

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
5 (238)

СОДЕРЖАНИЕ

Современные технологии сборки

- Боровик Т.Н., Микаева С.А. Сборка электронного пускорегулирующего аппарата 195
Иванов А.А., Кретинин О.В. Сборка постоянных резисторов типа МЛТ 199

Сборочно-сварочные работы. Пайка

- Розин А.Я., Логунов В.В. Анализ особенностей технологии сборки и сварки монтажных соединений судовых корпусных конструкций и изменения их напряженного состояния и прочности 205

Обеспечение качества. Испытания. Контроль

- Вайцехович С.М., Афанасьев Н.Ю., Овечкин Л.М. Немонотонное деформирование пористых материалов 209
Миронов И.Е., Чудаев Н.Н., Голубев С.В. Особенности изготовления клиновой арматуры для реакторной установки РИТМ-200 219

Трение и смазка в машинах и механизмах

- Бардушкин В.В., Сычев А.П., Сычев А.А. Концентрация напряжений во фрикционных полимерных композитах, армированных ориентированными волокнами 223

В помощь конструктору, технологу

- Водолазская Н.В. Технологические особенности анализа сборочного процесса ответственных видов соединений 230

Подготовка специалистов

- Дубовик Е.А. Технологичность конструкции стенда технической диагностики тормозных качеств грузовых автомобилей 235

Председатель редакционного совета
В.И. КОЛЕСНИКОВ, академик РАН

Редакционный совет

МОСКВА

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

Региональные редсоветы

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.

КОМСОМОЛЬСКИЙ-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.

РЫБИНСК

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. БАСИНЮК, 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
5 (238)

CONTENTS

Modern technologies in assembly

- Borovik T.N., Mikaeva S.A. Assembly of the electronic start-up control device . . . 195
Ivanov A.A., Kretinin O.V. Assembly of MLT type permanent resistors 199

Assembly welding works. Soldering

- Rozinov A.Ya., Logunov V.V. Analysis of the features of the technology of assembly and welding of mounting joints ship hull structures and changes in their stress state and strength 205

Quality assurance. Testing. Monitoring

- Vaitsekhovich S.M., Afanasyev N.Yu., Ovechkin L.M. Non-monoton deformation porous materials 209
Mironov I.E., Chudaev N.N., Golubev S.V. Features of manufacture of wedge valves for RITM-200 RP 219

Friction & lubrication in machines and mechanisms

- Bardushkin V.V., Sychev A.P., Sychev A.A. Stress concentration in frictional polymeric composites reinforced by oriented fibers 223

Industrial and design engineer's aid

- Vodolazskaya N.V. Technology ability of assembly process analysis of important types of connections 230

Preparation of experts

- Dubovik E.A. The adaptability of the stand construction technical diagnostics of the braking qualities of trucks 235

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
S.M. ZAKHAROV
I.N. ZININA

Yu.L. IVANOV
A.V. IGNATOV
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. OSETRV
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. BEZIAZYCHNYI
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. NUZHDIINA, 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.

Т.Н. Боровик, С.А. Микаева, *д-р техн. наук*
(МИРЭА — Российский технологический университет)
E-mail: mikaeva@npo.lit

Сборка электронного пускорегулирующего аппарата

Описана сборка электронного управляемого пускорегулирующего аппарата для питания амальгамных бактерицидных ламп различных серий. Приведены электрические характеристики и описаны одиночные и групповые конструкции электронных пускорегулирующих аппаратов.

The article describes the assembly of an electronic controlled start-up control device for powering amalgam germicidal lamps of various series. The electrical characteristics are introduced and single and group designs of electronic starting-up devices are described.

Ключевые слова: сборка, лампа, питание, электронный аппарат, одиночный, групповой, управляемый.

Keywords: assembly, lamp, power supply, electronic device, single, group, controlled.

Для питания амальгамных ламп — дуговых бактерицидных (ДБ) и АНЦ производства ЗАО "ЛИТ" (Москва) — используют только электронные пускорегулирующие аппараты (ЭПРА), разработанные совместно с ОАО "ЭНЭФ" (Республика Беларусь). ЭПРА предназначены для работы в установках для обеззараживания воздуха, поверхности или воды [1–5].

ЭПРА питают лампу высокостабильным синусоидальным током частотой 43...50 кГц, обеспечивают прогрев электродов перед пуском заданным током, "поджиг" лампы и с высокой точностью поддерживают ток разряда лампы при колебаниях фазного напряжения сети от 180 до 250 В, обеспечивают все виды защит в нормальном и аномальном режимах работы, предписанные ГОСТ Р 51317.7.3.2—99 (класс "С") и Европейскими нормами по безопасности и электромагнитной совместимости МЭК 61000-3-2-06. На сегодняшний день на всех выпускаемых ОАО "ЭНЭФ" ЭПРА, для мощных ламп более 95 Вт, реализована функция "мягкого старта" лампы, с числом включений более 5000 раз без распыления эмиссионного слоя электродов лампы с программным регулированием тока, протекающим через

электроды лампы в различных режимах ее работы. На ЭПРА выпускаемых с 2010 г. реализован алгоритм одновременного зажигания лампы в течение 4 с для снижения пусковых нагрузок [6–8].

ЭПРА обладают повышенной помехозащищенностью по сети и высоким коэффициентом полезного действия (КПД) — более 90 %. Коэффициент мощности ЭПРА $\lambda > 98$ % в номинальном режиме, возможно снижение коэффициента мощности до 96 % во время некоторых переходных процессов, по этой причине в кратких технических характеристиках ЭПРА указано меньшее значение.

Число попыток повторного включения после неудачного "поджига" лампы программно ограничено 5...8 для снижения нагрузки на провода, так как в момент "поджига" лампы импульсное напряжение на лампе может достигать 1000 В.

Некоторые модели ЭПРА программно-управляемые (далее УЭПРА) и используются для управления работой и током ламп, таких как ДБ-300, ДБ-350, ДБ-500, ДБ-600, ДБ-800. УЭПРА можно соединять по шине управления в группы до 50 штук на 1 канал. Число каналов контроллера — 5. Общее число УЭПРА,



подключенных к одному контроллеру, может достигать 250 шт. Контроллер управления NF-K-001 разработан совместно с ОАО "ЭНЭФ". Каждая группа УЭПРА с помощью данного контроллера может управляться через интерфейс RS485. Контроллер управления NF-K-002 также разработан совместно с ОАО "ЭНЭФ". Каждая группа УЭПРА с помощью данного контроллера может управляться через интерфейс RS485 и посредством аналогового сигнала, поступающего по одному из двух аналоговых входов. При управлении ток лампы может меняться от 50 до 100 %. УЭПРА могут работать и без управляющего сигнала, как неуправляемые ЭПРА. В этом случае вход управления остается незадействованным, а ток лампы будет 100 % для данного типа лампы [9, 10].

Сборка и конструкция ЭПРА позволяют организовывать посредством клеммных колодок или разъемов входы и выходы питания, управления, светосигнальной индикации и контроля работы ЭПРА и лампы для возможности организации системы управления и индикации. Конструктивно ЭПРА (УЭПРА) делятся на два основных типа: одиночные ЭПРА (УЭПРА), работающие с одной лампой; групповые УЭПРА для работы с большим числом ламп, на данный момент до шести ламп. Все типы групповых УЭПРА с функцией регулирования тока лампы.

Собранные одиночные ЭПРА используют в установках с относительно небольшим числом ламп. Индикация работы и управление одиночными ЭПРА индивидуальна. Одиночные ЭПРА удобно объединять в группы, каскады, шкафы с любым числом подключаемых к ним ламп. Одиночные ЭПРА для воздушных облучателей и рециркуляторов, как правило, содержат в своем составе узлы и блоки управления и индикации, позволяющие без дополнительного монтажа использовать их как готовое решение в отдельных установках.

Собранные групповые УЭПРА существенно уменьшают количество комплектующих, улучшаются массогабаритные показатели системы, в которой они используются, а также трудозатраты на монтаж и обслуживание оборудования в целом. Реализована возможность поблочной замены элементов УЭПА.

При разработке оборудования, в состав которого входят ЭПРА (УЭПРА), необходимо учитывать ряд требований, невыполнение

которых ведет к снижению КПД, резкому сокращению срока службы ЭПРА и УЭПРА или выходу его из строя.

Провода, идущие от ЭПРА (УЭПРА) к лампе, должны быть как можно короче (предельная длина всех проводов от ЭПРА до лампы не более 12 м, кроме ЭПРА Л-220-1х350-2222-18 (М), рассчитанного на повышенную длину кабеля до 25 м), так как емкость проводов влияет на параметры последовательного колебательного контура, образованного элементами схемы "ЭПРА—лампа" (провода — часть этого контура) [1—3, 9, 10]. Используется частота тока 43...50 кГц, амплитуда напряжения до 1000 В при зажигании лампы, до 150 В в рабочем режиме лампы, при этом схема работает на пике резонанса. Максимальная емкость проводников в кабеле не должна превышать 800 пФ.

Провода для подключения ламп должны иметь сечение жилы не менее 0,75 мм² для ламп мощностью до 300 Вт, так как токи предварительного подогрева электродов этих ламп достигают значений 3,2...3,5 А и 2,35...2,45 А соответственно, а токи разряда 1,9...2,1 А и 1,8...1,9 А соответственно. Для ламп мощностью 350 и 600 Вт рекомендуемое сечение провода не менее 1,0 мм² (ток предварительного прогрева электродов 4,1...4,3 А, токи разряда соответственно 1,6...3,2 А и 1,5...3,0 А). Для ламп мощностью 500 и 800 Вт рекомендуемое сечение провода не менее 1,5 мм² (ток предварительного прогрева электродов 4,1...4,3 А, ток разряда 2,5...5,0 А). Рекомендуется использовать четырехжильные провода указанных сечений типа ПВС.

Провода должны удовлетворять следующим условиям: медный многожильный (для подключения к сети) или четырехжильный (для подключения лампы к ЭПРА) в двойной изоляции; каждая жила должна быть скручена из проводников более меньшего сечения. Сечение каждой жилы 0,75...1,5 мм² (в зависимости от типа ЭПРА). Изоляция проводов должна выдерживать испытательное напряжение 2500 В (между жилами) в течение 5 мин при указанном сроке эксплуатации. Рабочее напряжение провода 380/660 В. Рабочая температура до 70 °С. Относительная влажность воздуха до 85 % при температуре 25 °С. Срок эксплуатации провода не менее 7 лет.

Хорошие результаты при проведении испытаний на электромагнитную совместимость (ЭМС) установок DUV показала витая пара из



двух проводов. Применение витой пары позволяет снизить уровень излучения радиопомех от проводов в радиодиапазоне на 8...10 дБ. При этом снижается емкость провода между концами проводов в 4 раза по сравнению с 4-жильным проводом, не смотанным в витую пару, увеличивается в два раза пробивное напряжение провода, что позволяет рекомендовать это решение как наиболее рациональное, особенно на установках, где длина проводов от лампоузлов до ЭПРА свыше 6 м. Для снижения радиочастотных излучений в эфир и для исключения взаимного влияния по цепям ЭПРА — лампа провода следует прокладывать отдельно и помещать в металлические трубы или коробка, которые имеют надежное заземление (экранировать). Перечисленным требованиям наиболее удовлетворяют провода марок ПВС 3Х0,75; ПВС 3Х1,0; ПВС 2Х1,0; ПВС 2Х1,5; ПВС 4Х0,75; ПВС 4Х1,0; ПВС 4Х1,5.

В качестве кабеля интерфейса для управления УЭПРА следует применять 5—10 витых пар проводов в общем экране (длиной не более 20 м). При выборе кабеля питания следует руководствоваться потребляемой мощностью ЭПРА, учитывая амплитуду пускового тока и тока потребления при пониженном напряжении питания ЭПРА. Выбор длины кабеля и сечения проводов в пределах указанных значений для соответствующих типов ЭПРА обеспечивает стабильную работу и высокий КПД ЭПРА и лампы [1—3].

При конструировании установок следует учитывать возможное разрушение материалов под воздействием УФ-излучения (проводов, трубок, изоляции и т.п.). Недопустимо попадание УФ-излучения на элементы ЭПРА (корпус, клеммные колодки, электрические элементы и т.д.). Особое внимание следует обращать на отвод теплоты от ЭПРА и УЭПРА. В конструкции микросхемы драйвера IR вмонтирован датчик предельной температуры кристалла ИС 125 °С, поэтому при перегреве элементов ЭПРА выше 100 °С (температура на корпусе ЭПРА 75...80 °С) аппараты могут аварийно отключаться. Повторное включение возможно лишь при отключении ЭПРА от сети при условии снижения температуры до нормальных значений. Этот режим является аварийным, поэтому после нескольких таких отключений из-за необратимых изменений в кристаллах ИС и высоковольтных транзисторах возможен выход ЭПРА из строя.

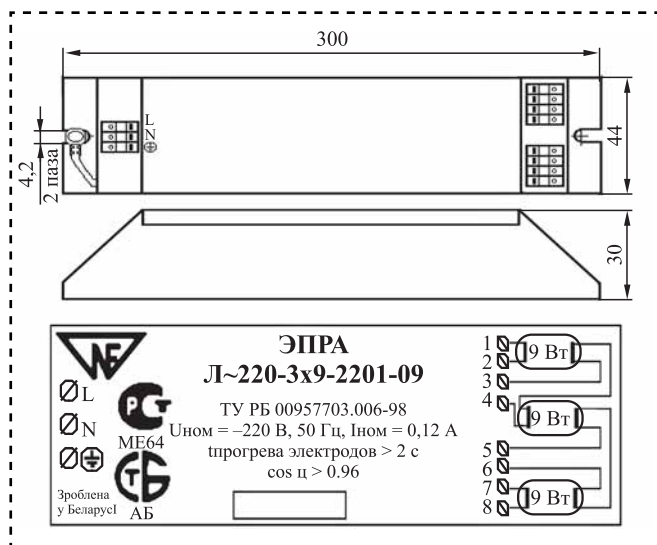
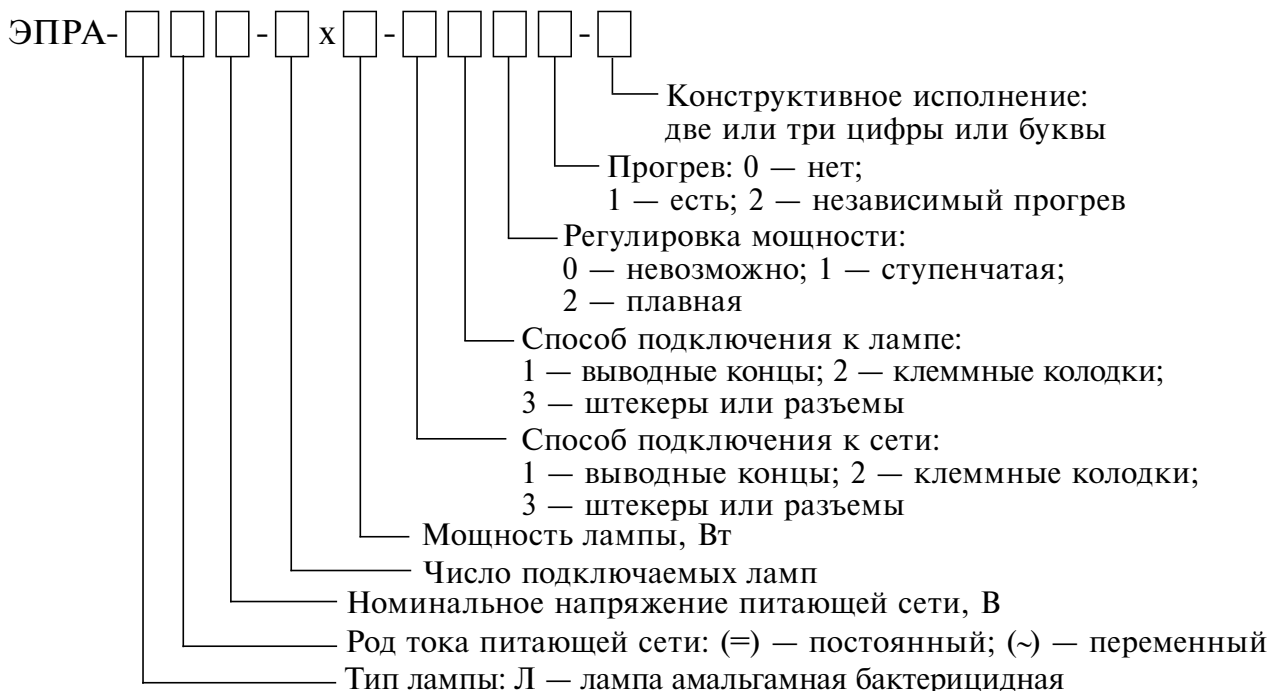
Для одиночных ЭПРА максимальная температура корпуса ЭПРА с верхними крышками (исполнение IP20, IP54) не должна превышать 70 °С при максимальной температуре окружающей среды 50 °С. Для открытых ЭПРА без верхних крышек (исполнение IP00) температура не должна превышать 70 °С на радиаторах ключевых транзисторов. При измерениях температуры необходимо учитывать, что при работе радиаторы ключевых транзисторов находятся под высоким напряжением 400 В относительно земли. ЭПРА для воздушных облучателей и рециркуляторов без верхних крышек должны использоваться только при принудительном охлаждении.

Особые условия охлаждения необходимо создать для групповых УЭПРА. Рабочее положение групповых УЭПРА должно обеспечивать продувание вентилятором охлаждения ЭПРА снизу вверх, любые предметы, заслоняющие воздушный поток, размещают на расстоянии не менее 40 мм от нижней решетки и 60 мм от верхней решетки.

Для более равномерного распределения температуры внутри шкафов одиночные ЭПРА устанавливаются на пластины с хорошей теплопроводностью, возможно с установкой дополнительных радиаторов, при недостаточном теплоотводе на поверхности коробок и шкафов ЭПРА. При проектировании установки с использованием группового УЭПРА необходимо обеспечить температуру воздуха на входе решетки в нижней части УЭПРА не более 55 °С. ЭПРА не предназначены для установки в пожаро- и взрывоопасных зонах по правилам устройства электроустановок (ПУЭ) без применения мер защиты. Климатическое исполнение У, категория размещения 3.1 по ГОСТ 15150. Крепление ЭПРА при эксплуатации должно быть жестким, исключая их перемещение относительно точек крепления. Условия эксплуатации ЭПРА в части воздействия механических факторов внешней среды для ЭПРА всех исполнений кроме 185 и 188 группа М2 по ГОСТ 17516.1. Для ЭПРА исполнения 185 и 188 группа М25 по ГОСТ 17516.1, с величиной одиночных ударов 5g. Поэтому ЭПРА исполнения 185 и 188 используют на подвижных установках пассажирских вагонов российских железных дорог (РЖД) и вагонах метро.

У производителя ЭПРА на маркировке указаны рекомендуемая мощность лампы, тип и схема подключения.

Условное обозначение типа ЭПРА, производства ОАО "ЭНЭФ":



Габаритные и присоединительные размеры и этикетка ЭПРА Л~220-3х9-2201-09

ЭПРА Л~220-3х9-2201-09 предназначен для зажигания и обеспечения рабочего режима трех газоразрядных ламп, используемых в приборе ПИКЧ. ЭПРА работает в сетях однофазного переменного тока. ЭПРА Л~220-3х9-2201-09 имеет старт с прогревом электродов лампы и ненормированное число включений лампы без распыления эмиссионного слоя ее электродов.

Основные технические характеристики ЭПРА Л~220-3х9-2201-09

Номинальное напряжение питания, В	200 ⁺³⁰ ₋₄₀
Номинальный ток потребления, не более (в зависимости от типа лампы), А	0,12
Частота потребляемого тока, Гц	50/60
Коэффициент мощности λ	0,96
Тепловые потери (от потребляемой мощности), %	8
Номинальный ток лампы, А	0,133
Ток подогрева электродов до пуска, А	0,24
Время подогрева электродов до пуска, с	3 ± 1
Ток подогрева электродов после пуска, А	0,06 ± 0,01
Габаритные размеры, мм	300×44×30
Масса, кг	0,34 ± 0,01

Габаритно-присоединительные размеры ЭПРА и этикетка со схемой подключения приведены на рисунке. Рекомендуемые типы ламп: TUV 9W PL-S.

Библиографический список

1. **Микаева С.А., Микаева А.С.** Экспериментальные исследования характеристик перспективных источников света, приборов и систем. М.: РУСАЙНС, 2017. С. 150.
2. **Микаева С.А.** Производство приборов и систем с новейшими источниками света. М.: РУСАЙНС, 2018. С. 135.



3. **Микаева С.А., Микаева А.С.** Современные электронные системы и устройства. М.: РУСАЙНС, 2019. С. 186.

4. **Брысин А.Н., Микаева С.А.** Электротехника. Казань: Бук, 2018. С. 228.

5. **Брысин А.Н., Микаева С.А.** Промышленная электроника. Импульсные устройства и основы микропроцессорной техники. Казань: Бук, 2019. С. 250.

6. **Микаева С.А., Микаева А.С.** Автоматизированная сборка компактных люминесцентных ламп // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2014. № 2. С. 36—38.

7. **Ашрятов А.А., Микаева С.А., Микаева А.С.** Прибор для контроля сборки компактных люминес-

центных ламп // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2014. № 2. С. 23—26.

8. **Микаева С.А., Микаева А.С., Железникова О.Е.** Системы обеззараживания ультрафиолетом // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2015. № 2. С. 44—48.

9. **Микаева С.А., Микаева А.С., Железникова О.Е., Амеликина С.А.** Облучатели бактерицидные // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2014. № 11. С. 3—6.

