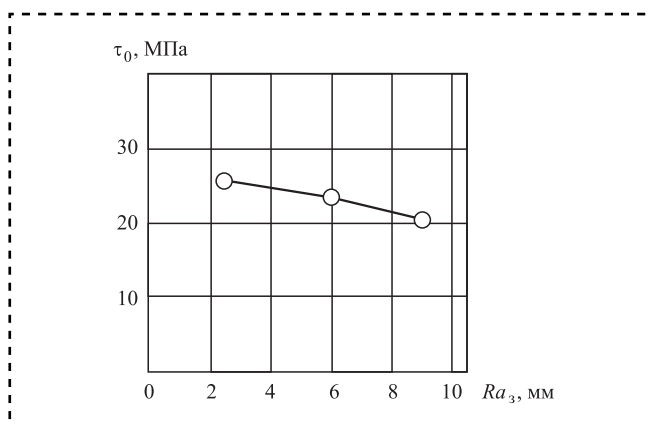


Рис. 9. Зависимость прочности адгезионной связи при дорновании отверстий в образцах-заготовках из стали 12ХН3А от исходной шероховатости поверхности отверстия после растачивания

шение τ_0 связано с соответствующим возрастанием "маслоемкости" исходного профиля шероховатости поверхности отверстия, в результате чего минимизируется трение и износ инструмента.

Полученные результаты позволяют расширить информационную базу алгоритмических процедур "искусственного технологического интеллекта", применяемых для системного структурно-параметрического синтеза [1, 6, 15, 16] инновационных методов дорнования отверстий [18–20].

Библиографический список

1. Щедрин А.В., Кострюков А.А., Чихачева Н.Ю. Искусственный технологический интеллект как идеологическая основа всеобщей системы методов обработки материалов // Упрочняющие технологии и покрытия. 2015. № 6. С. 20–26.
2. Проскуряков Ю.Г., Романов В.Н., Исаев А.Н. Объемное дорнование отверстий. М.: Машиностроение, 1984. 224 с.
3. Сивцев Н.С. Развитие теории и технологии дорнования отверстий в нестационарных условиях трения инструмента с заготовкой: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Ижевск: ИжГТУ, 2005. 298 с.
4. Цеханов Ю.А., Розенберг О.А. Определение коэффициента пластического трения с помощью линий скольжения при деформирующем протягивании // Кузнечно-штамповочное производство. 1977. № 2. С. 18–19.
5. Скворцов В.Ф., Арляпов А.Ю. Дорнование глубоких отверстий малого диаметра. Томск: Изд-во ТПУ, 2005. 91 с.
6. Shchedrin A.V. Generalized space-time model of deforming-cutting process // Russian Engineering Research. 1997. Vol. 17. No. 3. P. 55–59.
7. Повышение эффективности комбинированной обработки отверстий на основе регуляризации микрогеометрии поверхностей рабочих элементов инструмента / А.В. Щедрин и др. // Ремонт, восстановление, модернизация. 2009. № 6. С. 14–19.
8. Щедрин А.В., Таненгольц А.Б. Совершенствование характеристик инструмента для деформирующе-выглаживающего прошивания отверстий // Машиностроитель. 2002. № 11. С. 20–23.
9. Совершенствование технологий применения смазочно-охлаждающих сред в комбинированных методах обработки проката / А.В. Щедрин и др. // Металлург. 2006. № 3. С. 56–57.
10. Комплексное исследование эффективности комбинированной прошивки отверстий с противодавлением технологической смазки / А.В. Щедрин и др. // Технология машиностроения. 2009. № 9. С. 17–20.



11. **Щедрин А.В., Гаврилов С.А., Зинин М.А.** Оптимизация рецептуры металлоплакирующих смазок для комбинированного дорнования отверстий в заготовках из нешлифуемых цветных сплавов // Вестник машиностроения. 2012. № 9. С. 76—79.

12. **Влияние** состава металлоплакирующей смазки на характеристики комбинированного прошивания отверстий в заготовках из латуни марки ЛС59-1 / А.В. Щедрин и др. // Ремонт, восстановление, модернизация. 2017. № 1. С. 27—34.

13. **Влияние** металлоплакирующей присадки "Валена" на показатели комбинированной обработки / М.А. Зинин и др. // Вестник машиностроения. 2011. № 9. С. 77—80.

14. **Технологические** возможности метода комбинированного прошивания отверстий с противодавлением металлоплакирующих смазок / А.В. Щедрин и др. // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2016. № 9. С. 30—35.

15. **Трибология** как фундаментальная основа системного проектирования конкурентоспособных технологических объектов / А.В. Щедрин и др. // Ремонт, восстановление, модернизация. 2009. № 4. С. 15—20.

16. **Формулы** для прогнозирования силы комбинированного дорнования отверстий инструментом с регулярной микрогеометрией поверхности в условиях применения металлоплакирующих смазок / Щедрин А.В и др. // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2017. Т. 18. № 11. С. 518—522.

17. **Shchedrin A.V.** Deforming broaching of pistol pin holes // Russian Engineering Research. 1997. Vol. 17. No. 1. P. 59—62.

18. **Влияние** угла наклона воздействующих поверхностей деформирующего элемента на характеристики методов комбинированного прошивания (протягивания) отверстий / А.В. Щедрин и др. // Упрочняющие технологии и покрытия. 2015. № 3. С. 20—24.

19. **Повышение** эффективности комбинированного дорнования за счет регуляризации микрогеометрии поверхности отверстия обрабатываемой заготовки / А.В. Щедрин и др. // Упрочняющие технологии и покрытия. 2017. № 7. С. 314—317.

20. **Воронцов А.Л.** Промышленное апробирование результатов исследования совмещенного процесса редуцирования-дорнования // Кузнечно-штамповочное производство, обработка металлов давлением. 2017. № 9. С. 3—10.

ЧИТАЙТЕ В СЛЕДУЮЩЕМ НОМЕРЕ:

Киселева О.В., Звягинцева П.А., Макарова Д.Г., Егоренко М.П. Вариант модернизированного станка для гибки медных полукатушек на ребро в энергоемком машино- и приборостроении

Иванов А.А., Кретинин О.В. Гибкие сборочные линии модульного типа на единой структурной основе

Дубовик Е.А. Повышение контроля качества изготовления резьб на трубах для нефтяной промышленности

Микаева С.А., Микаева А.С., Ларшина Э.Л., Дюкин А.А. Сборка системы предварительной очистки воздуха

Шишкарев М.П. Уровень перегрузок в адаптивных фрикционных муфтах с переменным коэффициентом усиления

Фридберг А.М. Вибрация и крип при качении упругих тел (колесо—рельс)

Эрлих Б.М. Методика изменения состояния автоколебаний в системе с характеристикой Ван дер Поля с учетом нелинейностей сложного типа

Волков Г.Ю., Смирнов В.В., Фадюшин Д.В. Пути снижения остаточных объемов в планетарных роторных гидромашинах с плавающими сателлитами

Житников Ю.З., Житников Б.Ю., Матросов А.Е. Методика разработки кинематических схем устройств автоматизированной сборки изделий на основе структурных схем управления процессом

В ПОМОЩЬ КОНСТРУКТОРУ, ТЕХНОЛОГУ

УДК 622 23.05

Е.Б. Волков, канд. техн. наук, **С.В. Ситдикова**

(Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург)

E-mail: gmf.tm@m.ursmu.ru

Анализ режимных параметров вибрационного грохота на основе динамической модели его работы

Изложена методика определения эффективности грохочения теоретическим путем на этапе многократного чередования свободного полета частицы с ударами до прохождения ее сквозь решетку грохота. Приведено новое решение актуальной научно-практической задачи повышения эффективности работы вибрационных грохотов на основе выбора рациональных значений их режимных параметров.

The technique to determine the effectiveness of the theoretical way of screening at the stage of multiple alternation of free flight of the particle with the blows before passing it through the grating, is described. A new solution to the actual scientific and practical problem of improving the efficiency of vibration screens based on the choice of rational values of their operating parameters is given.

Ключевые слова: грохот, математическая модель, эффективность грохочения, рудная частица, уравнения движения, режимные параметры.

Keywords: roar, mathematical model, effectiveness of screening, ore particle, equations of motion, modal parameters.

Введение

При большом разнообразии горных пород, обладающих различными физическими свойствами, определение эффективности грохочения опытным путем представляет собой трудоемкий и экономически затратный процесс. Поэтому необходима разработка математической модели процесса разделения на основе анализа движения частиц горных пород относительно поверхности, обобщающей результаты теоретического анализа работы грохота. На основе математической модели процесса классификации горных пород подбирали режимные параметры установки, соответствующие максимальной эффективности грохочения. Исследовали движение частицы на рабочей поверхности грохота, которое сводится к численному моделированию многократного чередования ударов на этапах их свободного полета с учетом переносного движения сита грохота. Уравнения относительного движения проинтегрированы на компьютере для раз-

личных горных пород и различных конструктивных и режимных параметров.

Основную массу грохотов, используемых в горной промышленности, составляют вибрационные грохоты. Для исключения забивания и засорения ячеек сетки разделительной поверхности, сквозь которую происходит просеивание, она совершает колебания [1]. При разработке математической модели движения частиц разделяемого материала вдоль вибрирующей поверхности грохота предположим, что:

— колебания происходят в вертикальной плоскости для создания направленного потока движения частиц вдоль поверхности сетки и избежания их сваливания в сторону;

— колебания происходят вдоль прямой, наклоненной относительно сетки;

— вид колебаний — свободные, гармонические, т.е. их амплитуда и частота имеют постоянные значения.