10. **Микаева С.А., Микаева А.С.** Обеззараживание воды ультрафиолетовым излучением // Автоматизация и современные технологии. 2014. № 11. С. 8—11.

УДК 658.527.011

DOI: 10.36652/0202-3350-2020-21-5-199-204

А.А. Иванов, О.В. Кретинин, д-ра техн. наук
(Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева)
E-mail: kretinin@list.ru

Сборка постоянных резисторов типа МЛТ

Рассмотрены технологические процессы сборки постоянных резисторов типа МЛТ на автоматической установке круговой компоновки: с операцией приварки контактных выводов и без приварки (с напрессовкой колпачков с выводами); нарезки винтовой канавки на металлизированном основании резистора на специальном автомате; лакировки и окраски собранных резисторов на автоматической линии. Представлено оборудование для рихтовки аксиальных контактных выводов и укладки резисторов из навала в пенальную кассету.

Considered technological processes of the assemblage of the constant resistors of MLT type for unattended installations, circular layout in two types: with the operation of welding the contact pins without welding (with pressure caps with leads); cutting helical grooves on the metallic base resistor on a special machine; varnishing and painting the raised resistors on the automated line. The equipment for straightening of axial contact terminals and laying of resistors from bulk in the pencil cassette is presented.

Ключевые слова: автомат сборки и сварки, автомат сборки без сварки, автомат нарезки винтовой канавки, линия лакировки и окраски, пенальная кассета, автомат касетирования.

Keywords: automatic assembly and welding, automatic assembly without welding, automatic cutting of screw groove, line of varnishing and painting, pencil cassette, automatic cassetting.

Производство постоянных резисторов типа МЛТ (металлизированный, лакированный, термостойкий) по типу является массовым. По мощности выделяют 4 группы резисторов: 2 Вт (максимальный диаметр основания); 1 Вт (в 2 раза меньше); 0,5 Вт; 0,25 Вт (минимальный диаметр). Номинал сопротивления зави-

сит от шага нарезки винтовой линии на металлизированном основании резистора (рис. 1).

Технологическая схема сборки резистора типа МЛТ (рис. 2, а):

— керамическое производство: изготовление основания из специальной глины, обжиг его в высокотемпературной печи, шлифование

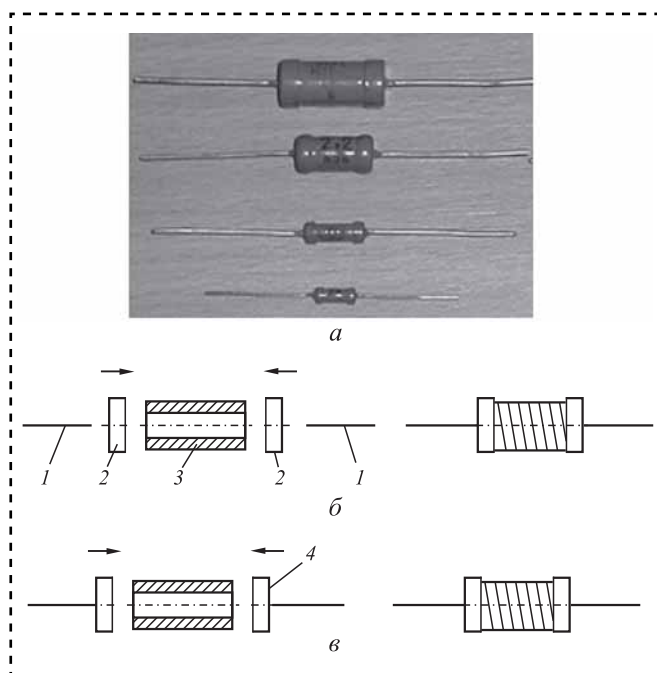


Рис. 1. Внешний вид (а) и конструктивные схемы резистора типа МЛТ с приваркой (б) и без приварки (в) контактных выводов (колпачок изготовлен заодно с выводом):
 1 — медная проволока диаметром 1 мм; 2 — медный колпачок; 3 — керамическое основание; 4 — колпачок с выводом

и нанесение металлизированного покрытия в вакуумной установке;

— производство медных колпачков: штамповка колпачков без вывода на прессовом оборудовании (основное производство); штамповка колпачков с выводом (специальное производство) (рис. 2, б);

— сборочное производство.

Сборку резисторов проводят на автоматической установке круговой компоновки двух типов. Сборочная установка первого типа включает в себя операцию приварки контактных выводов.

В верхнем положении дискового отсекавателя 1 керамические основания 2 загружаются в гнездо (рис. 3). После поворота отсекавателя на 90° против часовой стрелки происходит напрессовка колпачков 5 на основание с помощью пуансонов 6. В нижнем положении отсекавателя выводы к колпачкам привариваются методом контактной сварки. Медная проволока подается роликами 8 из катушки 7 и обрубается в размер ножом 9. Во время этой операции заготовка удерживается в гнезде заслонкой 10. После сварки и обрубки проволоки заслонка 10 отводится и заготовка резистора 11 попадает в съемную пенальную кассету, которая используется на входе автомата нарезки винтовой канавки в качестве магазинного загрузочного устройства.

В сборочной установке второго типа операция приварки контактных выводов исключена, вместо нее производится напрессовка на основание резистора колпачков с контактными выводами (рис. 4).

На выходе из автомата заготовки резистора 7 также укладываются в пенальную кассету 8.

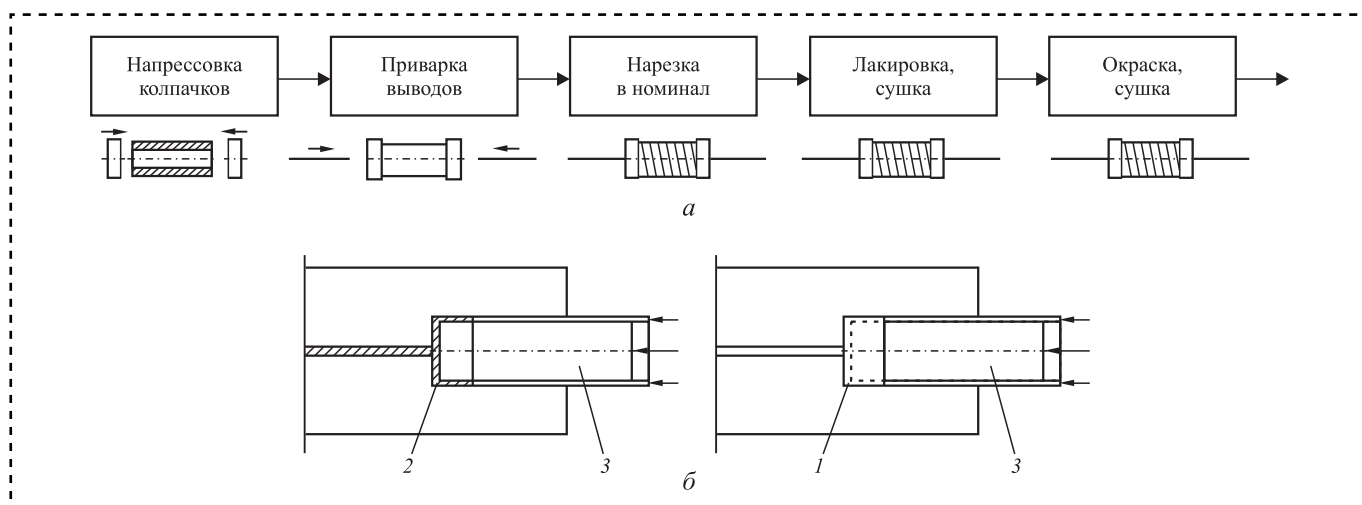


Рис. 2. Технологическая схема сборки резистора типа МЛТ (а) и упрощенная схема штамповки медного колпачка заодно с выводом (б):
 1 — заготовка (таблетка); 2 — колпачок; 3 — пуансон

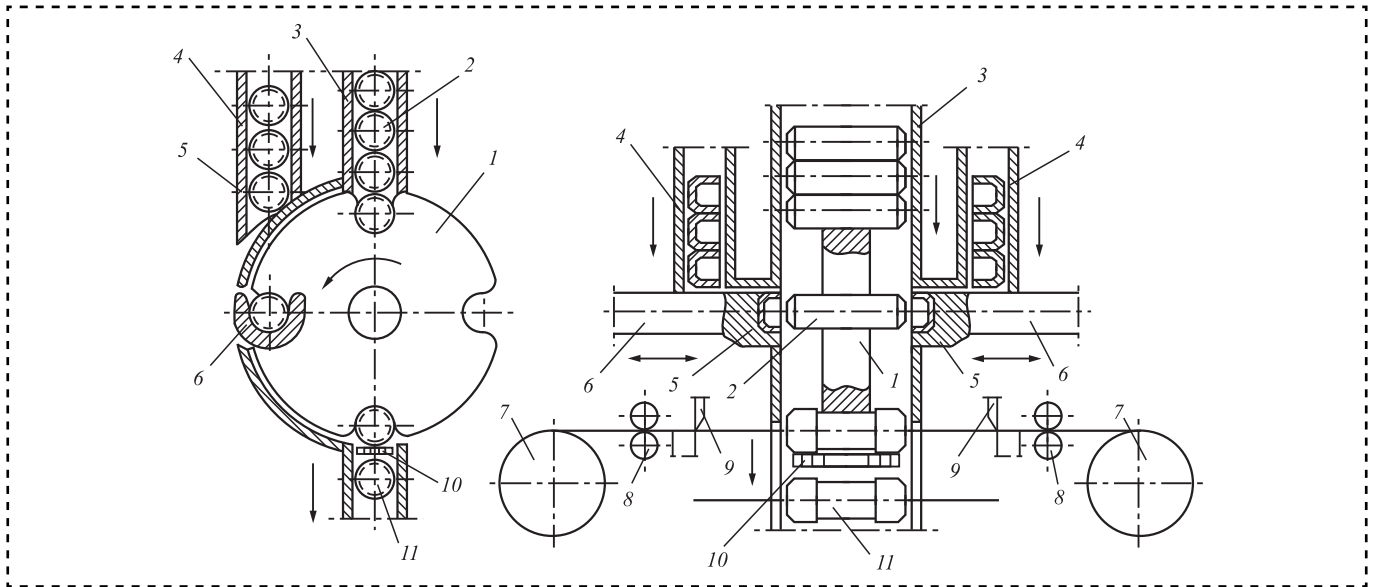


Рис. 3. Сборочная установка 1-го типа для напрессовки на основание резистора колпачков и приварки контактных выводов:

1 — дисковый отсекатель; 2 — керамические основания; 3 — пенальная кассета для оснований; 4 — пенальная кассета для колпачков; 5 — пуансон для напрессовки колпачка на основание; 6 — катушка с медной проволокой; 7 — подающие ролики; 8 — нож для обрубки проволоки; 9 — заслонка, удерживающая резистор 11 в положении приварки выводов

Автомат нарезки винтовой канавки на металлизированном основании резистора представлен на рис. 5.

Пенальная кассета 2 с заготовками резисторов 3 установлена на входе автомата нарезки.

Отсекатель в нижней части кассеты отделяет от потока деталей одну заготовку, которая падает выводами на держатели (раскрытые захваты 4). В этом положении рычаги 5 с раскрытыми захватами 4 сближаются с торцами

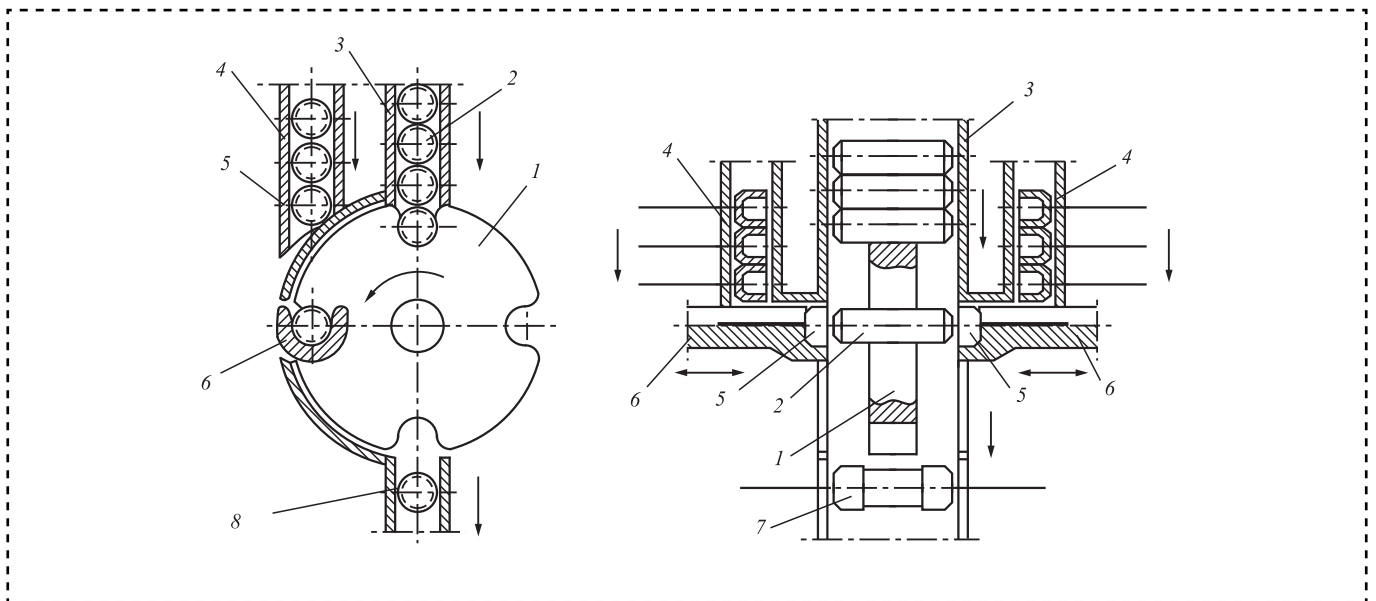


Рис. 4. Сборочная установка 2-го типа для напрессовки на основание резистора колпачков с контактными выводами:

1 — дисковый отсекатель керамических оснований; 2; 3 — пенальная кассета для оснований; 4 — пенальная кассета для колпачков с выводами; 5; 6 — пуансон для напрессовки колпачка на основание; 7 — заготовка резистора; 8 — пенальная кассета для резисторов

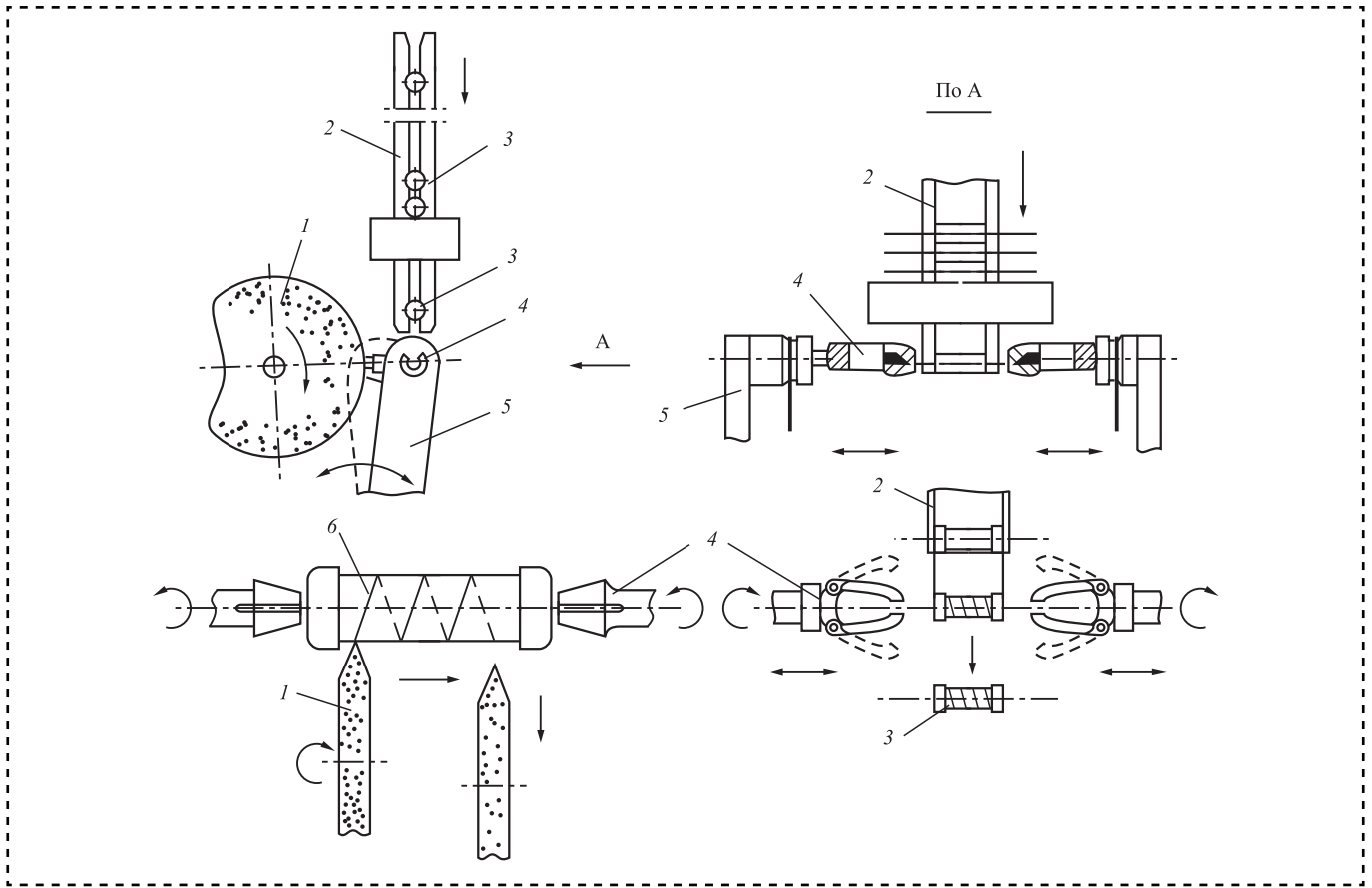


Рис. 5. Автомат для нарезки винтовой канавки на керамических основаниях постоянных резисторов типа МЛТ:
 1 — абразивный круг; 2 — пенальная кассета для заготовок резисторов 3; 4 — вращающиеся захваты для контактных выводов резистора; 5 — разводящиеся рычаги — держатели захватов 4; 6 — винтовая канавка нарезаемая

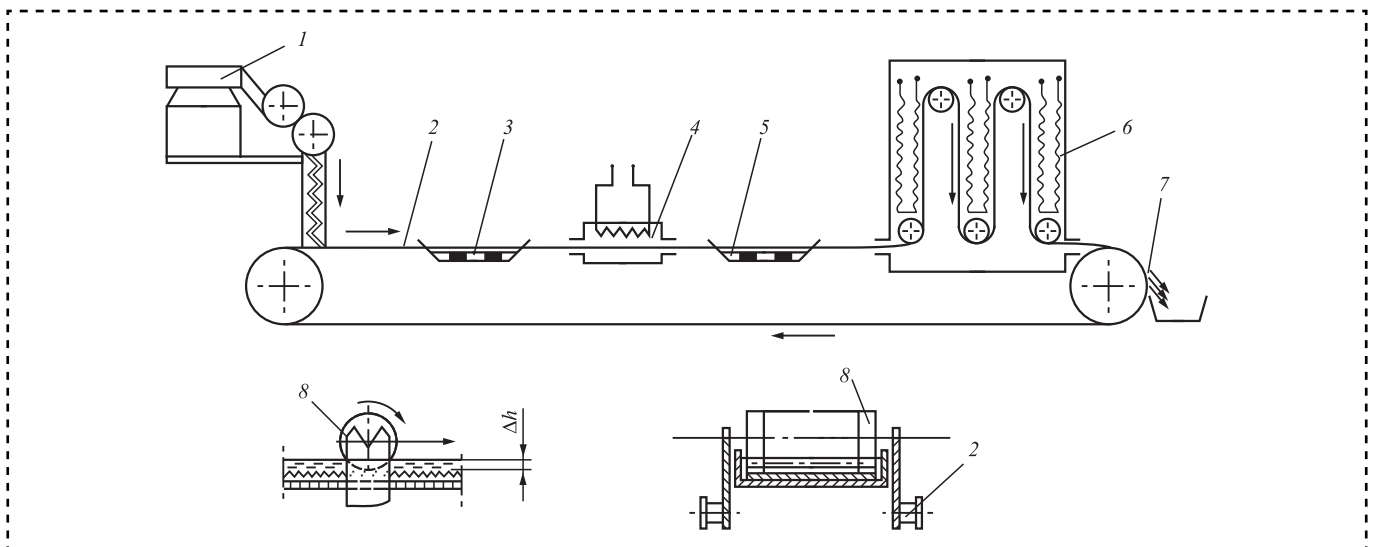


Рис. 6. Автоматическая линия для лакировки и окраски постоянных резисторов типа МЛТ:
 1 — вибробункер с механизмом рихтовки гибких контактных выводов; 2 — цепной конвейер; 3 — ванна с лаком; 4 — печь сушки лака; 5 — ванна с краской; 6 — печь сушки краски; 7 — выгрузка резисторов 8 кругом на основание резистора

основания резистора, смыкаются, зажимая выводы, и начинают вращаться вместе с резистором. Качающиеся рычаги 5 подают вращающуюся заготовку до соприкосновения с абразивным кругом 1, который перемещается с заданной скоростью вдоль основания резистора, нарезаая тем самым на керамике винтовую канавку глубиной, достаточной для прорезания

металлизированного слоя на керамическом основании. Номинал сопротивления зависит от шага винтовой линии, т.е. от скорости поступательного движения круга, которую задает программа автомата. После нарезки рычаги 5 отводят резистор от круга (можно отводить также круг), вращение захватов прекращается, они раскрываются и отходят в стороны, освобождая контактные выводы, а резистор 3 падает в тару для готовых изделий. После нарезки винтовой канавки резисторы поступают на автоматическую линию для лакировки и окраски (рис. 6).