Данные предположения вносят упрощения в описание процесса грохочения и позволяют составить достоверные уравнения движе-

ния в наиболее компактной форме, не вносящие принципиальной разницы в качественное описание траектории движения исследуемой частицы.

Анализ движения частицы на вибрирующей поверхности

Опишем движение вибрирующей поверхности грохота двумя координатами (X, Y) , считая это движение поступательным. Тогда проекции скорости $V_{\text{пер}} = (\dot{X}, \dot{Y})$, а ускорение $a_{\text{пер}} = (\ddot{X}, \ddot{Y})$.

Запишем проекцию на нормаль относительной скорости частицы перед ударом:

$$V_y = \dot{Y} + V \cos \alpha;$$

после удара $U_y = \dot{Y} - U \cos \beta;$

$$\alpha_{i+1} = \arctg \frac{V_x}{V_y} \quad [2].$$

На рис. 1 представлена расчетная схема удара частицы о вибрирующую поверхность.

Направление силы трения зависит от направления относительной скорости частицы. Поэтому если $V_{\text{отн}}^x > 0$, то сила трения направлена противоположно оси X . Если $V_{\text{отн}}^x = 0$, то трения нет вообще. Если $V_{\text{отн}}^x < 0$, то трение — в направлении оси X .

Дифференциальные уравнения относительного движения частицы в проекциях на оси X и Y (см. рис. 1) представим в виде:

$$\begin{cases} ma_{\text{отн}}^x = mg \sin \varphi - ma_{\text{пер}}^x; \\ ma_{\text{отн}}^y = -mg \cos \varphi - ma_{\text{пер}}^y, \end{cases} \quad (1)$$

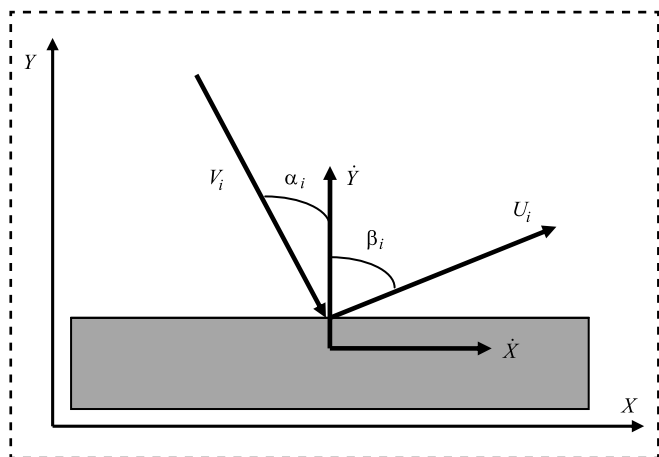


Рис. 1. Схема удара частицы о вибрирующую поверхность

отсюда получим

$$\begin{cases} \ddot{x} = g \sin \varphi - \ddot{X}; \\ \ddot{y} = -g \cos \varphi - \ddot{Y}, \end{cases} \quad (2)$$

где φ — угол наклона поверхности.

Таким образом, исследование движения частицы сводится к численному моделированию многократного чередования ударов на этапах их свободного полета с учетом переносного движения поверхности грохота.

Результаты теоретических расчетов процесса вибрационного грохочения

Уравнения относительного движения проинтегрированы на компьютере для различных горных пород и различных конструктивных и режимных параметров.

Для вибрационного грохота VS-1230 (рис. 2) приведены варианты траектории относительного движения частицы (рис. 3).

Технические характеристики вибрационного грохота VS-1230

Площадь грохочения, мм	1200×3000
Число сит	2...4
Размер отверстий сит, мм	3...50
Размер кусков, мм	200
Амплитуда вибрации, мм	3...8
Производительность, т/ч	20...80
Мощность, кВт	5,5
Частота вибрации, Гц	16,16
Масса, т	2,8

Амплитуду, частоту и угол наклона в данном грохоте можно изменять. Например, пре-



Рис. 2. Грохот вибрационный VS-1230

дела изменения угла наклона этого грохота составляют от 10 до 20°.

Используя математическую модель и технические характеристики грохота смоделировали движение частицы в рабочем пространстве вибрационного грохота для усредненных значений упругих и фрикционных характеристик горных пород [3]. Исходные данные: частица свободно отпущена с высоты 0,3 м; угол наклона решетки грохота составлял 15°.

Из анализа траектории движения частицы в вибрационном грохоте VS-1230 следует, что

частица о рабочую поверхность грохота ударилась только три раза, затем перешла в режим скольжения (см. рис. 3, а). Угол падения частицы после второго удара превысил критический угол, рассчитанный по методике, представленной в работе [4]. Поэтому, если ее проваливания не произойдет после двух ударов, то частица, будучи "легкогрозотимой" просеивается сквозь решетку грохота, находясь в режиме скатывания или скольжения.

Для представленных исходных данных вид движения рудной частицы мало отличается от движения в неподвижном грохоте.

Траектория движения частицы в неподвижном грохоте построена на рис. 3, б при тех же параметрах как для вибрационного грохота, но в отсутствие динамических характеристик рабочей поверхности установки.

Из сравнения графиков движения частицы на рис. 3, а и б видно, что на гладкую траекторию движения частицы в неподвижном грохоте накладываются вынужденные вибрации сетки грохота с небольшой амплитудой и частотой.

В данном примере вероятность прохождения частицы $\varepsilon = (1 - (1 - L)^n) \cos \varphi = 85\%$ [5].

При размере частицы меньше размеров отверстия сита (легкогрозотимая), вероятность ее прохождения сквозь сетку грохота составит около 85%. Сделанные выводы справедливы для движения одной частицы.

Если на решетку подается массив частиц с зернами, размер которых превышает размер отверстий сита, то при данных фрикционных характеристиках и при относительно небольшом угле наклона сита в 15°, произойдет закупоривание сетки, "затрудняющими" зернами, что приведет к снижению эффективности классификации.

Решить эту проблему можно путем регулировки скорости вращения вибрационного привода. Так как от вибрационных характеристик грохота зависит дальнейшее

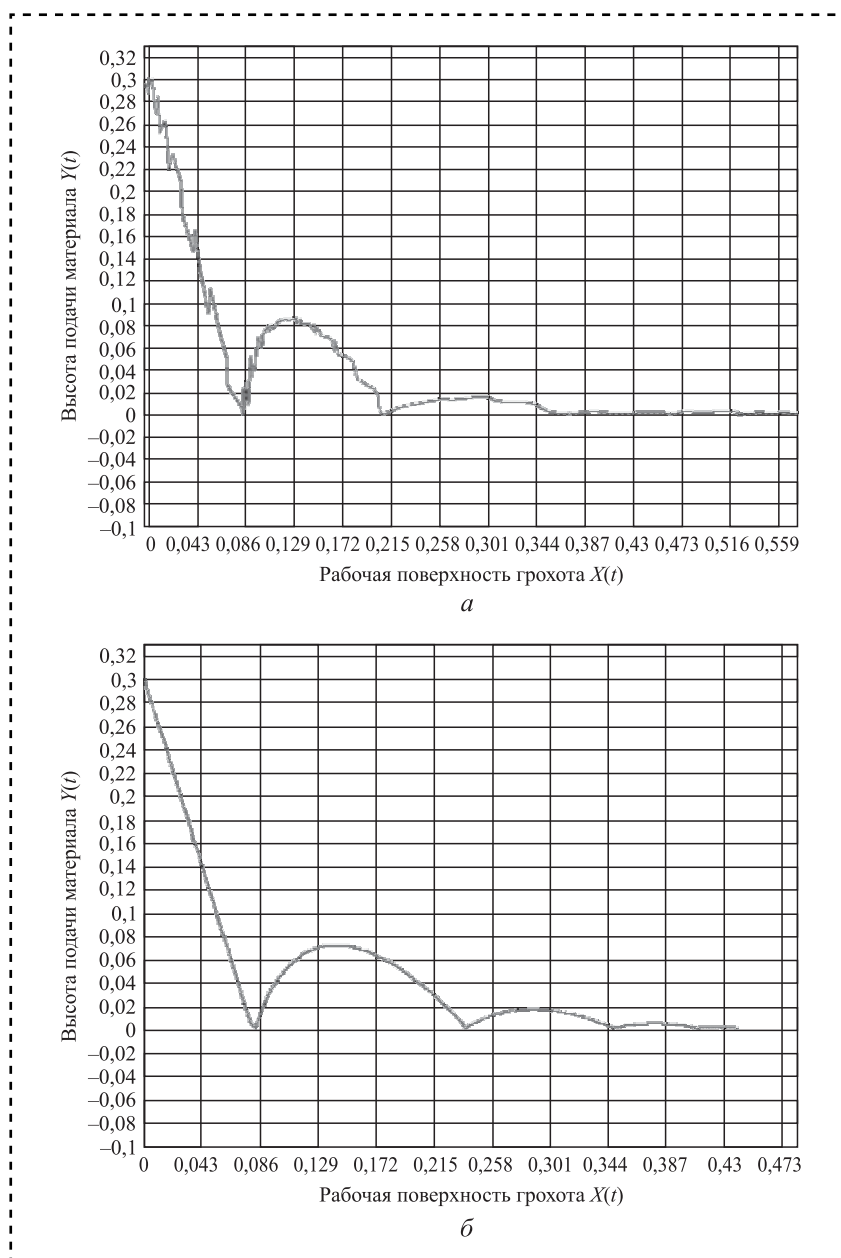


Рис. 3. Траектория движения частицы на поверхности: а — вибрационного грохота; б — неподвижного грохота