Ванны с лаком 3 и краской 5 содержат рифленую дорожку, которая заставляет резисторы вращаться при перемещении через ванну для более равномерного покрытия. Производительность линии 3500 шт/ч.

Укладку резисторов в кассету из навала выполняет вибробункер с механизмом рихтовки гибких контактных выводов (рис. 7). Ориентированные резисторы после рихтовки попадают в пенальную кассету, в которой они накапливаются в горизонтальном положении (рис. 8).

Вибробункер для ориентации и укладки собранных резисторов в пенальную кассету показан на рис. 9.

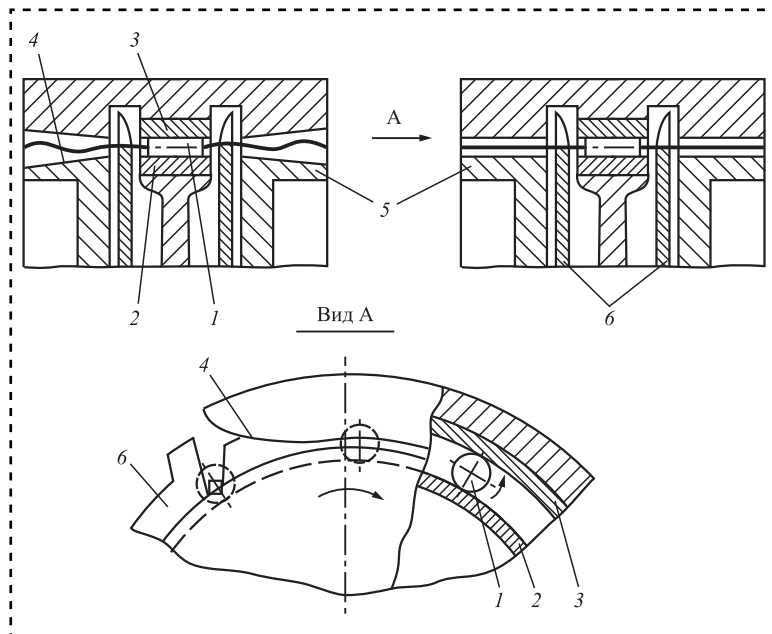


Рис. 7. Механизм рихтовки аксиальных гибких выводов резисторов методом их прокатки в клиновидной щели:

1 — резистор; 2, 3 — обрешиненные поверхности; 4 — клиновидная щель; 5 — ведущий барабан-роотор; 6 — сепаратор-ограничитель осевого перемещения резистора

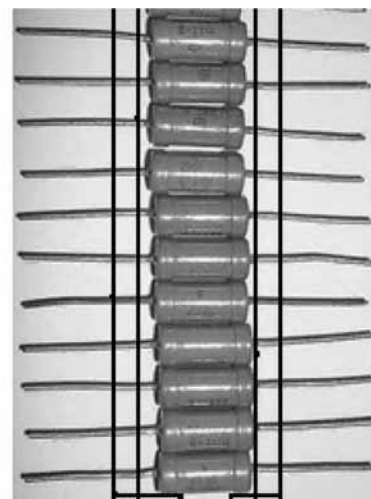


Рис. 8. Резисторы в навале и в пенальной кассете

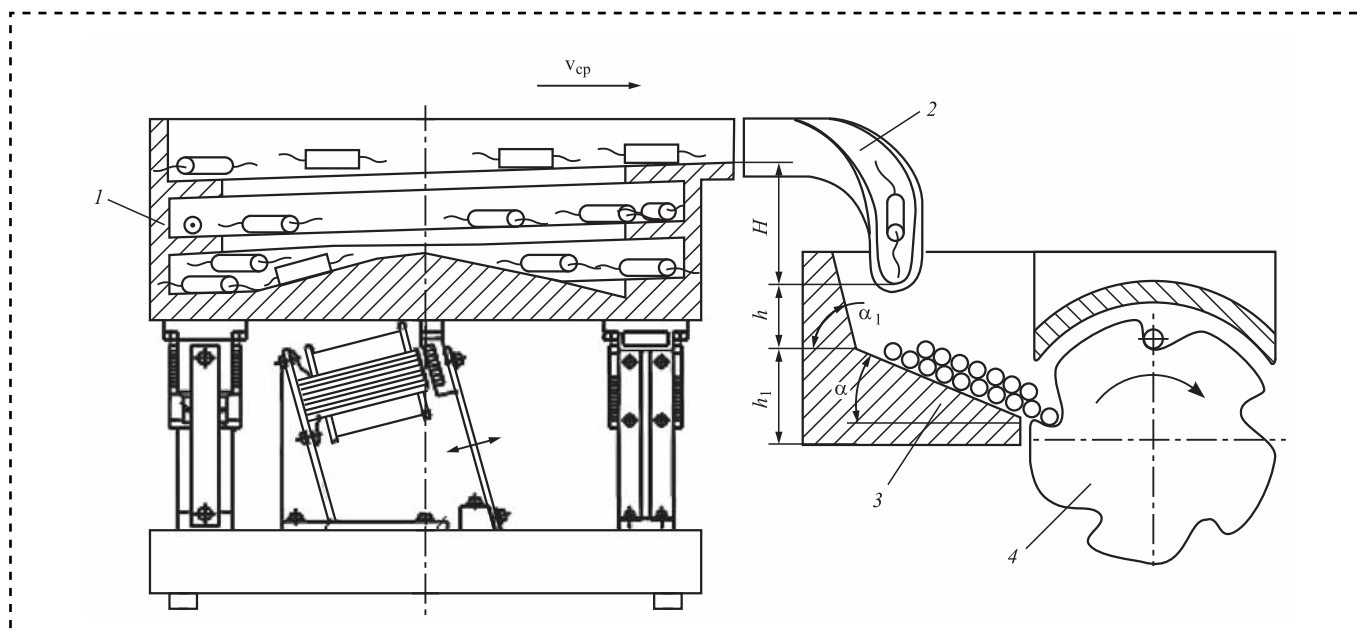


Рис. 9. Вибробункер для ориентации и поштучной выдачи резисторов с аксиальными гибкими выводами:
 1 — чаша; 2 — выходной лоток; 3 — гравитационный магазин-накопитель; 4 — роторный захват для поштучной выдачи резисторов из магазина

Заключение

Поскольку производство постоянных резисторов МЛТ по типу является массовым, то задача автоматизации сборки этих изделий актуальна. Эта задача решается с помощью автоматических установок круговой компоновки двух типов (с операцией сварки и без сварки); автоматического станка с программным управлением для нарезки винтовой канавки на керамическом основании резистора и автоматической линии лакировки и окраски резисторов. Сервисное оборудование включает устройства ориентации, подачи и кассетиро-

вания деталей прибора и собранных резисторов с механизмом рихтовки аксиальных контактных выводов.

Библиографический список

1. **Иванов А.А.** Проектирование автоматизированных систем манипулирования объектами обработки и сборки: учеб. пособие. М.: ФОРУМ, 2012. 352 с.
2. **Иванов А.А.** Автоматизированные сборочные системы: учебник. М.: ФОРУМ, 2012. 336 с.
3. **Иванов А.А.** Проектирование систем автоматизированного машиностроения: учебник. М.: ФОРУМ, 2013. 298 с.



А.Я. Розин, д-р техн. наук, **В.В. Логунов**
(ОАО "НПП "Компенсатор", г. Санкт-Петербург)
Тел. 8(812) 532-7742

Анализ особенностей технологии сборки и сварки монтажных соединений судовых корпусных конструкций и изменения их напряженного состояния и прочности

Представлена классификация монтажных соединений судовых корпусных конструкций. Рассмотрены технологические особенности их сборки и сварки с учетом условий пространственного положения и сложности доступа, различных поз исполнителей сборочно-сварочных работ с оценкой производительности их труда. Указаны причины необходимости изменения последовательности выполнения сборки и сварки соединений судовых корпусных конструкций. Проведена оценка напряженного состояния и прочности соединений, выполненных на основе изменения последовательности сборки и сварки. Описана методика и приведены результаты оценки остаточных сварочных напряжений при традиционной и измененной последовательности выполнения сборочно-сварочных работ. Даны сведения о прочности и работоспособности соединений судовых корпусных конструкций при действии растягивающей и изгибающей циклической нагрузки.

The classification of mounting connections of ship hull structures is presented. The technological features of their assembly and welding are considered, taking into account the conditions of the spatial position and the complexity of access, various poses of the executors of assembly and welding operations with an assessment of labor productivity. The reasons for the need to change the sequence of assembly and welding of connections of ship's hull structures are specified. Stress state and strength of joints made based on change of assembly and welding sequence were evaluated. Procedure and results of evaluation of residual welding stresses at traditional and changed sequence of assembly and welding operations are described. Data on strength and operability of connections of ship hull structures under action of stretching and bending cyclic load are given.

Ключевые слова: соединения, пространственное положение, степень доступности, производительность, последовательность сборочно-сварочных работ, сборка, сварка, стыки, остаточные напряжения, поперечные и продольные напряжения, ступенчатая нагрузка.

Keywords: connections, spatial position, degree of accessibility, productivity, sequence of assembly and welding works, assembly, welding, joints, residual stress, transverse and longitudinal stresses.

Постройка корпусов судов из различных блоков и секций приводит к необходимости выполнения различных по пространственному положению и степени доступности монтажных соединений судовых корпусных конструкций (таблица).

Согласно конструктивно-технологическим особенностям, подлежащим выполнению монтажных соединений, к неограниченным для доступа относят соединения, не закрываемые лесами и близко расположенными конструкциями, что позволяет осуществлять сборочные и сварочные работы в любом, ничем не ограниченном для доступа, положении. К частично

ограниченным для доступа отнесены монтажные соединения, расположенные внутри отсеков строящихся корпусов судов или в пространствах, закрытых лесами, существенно ограничивающими степень доступности к объектам осуществления монтажной сборки и сварки.

К труднодоступным отнесены монтажные соединения, расположенные в пространствах высотой меньше высоты человеческого роста, представляющие собой междудонные пространства или пространства с трудным доступом.

Сборка и сварка монтажных соединений судовых конструкций осуществляется при различных позах исполнителей (рис. 1).

Количественные показатели монтажных соединений судовых корпусных конструкций

Технические особенности монтажных соединений		Относительная протяженность, %
Положение в пространстве	Нижнее	31...47
	Вертикальное	19...42
	Потолочное	17...34
Степень доступности	Не ограниченные для доступа	8...18
	Частично ограниченные для доступа	77...86
	Труднодоступные	2...10

Уровень производительности труда определяется не только пространственным положением выполняемых монтажных соединений и степенью доступности к местам осуществления сборки и сварки, но также необходимостью технологического изменения последовательности выполнения этих работ.

Наиболее удобна для работы в условиях сборки и сварки монтажных соединений яв-

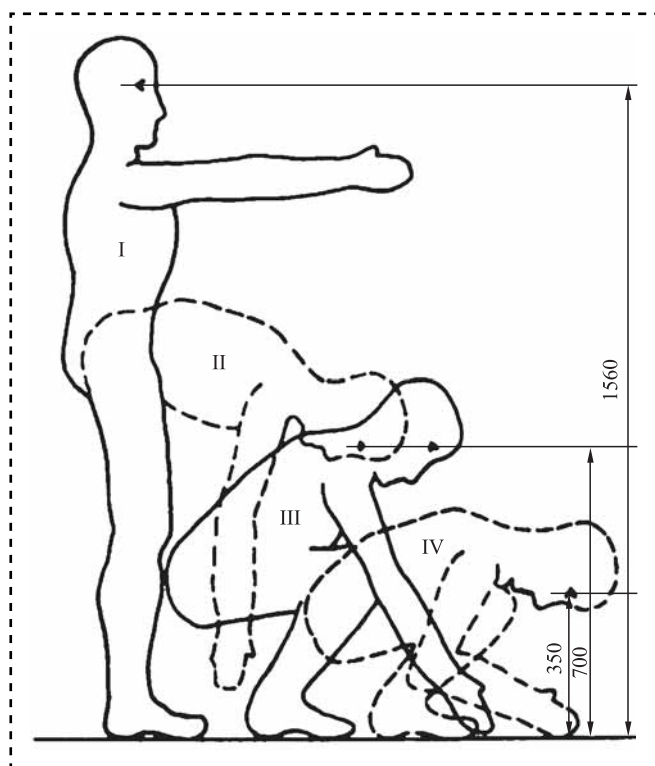


Рис. 1. Рабочие позы судовых сборщиков:

I — стоя; II — в наклонном положении; III — на корточках; IV — на корточках в наклонном положении с прижатыми коленями

ляется поза стоя (см. рис. 1). Она обеспечивает возможность достижения наибольшей производительности труда. При наклонном положении тела работающих их производительность снижается на 25 %, а при положении на корточках — до 60 %. Наряду с этим при работе на корточках в наклонном положении с прижатыми коленями, по сравнению с работой стоя, производительность может уменьшиться на 75 %.

В позе стоя может быть выполнено свыше 40 % монтажных соединений строящихся корпусов судов: стыковые соединения наружной обшивки бортов и полотнищ водонепроницаемых переборок. До 30 % всех соединений, представляющих соединения настилов верхней и промежуточных палуб, а также настилов второго дна могут быть выполнены в наклонном положении. До 20 % угловых соединений, водонепроницаемых переборок с обшивкой бортов, настилом палуб и второго дна — в позе стоя и на корточках. До 10 % труднодоступных соединений, расположенных, в основном, в междудонном пространстве приходится выполнять на корточках в наклонном положении с прижатыми коленями.

При сборке существенной части всех монтажных соединений судовых корпусных конструкций производительность труда значительно снижается из-за трудности доступа к местам выполнения сборочных и сварочных работ.

В связи с невозможностью конструктивно-технологического изменения положения объектов выполняемой сборки отрицательное влияние фактора трудного доступа к выполняемым монтажным соединениям судовых корпусных конструкций зачастую стремятся компенсировать путем изменения последовательности выполнения сборки соединений элементов этих конструкций.

Но изменение последовательности выполнения сборки и сварки монтажных соединений судовых корпусных конструкций способно привести к существенным изменениям напряженного состояния и прочности этих соединений. В целях аналитической оценки напряженного состояния и прочности соединений, выполненных на основе измененной последовательности сборки и сварки, проведены сопоставительные экспериментальные исследования.

Сравнительный контроль распределения напряжений выполняли на основе данных



сборочно-сварочных работ, осуществленных при традиционной (*A*) и измененной (*B*) последовательности операций процесса сборки и сварки. Процесс сборки и сварки (*C*) отличался ужесточением условий его выполнения.

Технологический процесс *A* включал:

— приварку балки к полотну (участок 100 мм остается свободным);

- сборку и сварку стыка полотна;
- сборку и сварку стыка балки;
- окончательную приварку балки к полотну.

Технологический процесс *B* включал:

— приварку балки к полотну (участок 100 мм остается свободным);

- сборку и сварку стыка балки;
- сборку и сварку стыка полотна;
- окончательную приварку балки к полотну.

Технологический процесс *C* включал:

- приварку балки по всей длине к полотну;
- сборку и сварку стыка балки;
- сборку и сварку стыка полотна.

Определяли показатели напряженного состояния в соединяемых сваркой полотне обшивки и балках набора. При этом контролировали распределение поперечных и продольных остаточных сварочных напряжений в районе стыков и полотнищ судовой корпусной конструкции, а также стыков и стенок балок набора (рис. 2).

С учетом принятого за базу сравнения традиционного варианта технологического процесса *A*, осуществлена оценка напряженного состояния в полотнах листов обшивки и балках набора по максимальным значениям напряжений в сварных соединениях.

Анализ поперечных напряжений в полотнах листов показал, что в случае полностью приваренных балок к обшивке напряжения в листе на 5 % больше, чем при традиционном процессе сборки и сварки монтажных соединений. При неприваренном участке балки к обшивке напряжения в листе на 60 % меньше по сравнению с напряжениями, возникающими при традиционном варианте сборки и сварки монтажного соединения.

Полученные результаты позволили считать, что увеличение напряжений в первом случае объясняется отсутствием неприваренного участка балки набора, характерного для традиционной технологии. Уменьшение поперечных напряжений во втором случае объясняется выполнением сварки неприваренного участка балки, благодаря чему происходит перераспределение напряжений в сварном

шве, стенке балки и листе. Максимальные продольные напряжения в листах распределяются примерно одинаково при всех вариантах сборки и сварки и равняются пределу текучести материала.

Результаты определения поперечных напряжений, возникающих в стенке балки, показали, что при традиционном варианте последовательности выполнения сборки и сварки практически по всей высоте стенки балки действуют напряжения растяжения, а при двух других вариантах с измененной последовательностью сборки и сварки, стенка балки сжата, причем в основании балки напряжения сжатия могут достигать предела текучести. Продольные напряжения в стенке балки получают значения растяжения, близкие к пределу текучести во всех трех вариантах рассмотренной последовательности сборки, сварки.

Максимальные напряжения, возникающие в районе монтажного стыка, при изменении последовательности сборки и сварки незначительно отличаются по величине от возникающих при традиционном процессе проведения сборочно-сварочных работ.

В целях представления полной картины напряженного состояния, вызванного изменением последовательности выполнения сборочных и сварочных работ, обеспечивающих выполнение соединений судовой корпусной конструкции, проведен сравнительный контроль прочности таких соединений, собранных и сваренных по традиционной и измененной технологии. Этот контроль осуществлен путем экспериментальных исследований усталостной прочности натуральных образцов монтажных соединений на продольное циклическое растяжение и поперечный циклический изгиб.

Для проведения испытаний изготовлены образцы, имитирующие в натуральный размер соединения судовой корпусной конструкции, выполненные по традиционной технологии и технологии, предусматривающей измененную последовательность сборки и сварки.

Испытывали образцы на продольное циклическое растяжение попарно, начиная со ступенчатого статистического нагружения с последующей ступенчатой разгрузкой. Проверку идентичности нагружения обоих образцов проводили тензометрированием балок набора и листов обшивки. Для этого использовали проволочные тензорезисторы, а реги-

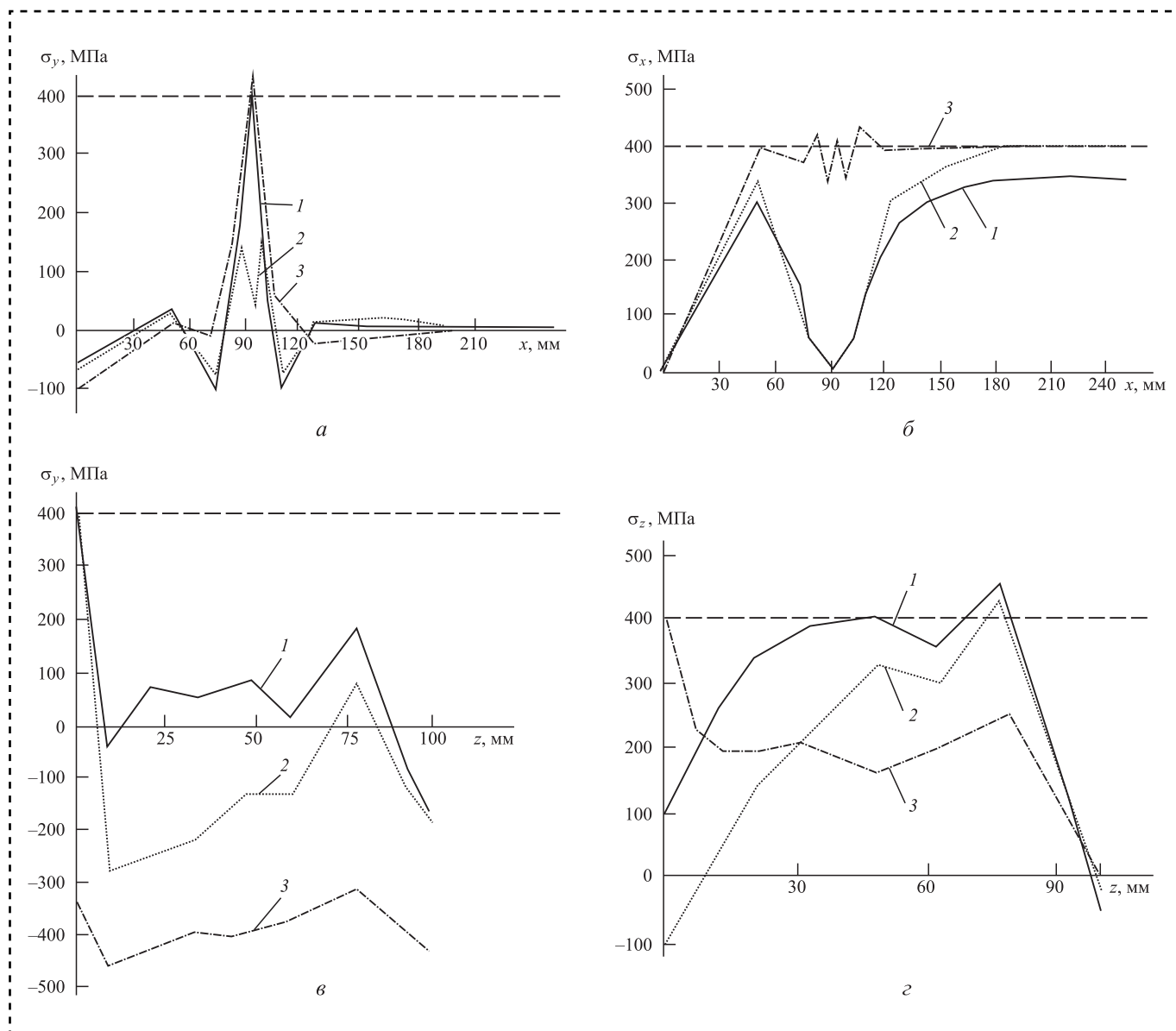


Рис. 2. Распределение поперечных (а, в) и продольных (б, г) остаточных сварочных напряжений в полотне листов (а, б) и в балке набора (в, г):

1 — после сварки стыка листов, стыка балок неприваренного участка балок; 2 — после сварки стыка балок, стыка листов неприваренного участка балок; 3 — после сварки стыка балок, стыка листов

страцию замеров осуществляли с помощью измерительного моста.

При испытаниях образцы подвергали циклическому нагружению с частотой 60 циклов/мин, что в 5–6 раз превышает частоту основной переменной составляющей эксплуатационных нагрузок натуральных конструкций, обусловленной действием волновых изгибающих моментов.

Результаты измерений напряжений при продольном циклическом растяжении подтвердили достаточно близкий характер разрушений сое-

динений листов и балок подкрепляющего набора, выполненных по традиционной технологии и технологии с изменением последовательности сборочно-сварочных операций. Испытания на поперечный циклический изгиб показали, что возникающие усталостные трещины при испытаниях образцов, изготовленных по традиционной технологии и технологии с измененным порядком, зарождались в околошовной зоне сварных стыков подкрепляющего набора. Это явилось в дальнейшем основной причиной разрушения испытываемых образцов.

С.М. Вайцехович, канд. техн. наук, Н.Ю. Афанасьев, Л.М. Овечкин, канд. техн. наук
("НПО "Техномаш" им. С.А. Афанасьева)
E-mail: ask-mlad@mail.ru

Немонотонное деформирование пористых материалов

Исследовано немонотонное деформирование простым сдвигом. Показано влияние накопленной деформации сдвига на структурирование объема пористых материалов, повышение пластических и прочностных свойств. Представлены конструкции пресс-форм, реализующие многоэтапное деформирование пористых материалов простым сдвигом.

Based on studies of non-monotonic deformation by a simple shear is investigated. The effect of accumulated shear deformation on the structuring of the volume of porous materials and an increase in plastic and strength properties are shown. The designs of molds that realize multi-stage deformation of porous materials by a simple shift, providing the practical implementation of technological processes, are presented.

Ключевые слова: немонотонное деформирование, разрушение, ресурс пластичности, накопление повреждений, сдвиг, сжатие, растяжение, кручение.

Keywords: non-monotonic deformation, fracture, plasticity resource, damage accumulation, shear, compression, tension, torsion.

Обработка металлов локальными методами деформирования направлена на улучшение физико-механических свойств конечного продукта (изделия). Однако в процессе пластического деформирования наряду с упрочнением металла происходит накопление повреждений, приводящее к разуплотнению материала и снижению показателей остаточной пластичности. В результате этого наблюдается ухудшение служебных характеристик изделий, вплоть до разрушения заготовок в процессе пластической обработки или изделий при эксплуатации. Поэтому обеспечение качества изделий при обработке металлов давлением (ОМД) невозможно без оценки деформируемости металлов, т.е. их способности деформироваться без разрушения, при минимальном исчерпании ресурса пластичности.

Теория разрушения описывает закономерности уплотнения пористых материалов в зависимости от степени деформации, гидравлического давления, схемы нагружения, времени прессования и других факторов. Условия пластично-

сти позволяют определять параметры, при которых начинаются необратимые формоизменения сплошной и пористой заготовки [1, 2].

Уравнение деформируемости пористой заготовки без разрушения:

$$\sum_{m=1}^{n-1} \left\{ 2\beta_{ij}^{(m)} F_m \left[\sum_{1-m}^{n-1} \beta_{ij}^{(1)} F_1 \right] - F_m^2 \right\} < 1;$$
$$F_m = (1 - C) \frac{\Delta \varepsilon_u^{(m)}}{S_{*c}} + C \left(\frac{\Delta S_u^{(m)}}{S_{*c}} \right)^2 \times \left(\frac{2}{\Delta S_u^{(m)}} \sum_{i=1}^{m-1} \Delta \varepsilon_u^{(i)} - 1 \right), \quad (1)$$

где F_m — функция повреждения на этапе m , промежуточное положение заготовки;

n — число этапов деформирования;

$\beta_{ij}^{(m)}$ — направляющий тензор деформации на m -м этапе деформирования;

$\varepsilon_u^{(m)}$ — интенсивность деформации на m -м этапе деформирования;

S_{*c} — предельная деформация материала заготовки на сдвиг;



C — константа, $0 \leq C \leq 1$.

Уравнение для определения накопленной деформации:

$$\varepsilon_u(t) = \int_0^t \dot{\varepsilon}_u(\tau) d\tau,$$

где $\dot{\varepsilon}_u$ — интенсивность скоростей деформации;

t, τ — время.

Кривая предельных деформаций при стационарном деформировании ($\eta = 1$) для начального состояния материала:

$$\varepsilon_* = \varepsilon_*(\eta),$$

где $\eta = \frac{3\sigma}{\sigma_u}$ — показатель напряженного состояния; σ_u

σ, σ_u — среднее напряжение и интенсивность напряжений соответственно.

Для проверочных расчетов использовали уравнение:

$$n_p = \frac{-\sqrt{6}(1-C) + \sqrt{3}\sqrt{2(1-C)^2 + \frac{8-\sqrt{2}C}{\sqrt{2+J}}}}{4\sqrt{2}C(\pi-\theta)}, \quad (2)$$

где n_p — число циклов до разрушения заготовки, $n_p = 2n$;

θ — угол между каналами;

J — инвариантный параметр.

Величину накопленной деформации при деформировании материала в пересекающихся каналах определяли уравнением:

$$\Delta\varepsilon_u^{(i)} = \frac{1}{\sqrt{3}}(\pi - \theta_i), \quad (3)$$

где θ_i — угол между каналами на i -м этапе деформирования.

С учетом формулы (2) выражение для F_m примет вид:

$$F_m = \left(\frac{\pi - \theta_m}{\sqrt{3}\varepsilon_*} \right) \times \left\{ 1 - C + C \left(\frac{\pi - \theta_m}{\sqrt{3}\varepsilon_*} \right) \left[\frac{\pi(2m-1) + \theta_m - \sum_{i=1}^{m-1} \theta_i}{\pi - \theta_m} \right] \right\}. \quad (4)$$

Если сдвиг происходит в одной плоскости, угол между каналами неизменен $\theta_i = \theta = \text{const}$, на всех нечетных этапах — $\beta_{ij} = \beta_{ij}^{(1)}$, а на четных — $\beta_{ij} = \beta_{ij}^{(2)}$.

Предельное число циклов n деформирования заготовки определяется численным решением уравнения, следующим из формулы (2)

$$2n_p^2(1+J)(1-C) \left(\frac{\pi-\theta}{\varepsilon_*} \right)^2 + 8n_p^3(1+J)(1-C) \times \times \frac{C}{\sqrt{3}} \left(\frac{\pi-\theta}{\varepsilon_*} \right)^3 + 2n_p^2(4n_p^2+1) \left(1 + \frac{4n_p^2-1}{4n_p^2+1} \right) \times \times \frac{C^2}{3} \left(\frac{\pi-\theta}{\varepsilon_*} \right)^4 = 3, \quad (5)$$

где J — инвариантный параметр, определяемый выражением:

$$J = k(a^{(1)} - b^{(1)})(a^{(2)} - b^{(2)})k_1(a^{(1)} - b^{(1)})b^{(2)} + + k_2(a^{(2)} - b^{(2)})b^{(1)} + b^{(1)}b^{(2)} \left(k_3 - \frac{1}{3} \right), \quad (6)$$

где $k = \beta_{ij}^{(1)}\beta_{ij}^{(2)}$ — косинус угла износа траектории деформации, причем $D = |\beta_{ij}|$ — третий инвариант тензора:

$$\begin{aligned} k_1 &= \beta_{ij}^{(1)}\beta_{jk}^{(2)}\beta_{kj}^{(2)}; \\ k_2 &= \beta_{ij}^{(1)}\beta_{jk}^{(1)}\beta_{ki}^{(1)}; \\ k_3 &= \beta_{ij}^{(1)}\beta_{jk}^{(1)}\beta_{ki}^{(2)}\beta_{ii}^{(2)}, \end{aligned} \quad (7)$$

где (1), (2) — верхний индекс указывает на номер этапа деформирования.

Из двух величин a и b независимой является только одна:

$$a = b(1-3D) + \sqrt{9D^2b^2 - \frac{1}{6}b^2 + 1}.$$

В случае двухэтапного деформирования при $C = 0$ накопленная деформация второго этапа ψ_2 определяется из уравнения:

$$\psi_2 = -J\psi_1 + \sqrt{1 - (1 - J^2)\psi_1^2}, \quad (8)$$

где $\psi_1 = \frac{\Delta\varepsilon_1}{\varepsilon_*(n_1)}$ — ресурс пластичности первого этапа.

При деформировании компактного материала (литого) в условиях простой деформации выполняются следующие условия: $\beta_{ij} = \text{const}$, $D = \text{const}$, $\eta = \text{const}$.

Величина D — это один из вариантов третьего инварианта тензора, который использовал А.А. Ильюшин.



Величина D , как и показатель Лоде μ_ε , определяется уравнением:

$$\mu_\varepsilon = 1 - 2 \frac{d\varepsilon_2 - d\varepsilon_3}{d\varepsilon_1 - d\varepsilon_3}. \quad (9)$$

В этом случае $d\varepsilon_1 \geq d\varepsilon_2 \geq d\varepsilon_3$ характеризует вид деформаций (осевое нагружение или скручивание стержня). Между μ_ε или μ_σ и D имеется однозначная зависимость:

$$\mu_\varepsilon = \sqrt{3} \operatorname{ctg} \left[\frac{1}{3} \arccos(\sqrt{54}D) + \frac{4}{3} \pi \right]. \quad (10)$$

При определении предельных деформаций $\varepsilon_* = \varepsilon_*(\eta)$, характеризующих исходное состояние материала заготовки, выбирают условия испытания, при которых показатель Лоде $\mu_\varepsilon = \text{const}$ в процессе деформирования.

Если соотношение свойств тела и угла 2θ такое, что возможно осуществить более трех циклов деформирования, то расчет проводят сначала по соотношению (2). В случае, если полученное значение $n_p > 3$ циклов, то оно является прогнозируемой предельной величиной.

Если полученное значение $n_p < 3$ циклов, то в этом случае n_p следует уточнить решением (5). Так как в случае РК-прессования на каждом этапе реализуется сдвиг, то

$$n_p = \frac{3}{2C} \left(\frac{\varepsilon_*}{\pi - \theta} \right)^2. \quad (11)$$

Необходимо определить ресурс пластичности материала заготовки на каждом этапе деформирования.

Согласно тензорно-линейной модели накопления повреждений тензор-девиатор повреждений при трехкратном деформировании определяется выражением [1]:

$$\psi_{ij} = \beta_{ij}^{(1)} F_1 + \beta_{ij}^{(2)} F_2 + \beta_{ij}^{(3)} F_3, \quad (12)$$

где ψ_{ij} — ресурс пластичности;

$$\beta_{ij}^{(1)} = \sqrt{\frac{2}{3}} \frac{d\varepsilon_{ij}}{d\varepsilon_i} \text{ — направляющий тензор при-}$$

ращения деформации на 1-м этапе немонотонного деформирования в Эйлеровой системе координат, направление деформирования с помощью трех углов Эйлера, определяющих положение системы координат Лагранжа относительно Эйлеровой системы координат;

$\varepsilon_i = \sqrt{\frac{2}{3}} d\varepsilon_{kl} d\varepsilon_{kl}$ — интенсивность приращений деформаций;

$F_3 = \varphi_3^{(3)} - \varphi_3^{(2)}$ — функции повреждений на этапах 2 и 3 деформирования.

Функцию повреждений φ можно представить в виде двух разных выражений:

$$\varphi_3^{(3)} = (1 - C)x + Cx^2, \quad 0 \leq C \leq 1, \quad (13)$$

$$\varphi_3^{(2)} = n^n, \quad n \geq 1, \quad (14)$$

где C, n — экспериментально определяемые параметры тензорной модели повреждений.

Для процессов стационарного деформирования (из физического смысла) следует, что $0 \leq x \leq 1$, причем обе функции (13) и (14) удовлетворяют ряду условий:

$$\varphi(0) = 0; \quad \varphi(1) = 1; \quad \varphi'(x) > 0 \text{ при } x > 0. \quad (15)$$

Накопление повреждений при трехэтапном деформировании определяется выражением:

$$\psi_u = (\psi_u)^{\text{II}} + 2K_{13}F_1F_3 + 2K_{23}F_2F_3 + F_3^2; \quad (16)$$

$$(\psi_u)^{\text{II}} = F_2^2 + 2JF_1F_2 + F_1^2,$$

где $F_1 = \varphi_1^{(1)}$;

$$F_2 = \varphi_2^{(2)} - \varphi_2^{(1)};$$

$$K_{13} = \beta_{ij}^{(1)} \beta_{ij}^3;$$

$$K_{23} = \beta_{ij}^{(12)} \beta_{ij}^3.$$

Аргументом функции повреждаемости

$\varphi = (1 - C) \frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_*} + C \left(\frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_*} \right)^2$ является отношение $\frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_*}$:

$$\varphi_i^{(i)} = (1 - C) \frac{(\varepsilon_u)_j}{\varepsilon_*(\eta_i)} + C \left[\frac{(\varepsilon_u)_j}{\varepsilon_*(\eta_i)} \right]^2,$$

где $(\varepsilon_u)_j$ — накопленная деформация к концу i -го этапа;

η_i — показатель напряженного состояния i -го этапа.

С учетом принятых обозначений:

$$F_2 = \frac{a_{12}}{\varepsilon_*(\eta_i)} \left\{ (1 - C) [(\varepsilon_u)_2 - (\varepsilon_u)_1] \right\} + C \frac{a_{12}}{\varepsilon_*(\eta_i)} [(\varepsilon_u)_2^2 - (\varepsilon_u)_1^2];$$

$$F_1 = (1 - C) \frac{(\varepsilon_u)_1}{\varepsilon_*(\eta_i)} + C \left[\frac{(\varepsilon_u)_1}{\varepsilon_*(\eta_i)} \right]^2.$$

Значения инвариантных параметров для различных процессов двухэтапного деформирования пористого анизотропного материала

Процессы деформирования материала		Параметры				
		K	K_1	K_2	K_3	J
I—II	Растяжение осевое — сжатие осевое	-1	$\frac{\sqrt{6}}{6}$	$-\frac{\sqrt{6}}{6}$	0,5	-1
I—III	Растяжение осевое — кручение по часовой стрелке	0	$\frac{\sqrt{6}}{12}$	0	$\frac{5}{12}$	$\frac{\sqrt{6}}{12}b^{(2)}$
I—IV	Растяжение осевое — сжатие поперечное	0,5	$\frac{\sqrt{6}}{12}$	$-\frac{\sqrt{6}}{6}$	0,25	0,5
II—I	Сжатие осевое — растяжение осевое	-1	$-\frac{\sqrt{6}}{6}$	0	0,5	-1
II—III	Сжатие осевое — кручение по часовой стрелке	0	$-\frac{\sqrt{6}}{12}$	$\frac{\sqrt{6}}{12}$	$\frac{5}{12}$	$-\frac{6}{12}b^{(2)}$
II—IV	Сжатие осевое — сжатие поперечное	-0,5	$\frac{\sqrt{6}}{12}$	$\frac{\sqrt{6}}{12}$	0,25	-0,5
III—I	Кручение по часовой стрелке — растяжение осевое	0	0	$\frac{\sqrt{6}}{12}$	$\frac{5}{12}$	$\frac{6}{12}b^{(1)}$
III—V	Кручение по часовой стрелке — кручение против часовой стрелки	-1	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	0,5	$\frac{1}{3}b^{(2)} - 1$

Значения параметра J и других инвариантов приведены в табл. 1, расшифровка обозначения процесса римскими цифрами — в табл. 2.

Из табл. 1 видно, что чередование сжатия и сдвига соответствует значению

$$J = \frac{\sqrt{6}}{12}b, |b| \leq \sqrt{6}.$$

Таблица 2

Расшифровка обозначений процесса деформирования анизотропного материала

Процесс	Вид испытания	D	μ_ε
I	Растяжение осевое	+6/18	+1
II	Сжатие осевое	-6/18	-1
III	Кручение по часовой стрелке	0	0
IV	Сжатие поперечное	-6/18	-1
V	Кручение против часовой стрелки	0	0

D — третий инвариант тензора; μ_ε — значение показателя Лоде для рассмотренного вида испытаний.

На рис. 1 представлены результаты моделирования на ЭВМ ЕС 1045 накопления повреждаемости при комбинации: сжатие—сдвиг в одной плоскости с усилением нелинейных свойств материала ($b = -\sqrt{6}$).

В условиях сдвига проявляется эффект увеличения пластичности на сжатие при деформировании анизотропного материала. Так, после сжатия на $0,8\varepsilon_*(\eta = -1)$, сдвиг на $(0,16...0,25) \times \varepsilon_*(\eta = -1)$ увеличивает предельную деформацию сжатия до $0,28\varepsilon_*(\eta = -1)$, т.е. на 40 %.

Анализ трехэтапного процесса — сдвиг—сжатие—сдвиг — также свидетельствует о повышении пластичности анизотропного материала с повышением нелинейных свойств.

Экспериментальные работы по исследованию пластического деформирования простым сдвигом осуществляли по схеме деформирования, представленной на рис. 2.

На основании исследования немонотонной деформации пористого материала рассмотрены различные схемы прессования.

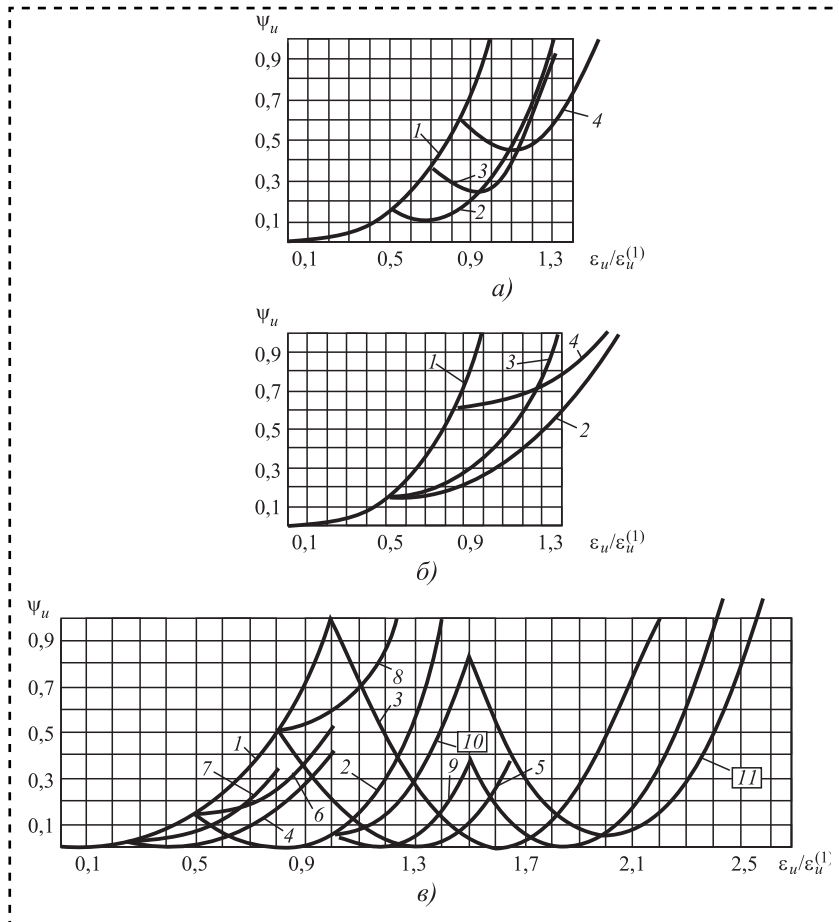


Рис. 1. Кривые накопления повреждаемости в процессах многоэтапного РК-прессования:

a — двухэтапное деформирование: 1, 2, 3, 4 — $a = 1$, при $k = -0,5$;
б — двухэтапное деформирование: 1, 2, 4 — $a = 0,5$; 3 — $a = \frac{1}{1,3}$ при $k = 0$;
в — трех- и многоэтапное деформирование, сжатие—сдвиг—сжатие, сжатие — знакопеременное кручение — сдвиг: 1, 2, 3, 4 — $a = 2$, $k = -1$ — знакопеременное кручение; 5 — $a = 1$, $k = -1$; 6, 7, 8 — $a = 1$, $k = 0$; 9, 10, 11 — $a = 1$, $k_{13} = 1$; $k_{12} = k_{23} = -1$ — знакопеременное кручение с различными степенями деформации на каждом этапе

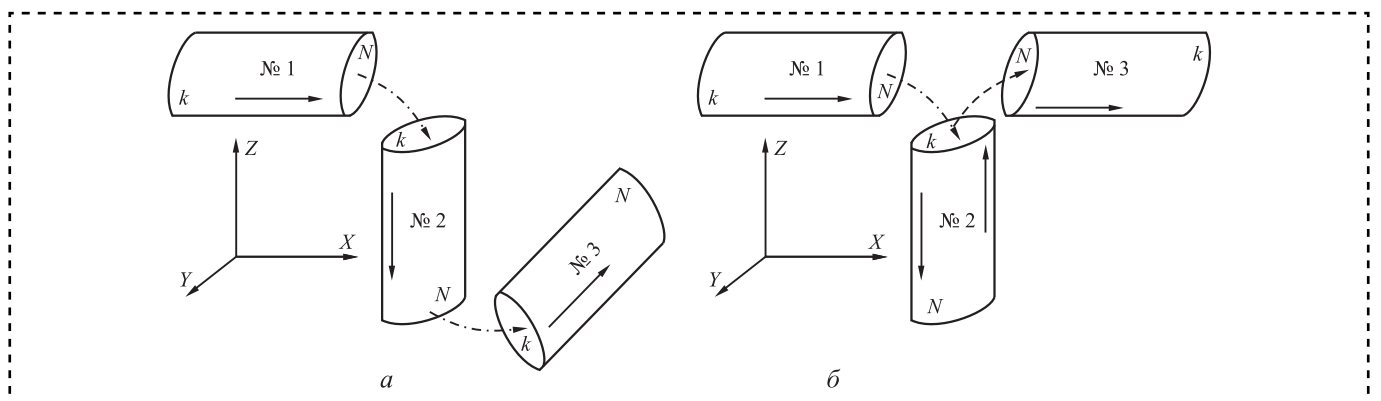


Рис. 2. Общая схема направлений выдавливания заготовки в многоканальной матрице РК-прессования:

a — вариант I — последовательное перемещение заготовки с поворотом плоскости деформирования [(ZOX) → (ZOY)] без изменения направления подачи [№ 1 ($k \rightarrow N$) — № 2 ($k \rightarrow N$)], № 1, № 2, № 3 — положение заготовок до и после этапа деформирования; *б* — вариант II — последовательное перемещение заготовки без поворота плоскости деформирования [(ZOX) → (ZOX)] с изменением направления подачи [№ 1 ($k \rightarrow N$) — № 2 ($N \rightarrow k$)]; N , k — начало и конец заготовки относительно ее исходного положения

Вариант 1. Прессование чередованием сжатия и сдвига с учетом изменения пористости прессуемого материала в брикет порошковой смеси для получения коротких продолговатых брикетов $v_k = \frac{\rho_0}{\rho_k v_{\Pi}}$ (рис. 3) [3].