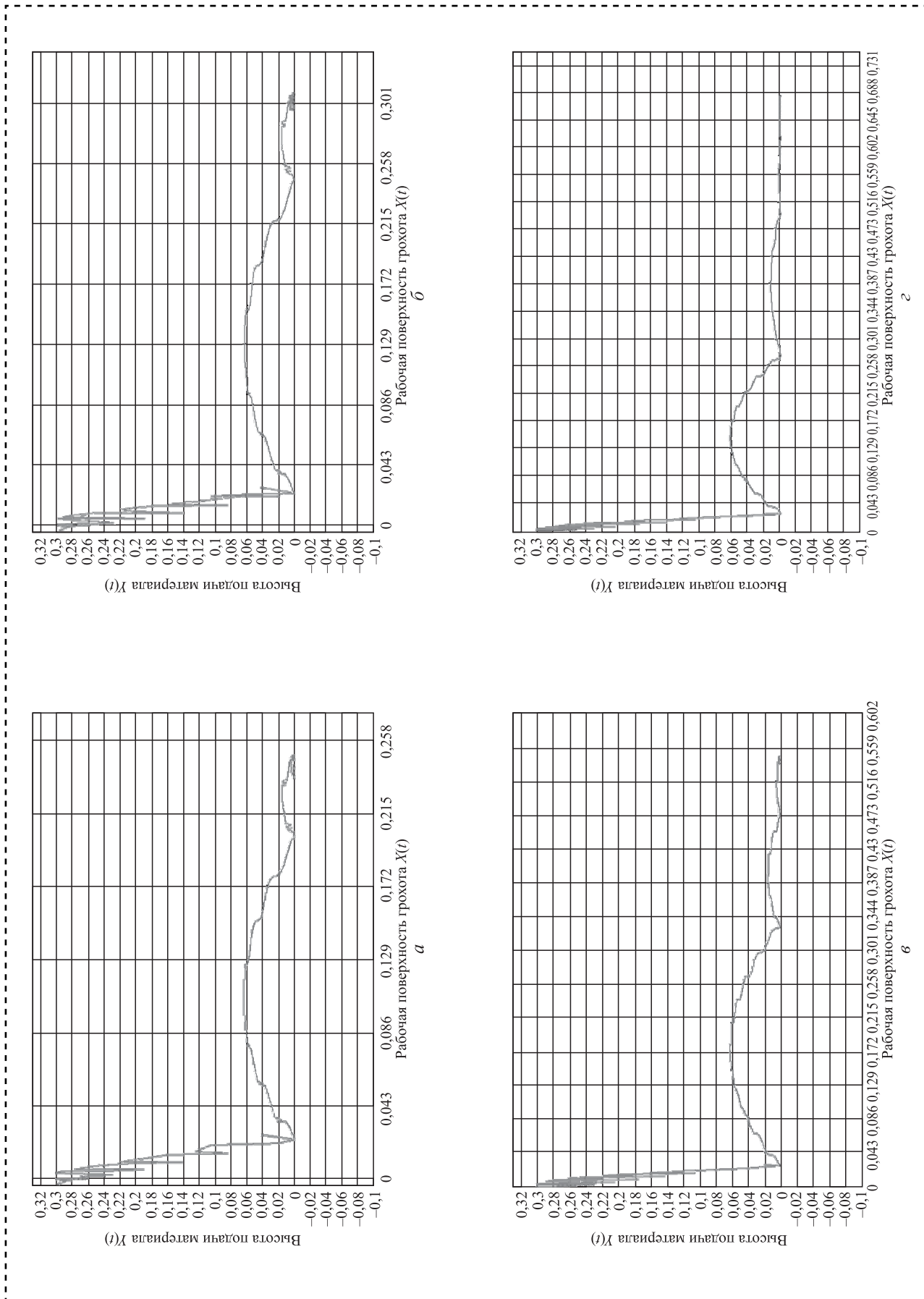


Рис. 4. Траектория движения частицы на поверхности вибрационного грохота:

a — амплитуда колебаний — 4 мм; частота колебаний — 20 Гц; *б* — амплитуда колебаний — 20 Гц; *в* — амплитуда колебаний — 5 мм; частота колебаний — 30 Гц; *г* — амплитуда колебаний — 4 мм; частота колебаний — 30 Гц



перемещение частиц вдоль вибрирующей поверхности после окончания серии их ударов. Амплитуда и частота колебаний при малых углах наклона способствует не только удалению частиц, забивших отверстия сетки, но и удалению частиц, размер которых превышает размеры отверстий сита.

На рис. 4 приведены примеры траекторий движения частицы относительно вибрирующей поверхности грохота для усредненных значений упругих и фрикционных характеристик горных пород и угла наклона сита 5° . Частица подавалась с высоты 0,3 м. Переменные параметры — частота и амплитуда колебаний.

Для траектории, представленной на рис. 4, а, частица после третьего удара отразилась от сетки в сторону, противоположную положительному отсчету координаты x , затем снова продолжила движение в положительном направлении вдоль наклонной плоскости. Если размер этой частицы больше, чем размер отверстия сита, то она, оставаясь на решетке грохота, будет препятствовать прохождению "легкогрохотимых" зерен, и, как следствие, снизит эффективность грохочения. Поэтому частота колебаний 20 Гц и амплитуда колебаний 4 мм являются не эффективными параметрами в данных условиях.

Увеличение амплитуды колебаний до 5 мм (рис. 4, б) не привело к удовлетворительному результату, так как частица после третьего удара, потеряв скорость, остановилась. Если ее размер превысит размер отверстия сетки, она закупорит его, понизив эффективность грохочения. Таким образом, данные параметры колебаний также неудовлетворительны.

Увеличение частоты колебаний поверхности грохота до 30 Гц также не приводит к желаемому результату (рис. 4, в). "Трудногрохотимая" частица после серии из четырех ударов остается на решетке грохота.

Из анализа траектории движения частицы, представленной на рис. 4, г, следует, что после трех ударов частица продолжает движение вниз вдоль наклонной плоскости, т. е. переходит в режим скольжения. Если "легкогрохотимая" частица не провалится сквозь решетку сетки в режиме чередования ударов, то это

с большой вероятностью произойдет в режиме вибротранспортирования. Уже после серии из трех ударов теоретическая эффективность составляет 66 %, а "трудногрохотимые" зерна за счет подобранных параметров вибрации удалятся в надрешетный продукт.

Вывод

Амплитуда и частота вибрации рабочей поверхности грохота при наличии данных параметров упругих и фрикционных характеристик, а также высоте подачи материала и угле наклона сита, соответствуют максимальной эффективности.

Процесс классификации материала по крупности целесообразно разделить на два этапа: первый — чередование ударов частицы; второй — режим вибротранспортирования. Определение вероятности проваливания частиц сквозь сито грохота на втором этапе в совокупности с чередованием ударов на первом этапе могут составить основу нового подхода к определению эффективности грохочения теоретическим путем.

Библиографический список

1. Авдохин В.М. Основы обогащения полезных ископаемых. Обогащительные процессы: учебник для вузов. В 2 т. Т. 1. М.: Московский государственный горный университет, 2006. 417 с.
2. Волков Е.Б., Ляпцев С.А. Исследование движения рудной частицы в вибрационном грохоте / Международная науч.-практ. конф. "Уральская горная школа — регионам". Екатеринбург: УГГУ, 2011. С. 370—371.
3. Ляпцев С.А., Волков Е.Б. Определение эффективного значения угла рабочей поверхности пассивного грохота / X Международная науч.-техн. конф. "Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности". Екатеринбург: УГГУ, 2012. С. 138—143.
4. Ляпцев С.А., Волков Е.Б. Связь вероятности прохождения частиц горных пород сквозь решетку грохота с эффективностью грохочения // Фундаментальные исследования. 2014. № 6 (ч. 3). С. 463—466.
5. Волков Е.Б. Обоснование конструктивных и режимных параметров вибрационных грохотов: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06: защищена 16.10.2015. Утв. 31.03.2016 / Е.Б. Волков. Екатеринбург: УГГУ, 2015. 111 с.

М.П. Шишкарев, д-р техн. наук

(Донской государственной технической университет, г. Ростов-на-Дону)

E-mail: shishkarevm@mail.ru

Синтез и анализ адаптивной фрикционной муфты с комбинированной обратной связью

Показано, что применение в адаптивной фрикционной муфте положительно-отрицательной обратной связи, действующей в режиме разделения времени работы ее компонентов, позволяет существенно повысить точность срабатывания и нагрузочную способность муфты. Полученные зависимости для определения рациональных параметров муфты позволяют оптимизировать процессы автоматического регулирования в муфте при действии управляющего устройства положительной и отрицательной обратной связи.

It is shown that the application of a positive-negative feedback in the adaptive friction clutch, acting in the time-division mode of its components, can significantly improve the accuracy of operation and the load capacity of the clutch. The obtained dependences for determining the rational parameters of the clutch allow to optimize the processes of automatic control in the clutch under the action of the control device of positive and negative feedback.

Ключевые слова: адаптивная фрикционная муфта, положительная обратная связь, отрицательная обратная связь, коэффициент трения, коэффициент усиления.

Keywords: adaptive friction clutch, positive feedback, negative feedback, friction coefficient, gain.

Введение

Идея применения в адаптивных фрикционных муфтах (АФМ) комбинированной положительно-отрицательной обратной связи выдвинута и частично изложена в работах [1, 2]. Преимущество комбинированной обратной связи, функционирующей в режиме разделения времени работы ее компонентов, — повышение номинальной нагрузочной способности АФМ при небольших значениях коэффициента трения, меньших, чем $f_{ср}$ ($f_{ср}$ — среднее (расчетное) значение коэффициента трения), и повышение точности срабатывания муфт [3–5].

Дискриминатор сигналов обратной связи — фрикционная пара или упругие элементы управляющего устройства (УУ) [6], изменение пространственного положения которых приводит при определенном коэффициенте трения к изменению знака выходного сигнала УУ.

Цель работы — синтез положительно-отрицательной обратной связи, действующей в режиме разделения времени в составе АФМ.

Решение задачи

Принципиальная схема АФМ показана на рис. 1. Передача вращающего момента между полумуфтами 1 и 2 осуществляется пакетом фрикционных дисков 3 и 4. Диски 3 соединены с нажимным диском 5, установленным на ступице полумуфты 1 с возможностью свободного поворота относительно нее. Диски 4 соединены с барабаном полумуфты 2.

Силовое замыкание пакета дисков 3 и 4 на упорный диск 6, закрепленный на ступице полумуфты 1, осуществляет пружина 7 через упорные подшипники 8 и 9.

В муфте имеется два УУ: отрицательной обратной связи — состоит из тел качения 10, которые размещены с зазором в скошенных гнездах, выполненных на торцах нажимного диска 5 и упорного диска 6; положительной обратной связи — состоит из тел качения 11, размещенных без зазора в скошенных гнездах, которые выполнены на нажимном диске 5 и опорном диске 12. Опорный диск 12 смонтирован на ступице полумуфты 1 и соединен с ней направляющей шпонкой 13. Прижатие

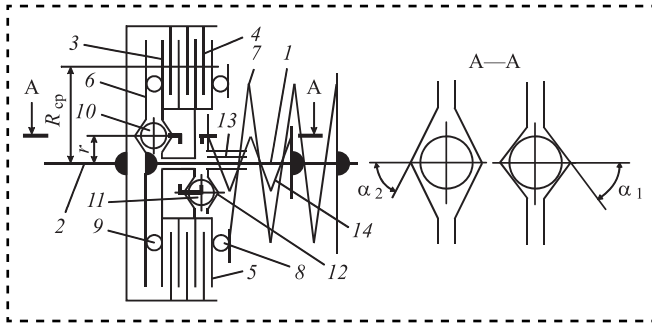


Рис. 1. Принципиальная схема АФМ с комбинированной обратной связью

опорного диска 12 к нажимному диску 5 осуществляется пружиной 14.

Комбинированная обратная связь в конструкции АФМ реализуется на основе следующего принципа. Первоначальное натяжение пружины 14 выбирается таким, чтобы действующая на опорную втулку 12 распорная сила, возникающая на телах качения 11 при передаче вращающего момента при значении f_{\min} (f_{\min} — минимальный коэффициент трения) превышала силу натяжения пружины 14, но не приводила к устранению зазора между телами качения 10 и соответствующими гнездами, в которых они размещены. При этом условии в муфте будет действовать только положительная обратная связь, что приводит к увеличению момента сил трения фрикционной группы муфты.

Отрицательная обратная связь в АФМ включается при значении коэффициента трения, большем, чем f_{\min} , по следующей причине. Действие отрицательной обратной связи при минимальном коэффициенте трения привело бы к снижению момента сил трения и, как следствие, — к уменьшению точности срабатывания АФМ [7, 8].

Для составления математической модели АФМ, отражающей зависимость вращающего момента муфты от коэффициента трения, найдем указанные зависимости при действии только положительной обратной связи и при совместном действии отрицательной и положительной обратной связи. Запишем в общем виде формулу для определения вращающего момента АФМ при действии положительной обратной связи:

$$T_1 = zR_{\text{cp}}f(F_{\text{п1}} + F_{\text{р1}}), \quad (1)$$

где z — число пар трения фрикционной группы;

R_{cp} — средний радиус поверхностей трения дисков 3 и 4;

f — коэффициент трения;

$F_{\text{п1}}$ — сила натяжения пружины 7;

$F_{\text{р1}}$ — распорная сила УУ положительной обратной связи, возникающая при взаимодействии тел качения 11 с боковыми стенками гнезд дисков 5 и 12 в процессе передачи вращающего момента.

Распорная сила $F_{\text{р1}}$ определяется по следующей формуле:

$$F_{\text{р1}} = \frac{T_1}{r} \operatorname{tg} \alpha_1, \quad (2)$$

где r — радиус окружности, на которой расположены тела качения 11;

α_1 — угол скоса боковых стенок гнезд под тела качения 11 (см. рис. 1).

После подстановки соотношения (2) в формулу (1) получим уравнение относительно неизвестного T_1 , решение которого имеет следующий вид:

$$T_1 = zF_{\text{п}}R_{\text{cp}} \frac{f}{1 - zC_1f}, \quad (3)$$

где C_1 — коэффициент усиления (КУ) положительной обратной связи, $C_1 = \frac{R_{\text{cp}}}{r} \operatorname{tg} \alpha_1$.

Вопрос о величине распорной силы $F_{\text{р1}}$ должен решаться на основе условия достижения ее максимального значения при минимальном коэффициенте трения. Выполнение указанного условия основано на дополнительном сжатии пружины 14 при воздействии тел качения 11 на опорный диск 12. При этом поворот нажимного диска 5 на соответствующий угол не должен приводить к исчезновению окружного зазора между телами качения 10 и соответствующими им боковыми стенками гнезд УУ.

В соответствии с этим запишем:

$$F_{\text{р1}} = F_{\text{п2}} + \Delta F_{\text{п2}} + F_{\text{тр}}, \quad (4)$$

где $F_{\text{п2}}$ — начальная сила натяжения пружины 14; $\Delta F_{\text{п2}}$ — сила дополнительного сжатия пружины 14 в результате осевого перемещения вправо (по рис. 1) опорного диска 12;

$F_{\text{тр}}$ — сила трения между опорным диском 12 и направляющей шпонкой 13.

Поскольку рассматривается начальный период времени движения опорного диска 12, справедливо следующее неравенство:

$$F'_{p1} > F_{n2} + F_{тр}. \quad (5)$$

В формуле (5) F'_{p1} и $F_{тр}$ соответственно равны:

$$\begin{aligned} F'_{p1} &= \frac{z(F_{n1} + F_{n2})R_{cp}f}{r} \operatorname{tg} \alpha_1 = \\ &= zC_1 f_{\min} (F_{n1} + F_{n2}); \\ F_{тр} &= \frac{2z(F_{n1} + F_{n2})R_{cp}f_{\min}}{d} f_1, \end{aligned}$$

где f_1 — коэффициент трения между опорным диском 12 и направляющей шпонкой 13 ($f_1 = \text{const}$ [9]);

d — диаметр посадочной поверхности ступицы полушпунты 1 под опорный диск 12.

После подстановки последних соотношений в неравенство (5) получаем:

$$\begin{aligned} C_1 &> \frac{F_{n2} + 2z(F_{n1} + F_{n2})R_{cp}f_{\min}f_1/d}{zf_{\min}(F_{n1} + F_{n2})} = \\ &= \frac{F_{n2}}{zf_{\min}(F_{n1} + F_{n2})} + \frac{2R_{cp}f_1}{d}. \end{aligned} \quad (6)$$

Неравенство (6) устанавливает нижнюю границу КУ положительной обратной связи, при котором выполняется условие получения максимального значения распорной силы F_{p1} .

Максимальную распорную силу F_{p1} при значении f_{\min} найдем по соотношению (4), учитывая необходимость сохранения определенного зазора между телами качения 10 и боковыми стенками гнезд. На основе этого определим конкретное значение C_1 .

Для следующего периода движения опорной втулки 12 при определении распорной силы F_{p1} необходимо использовать соотношение (3). С учетом этого найдем:

$$F_{p1} = \frac{T_1}{r} \operatorname{tg} \alpha_1 = zF_{n1}C_1 \frac{f_{\min}}{1 - zC_1 f_{\min}}. \quad (7)$$

Соответственно, сила трения в шпоночном соединении равна

$$F_{тр} = \frac{2T_1 f_{1c}}{d} = 2zF_{n1}R_{cp} \frac{f_{\min} f_{1c}}{d(1 - zC_1 f_{\min})}, \quad (8)$$

где f_{1c} — коэффициент трения скольжения в шпоночном соединении.

Для определения прироста силы ΔF_{n2} в формуле (4) обратимся к рис. 2, а, на котором показана схема перемещения тела качения 10 в гнезде УУ отрицательной обратной связи. Из прямоугольного треугольника ABC найдем

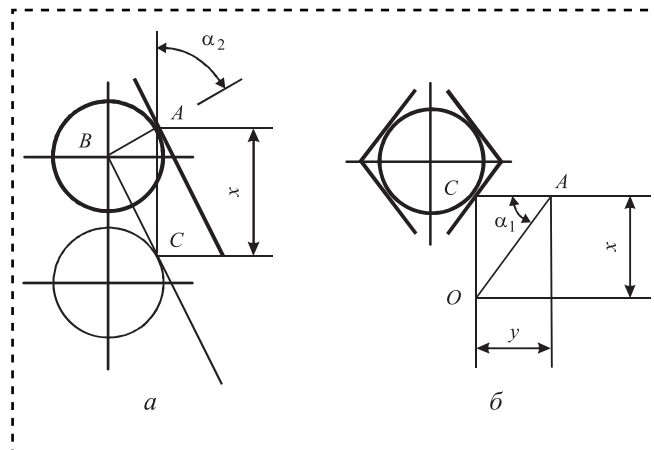


Рис. 2. Расчетная схема:

а — перемещения тела качения 10 в гнезде УУ; б — перемещения точки контакта А тела качения 11

длину пути, который проходит точка С, расположенная на поверхности тела качения, до момента контакта последнего со стенкой гнезда:

$$AC = x = \frac{r_{ш}}{\cos \alpha_2}, \quad (9)$$

где $r_{ш}$ — радиус тела качения 10;

α_2 — угол скоса гнезда под тело качения 10.