Циклирование по схеме сжатие—сдвиг представлено на рис. 4.

Вариант 2. Прессование порошка всесторонним обжатием в декартовой системе координат в "плавающих" пресс-формах (рис. 5—10).

На рис. 5 представлена пресс-форма, реализующая дополнительное боковое воздействие в направлении, перпендикулярном рабочему [5].

Боковое давление выбирают из условия:

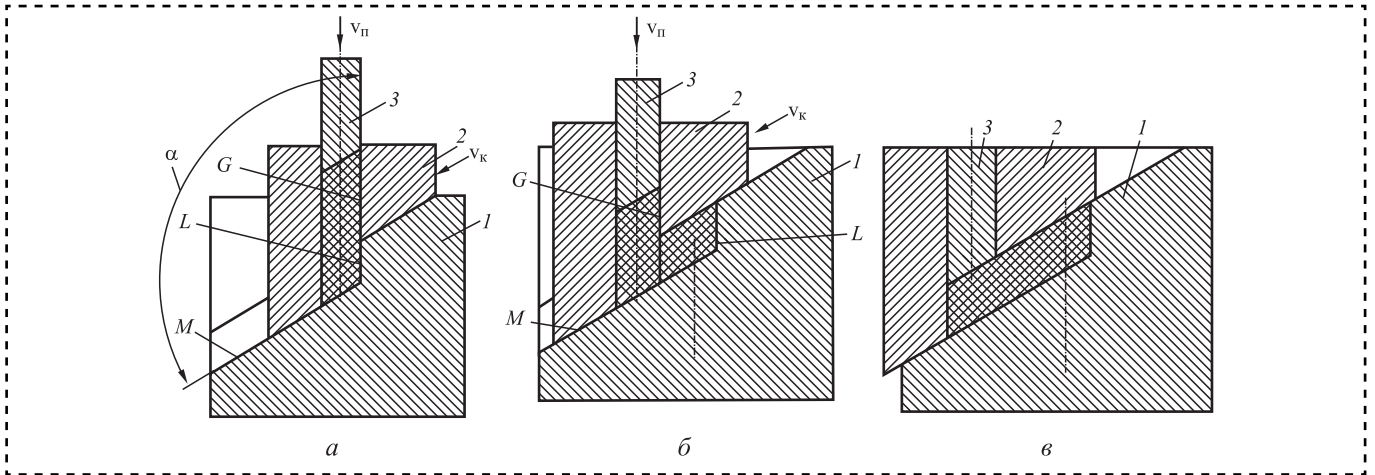
$$0,5P_p \xi \geq P_{\text{бок}} \geq 0,2P_p \xi,$$

где ξ — коэффициент бокового давления, $\xi = \frac{v}{1+v}$;

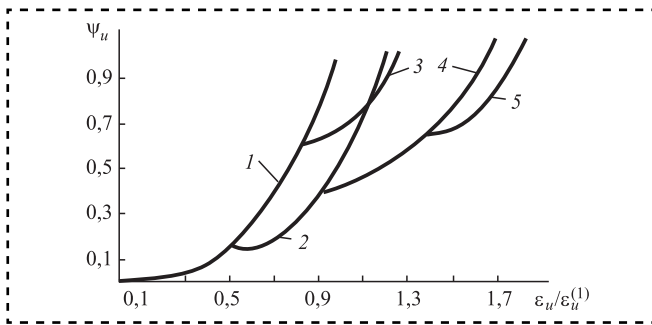
v — коэффициент Пуассона.

При этом боковое давление прикладывают циклически. Для порошковых материалов силу противодействия выбирают равной 1/3 величины осевой силы.

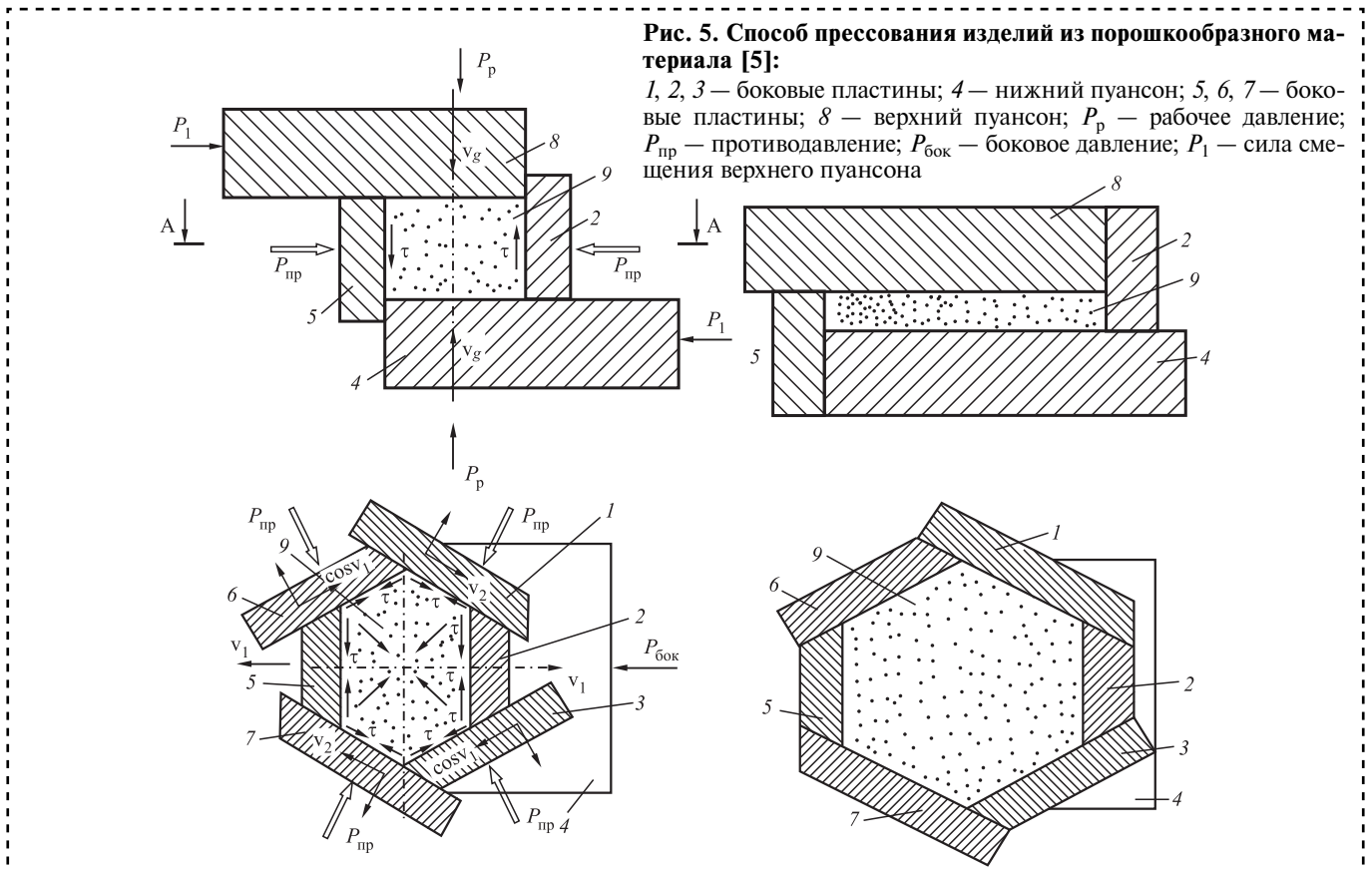
На рис. 6 изображена пресс-форма, реализующая прессование


Рис. 3. Схема прессования осадкой с простым сдвигом:

a — исходное положение; *б* — промежуточное положение; *в* — конечное положение; 1 — основание; 2 — контейнер; 3 — пуансон; v_k, v_{Π} — скорость перемещения контейнера и пуансона


Рис. 4. Циклирование по схеме сжатие—сдвиг: ($a = 2; k = 0; C = 0,5$):

1 — сжатие; 2, 3 — сдвиг; 4 — сжатие; 5 — сдвиг


Рис. 5. Способ прессования изделий из порошкообразного материала [5]:

1, 2, 3 — боковые пластины; 4 — нижний пуансон; 5, 6, 7 — боковые пластины; 8 — верхний пуансон; P_p — рабочее давление; $P_{пр}$ — противодействие; $P_{бок}$ — боковое давление; P_1 — сила смещения верхнего пуансона

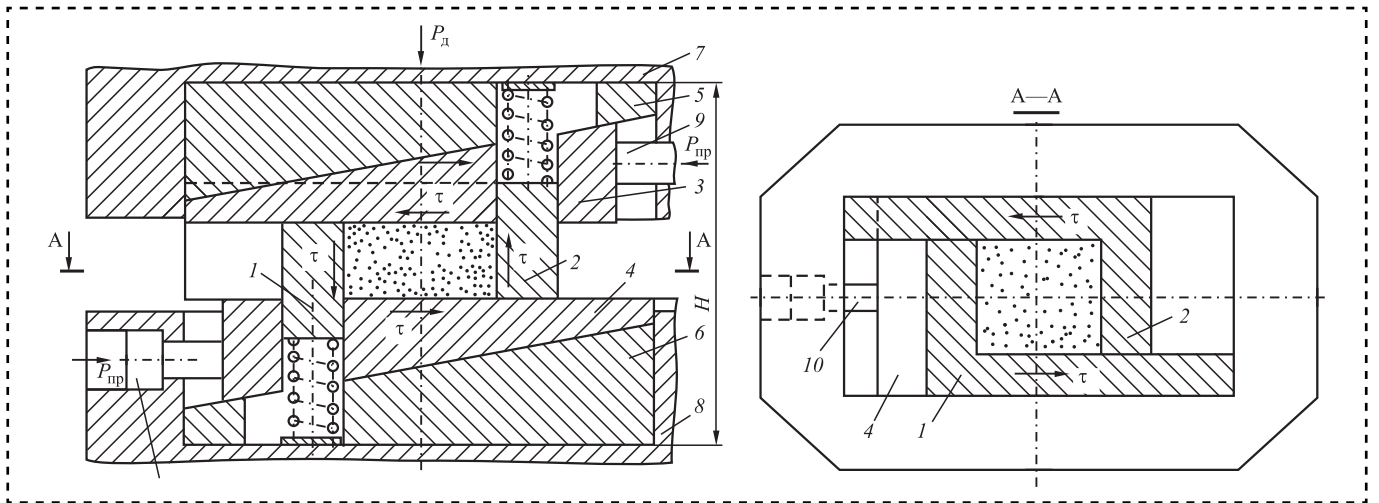


Рис. 6. Схема пресс-формы для прессования с раздацией заготовок [4]:

1, 2 — Г-образные стенки; 3, 4 — нижний и верхний пуансоны; 5, 6 — верхняя и нижняя плиты; 7, 8 — верхняя и нижняя опоры; 9, 10 — толкатели; τ — тангенциальные силы; P_d — осевое давление; $P_{пр}$ — противодействие

по схеме осадка с раздацией с противодействием [4].

На рис. 7 приведена пресс-форма для получения изделий из порошков методом осадки с прокаткой [8].

На рис. 8 представлена пресс-форма для получения изделий из порошков методом осадки с раздацией [6].

На рис. 9 изображена пресс-форма для прессования порошка методом всесторонне-

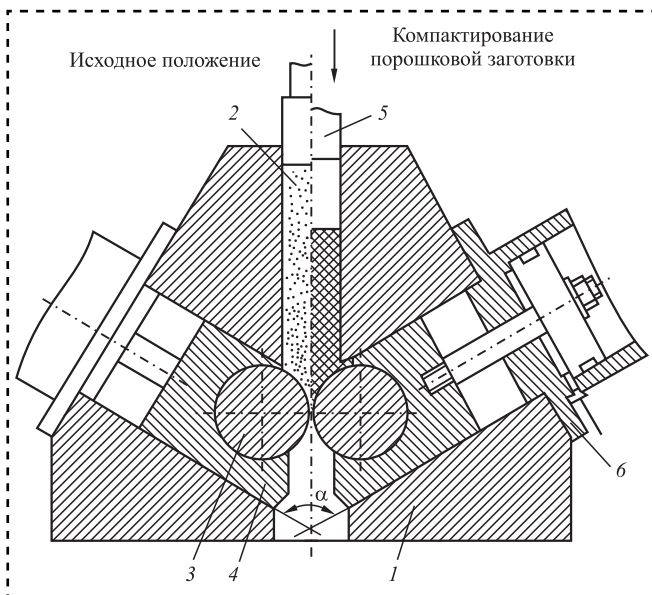


Рис. 7. Схема устройства для изготовления периодических профилей [8]:

1 — корпус; 2 — камера прессования; 3 — валки; 4 — подвижные опоры; 5 — пуансон; 6 — гидроцилиндр

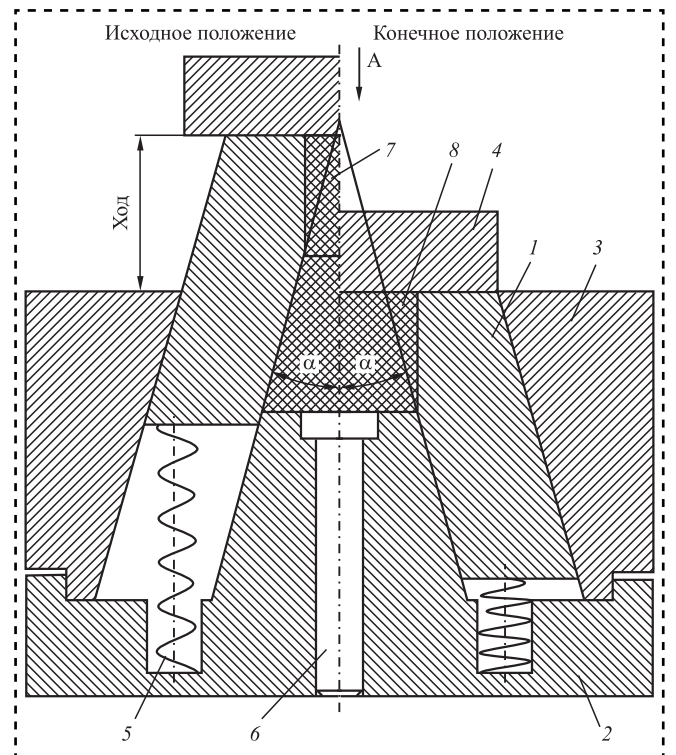


Рис. 8. Схема объемного всестороннего обжатия с раздацией:

1 — матрица; 2 — опора; 3 — боковина; 4 — верхний пуансон; 5 — упругий элемент; 6 — выталкиватель; 7 — заготовка, 8 — брикет; α — угол наклона действия тангенциальных сил

го обжатия [7], реализующая процессы не-монотонного деформирования, построенные на совмещении или чередовании различных схем деформации (сжатие—растяжение, осад-

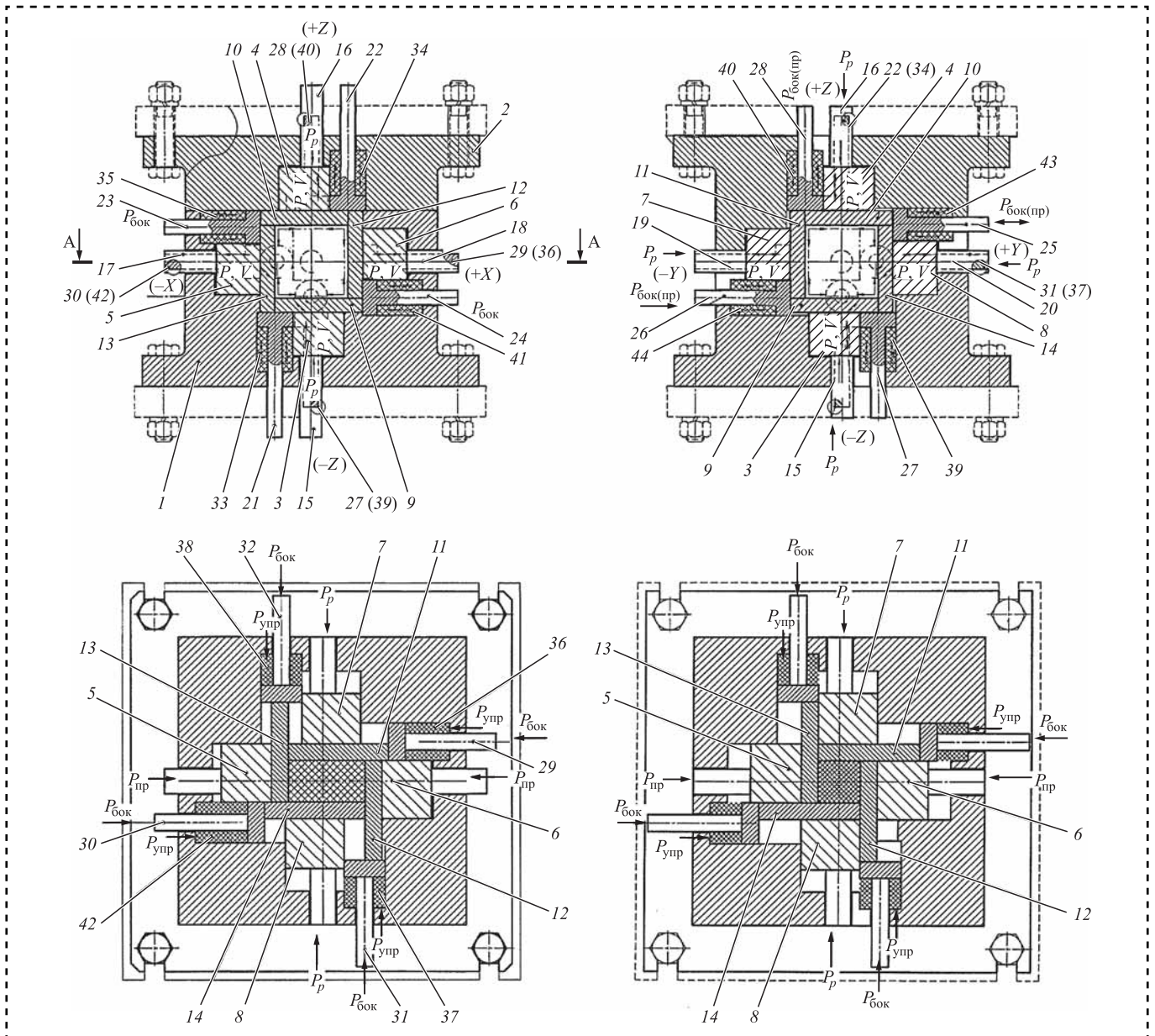


Рис. 9. Способ объемного всестороннего обжатия с раздачей:

1 — основание нижнее; 2 — основание верхнее; 3—4, 5—6, 7—8 — парные пуансоны; 9—10, 11—12, 13—14 — парные стенки матрицы; 15—16, 17—18, 19—20, 21—22, 23—24, 25—26 — гидроцилиндры; 27—28, 29—30, 31—32 — устройства, создающие силы противодействия $P_{пр}$ и бокового давления $P_{бок}$; 33—34, 35—36, 37—38, 39—40, 41—42, 43—44 — упругие элементы

ка, скручивание заготовки в вертикальном направлении и раздача ее в горизонтальном направлении).

На рис. 10 представлена пресс-форма для получения изделий радиальным выдавливанием [10]. Прессование детали проводят в несколько этапов. На первом этапе очаг деформации локализуется у входа во втулку 5 области EFG. Ниже линии EG образуется жесткая зона. На толкатели 7, 8 действует сила:

$$P_6 = \frac{\nu}{1 - \nu} \frac{F_6}{F_{II}} P_d,$$

где ν — коэффициент Пуассона;

F_6, F_{II} — площади боковых каналов соответственно;

P_d — деформирующая сила.