Если тела качения 10 и 11 равноудалены от оси вращения муфты, то перемещение точки контакта А тела качения 11 в окружном направлении также будет равно x (рис. 2, б). Соответствующее осевое перемещение опорной втулки 12 найдем из прямоугольного треугольника AOC :

$$AC = y = \frac{x}{\operatorname{tg} \alpha_1},$$

или, с учетом формулы (9)

$$y = \frac{r_{ш}}{\operatorname{tg} \alpha_1 \cos \alpha_2}.$$

Соответственно перемещению y сила дополнительного сжатия пружины 14 равна

$$\Delta F_{n2} = \frac{cnr_{ш}}{\operatorname{tg} \alpha_1 \cos \alpha_2}, \quad (10)$$

где n — поправочный коэффициент, учитывающий необходимое фактическое перемещение опорной втулки 12 при f_{\min} ;

c — осевая жесткость пружины 14.

Поскольку прирост вращающего момента АФМ при действии только положительной обратной связи в интервале значений коэффи-



коэффициента трения $f_{\min} \dots f_k$ не должен быть большим, коэффициент n принимаем равным 0,7...0,9.

Учитывая соотношения (7), (8) и (10) в равенстве (4), найдем КУ положительной обратной связи:

$$C_1 = \frac{2zF_{п1}R_{ср}f_{\min}f_{1с} + d \times}{zdf_{\min} \times} \rightarrow \frac{\times [F_{п2} + cnr_{ш}/(\operatorname{tg} \alpha_1 \cos \alpha_2)]}{\times [F_{п1} + F_{п2} + cnr_{ш}/(\operatorname{tg} \alpha_1 \cos \alpha_2)]}. \quad (11)$$

Коэффициент трения f_k , при котором начинает действовать отрицательная обратная связь, определяется с учетом следующего условия. Для повышения точности срабатывания АФМ вращающий момент при f_k не должен быть меньше вращающего момента при f_{\min} . Выполнение данного условия является важным, так как после начала действия отрицательной обратной связи происходит резкое уменьшение величины вращающего момента АФМ. Данный процесс отражен участком BC на графике нагрузочной характеристики муфты $T(f)$, приведенном на рис. 3. Участок AB соответствует действию в муфте только положительной обратной связи.

Поскольку при f_k начинает действовать отрицательная обратная связь, формула для определения вращающего момента принимает вид:

$$T_2 = zR_{ср}f_k(F_{п1} + F'_{п1} - F_{п2}), \quad (12)$$

где $F'_{п1}$ — распорная сила при действии комбинированной обратной связи;

$F_{п2}$ — распорная сила при действии отрицательной обратной связи.

Учитывая, что при функционировании комбинированной обратной связи действуют

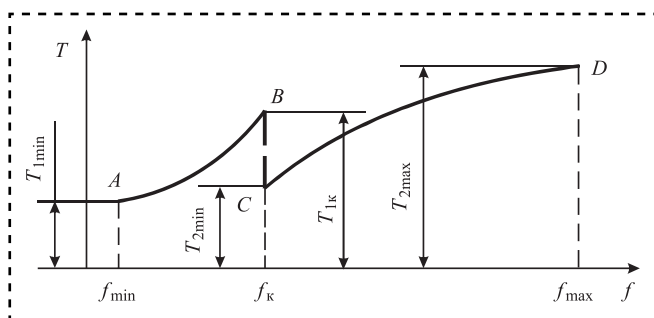


Рис. 3. Схема изменения величины вращающего момента АФМ в процессе автоматического регулирования

оба УУ, каждое из них передает половину полного вращающего момента АФМ:

$$F_{п2} = \frac{T_2}{2r} \operatorname{tg} \alpha_2. \quad (13)$$

Характер работы АФМ при f_k зависит от вращающего момента T_2 . Если выполняется условие $T_2 = 2T_1$, то УУ положительной обратной связи будет передавать вращающий момент, равный T_1 , и в этом случае выполняется равенство $F_p = F'_p$. Это свидетельствует о том, что опорная втулка 12 будет находиться в состоянии равновесия под действием приложенных к ней осевых сил, и муфта стабильно передает вращающий момент T_2 .

При условии $T_2 < 2T_1$ справедливо неравенство $F_p > F'_p$, опорная втулка 12 начинает перемещаться влево (по рис. 1) под действием силы натяжения пружины 14, что приведет к повороту нажимного диска 5 и связанных с ним дисков трения 3 относительно полумуфты 2 и дисков 4. В результате этого уменьшается сила натяжения пружины 14, однако это не приводит к уменьшению момента сил трения фрикционной группы, так как одновременно с этим прекращается действие УУ отрицательной обратной связи. Наоборот, согласно формуле (3), произойдет увеличение момента сил трения фрикционной группы и, как следствие, увеличение распорной силы $F_{п1}$ и включение в работу УУ отрицательной обратной связи. В дальнейшем этот процесс будет повторяться, и работа муфты представляет собой колебания значения вращающего момента.

В целях повышения точности срабатывания АФМ следует принять условие $T_2 < 2T_1$ и соответствующий ему характер работы муфты. Из двух амплитудных значений вращающего момента АФМ в течение одного периода колебаний (T_1 и T_2) меньшим, очевидно, является момент T_2 , причем распорная сила УУ положительной обратной связи равна:

$$F'_{п1} = F_{п2} + \Delta F_{п2} - F'_{тп}. \quad (14)$$

Сила трения в шпоночном соединении в рассматриваемом случае равна

$$F'_{тп} = \frac{T_2}{d} f_1. \quad (15)$$

С учетом формул (10) и (13) — (15), после подстановки их в равенство (12) находим:

$$T_2 = zR_{cp} \left(F_{n1} + F_{n2} + \frac{cr_{ш}}{\operatorname{tg} \alpha_1 \cos \alpha_2} \right) \times \frac{f_k}{1 + zR_{cp}f_1f_k/d + zC_2f_k}, \quad (16)$$

где C_2 — КУ отрицательной обратной связи, $C_2 = \frac{R_{cp}}{r} \operatorname{tg} \alpha_2$.

В формуле (16) отсутствует коэффициент n , так как опорная втулка 12 в данном случае занимает конечное положение.

Формула (16) отражает динамику изменения вращающего момента АФМ в интервале $f_k \cdot f_{\max}$ (f_{\max} — максимальный коэффициент трения) и соответствует участку CD нагрузочной характеристики на рис. 3.

Величину f_k найдем из условия $T_{1\min} \leq T_{2\min}$ ($T_{1\min}$ — вращающий момент АФМ, соответствующий точке A на рис. 3; $T_{2\min}$ — вращающий момент АФМ при f_k и одновременном действии обоих УУ (см. рис. 3)). С учетом формул (3) и (16) получим:

$$\begin{aligned} f_k &\geq \frac{F_{n1}}{(1 - zC_1f_{\min})(F_{n1} + F_{n2} + cr_{ш}/(\operatorname{tg} \alpha_1 \cos \alpha_2)) -} \\ &\rightarrow \frac{\times f_{\min}}{-zF_{n1}f_{\min}(C_2 + R_{cp}f_1/d)}. \end{aligned}$$

На коэффициент трения f_k необходимо наложить дополнительные условия:

— должно выполняться неравенство $f_{\min} < f_k < f_{\max}$ [10, 11];

— должно выполняться условие $T_{1k} \leq T_{2\max}$ (T_{1k} и $T_{2\max}$ — вращающие моменты, соответствующие точкам B и D нагрузочной характеристики (рис. 3)).

Для выполнения указанных условий величина КУ отрицательной обратной связи C_2 должна принадлежать определенному интервалу значений, который можно установить на основе решения приведенных выше неравенств. Для неравенства $f_{\min} < f_k$ получим:

$$C_2' > \frac{(1 - zC_1f_{\min})[F_{n2} + cr_{ш}/(\operatorname{tg} \alpha_1 \cos \alpha_2)]}{zF_{n1}f_{\min}} - \left(C_1 + \frac{R_{cp}}{d} f_1 \right). \quad (17)$$

Соответственно, для неравенства $f_k < f_{\max}$ имеем:

$$C_2'' < \frac{(1 - zC_1f_{\min})[F_{n1} + F_{n2} + cr_{ш}/(\operatorname{tg} \alpha_1 \cos \alpha_2)]}{zF_{n1}f_{\min}} - \left(\frac{1}{zmf_{\min}} + \frac{R_{cp}}{d} f_1 \right). \quad (18)$$

Условие $T_{1k} \leq T_{2\max}$ выполняется при значениях C_2 , определяемых по формуле

$$C_2''' \leq \frac{1}{z f_{\min} (A + F_{n1})} \times \left\{ A/F_{n1} [(1 - zC_1f_{\min})A - zF_{n1}R_{cp}f_1f_{\min}/d] - (zAC_1f_{\max} + F_{n1} + zF_{n1}R_{cp}f_1f_{\max}/d)/m \right\}, \quad (19)$$

где

$$A = F_{n1} + F_{n2} + \frac{cr_{ш}}{\operatorname{tg} \alpha_1 \cos \alpha_2}.$$

Для конкретной настройки АФМ все параметры в формулах (17)–(19) постоянные, поэтому верхнее граничное значение C_2' , вычисляемое по формуле (18), больше нижнего граничного значения в соответствии с формулой (17). Поскольку должны выполняться все поставленные условия, справедливо следующее неравенство:

$$C_2' \leq C_2'' \leq C_2'''. \quad (20)$$

Решение двойного неравенства (20) в аналитической форме, с учетом соотношений (17)–(19) затруднительно, поэтому воспользуемся графическим способом. В качестве параметра варьирования (аргумента) функций (17) — (19) выберем F_{n2} , так как в формировании вращающего момента АФМ пружина 14 играет вспомогательную роль и оказывает непосредственное влияние на F_{p1} и, следовательно, на C_2 (см. формулу (4)). Поскольку параметр α_2 влияет на C_2 , то варьировать его будем путем изменения параметра r (при $R_{cp} = \text{const}$).

Графики функций (17) (нижнее граничное значение), (18) (верхнее граничное значение) и (19) (в форме равенства) показаны на рис. 4 (соответственно кривые 1–3). Графики построены по следующим исходным данным: $F_{n1} = 300$ Н; $z = 6$; $R_{cp} = 0,1$ м; $f_{\min} = 0,1$; $f_{\max} = 0,8$; $f_1 = 0,15$; $f_{1c} = 0,1$; $r_{ш} = 6$ мм; $c = 8$ Н/мм; $\alpha_1 = 45^\circ$; $\alpha_2 = 60^\circ$; $d = 0,05$ м; $m = 8$; $n = 0,7$.

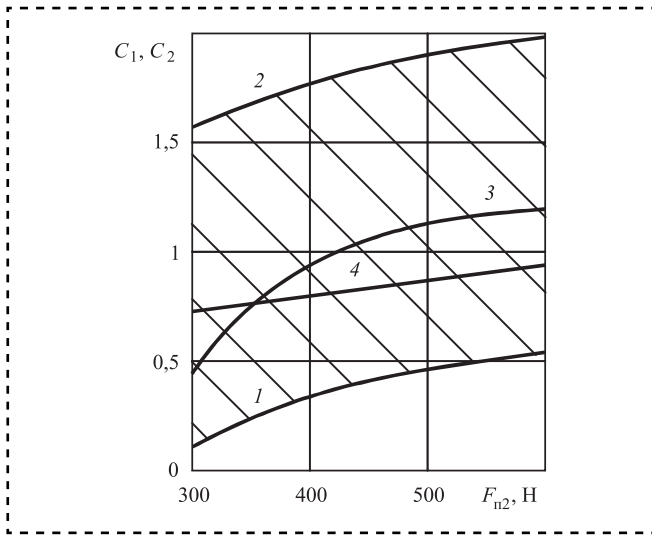


Рис. 4. Зависимости величины КУ обратной связи от силы $F_{п2}$

Прямая 4 отражает динамику изменения величины C_1 согласно соотношению (11).

Анализ графиков показывает следующее:

— значения КУ положительной и отрицательной обратной связи возрастают с увеличением силы $F_{п2}$;

— при принятых исходных данных кривая 3 располагается внутри заштрихованной области возможных значений C_2 , что свидетельствует о выполнении неравенства (20);

— при фиксированной величине силы $F_{п1}$ для повышения точности срабатывания АФМ целесообразно увеличение силы $F_{п2}$, что позволяет назначать более высокие значения C_1 и C_2 .

Коэффициент точности АФМ определяется на основе соотношений (3) и (16) (с заменой в последнем соотношении f_k на f_{max}) по формуле [12]:

$$K_T = \frac{T_{2max}}{T_{1min}} = \frac{f_{max}(1 - zC_1f_{min})[F_{п1} + F_{п2} + cr_{ш}/(\operatorname{tg} \alpha_1 \cos \alpha_2)]}{f_{min}(1 + zR_{cp}f_1f_{min}/d + zC_2f_{max})F_{п1}} \quad (21)$$

По данным графиков, показанных на рис. 4, найдем $K_T = 1,83$ при $C_1 = 0,89$ и $C_2 = 1,21$. Анализ формулы (21) показывает, что наиболее значительное уменьшение K_T может быть достигнуто за счет увеличения числа пар трения z . Действительно, в соответствии с формулой (11), при увеличении z разность $(1 - zC_1f_{min}) \rightarrow 0$, тогда как, согласно формуле (19), сумма $(1 + zC_2f_{max}) \rightarrow 1$. Так, при преж-

них исходных данных и при $z = 10$ и $C_1 = 0,79$, $C_2 = 0,31$ имеем $K_T = 1,27$, т.е. повышение точности срабатывания АФМ.

Точность срабатывания АФМ повышается за счет увеличения силы $F_{п1}$ и уменьшения силы $F_{п2}$, так как, согласно графикам, уменьшение C_1 происходит медленнее, чем силы $F_{п2}$.

Сопоставим номинальную нагрузочную способность АФМ с отрицательной обратной связью и исследуемой муфты [13, 14]. При настройке обеих АФМ по значению коэффициента трения f_{min} отношение величин вращающих моментов имеет вид:

$$\frac{T'_{1min}}{T''_{1min}} = \frac{1 + zC^*f_{min}}{1 - zC^{**}f_{min}},$$

где T'_{1min} — номинальный вращающий момент исследуемой АФМ;

T''_{1min} — номинальный вращающий момент АФМ с одноконтурной отрицательной обратной связью;

C^* — КУ АФМ с отрицательной обратной связью;

C^{**} — КУ положительной обратной связи исследуемой АФМ.

При $C^* = C^{**} = 0,89$, $z = 6$, $f_{min} = 0,1$ номинальная нагрузочная способность исследуемой АФМ выше, чем АФМ с отрицательной обратной связью в 3,3 раза. При этом у исследуемой АФМ $K_T = 1,83$, а у АФМ с одноконтурной отрицательной обратной связью — $K_T = 2,33$.

Заключение

Применение в АФМ положительно-отрицательной обратной связи, действующей в режиме разделения времени ее компонент, позволяет существенно повысить точность срабатывания и нагрузочную способность муфты. Это становится возможным за счет перераспределения нагрузки, передаваемой муфтой при действии различных видов обратной связи.

Найденные зависимости для определения рациональных параметров АФМ позволяют оптимизировать процессы автоматического регулирования, протекающие в муфте при действии УУ положительной и отрицательной обратной связи.

Результаты исследования могут быть использованы при расчетах и проектировании АФМ с комбинированной обратной связью.



Выводы

1. Разделение силового замыкания фрикционной группы и УУ положительной обратной связи АФМ позволяет повысить точность срабатывания не только за счет увеличения числа пар трения, но и за счет увеличения силы силового замыкания фрикционной группы и уменьшения усилия силового замыкания УУ положительной обратной связи.

2. В отличие от АФМ с отрицательной обратной связью КУ комбинированной обратной связи функционально зависят от силы замыкания и имеют ограничение максимального значения по условию наибольшей точности срабатывания.

Библиографический список

1. **Шишкарёв М.П.** Синтез и анализ адаптивной фрикционной муфты со смешанной структурой обратной связи // Вестник машиностроения. 2004. № 3. С. 3–8.
2. **Шишкарёв М.П.** Теоретические основы применения комбинированной обратной связи в адаптивных фрикционных муфтах // Вестник машиностроения. 2005. № 7. С. 16–19.
3. **Шишкарёв М.П.** Оптимальный способ настройки предохранительных фрикционных муфт // Вестник машиностроения. 2006. № 3. С. 16–19.
4. **Шишкарёв М.П.** Повышение надежности адаптивных фрикционных муфт 1-го поколения // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2008. № 4. С. 6–9.

5. **Шишкарёв М.П.** Условие и возможность реализации высокой точности срабатывания адаптивных фрикционных муфт // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2008. № 3. С. 3–6.

6. **Шишкарёв М.П.** Точность срабатывания адаптивных фрикционных муфт 1-го поколения с дифференцированными парами трения (ч. 2) // Известия ОрелГТУ. 2008. № 3-2/271 (546). С. 67–71.

7. **Шишкарёв М.П.** Точность срабатывания адаптивных фрикционных муфт // Тракторы и сельхозмашины. 2009. № 8. С. 29–32.

8. **Шишкарёв М.П.** Анализ нагрузочной способности предохранительных фрикционных муфт // Известия ОрелГТУ. 2009. № 2-2/274 (560). С. 108–113.

9. **Шишкарёв М.П.** Повышение надежности работы адаптивных фрикционных муфт 1-го поколения // Известия ОрелГТУ. 2010. № 2-2/284. С. 73–77.

10. **Шишкарёв М.П., Угленко А.Ю.** Анализ точности срабатывания вариантов адаптивной фрикционной муфты с отдельным силовым замыканием // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2015. № 3. С. 36–42.

11. **Шишкарёв М.П., Угленко А.Ю.** Исследование эксплуатационных характеристик адаптивной фрикционной муфты второго поколения // Трение и смазка в машинах и механизмах. 2013. № 4. С. 21–26.

12. **Шишкарёв М.П.** Особенности процесса срабатывания адаптивных фрикционных муфт // Вестник машиностроения. 2004. № 4. С. 3–7.

13. **Шишкарёв М.П.** Уточнение характеристики обратной связи адаптивных фрикционных муфт // Вестник машиностроения. 2005. № 11. С. 12–13.

14. **Шишкарёв М.П.** Уровень перегрузки при срабатывании адаптивных фрикционных муфт // Вестник машиностроения. 2006. № 2. С. 13–15.





Итоги X Международной научно-практической конференции "ИННОВАЦИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ"

(ИнМаш-2019)

26—29 ноября

Кемерово — Шерегеш, Россия

Подведены итоги десятой, юбилейной, конференции "Инновации в машиностроении", посвященной актуальным проблемам машиностроительной отрасли, без которой невозможна стабильная, динамично развивающаяся экономика. Она состоялась в Кузбасском государственном техническом университете.