Со стороны толкателей 7 и 8 на материал действует противодействие, при этом $P_{пр} = P_6$.

Заключение

Разработана технология обработки давлением пористых материалов простым сдвигом в условии немонотонной деформации, характеризующаяся тем, что в процессе деформации меняется как схема напряженно-деформированного состояния материала, так и направление приращений главных деформаций.

Показано влияние накопленной деформации сдвига на структурирование объема пористых материалов, повышения их пластических и прочностных свойств. Разработаны конструкции пресс-форм, реализующие многоэтапную пластическую деформацию пористых материалов простым сдвигом.

Библиографический список

1. **Немонотонное** деформирование порошковых материалов / С.М. Вайцехович, В.М. Михалевич и др. // Сб. к 75-летию ФГУП "НПО "Техномаш" "Прогрессивные разработки ученых — новым изделиям ракетно-космической техники". М.: Технология машиностроения. 2013. С. 166—172.

2. **Mikhalevich V.M.** The model of ultimate strains during hot deformation // Izvestia Akademii nauk SSSR. Metall. 1991. No. 5. P. 89—95.

3. **Вайцехович С.М.** Пресс-инструмент для получения заготовок радиальным выдавливанием // Порошковая металлургия. 1995. № 1/2. С. 110—118.

4. **Пат. 1675053 РФ.** МПК В21J 5/00. Пресс-форма для прессования с раздачей заготовок из порошков / С.М. Вайцехович, В.М. Михалевич, С.А. Стебунов; опубл. 07.09.1991. Бюл. № 33.

5. **Пат. 1475772 РФ.** МПК В22F 3/02. Способ прессования изделий из порошкообразного материала / С.М. Вайцехович, А.А. Мишулин, В.М. Михалевич; опубл. 30.04.1989. Бюл. № 16.

6. **Пат. 1694341 РФ.** МПК В22F 3/02. Пресс-форма для прессования изделий из порошков / С.М. Вайцехович, В.М. Михалевич, А.Е. Кужель; опубл. 30.11.1991. Бюл. № 44.

7. **Пат. 2572268 РФ.** МПК В22F 3/02. Способ объемного прессования брикетов из порошкообразного материала и устройство для осуществления способа / С.М. Вайцехович, В.М. Михалевич, А.Е. Кужель и др.; опубл. 10.01.2016. Бюл. № 1.

8. **Пат. 1435399 РФ.** МПК В22F 3/20. Устройство для изготовления периодических профилей / С.М. Вайцехович, В.М. Михалевич, А.Е. Кужель и др.; опубл. 07.11.1988. Бюл. 41.

9. **Пат. 160347 РФ.** МПК⁷ В21 J5/00, В23 D15/40, В26 F1/00. Пресс-форма для прессования брикетов из порошкообразного материала / С.М. Вайцехович, В.М. Михалевич, А.Е. Кужель и др.; опубл. 03.2016. Бюл. № 8.

10. **Пат. 1447508 РФ.** МПК В21J 5/00. Способ получения изделий радиальным выдавливанием / С.М. Вайцехович, А.А. Мишулин, Э.Б. Ашрафьян и др.; опубл. 30.12.1988. Бюл. № 48.



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

И.Е. Миронов, Н.Н. Чудаев, С.В. Голубев (ОКБМ Африкантов, г. Нижний Новгород)
E-mail: golubevsv@okbm.nnov.ru

Особенности изготовления клиновой арматуры для реакторной установки РИТМ-200

Описан опыт изготовления арматуры с клиновым затвором, входящей в состав реакторной установки РИТМ-200 ледоколов нового поколения.

The article describes the experience of manufacturing valves with a wedge gate, which is part of the RITM-200 reactor installation of new icebreakers.

Ключевые слова: клиновая задвижка, реакторная установка РИТМ-200, притирка уплотнительных поверхностей.

Keywords: wedge-gate valve, RITM-200 reactor plant, lapping of sealing surfaces.

АО "ОКБМ Африкантов" освоило серийное изготовление оборудования для реакторной установки (РУ) нового поколения РИТМ-200 новых двухосадочных ледоколов ЛК-60Я.

При изготовлении оборудования, составляющего РУ ледокола, применяют ряд новых технологических решений, связанных с механической обработкой и сборкой.

Одно из наиболее ответственных изделий оборудования РУ РИТМ-200 — задвижка DN 150, которая предназначена для использования в качестве запорного устройства в системах РУ (рис. 1).

Тип задвижки — клиновая, двухдисковая с пневмоприводом двустороннего действия и возможностью управления от ручного дублера. Управляющая среда пневмопривода — воздух. Установочное положение задвижки на трубопроводе объекта — вертикальное, пневмоприводом вверх. Присоединение задвижки к трубопроводам выполняется сваркой.

Задвижка состоит из корпуса, затвора, сальника, пневмопривода с ручным дублером, узла сигнализации крайних положений затвора.

Корпус задвижки изготавливают из коррозионно-стойкой стали, в него вваривают патрубки с двумя седлами, образующими гнездо

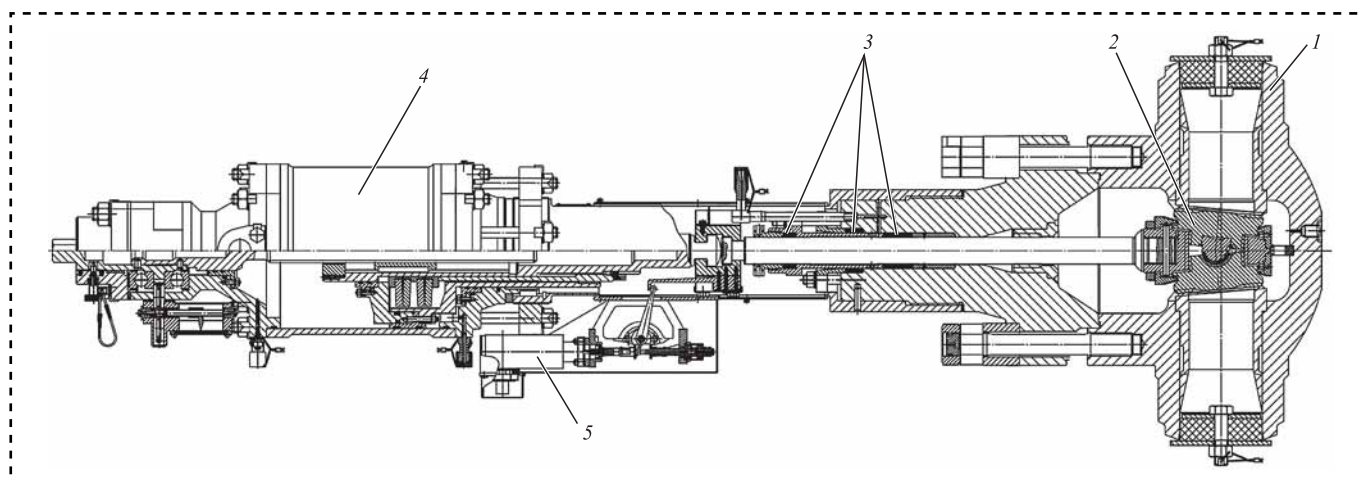


Рис. 1. Задвижка клиновая DN 150:

1 — корпус; 2 — затвор; 3 — сальники; 4 — пневмопривод с ручным дублером; 5 — узел сигнализации крайних положений затвора



затвора. Затвор имеет форму клина и состоит из крестовины, грибка, двух дисков с уплотнительными поверхностями. Затвор крепится на штоке, предназначенном для перемещения затвора и передачи необходимых сил уплотнения.

Сальник для герметизации зазора по штоку состоит из основного и вспомогательных сальников в виде колец из материала типа "Графлекс".

Пневмопривод предназначен для дистанционного управления задвижкой и обеспечивает циклы "открытие—закрытие" затвора от управляющей среды. В случае отсутствия воздуха в системе пневмопривода для управления задвижкой предусмотрен ручной дублер.

Узел сигнализации крайних положений затвора определяет крайние положения затвора задвижки и выдает сигнал в систему управления.

Основные этапы работы задвижки — циклы "открытие—закрытие" клинового затвора от управляющей среды через пневмопривод.

Закрытие задвижки:

— сжатый воздух из воздушной системы поступает через верхний штуцер в полость над поршнем пневмопривода и поршень начинает двигаться вниз — в направлении закрытия затвора;

— сила, развиваемая поршнем, передается через ряд втулок, пакет тарельчатых пружин, шток поршня на шток затвора;

— после остановки клина затвора в нижнем положении поршень пневмопривода продолжает движение, сжимая тарельчатые пружины до создания силы, необходимой для закрытия затвора.

При подходе штока затвора к крайнему нижнему положению через кронштейн, закрепленный на муфте пневмопривода, передается взаимодействие на шток сигнализатора. Сигнализатор выдает сигнал о закрытии задвижки в систему управления.

Открытие задвижки:

— сжатый воздух из воздушной системы поступает через нижний штуцер в полость под поршень пневмопривода;

— поршень начинает двигаться вверх, сжатие тарельчатых пружин уменьшается до величины, установленной при сборке;

— при дальнейшем движении поршня сила передается через ряд втулок, пакет тарельчатых пружин на шток затвора;

— созданная сила приводит к срыву клина затвора с уплотнительных поверхностей седел корпуса и задвижка открывается;

— при подходе к крайнему верхнему положению шток затвора упирается сферической поверхностью в корпусную расточку в коробке сальника и стопорится;

— поршень пневмопривода продолжает движение до упора в верхнюю крышку.

Работа сигнализатора происходит так же, как и при закрытии задвижки.

Оборудованию РУ РИТМ присвоен высокий класс безопасности, поэтому к нему предъявляются повышенные требования по качеству изготовления деталей и узлов задвижки, а также предусмотрены испытания, позволяющие гарантировать непроникновение среды из внутренних полостей задвижки в окружающую среду.

Для материалов ответственных деталей задвижки предусмотрен контроль механических свойств материала и 100%-ный контроль ультразвуковой дефектоскопией, а для сварных соединений узлов и основной сборки — радиографический и капиллярный контроль.

Для сборочных узлов и основной сборки задвижки проводят прочностные испытания и испытания на герметичность (опрессовочные испытания дистиллированной водой, пневматические испытания и вакуумирование изделия).

Для заготовок, деталей, сборочных узлов и основной сборки во время всего технологического цикла изготовления изделия установлен 100%-ный контроль качества.

Все комплектующие задвижку детали и узлы изготавливают на высокопроизводительном оборудовании, обеспечивающем высокую точность обработки. Оборудование, задействованное в изготовлении, периодически проходит проверки на геометрическую точность.

Один из самых ответственных элементов, влияющих на надежную работоспособность задвижки, — уплотнительные поверхности дисков клинового затвора и седел, вваренных в корпус задвижки.

Уплотнительные поверхности данных узлов наплавляют стеллитом ВЗК, после чего выполняют технологический цикл термообработки наплавленной поверхности, предварительную механическую обработку, контроль уплотнительной поверхности методом капиллярной дефектоскопии и окончательную доводку методом притирки. Параметры уплотнительных поверхностей под притирку должны соответствовать следующим требованиям: отклонение от плоскостности не более 20...30 мкм, параметр шероховатости — $Ra\ 0,8$. Припуск под притирку задается в диапазоне 0,02...0,03 мм. Параметры уплотнительных поверхностей после притирки должны иметь отклонение от плоскостности не более 1 мкм, параметр шероховатости — $Ra\ 0,125$.

Процесс ручной притирки при окончательной обработке уплотнительных поверхностей довольно трудоемкий, точность и качество обработки зависят от квалификации рабочего. Для замены ручного труда и улучшения качества обработки используют механизированную притирку на станках СП-4-2 и СПШ-1. Станок СП-4-2 для притирки плоских уплотнительных поверхностей используют для притирки дисков клинового затвора (рис. 2).

Станок СПШ-1 для притирки уплотнительных поверхностей, выполненных под углом к горизонтальной оси, применяют для притирки седел внутри корпуса задвижки (рис. 3).

После проведения опытных работ по механической притирке уплотнительных поверхностей задвижки выполнили технико-экономический расчет, который показал, что за счет увеличения производительности труда трудоемкость притирки механическим способом снизилась в 5 раз

по сравнению с ручным. Механический способ притирки полностью обеспечивает достижение параметров уплотнительных поверхностей, необходимых для надежной работы задвижки.

Контроль качества выполнения притертых поверхностей осуществляют с использованием: шероховатость — профилометрами различных конструкций;

плоскостность — интерференционным методом с помощью специальной плоской стеклянной пластины.

Для штока пневмопривода, работающего в условиях приложения предельных нагрузок и, соответственно, требующего высокой прочности рабочих поверхностей, провели конструкторско-технологические работы по замене покрытия.

Для рабочих поверхностей штока обычно применяют хромовое покрытие в тетрахроматном электролите. В результате проведенных работ было разработано новое PVD-покрытие

$\text{CrAlSi} + \text{nc-AlCrN/a-Si}_3\text{N}_4$, которое по своим прочностным характеристикам превышает наносившееся ранее, причем не требует механической обработки после нанесения, так как сохраняет обозначенные в конструкторской документации параметры шероховатости и отклонения формы поверхностей, а также обеспечивает размеры чертежа путем небольшого технологического занижения чертежных допусков рабочей поверхности штока.

Согласно технико-экономическому расчету, нанесение PVD-покрытия сокращает трудоемкость технологического цикла изготовления штоков на 25...30 % за счет исключения этапов механической обработки по доведению рабочих поверхностей изделия после нанесения покрытия.

Для проверки качества притирки уплотнительных поверхностей дисков относительно поверхностей седел корпуса задвижки применили уникальную схему испытаний (рис. 4). Без уста-

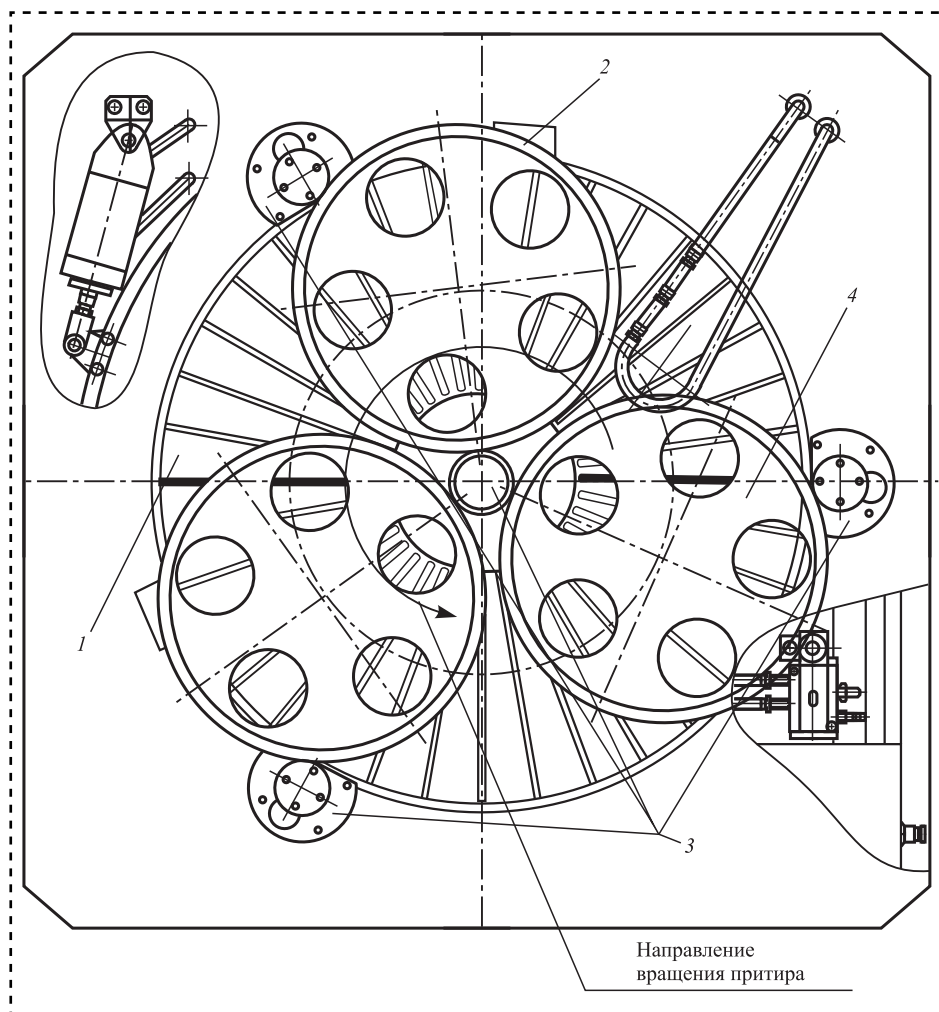


Рис. 2. Общий вид притирочного станка СП-4-2:

1 — рабочий стол (притир); 2 — обойма; 3 — ролики; 4 — кассета с дисками

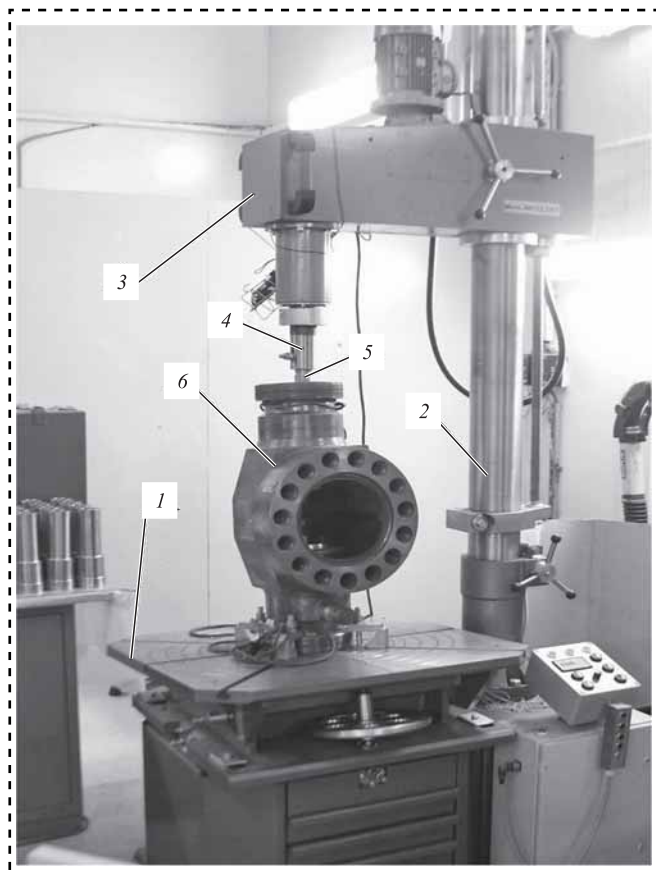


Рис. 3. Притирочный станок СПШ-1:

1 — стол; 2 — поворотная колонна; 3 — каретка; 4 — шпиндель; 5 — адаптер с притиром; 6 — обрабатываемая деталь (корпус с седлами)

новки затвора в сборе и пневмопривода выполнили контроль герметичности уплотнительных поверхностей дисков затвора и седел корпуса. Данные испытания всего лишь предварительные в цикле дальнейших испытаний задвижки, но позволяют существенно сократить трудоемкость сборочных работ.

Испытания герметичности уплотнительных поверхностей дисков затвора и седел корпуса выполнили в следующей последовательности.

Корпус задвижки установили в кантователе одним из боковых патрубков, в которых сварены седла, вверх. На одно из седел в свободном состоянии установили один из дисков затвора уплотнительными поверхностями друг к другу.

Все отверстия корпуса задвижки закрыли опрессовочными заглушками. Через штуцер в заглушке залили дистиллированную воду и, после полного заполнения корпуса, через указанный патрубок подали давление, соответствующее силе закрытия задвижки. Через штуцер в нижнем патрубке присоединили приспособление для контроля протечек воздуха. По количеству допустимых протечек, фиксируемых приспособлением, оценили качество герметичности уплотнительных поверхностей. Затем корпус повернули в кантователе нижним патрубком вверх, и испытания для второго диска и седла повторили аналогично верхнему патрубку.

После окончательного изготовления задвижка проходила следующий цикл испытаний:

- на прочность, плотность и герметичность;
- на работоспособность задвижки от пневмопривода и от ручного дублера;
- на герметичность основного и вспомогательных сальников;
- на герметичность задвижки относительно внешней среды;
- на работоспособность на стенде горячих испытаний при повышенной температуре.

АО "ОКБМ Африкантов" уделяет большое внимание качеству изготавливаемой продукции. Изделия обладают высокой степенью надежности. Предприятие способно изготавливать арматуру любой сложности для реакторных установок.