В конференции приняли участие ученые из 11 стран: России, Болгарии, Казахстана, Украины, Беларуси, Вьетнама, Польши, Латвии, Туниса, КНР, Ирака.

Всего очных и заочных участников — свыше 350 человек, в том числе семь академиков РАН и НАН Беларуси, 39 докторов наук, профессоров, 56 кандидатов наук, 9 докторантов,

24 аспиранта, 44 студента — бакалавры и магистранты по направлениям машиностроения, технологии машиностроения, материаловедения.

По итогам издано два сборника научных трудов: англоязычный в издании наукометрической системы WoS и русскоязычный в наукометрической системе РИНЦ. Рекомендации "ИнМаш-2019" будут опубликованы в ближайшем выпуске журнала "Вестник КузГТУ".

Одним из значимых событий конференции стал выезд участников в пос. Шерегеш, где продолжилась работа на секционных заседаниях.

Среди тем обсуждения — ключевые задачи современного машиностроения, развитие



научных работ в рамках научно-образовательного центра "Кузбасс", сформированного в Кемеровской области. Были рассмотрены конструкции современных машин и оборудования, передовые технологии механической обработки, упрочнения поверхностного слоя деталей и узлов машин.

По словам председателя оргкомитета "ИнМаш-2019", д-ра техн. наук, профессора Валерия Юрьевича Блюменштейна, большое внимание уделили научным результатам в рамках ключевого приоритетного направления научно-технологического развития Российской Федерации: переходу к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создания систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта.

Активно обсуждали проекты и технологии, которые могут быть реализованы через механизм созданного в регионе научно-образовательного центра мирового уровня "Кузбасс" (НОЦ "Кузбасс").

В рамках "ИнМаш-2019" провели семинар инжиниринговой компании "ГК "ХАЛТЕК", а также заседание секций V Всероссийской молодежной научно-практической школы "Упрочняющие технологии и покрытия в машиностроении", спикерами которых стали ведущие ученые-машиностроители.

По мнению заведующего кафедрой, д-ра техн. наук, профессора В.А. Носенко (Волго-

градский ГТУ), учитывая достаточную сложность получения нового оборудования, было бы целесообразно начать совместные работы. К сожалению, каждый вуз работает самостоятельно, а общих тем очень много. Поэтому на основании выполненных работ следует скооперироваться и проводить совместные исследования.

Заведующий кафедрой, д-р техн. наук, профессор Х.М. Рахимьянов (Новосибирский ГТУ) полагает, что необходимо использовать перекрестную консультацию специалистами молодых ученых с тем, чтобы выводить молодых исследователей на другие известные научные школы. Конечно же, формы такого взаимодействия нужно тщательно продумать, не останавливаясь только на участии в таких конференциях.

Профессор В.А. Лебедев (Донской ГТУ, г. Ростов-на-Дону) считает, что нужно повысить роль союза технологов-машиностроителей России в решении задач проведения научных исследований и подготовки научно-педагогических кадров.

Символ Международной научно-практической конференции "Инновации в машиностроении" — колокольчик — по традиции прозвонил в начале и конце нынешнего мероприятия и перешел к коллегам из Бийска. В 2020 г. конференция пройдет в этом городе, и Кузбасско-Новосибирско-Алтайский колокольчик машиностроительной науки вновь призовет участников форума к новым достижениям.





УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В 2019 ГОДУ

№	№
Ресурс машин и конструкций	
Спирягин В.В., Меделяев И.А., Чмыхало А.И. Модель потери работоспособности металлоконструкций испарителя холодильной машины	11
Технологичность конструкции	
Дубовик Е.А. Технологичность конструкции прибора для проведения работ для измерения люфтов рулевого колеса	7
Дубовик Е.А. Технологичность конструкции привода стенда для испытания раздаточных коробок перемены передач грузовых автомобилей	5
Дубовик Е.А. Технологичность конструкции электромеханического двухстоечного стационарного подъемника	4
Сборочное оборудование и его элементы	
Березин С.Я. Технологические особенности автоматизированной сборки соединений на основе микровинтов	9
Житников Ю.З., Житников Б.Ю., Воркуев Д.С., Матросов А.Е., Миронова Е.А. Предельные режимы выполнения вспомогательных операций многшпindelными заворачивающими устройствами	6
Исмагилов Ф.Р., Вавилов В.Е., Уразбахтин Р.Р., Веселов А.М., Минияров А.Х. Сферический генератор	1
Полежаев Н.В., Стегачев Е.В., Кристалль М.Г. Динамика струйного ориентирования уплотнительных прокладок в вихревых захватных устройствах	2
Розинов А.Я. Переносные средства сборки и их применение при выполнении монтажа металлических конструкций	6
Современные технологии сборки	
Боброва Ю.С., Абрамов А.А., Лаухин А.М., Чернобровкин Д.С. Технология изготовления полугибких печатных плат	3
Иванов Ю.В. Обеспечение наибольшего быстродействия координатных систем технологических автоматов сборки электронных модулей в роботизированном комплексе ГАСК многономенклатурного производства	4
Кузнецова С.В. Экспериментальная установка для распознавания движений деталей в процессе сборки	4
Микаева С.А., Резник А.А. Сборка радиочастотной метки для работы на металлической поверхности на основе специальной микросхемы	9
Ревонченкова И.Ф. Проектирование и применение речевого интерфейса в управлении роботом сборки в машиностроении	3
Технологическая оснастка для сборки	
Дубовик Е.А. Приспособление для разборки генератора грузового автомобиля КамАЗ-5320	8
Жуков Д.В., Коновалов С.В., Афанасьев А.В. Особенности диагностики заводских дефектов труб, развивающихся при эксплуатации	6
Кудряшов Е.А., Смирнов И.М., Гришин Д.В. Расширение технологических возможностей проходного резца за счет применения в конструкции дополнительной сборочной единицы	10
Сборочно-сварочные работы. Пайка	
Бых О.А., Вытнов Ю.В., Александрин А.Г., Соловьев Д.В., Голубев С.В., Герасимов Е.А., Бушмелев И.С. Автоматизация процесса сварки при ремонте парогенераторов реакторных установок атомных ледоколов	5
Обеспечение качества. Испытания. Контроль	
Авцинов И.А., Битюков В.К., Суханова Н.В. К вопросу конструирования пневматических устройств для сортировки специфических штучных изделий	4
Анисимова М.А., Сотова Б.И., Аверьянова И.Э., Нуждин Г.А. Управление качеством сборки	7
Богомолова С.А., Муравьева И.В. Процессы метрологического обеспечения сборочного производства	5
Болоев П.А., Друзьянова В.П., Петров Н.В., Григорьев С.И. Экспериментальный стенд для исследования энергетической установки с биогазовым ДВС	4



№	№
Дмитриев С.Ф., Ишков А.В., Маликов В.Н., Сагалаков А.М., Катасонов А.О. Сверхминиатюрные вихретоковые преобразователи для контроля дефектов в структурах металл-диэлектрик	2
Дунаев В.В., Пучков В.Н. Исследование возможности повышения долговечности и надежности потайных болтовых соединений	12
Есаулов В.В., Бородулин Д.С., Каргузов С.Н., Рожко Т.Е., Юдин Ю.Ю., Колосков А.В., Полторакин А.В., Шашков А.Ю. Исследование возможности герметизации интегрально-оптической схемы герметиком ВГО-1	3
Житников Ю.З., Житников Б.Ю., Матросов А.Е. Обоснование предельной частоты вращения шпинделя в момент затяжки для исключения случаев повреждения резьбы отверстия на собираемом узле	5
Житников Ю.З., Житников Б.Ю., Матросов А.Е. Стенды для испытания изделий после сборки на вибропрочность и виброустойчивость	12
Мищенко К.С., Захарченко М.Ю. Исследование способа формирования локальных дорожек качения шариковой раскаткой с обеспечением повышенной статической грузоподъемности	3
Новиков В.В., Осипов К.Н. Оценка технического состояния сложных технических систем методом равновесных состояний	4
Пачурин Г.В., Кузьмин Н.А., Гончарова Д.А., Филиппов А.А., Нуждина Т.В. Оценка факторов влияния коррозионной среды на усталость автомобильных материалов	9
Спирягин В.В., Меделяев И.А., Чмыхало А.И. Экспериментальная оценка влияния несовершенства геометрической формы теплообменных труб на величину критического давления	12
Хунузиди Е.И., Благовещенский Д.И. Управление качеством изделий, используемых в сборочном производстве	1
Чмыхало А.И., Меделяев И.А., Челноков А.В., Спирягин В.В. Разработка и применение акустико-диагностической установки для исследования параметров сигналов акустической эмиссии в теплообменных аппаратах при различных режимах эксплуатации	10
Шишкарев М.П. Выбор оптимальной точности срабатывания адаптивных фрикционных муфт	8
Соединение деталей машин	
Буланов Э.А. Расчет плоского прессового соединения	7
Кузнецова С.В., Симаков А.Л. Основы синтеза средств адаптации деталей с учетом принципа наименьшего приращения	7
Кузнецова С.В., Симаков А.Л. Условия автоматизированного согласования взаимного положения сборочных компонент	9
Розинов А.Я. Физические и технико-экономические особенности процесса сборки монтажных соединений балок набора металлоконструкций	8
Экология и безопасность сборочных работ	
Микаева С.А., Микаева А.С. Сборка модулей для обеззараживания воздуха ультрафиолетовым излучением в системах вентиляции	10
Трение и смазка в машинах и механизмах	
Авилов В.В., Лунева Е.И., Воляник С.А., Савенкова М.А., Сычев А.П. Фосформолибдат натрия — полимерная присадка для железнодорожных смазок	11
Ахмедпашаев М.М., Ирзаев Г.Х., Ахмедпашаев М.У. Оценка технического ресурса типовых деталей трибосопряжений погружного насоса	4
Губарев П.В., Тептиков Н.Р., Шапшал А.С., Морозкин И.С., Больших И.В. Методика проведения тяговых испытаний локомотивов	6
Гурьянов Г.Н., Гурьянов Н.Г. Величина дельта-критерия формы очага деформации в зависимости от параметров процесса волочения круглого сплошного профиля	10
Дубовик Е.А. Методика получения экспертных оценок лубрикации подвижного железнодорожного состава в условиях недостаточности информации	2
Измайлов В.В., Новоселова М.В. Адгезионное взаимодействие трущихся тел и зависимость коэффициента трения от нормальной нагрузки	12
Крыхтин Ю.И., Карлов В.И. Разработка дисковых остановочных тормозов с металлокерамическими дисками в трансмиссиях гусеничных машин и математическая модель нагружения фрикционного материала	1
Лернер Ю.Н. Некоторые физические явления при трении	10
Лернер Ю.Н. О скольжении скачками	11
Меделяев И.А. Волновой характер деформации при трении скольжения	9
Меделяев И.А. Энергетический критерий разрушения смазочной пленки при смешанном смазывании узлов трения технических систем	2