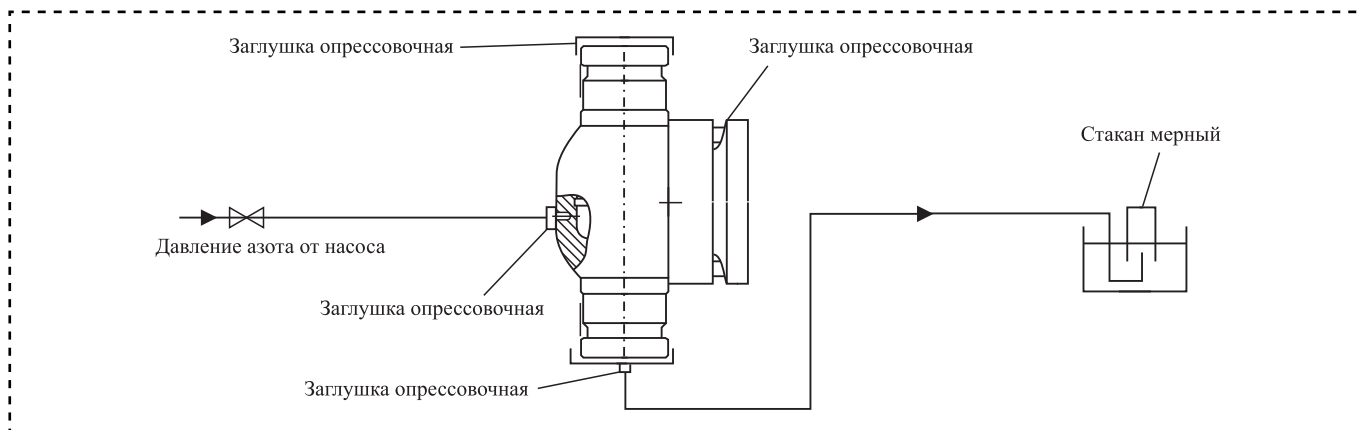


Рис. 4. Схема испытаний на герметичность при установленных без нагрузки дисках

ТРЕНИЕ И СМАЗКА В МАШИНАХ И МЕХАНИЗМАХ

УДК 539.3:621.891:678.5

DOI: 10.36652/0202-3350-2020-21-5-223-229

В.В. Бардушкин, д-р физ.-мат. наук

(Национальный исследовательский университет "МИЭТ", Москва),

А.П. Сычев, канд. физ.-мат. наук

(Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук, г. Ростов-на-Дону),

А.А. Сычев, канд. техн. наук

(Ростовский государственный университет путей сообщения)

E-mail: alekc_sap@mail.ru

Концентрация напряжений во фрикционных полимерных композитах, армированных ориентированными волокнами*

Рассмотрены многокомпонентные фрикционные полимерные композиты на основе эпоксифенольного связующего, армированные волокнами бесщелочного стекла и дисперсными включениями каучука, глинозема, графита и барита. Стекловолоконные волокна ориентированы вдоль осей X и Y прямоугольной системы координат и имеют в этих направлениях одинаковые величины объемных содержаний, что соответствует армированию материала тканью. Проведены расчеты значений компонент оператора концентрации напряжений (тензор четвертого ранга, связывающий локальные значения напряжений в произвольной точке неоднородной среды с приложенными к композиту внешними напряжениями) рассматриваемых фрикционных полимерных композитов, учитывающие изменения объемных содержаний их наполнителей.

Multicomponent frictional polymer composites based on an epoxyphenol binder reinforced with E-glass fibers and dispersed inclusions of rubber, alumina, graphite, and barite are considered. It is believed that glass fibers are oriented along the X and Y axes of a rectangular coordinate system and have the same volume contents in these directions, which corresponds to the reinforcement of the material with fabric. Numerical calculations of the values of the components of the stress concentration operator (a fourth-rank tensor connecting the local stress values at an arbitrary point in an inhomogeneous medium with external stresses applied to the composite) were carried out for the considered frictional polymer composites, taking into account changes in the volume contents of their fillers.

Ключевые слова: моделирование, фрикционный полимерный композит, включение, волокно, матрица, оператор концентрации напряжений.

Keywords: simulation, frictional polymeric composite, inclusion, fiber, matrix, stress concentration operator.

Введение

В узлах трения на железнодорожном, автомобильном и авиационном транспорте, особенно в элементах тормозных систем, широко используются фрикционные полимерные композиты (ФПК), разработка которых с улучшенными эксплуатационными характеристиками обусловлена развитием и совершенствованием безвредных для природы и здоровья человека безопасных технологий (таблица) [1, 2]. Это

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 19-08-00111-а.

Упругие характеристики
изотропных компонентов ФПК [10–14]

Тип компонента	Материал компонента	Модуль Юнга E , ГПа	Коэффициент Пуассона ν
1	Каучук	0,008	0,47
2	БЩС	76,200	0,36
3	Глинозем	140,000	0,32
	Барит	59,000	0,28
4	ЭФС	3,700	0,42

ставит перед исследователями ряд важных задач: подбор и оптимизация состава, структуры и концентрации наполнителей ФПК в целях обеспечения стабильности физико-механических и трибологических свойств тормозных систем при длительных сроках их эксплуатации, независимости характеристик разрабатываемых материалов от погодных условий и достижения малошумности процесса торможения [1–4].

Экспериментальные методы оптимизации состава, структуры и концентрации наполнителей ФПК трудоемкие и дорогостоящие из-за необходимости варьирования множества физико-механических параметров разрабатываемых неоднородных материалов. Кроме того, они не гарантируют оптимальности получаемого решения. Поэтому задача разработки теоретических методов прогнозирования физико-механических характеристик ФПК является актуальной. При этом важна проблема разработки методов моделирования и расчета не только эксплуатационных (эффективных) физико-механических (в частности, упругих) свойств ФПК, но и их локальных (внутренних) характеристик [5–7]. Одна из таких локальных упругих характеристик — оператор концентрации напряжений (тензор четвертого ранга) [6, 7]. Моделирование значений этого оператора позволяет прогнозировать, как приложенные к ФПК внешние напряжения перераспределяются между компонентами рассматриваемых структурно-неоднородных материалов, и выполнять расчеты их предельных прочностных показателей [6–8].

Цель работы — построение модели и проведение численных расчетов локальных упругих характеристик (компонент оператора концентрации напряжений) ФПК, армированных ориентированными вдоль осей X и Y прямоугольной системы координат волокнами и дисперсными функционализирующими добавками, с учетом изменения объемных содержаний наполнителей трибокомпозиции.

Постановка задачи и построение модели

В основе решения задачи моделирования локальных (внутренних) упругих характеристик полимерных композитов с дисперсными добавками фрикционного назначения и ориентированными волокнами лежат численные

расчеты и анализ значений компонент $K_{ijkl}^\sigma(\mathbf{r})$ тензора (оператора) концентрации напряжений $K^\sigma(\mathbf{r})$ (здесь и далее по тексту \mathbf{r} — радиус-вектор случайной точки неоднородной среды) [6, 7]. Тензор четвертого ранга $K^\sigma(\mathbf{r})$ связывает локальные $\sigma_{ij}(\mathbf{r})$ и средние $\langle \sigma_{kl}(\mathbf{r}) \rangle$ значения напряжений в неоднородном материале (угловые скобки здесь и далее определяют процедуру усреднения по объему [9]):

$$\sigma_{ij}(\mathbf{r}) = K_{ijkl}^\sigma(\mathbf{r}) \langle \sigma_{kl}(\mathbf{r}) \rangle, \quad i, j, k, l = 1, 2, 3.$$

Для многокомпонентных композитов операция усреднения по всему объему материала для некоторой случайной величины $b(\mathbf{r})$ сводится к суммированию

$$\langle b(\mathbf{r}) \rangle = \sum_s V_s \langle b_s(\mathbf{r}) \rangle, \quad (1)$$

где V_s — объемная концентрация компонента s -го типа;

$b_s(\mathbf{r})$ — соответствующая указанному компоненту случайная величина;

$$\sum_s V_s = 1.$$

Для приближений, учитывающих взаимодействие включений, оператор $K^\sigma(\mathbf{r})$ можно получить, решая уравнение равновесия (систему дифференциальных уравнений второго порядка со случайными кусочно-однородными коэффициентами) [6, 9]. Используя метод функций Грина, с помощью обобщенного сингулярного приближения теории случайных полей [9] и специально вводимого однородного тела сравнения, выражение для оператора $K^\sigma(\mathbf{r})$ имеет вид (индексы опущены) [6, 7]:

$$K^\sigma(\mathbf{r}) = c(\mathbf{r})(I - g(\mathbf{r})c''(\mathbf{r}))^{-1} \times \langle c(\mathbf{r})(I - g(\mathbf{r})c''(\mathbf{r}))^{-1} \rangle^{-1}, \quad (2)$$

где $c(\mathbf{r})$ — тензор модулей упругости; $c''(\mathbf{r}) = c(\mathbf{r}) - c^c$ — двойным штрихом обозначена разность между величинами неоднородной среды и однородного тела сравнения, характеристики которого обозначаются верхним индексом "с":

I — единичный тензор;

$g(\mathbf{r})$ — интеграл от сингулярной составляющей второй производной тензора Грина уравнений равновесия.



Компоненты g_{ijkl} тензора $g(\mathbf{r})$ вычисляются следующим образом [9]:

$$g_{ijkl} = a_{ijkl}, \quad (3)$$

где $a_{ijkl} = -\frac{1}{4\pi} \int n_k n_j t_{il}^{-1} d\Omega$;

$d\Omega = \sin \theta d\theta d\varphi$ — элемент телесного угла в сферической системе координат;

t_{il}^{-1} — элементы матрицы, обратной матрице T с элементами $t_{il} = c_{iklj}^c n_k n_j$;

n_k и n_j — компоненты вектора внешней нормали к поверхности включения, $k, j = 1, 2, 3$.

Для эллипсоидальных включений с главными полуосями l_1, l_2 и l_3 компоненты вектора нормали определяются соотношениями:

$$n_1 = \frac{1}{l_1} \sin \theta \cos \varphi; \quad n_2 = \frac{1}{l_2} \sin \theta \sin \varphi;$$

$$n_3 = \frac{1}{l_3} \cos \theta.$$

По парам индексов i и j, k и l , заключенным в выражении (3) для компонент g_{ijkl} тензора $g(\mathbf{r})$ в круглые скобки, осуществляется операция симметризации [9].

При моделировании эффективных упругих характеристик ФПК рассматриваемой структуры исследовали композиты с включениями нескольких типов. К первому типу относились равномерно распределенные в пространстве ФПК дисперсные включения каучука. Ко второму типу — волокна бесщелочного стекла (БЩС), ориентированные вдоль осей X и Y прямоугольной системы координат и имеющие в этих направлениях одинаковые величины объемных содержаний, что соответствует армированию композита тканью. К третьему типу — равномерно распределенные в пространстве композита дисперсные включения минерального порошка, состоящего из поликристаллов глинозема (Al_2O_3), графита и барита ($BaSO_4$), взятых в отношении 1: 1: 1 (по объему). В качестве компонента четвертого типа выбрано эпоксифенольное связующее (ЭФС) на основе эпоксидной диановой смолы, отверждаемой малофенольной фенолформальдегидной смолой новолачного типа (с массовой долей фенола менее 0,5 %) в отношении 60 : 40 массовых частей (ЗАО "ЭНПЦ Эпитал", Москва).

Выбор состава компонентов ФПК, их формы, ориентации в пространстве материала и объемного содержания осуществляли исходя из проведенного патентного анализа и рекомендаций, полученных при разработке концепции создания матричных ФПК с наномодифицированными добавками (проект РФФИ № 19-08-00111-а). Рассматриваемые ФПК предназначены для использования в тормозных колодках на железнодорожном и автомобильном транспорте, в подъемных кранах, муфтах сцепления, а также в качестве демпфирующих и вибропоглощающих материалов [5]. Все компоненты модельных ФПК, кроме графита, полагали изотропными.

Для модельных расчетов при операциях над тензорами использовали их матричные формы записи. Для изотропного материала ненулевые элементы c_{ij} ($i, j = 1, 2, \dots, 6$) симметрической матрицы c тензора модулей упругости выражали через модуль Юнга E и коэффициент Пуассона ν следующим образом [9]:

$$c_{11} = c_{22} = c_{33} = \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)};$$

$$c_{44} = c_{55} = c_{66} = \frac{E}{2(1+\nu)};$$

$$c_{12} = c_{13} = c_{23} = \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)}.$$

Поскольку графит — анизотропный материал с гексагональной кристаллической структурой, в работе использовали следующие значения для ненулевых элементов матрицы c тензора модулей упругости его монокристаллов, ГПа [15]:

$$c_{11} = c_{22} = 1109,0; \quad c_{12} = c_{21} = 139,0;$$

$$c_{33} = 38,7; \quad c_{44} = c_{55} = 5,0;$$

$$c_{66} = 0,5(c_{11} - c_{12}) = 485,0.$$

Для модельных расчетов локальных упругих свойств ФПК использовали эффективные характеристики поликристаллического графита, полученные методом самосогласования [16]. Эти характеристики определены с помощью усреднения по всевозможным ориентациям кристаллографических осей кристаллитов графита (с изотропной функцией распределения), сводящегося к интегрированию по

всевозможным углам Эйлера [6, 9, 16]. В итерационной процедуре в качестве параметров c^c тела сравнения брали значения тензора модулей упругости поликристаллического графита (в матричной форме записи), полученные на предыдущем шаге итерации. В качестве начальных значений параметров тела сравнения выбирали упругие характеристики поликристаллического графита, полученные в приближении Фойгта [6, 9, 16]. Выход из итерационной процедуры осуществляли, когда максимальная разница между модулями c^c составляла менее 0,01 ГПа.

При проведении численных расчетов значений локальных упругих характеристик модельных ФПК полагали, что дисперсные включения каучука, глинозема, графита и барита имеют вид сфер одинакового радиуса $R = 1$, а волокна БЩС представляют собой равные друг другу сильно вытянутые вдоль осей X и Y эллипсоиды вращения с полуосями l_1 , l_2 и l_3 . Считали, что модельные композиты имеют объемные содержания компонентов V_1 , V_2 , V_3 и V_4 , где индекс "1" относится к каучуку, индекс "2" — к волокнам БЩС, "3" — к минеральному порошку, а "4" — к ЭФС [5].

В предположении, что компоненты композита изотропны, соотношение (2) для оператора концентрации напряжений в компоненте ФПК s -го типа, с учетом формулы (1), имеет следующий вид [6, 7]:

$$K_s^\sigma = c_s \left(I - g_s(c_s - c^c) \right)^{-1} \times \left(\sum_i V_i c_i \left(I - g_i(c_i - c^c) \right)^{-1} \right)^{-1}, \quad (4)$$

где c_s и c^c — тензоры модулей упругости s -го компонента композита и однородного тела сравнения соответственно;

g_s — тензор $g(\mathbf{r})$ s -го компонента композита, вычисляемый по соотношению (3);

g_1 и g_3 — соответствуют сферическим включениям каучука, глинозема, графита и барита ($l_1 = l_2 = l_3 = 1$);

g_2 — волокнам БЩС, при этом $g_2 = g_{2y}$ — для эллипсоидов, вытянутых вдоль оси Y ($l_2 \rightarrow \infty$, $l_1 = l_3 = 1$);

$g_4 = g_{2y}$ — для эллипсоидов, вытянутых вдоль оси Y ($l_2 \rightarrow \infty$, $l_1 = l_3 = 1$);

$g_4 = \text{ЭФС}$ ($l_1 = l_2 = l_3 = 1$).

При вычислении упругих характеристик c^c однородного тела сравнения ФПК использовали метод самосогласования [6, 9, 16]. Для этого организована итерационная процедура, в которой в качестве параметров c^c брали значения тензора модулей упругости ФПК (в матричной форме записи), полученные на предыдущем шаге итерации. В качестве начальных значений параметров тела сравнения выбирали упругие характеристики, полученные в приближении Хилла, т.е. среднего арифметического значений ФПК, полученных в приближениях Фойгта и Ройсса [6, 9, 16]. Выход из итерационной процедуры осуществляли, когда максимальная разница между модулями c^c составляла менее 0,01 ГПа.

На рис. 1—3 приведены результаты численных расчетов значений локальных упругих характеристик — компонент 1111, 1212, 1313 и 3333 тензора концентрации напряжений $K^\sigma(\mathbf{r})$ — в зависимости от вариаций объемных содержаний наполнителей модель-

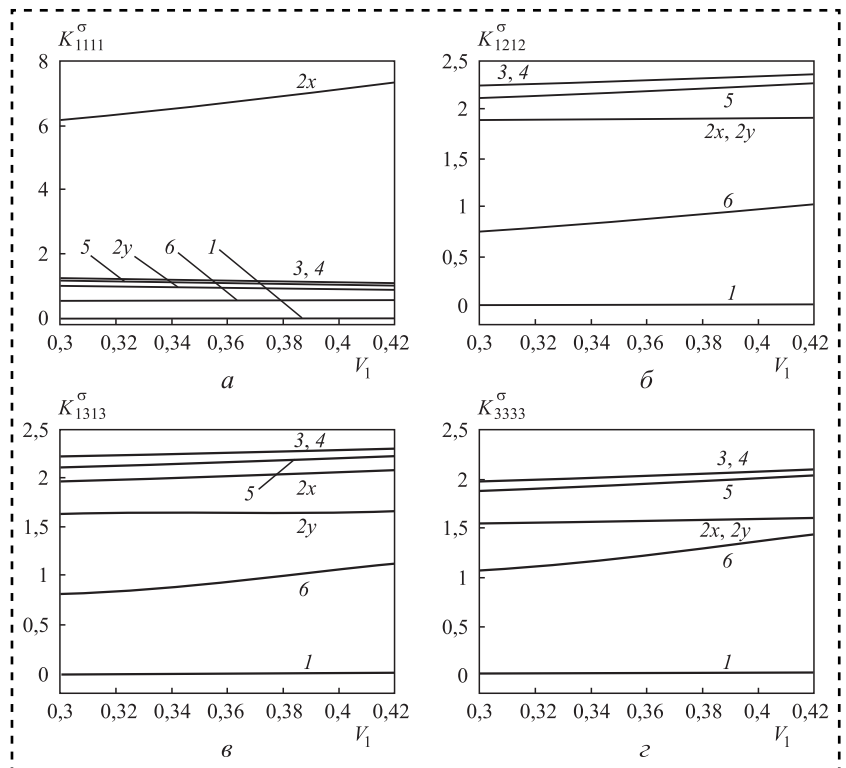


Рис. 1. Изменение значений компонент 1111, 1212, 1313 и 3333 тензора $K^\sigma(\mathbf{r})$ при увеличении объемного содержания V_1 включений каучука: $V_2 = 0,16$, $V_3 = 0,02$

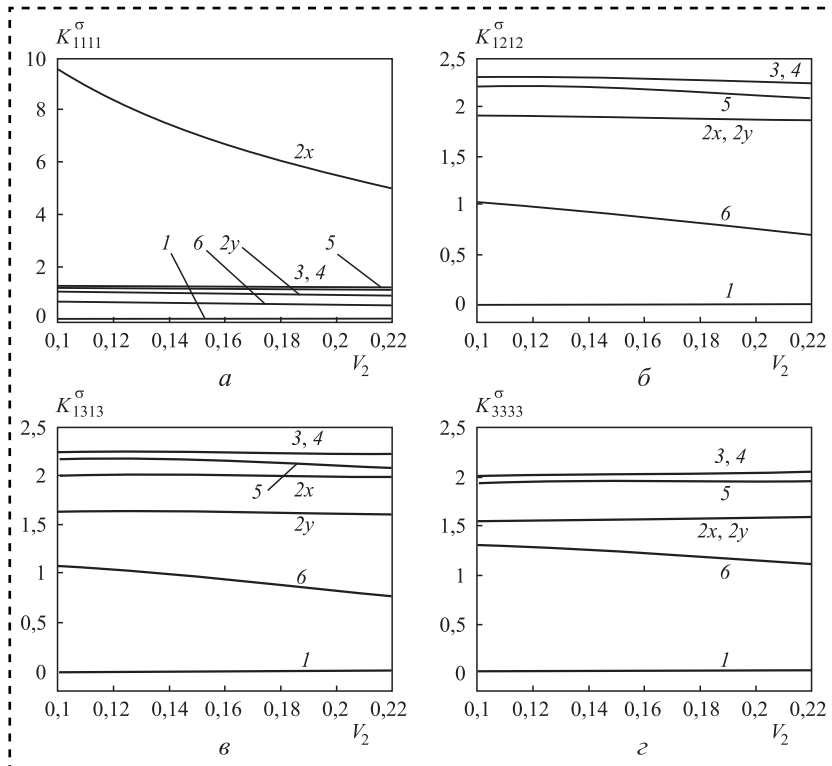


Рис. 2. Изменение значений компонент 1111, 1212, 1313 и 3333 тензора $K^\sigma(\mathbf{r})$ при увеличении объемного содержания V_2 волокон БШС: $V_1 = 0,36$, $V_3 = 0,02$

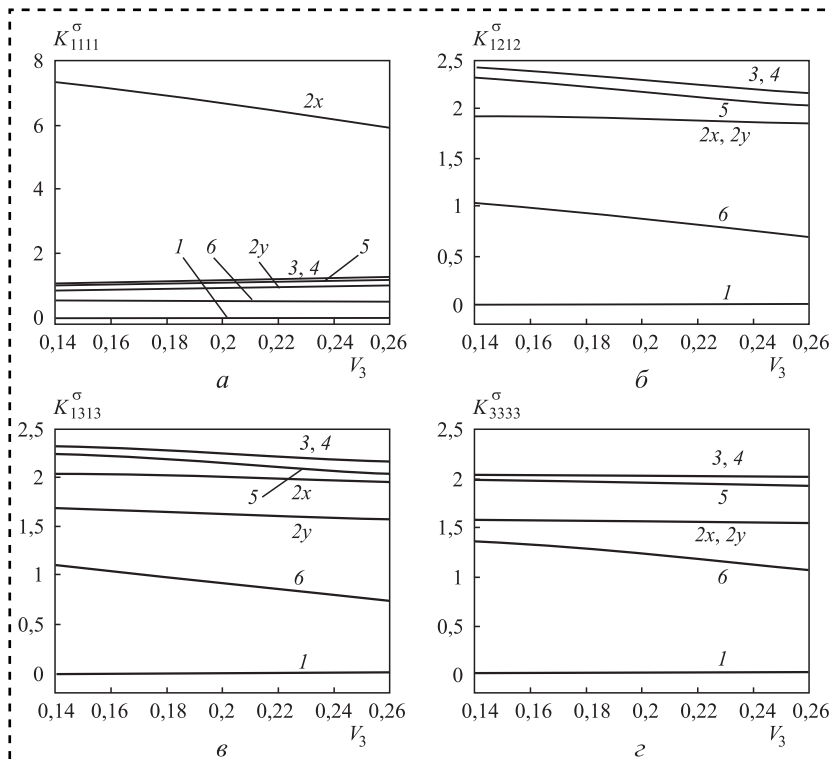


Рис. 3. Изменение значений компонент 1111, 1212, 1313 и 3333 тензора $K^\sigma(\mathbf{r})$ при увеличении объемного содержания V_3 включений минерального порошка: $V_1 = 0,36$, $V_2 = 0,16$

ных ФПК. Анализ зависимостей только этих компонент $K^\sigma(\mathbf{r})$ обусловлен тем, что в ФПК рассматриваемой структуры именно они играют наибольшую роль при сжатии и сдвиге. Номера кривых на графиках рис. 1—3 соответствуют значениям K_{1111}^σ , K_{1212}^σ , K_{1313}^σ и K_{3333}^σ в отдельно взятом элементе неоднородности ФПК, а именно: 1 — каучук; 2x, 2y — БШС (для волокон, ориентированных соответственно вдоль осей X и Y); 3 — глинозем; 4 — графит; 5 — барит; 6 — ЭФС.