№	№
<p>Меделяев И.А., Спирыгин В.В., Кончаков Н.И., Кобзев И.В. Исследование напряженно-деформированного состояния медных труб при их развальцовке в отверстия трубных решеток теплообменных аппаратов и воздействии эксплуатационных нагрузок 3</p> <p>Мигранов М.Ш., Мигранов А.М. Геометрическая адаптация режущего клина для повышения износостойкости инструмента . . . 9</p> <p>Мигранов М.Ш., Мигранов А.М., Габдуллин А.А., Гусев А.С. Исследование триботехнических характеристик СОТС с различной кинематической вязкостью 7</p> <p>Мигранов М.Ш., Мигранов А.М., Шехтман С.Р. Повышение износостойкости "дуплексных" покрытий для режущего инструмента путем ионного смешивания 8</p> <p>Мигранов М.Ш., Шехтман С.Р., Мигранов А.М. Триботехнические характеристики режущего инструмента с ионно-модифицированной поверхностью 10</p> <p>Низамаев Т.М., Кузнецов С.В. Анализ конечно-элементного моделирования распространения поверхностных волн частного случая задачи Лэмба 11</p> <p>Ноженков М.В. Вихревые структуры роста кристаллов 6</p> <p>Ноженков М.В. Исследование подобия гравитационных и дисперсионных сил как возможности бесконтактной передачи взаимодействия 11</p> <p>Ноженков М.В. Постоянная тонкой структуры и вихревой рост кристаллов 1</p> <p>Панин С.В., Корниенко Л.А., Ле Тхи Ми Хиеп, Буслович Д.Г., Нгуен Дык Ань. Многокомпонентные высокопрочные антифрикционные композиты на основе полифениленсульфида 10</p> <p>Панин С.В., Корниенко Л.А., Хуан Цитао, Буслович Д.Г., Алексенко В.О. Механические и триботехнические свойства композитов на основе СВМПЭ со стекловолокном, функционализированным силансодержащими модификаторами 8, 9</p> <p>Петров А.Н., Логинов Б.А., Мизера С.В., Петров М.А., Логинов А.Б. Исследование покрытий на основе коллоидного графита для горячей обработки металлов давлением . . . 7</p> <p>Петров А.Н., Логинов Б.А., Петров М.А., Пономарев С.Г., Логинов А.Б. Исследование смазочных материалов на основе коллоидного графита и дисульфида молибдена, используемых в процессах горячего деформирования сталей и сплавов 5</p>	<p>Петров А.Н., Таусенев Д.С., Мизера С.В., Петров М.А. Гранулометрический анализ коллоидного графита, применяемого для смазочных материалов в процессах горячей обработки металлов давлением 8</p> <p>Шехтман С.Р., Сухова Н.А., Мигранов М.Ш. Защита деталей авиационной техники от агрессивного воздействия 4</p> <p>Шишкарёв М.П. Особенности и области применения адаптивных фрикционных муфт . . . 2</p> <p>Шишкарёв М.П. Особенности эксплуатации модернизированной адаптивной фрикционной муфты первого поколения 7</p> <p>Шишкарёв М.П. Синтез и анализ адаптивной фрикционной муфты с отдельными узлами трения 1</p> <p>Щедрин А.В., Климочкин К.О., Бекаев А.А., Помыткин В.А. Математическая модель для прогнозирования сил дорнования отверстий инструментом с регулярной микрогеометрией поверхности в условиях противодействия металлоплакирующих смазок 2</p> <p>Эрлих Б.М. Методика активного возбуждения колебаний с характеристиками сложного типа в машинах и механизмах 3</p> <p>Эрлих Б.М. Методика активного гашения и возбуждения колебаний с учетом запаздывания управляющего воздействия 5</p> <p>Эрлих Б.М. Методика совместного использования силового и параметрического воздействий при решении задач гашения и возбуждения колебаний с учетом нелинейностей сложного типа 12</p> <p>Эрлих Б.М. Методология демпфирования и возбуждения колебаний машин и механизмов с упругими и диссипативными типами нелинейностей произвольной структуры 7</p> <p>Янюшкин Ю.М. Решение балансовой задачи контактного теплообмена системы тел: тормозная колодка и вращающийся тормозной диск в процессе торможения 11</p> <p>В помощь конструктору, технологу</p> <p>Березин С.Я. Особенности применения деталей с нерегулярным шагом в резьбовых соединениях 7</p> <p>Бойко М.В., Сычев А.П., Колесников И.В., Ермаков С.Ф., Шершнев Е.Б. Влияние эфиров холестерина на процессы формирования поверхностных антифрикционных пленок 5</p> <p>Введенский В.Ю., Нуждин Г.А., Фролов С.В. Моделирование петли гистерезиса магнитных материалов с помощью интерполяции дробно-линейной функцией 10</p>



	№
Водолазская Н.В. Совершенствование технологии процесса контролируемой сборки резьбовых соединений	12
Гимадеев М.Р., Давыдов В.М. Корреляционные связи показателей шероховатости при фрезеровании сферическим инструментом	5
Дубовик Е.А. Технологичность конструкции привода стенда для испытаний ведущего моста грузовых автомобилей	11
Дубовик Е.А. Технологичность конструкции сварочного пистолета К-264 для сборки автомобилей	12
Задорина Н.А., Непомилуев В.В., Олейникова Е.В. Индивидуальный подбор деталей при сборке как альтернатива необходимости повышения точности их обработки	5
Кузнецова С.В., Симаков А.Л. Имитационное моделирование сборочной операции в виртуальном пространстве	2
Лапшин В.П., Закалюжный А.А. Моделирование возмущенного движения термодинамической системы с учетом динамики исполнительной подсистемы	2
Меделяев И.А., Спиригин В.В., Кончаков Н.И., Кобзев И.В. Численное моделирование процесса деформации теплообменных труб под действием внешней распределенной нагрузки	5
Рапилбекова Н.С. О распространении тепла при несовершенном теплообмене в сечении двухмерной среды	8
Розин А.Я., Логунов В.В. Диагностика возможности сокращения непрямых трудозатрат и механизации процесса сборки соединений наружной обшивки, подкрепленной ребрами жесткости	9

	№
Самаркина Е.И., Самаркин А.И., Дмитриев С.И., Евгеньева Е.А. Электронная модель изделия как носитель конструкторско-технологической информации	6
Сухова Н.А. Разработка механизма управления производственной технологичностью авиационных двигателей	10
Таугер В.М., Волков Е.Б., Мухачева Л.В. Влияние материала лопатки осевого вентилятора на частоту собственных колебаний	12
Тимофеев Б.П., Данг Н.Т. Новый подход к выбору коэффициентов смещения исходного контура зубчатых передач	11
Шишкарев М.П. Синтез адаптивной фрикционной муфты второго поколения с бифункциональным управляющим устройством	11

Подготовка специалистов

Буяновский И.А., Самусенко В.Д. Граничная смазка как защита трибосопряжения от износа и заедания при жестком режиме работы	8
Буяновский И.А., Самусенко В.Д., Щербаков Ю.И. Смазочные материалы для узлов трения механизмов и машин	11
Зотов И.А., Микаева С.А. Сборка стенда обучения работе с микроконтроллером STM32	2

Информация

Буяновский И.А., Самусенко В.Д., Зеленская М.Н. XII Международная научно-техническая конференция "Трибология — машиностроению", посвященная 80-летию ИМАШ РАН	3
Указатель статей, опубликованных в 2018 году	1

ООО "Издательство "Инновационное машиностроение", 107076, Москва, Колодезный пер., 2а, стр. 2
Учредитель ООО "Издательство "Инновационное машиностроение".
Адрес электронной почты издательства: mashpubl@mashin.ru;
редакции журнала: sboraka@mashin.ru, <http://www.mashin.ru>
Телефон редакции журнала: 8 (499) 269-54-98, факс: 8 (499) 269-54-96.
Технический редактор *Патрушева Е.М.* Корректор *Сажина Л.И.*
Сдано в набор 13.11.2019. Подписано в печать 25.12.2019. Формат 60 × 88 1/8.
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 5,88. Свободная цена.
Оригинал-макет и электронная версия подготовлены в ООО "Авансед солюшнз". Сайт: www.aov.ru
Отпечатано в ООО "Канцлер", 150008, г. Ярославль, ул. Клубная, д. 4, кв. 49.