Графики, представленные на рис. 1, а; 2, а; 3, а, описывают зависимости значений компонент 1111 тензора $K^\sigma(\mathbf{r})$ при изменении объемных содержаний наполнителей ФПК. Они дают представление о влиянии компоненты 11 приложенного внешнего сжимающего воздействия (в направлении оси X) на величину внутреннего "отклика" в том же направлении в каждом отдельном элементе неоднородности ФПК. В силу структуры рассматриваемых ФПК зависимости значений компонент 2222 тензора $K^\sigma(\mathbf{r})$ (влияние компоненты 22 приложенного внешнего сжимающего воздействия (в направлении оси Y) на величину внутреннего "отклика" в том же направлении) имеют аналогичный вид, только на графиках K_{2222}^σ "переставляются" местами номера кривых 2x и 2y.

Графики, представленные на рис. 1, б; 2, б; 3, б, описывают зависимости значений компонент 1212 оператора $K^\sigma(\mathbf{r})$ при изменении объемных содержаний наполнителей ФПК. Они дают представление о влиянии компоненты 12 приложенного внешнего сдвигового воздействия (вдоль плоскости, образованной осями X и Y) на величину внутреннего "отклика" в том же направлении в каждом отдельном элементе неоднородности ФПК.

Влияние компоненты 13 приложенного внешнего сдвигового воздействия (вдоль плоскости, образованной осями X и Z) на величину внутреннего "отклика" в том же направлении дают графики, представленные на рис. 1, δ ; 2, δ ; 3, δ . В силу структуры рассматриваемых ФПК зависимости значений компонент 2323 тензора $K^\sigma(\mathbf{r})$ (влияние компоненты 23 приложенного внешнего сдвигового воздействия (вдоль плоскости, образованной осями Y и Z) на величину внутреннего "отклика" в том же направлении) имеют аналогичный вид, только на графиках K_{2323}^σ "представляются" местами номера кривых $2x$ и $2y$.

Графики, представленные на рис. 1, ε ; 2, ε ; 3, ε , описывают зависимости значений компонент 3333 оператора $K^\sigma(\mathbf{r})$ при изменении объемных содержаний наполнителей ФПК. Они дают представление о влиянии компоненты 33 приложенного внешнего сжимающего воздействия (в направлении оси Z) на величину внутреннего "отклика" в том же направлении в каждом отдельном элементе неоднородности ФПК.

Заключение

Проведено численное моделирование локальных упругих характеристик ФПК, армированных ориентированными волокнами.

Изменения рассматриваемых локальных упругих характеристик — компонент тензора $K^\sigma(\mathbf{r})$ — в диапазонах вариаций их объемных содержаний, используемых на практике, происходят по закону, близкому к линейному. Исключение составляют зависимости значений компонент тензора $K^\sigma(\mathbf{r})$ в ЭФС (кривые δ на рис. 1—3), а также компонент K_{1111}^σ в волокнах БЩС, ориентированных вдоль оси X (кривые $2x$ на рис. 1, a ; 2, a ; 3, a).

Значения рассматриваемых компонент тензора $K^\sigma(\mathbf{r})$ в дисперсных включениях глинозема и графита одинаковы: кривые 3, 4 на рис. 1—3 совпадают, а значения этих же компонент $K^\sigma(\mathbf{r})$ в дисперсных включениях барита (кривые 5 на рис. 1—3) незначительно меньше, чем в глиноземе и графите. При этом значения компонент 1212, 1313 и 3333 для включений минерального порошка, как правило, больше двух, т.е. локальные напряжения в них более чем в два раза превышают приложенные к ФПК соответствующие внешние напряжения.

Матрица ЭФС хорошо перераспределяет напряжения в ФПК между включениями других типов (каучук, БЩС, глинозем, графит, барит), так как значения рассматриваемых компонент тензора $K^\sigma(\mathbf{r})$ в связующем близки к единице (кривые δ на рис. 1—3).

Концентрация напряжений во включениях каучука близка к нулю (кривые 1 на рис. 1—3), т.е. приложенная к ФПК механическая нагрузка (одноосное сжатие или сдвиг) перераспределяется между элементами неоднородности других типов (БЩС, глинозем, графит, барит, ЭФС). Это согласуется с априорными представлениями о перераспределении напряжений между наполнителями композитов рассматриваемой структуры.

При одноосном сжатии ФПК вдоль оси X наибольшие напряжения концентрируются в волокнах БЩС, ориентированных вдоль этой же оси (кривые $2x$ на рис. 1, a ; 2, a ; 3, a , для которых $K_{1111}^\sigma > 5$), что также согласуется с имеющимися представлениями о перераспределении напряжений между наполнителями композитов рассматриваемой структуры.

Концентрация напряжений в волокнах БЩС, ориентированных вдоль осей X и Y , одинакова при внешнем сдвиговом воздействии вдоль плоскости, образованной этими осями (компонента K_{1212}^σ), а также при одноосном сжатии вдоль оси Z (компонента K_{3333}^σ). Это обусловлено структурой модельных ФПК — ориентацией волокон и их равным объемным содержанием в направлениях осей X и Y .

Выводы

В работе построена модель и проведены численные расчеты значений локальных упругих характеристик — компонент оператора концентрации напряжений $K^\sigma(\mathbf{r})$ — ФПК, армированных ориентированными волокнами, с учетом изменения объемных содержаний их наполнителей. Это позволяет прогнозировать:

— перераспределение приложенных к трибокомпозиту напряжений между наполнителями ФПК;

— предельные прочностные показатели ФПК (основываясь на разработанном в работе [8] методе прогнозирования пределов прочности матричных композитов).



Библиографический список

1. **Плескачевский Ю.М., Сергиенко В.П.** Фрикционные материалы с полимерной матрицей: перспективы исследований, достигнутый уровень, рынок // Наука и инновации. 2005. № 5. С. 46–53.
2. **Нилов А.С., Кулик В.И., Гаршин А.П.** Анализ фрикционных материалов и технологий изготовления тормозных колодок для высоконагруженных тормозных систем с дисками из керамического композиционного материала // Новые огнеупоры. 2015. № 7. С. 57–68. DOI: 10.17073/1683-4518-2015-7-57-68.
3. **Sergienko V.P., Bukharov S.N.** Noise and vibration in friction systems. Switzerland: Springer, 2015. 251 p.
4. **Мышкин Н.К., Сергиенко В.П., Бухаров С.Н., Мясникова Н.А.** Влияние наноразмерных наполнителей на виброакустические характеристики фрикционных композитов // Вестник РГУПС. 2017. № 1. С. 30–35.
5. **Бардушкин В.В., Сычев А.П., Карташов Д.А.** Моделирование эффективных упругих характеристик и параметров анизотропии фрикционных полимерных композитов, армированных ориентированными волокнами // Полимерные материалы и технологии. 2019. Т. 5. № 3. С. 42–47. DOI: 10.32864/polymmattech-2019-5-3-42-48.
6. **Микромеханика** поликристаллов и композитов (напряженно-деформированное состояние и разрушение) / В.И. Колесников и др. Ростов н/Д.: Изд-во РГУПС, 2012. 288 с.
7. **Колесников В.И., Яковлев В.Б., Бардушкин В.В., Сычев А.П.** О прогнозировании распределений локальных упругих полей в неоднородных средах на основе обобщенного сингулярного приближения // Вестник Южного научного центра РАН. 2015. Т. 11. № 3. С. 11–17.
8. **О методе** прогнозирования предельных прочностных характеристик матричных композитов, основанном на использовании оператора концентрации напряжений / В.И. Колесников и др. // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. 2014. № 1. С. 45–51.
9. **Шермергор Т.Д.** Теория упругости микронеоднородных сред. М.: Наука, 1977. 399 с.
10. **Физические величины:** справочник / под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. М.: Энергоатомиздат, 1991. 1232 с.
11. **Механические** и трибологические свойства наноструктурированных покрытий на основе многокомпонентных оксидов / Е.В. Торская и др. // Трение и износ. 2013. Т. 34. № 2. С. 129–137.
12. **Справочник** (кадастр) физических свойств горных пород / под ред. Н.В. Мельникова, В.В. Ржевского, М.М. Протоद्याконова. М.: Недра, 1975. 279 с.
13. **Гутников С.И., Лазорьяк Б.И., Селезнев А.Н.** Стекланные волокна. М.: Изд-во МГУ, 2010. 53 с.
14. **Лапицкий В.А., Крицук А.А.** Физико-механические свойства эпоксидных полимеров и стеклопластиков. Киев: Наукова думка, 1986. 92 с.
15. **Elasticity** of singlecrystalline graphite: Inelastic X-ray scattering study / A. Bosak et al. // Phys. Rev. B. 2007. Vol. 75. No 15. P. 153408(4). DOI: 10.1103/PhysRevB.75.153408.
16. **Паньков А.А.** Методы самосогласования механики композитов. Пермь: Изд-во ПГТУ, 2008. 253 с.



Н.В. Водолазская, канд. техн. наук (Белгородский ГАУ)
E-mail: vnv26@bk.ru

Технологические особенности анализа сборочного процесса ответственных видов соединений

Проанализированы технологические особенности сборки ответственных видов соединений, к числу которых относятся групповые резьбовые соединения. С учетом требований обеспечения герметизации стыка выполнен расчет сил в крепежных деталях для случая многообходной затяжки. Предложена методика нагружения этих деталей при первом и последующих обходах для различных значений относительной податливости деталей стыка. Приведены варианты расчета, а также результаты сравнительного анализа аналитических и экспериментальных исследований.

The article analyses the technological features of assembly of important types of joints, which include group threaded connections. Taking into account the requirements of the joint sealing, the forces in the fasteners for the case of multi-stroke tightening are calculated. The procedure for loading these parts at the first and subsequent rounds for different values of relative compliance of joint parts is proposed. The calculation versions and the results of comparative analysis of analytical and experimental studies are given.

Ключевые слова: технология сборки, групповое резьбовое соединение, симметричная парная затяжка, число обходов.

Keywords: assembly technology, group threaded connection, symmetrical pair tightening, number of rounds.

Введение

Для герметизации ответственных разъемных фланцевых стыков, например сосудов высокого давления, которые широко применяются в нефтехимической, металлургической, теплоэнергетической отраслях промышленности, используют групповые резьбовые соединения (ГРС). Они содержат определенное число крепежных деталей (болтов, шпилек), которые совместно воспринимают рабочую нагрузку. Технология их сборки предусматривает последовательную нагрузку всех крепежных деталей сравнительно одинаковой осевой силой Q_i . При этом суммарная сила затяжки $Q_{\text{зам}} = \sum Q_i$ должна создавать необходимые начальные напряжения в стягиваемых деталях стыка, которые в установленном режиме работы машины будут находиться в определенных нормируемых пределах [1–3]. При большом числе крепежных деталей в соединении их не затягивают подряд одну за другой, поскольку

при таком режиме сборки силы затяжки могут оказаться неравномерными и повлечь перегрузку резьбовых деталей, и даже их срыв. Для полосового и прямоугольного размещения крепежных деталей рекомендуется закручивать сначала средние гайки, потом соседние справа и слева, и далее в такой же последовательности, приближаясь к краям (рис. 1).

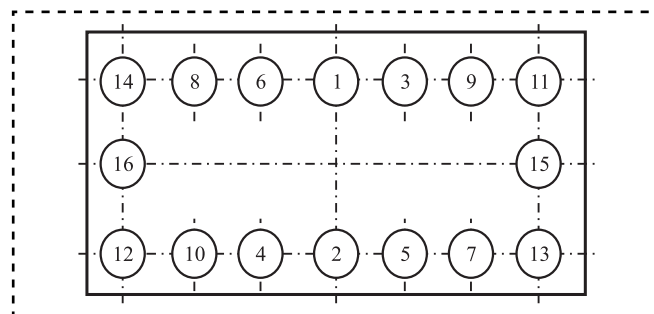


Рис. 1. Последовательность затяжки резьбовых соединений при прямоугольном фланце



Для групповых резьбовых соединений кольцевых стыков, где резьбовые детали симметрично расположены по кругу [4], наиболее эффективен метод затяжки приложением внешнего крутящего момента. Основные преимущества этого метода заключаются в его высокой производительности, простоте, возможности контролировать нагружения по прилагаемому крутящему моменту. При этом рекомендуется делать одновременную затяжку двух диаметрально противоположных гаек с помощью двухпозиционного гидравлического гайковерта, трещоточные ключи которого приводятся в действие силовыми гидроцилиндрами с опорами для компенсации реактивного момента [5]. Такая парная затяжка позволяет более равномерно нагружать детали стыка, не допускать перекосов фланца, избегать нагрузок стержней болтов изгибающими моментами.

Однако в процессе затяжки ГРС имеет место снижение силы в ранее затянутых крепежных деталях при затяжке последующих. Интенсивность такого уменьшения осевых сил растет с увеличением относительной податливости элементов соединения и числа крепежных деталей. Это негативное явление усложняет достижение равномерности нагрузки деталей соединения. Поэтому нахождение изменения степени нагружения в ранее затянутых крепежных деталях ГРС приобретает актуальное значение при разработке оптимального алгоритма их сборки, определении необходимого числа обходов затяжки, выбора необходимых сил в крепежных деталях.

Решение этих проблемных вопросов может быть достигнуто двумя путями:

осуществлением многообходной затяжки, когда необходимые силы в крепежных деталях достигаются за несколько обходов;

последовательной затяжкой каждой из крепежных пар до разных сил за один обход с таким расчетом, чтобы в конце обхода все крепежные детали оказались затянутыми до одинаковой требуемой силы.

Для сборки ГРС с высокой относительной податливостью соединения и числом собираемых пар $N \geq 8$ применение однообходной затяжки с перегрузкой крепежных деталей становится невозможным по условиям прочности крепежных деталей [5, 6]. В связи с чем для обеспечения равномерности нагрузки фланцевых стыков предпочтительна многообходная затяжка деталей ГРС.

Цель работы — разработка методики расчета меры нагружения крепежных деталей при их многообходной затяжке.

Методика проведения эксперимента и полученные результаты

Для достижения поставленной цели проведен анализ процесса многообходной затяжки группового резьбового соединения. При затяжке i -й пары стягиваемые детали стыка в пределах первого обхода получают дополнительную деформацию сжатия Δl_i , и их нагрузка Q_i станет равной:

$$Q_i = Q_{i-1} + \frac{\Delta l_i}{\lambda_1}, \quad (1)$$

где Q_{i-1} — суммарная нагрузка соединения после $(i-1)$ -й затяжки;

λ_1 — податливость стягиваемых деталей стыка.

Эта дополнительная деформация приведет к разгрузке ранее затянутых пар в количестве $(i-1)$ на величину

$$\Delta P^{(i)} = \frac{\Delta l_i}{\lambda_0}, \quad (2)$$

где λ_0 — податливость крепежных деталей.

Суммарная осевая сила в шпильках соединения:

$$Q_i = Q_{i-1} - (i-1)\Delta P_i. \quad (3)$$

Сравнивая выражения (1) и (3), можно определить дополнительную деформацию:

$$\Delta l_i = \frac{\lambda_0 \lambda_1}{\lambda_0 + (i-1)\lambda_1}. \quad (4)$$

Тогда величину разгрузки ранее затянутых пар определим зависимостью:

$$\Delta P_i = P \frac{\lambda_1}{\lambda_0 + (i-1)\lambda_1} = P \frac{\eta}{1 + (i-1)\eta} \quad (5)$$

или $\Delta P_i = P \psi_i$,

где η — относительная податливость ГРС,

$$\eta = \lambda_1 / \lambda_0;$$

ψ — коэффициент i -й разгрузки,

$$\psi_i = \frac{\eta}{1 + (i-1)\eta}.$$



С учетом последовательного накопления разгрузок, полученных в предыдущих затяжках, установлено, что полная разгрузка k -й резьбовой пары при i -й затяжке составит:

$$\Delta P_k^{(i)} = P \xi_k^i, \quad (6)$$

где ξ_R^i — коэффициент разгрузки k -й пары после осуществления i -й затяжки, $\xi_k^i = \sum_{\gamma=k}^{i-1} \psi_\gamma$.

Следовательно, после i -й затяжки в первом обходе суммарные осевые силы в крепежных деталях k -й пары равны:

$$P_k^{(i)} = P(1 - \Delta P_k^i) = P(1 - \xi_k^i). \quad (7)$$

После окончания первого обхода (осуществления N -й затяжки):

$$P_k^{(N)} = P \left(1 - \sum_{i=1}^{N-1} \psi_i \right) = P(1 - \xi_k^{(N)}), \quad (8)$$

где $\xi_R^{(N)}$ — коэффициент разгрузки k -й пары после осуществления первого обхода, $\xi_k^{(N)} = \sum_{i=1}^{N-1} \psi_i$.

Общие силы в соединении после первого обхода (когда $P_N^{(N)} = P$) составят:

$$Q^{(N)} = \sum P_k^{(N)} = PN(1 - \xi_k^{(N)}). \quad (9)$$

Затяжка ГРС в пределах второго и следующих обходов характеризуется тем, что резьбовые детали соединения уже нагружены в первом обходе, и их догрузка зависит от предыдущего значения осевой силы в них. Это усложняет расчеты при определении коэффициентов разгрузки. Например, при затяжке во втором обходе первой пары крепежных деталей ($i = N + 1$) силы в ней увеличиваются от $P \xi_1^{(N)}$ до P . При этом детали стыка получат дополнительную деформацию Δl_{N+1} , а их нагружение, по аналогии с первым обходом, станет равным:

$$Q_{N+1} = Q_N + \frac{\Delta l_{N+1}}{\lambda_1}. \quad (10)$$

Эта дополнительная деформация повлияет на разгрузку $(N - 1)$ ранее затянутых пар, и общая сила затяжки примет значение:

$$Q_{N+1} = Q_N + P \xi_1^{(N)} - (N - 1) \frac{\Delta l_{N-1}}{\lambda_0}. \quad (11)$$

Сравнивая выражения (10) и (11), найдем:

$$\Delta l_{N-1} = \frac{P \xi_1^{(N)} \lambda_0 \lambda_1}{\lambda_0 + (N - 1) \lambda_1}. \quad (12)$$

Разгрузка на этом этапе примет значение:

$$\begin{aligned} \Delta P_{N+1} &= P \xi_1^{(N)} \frac{\lambda_1}{\lambda_0 + (N + 1) \lambda_1} = \\ &= P \xi_1^{(N)} \frac{\eta}{1 + (N - 1) \eta} = P \xi_1^{(N)} \psi_{N-1}; \end{aligned} \quad (13)$$

$$\psi_{N-1} = \frac{\eta}{1 + (N - 1) \eta}.$$

Следовательно, после затяжки $i = N + 1$ силы в других незатянутых парах равны:

$$P_k^{(N+1)} = P_k^{(N)} - \Delta P_{N+1} = P(1 - \xi_k^{(N)} - \xi_1^{(N)} \psi_{N-1}). \quad (14)$$

Аналогично при затяжке $i = N + 2$, когда сила во второй паре увеличится от $P_2^{(N+2)}$ до P , разгрузка ранее затянутых пар составит:

$$\Delta P^{(N+2)} = (P - P_2^{(N+1)}) \psi_{N+1}. \quad (15)$$

Силу в других парах определим из зависимости:

$$P_k^{(N+2)} = P_k^{(N+1)} - \Delta P^{(N+2)}. \quad (16)$$

Таким образом, для вычисления степени нагружения ГРС во втором и последующих обходах можно предложить последовательность:

— при каждой из i -х затяжек установить силовые параметры нагружаемой пары в предыдущем $(i - 1)$ нагружении;

— вычислить разгрузку при этой затяжке

$$\Delta P_k^{(i)} = (P - P_2^{(i-1)}) \psi_{N-1};$$

— определить силы в других парах соединения

$$P_k^i = P_k^{(i-1)} - \Delta P_k^i;$$

— провести этот цикл вычислений для следующих затяжек в диапазоне от первой до последней в данном обходе N -й затяжки;

— определить общую нагрузку группового резьбового соединения по завершении последнего, например, s -го обхода

$$Q_{\text{зат}}^{(s)} = \sum P_k^{(sN)}.$$

На основании полученных зависимостей и согласно разработанной методике были проведены расчеты степени нагружения крепежных

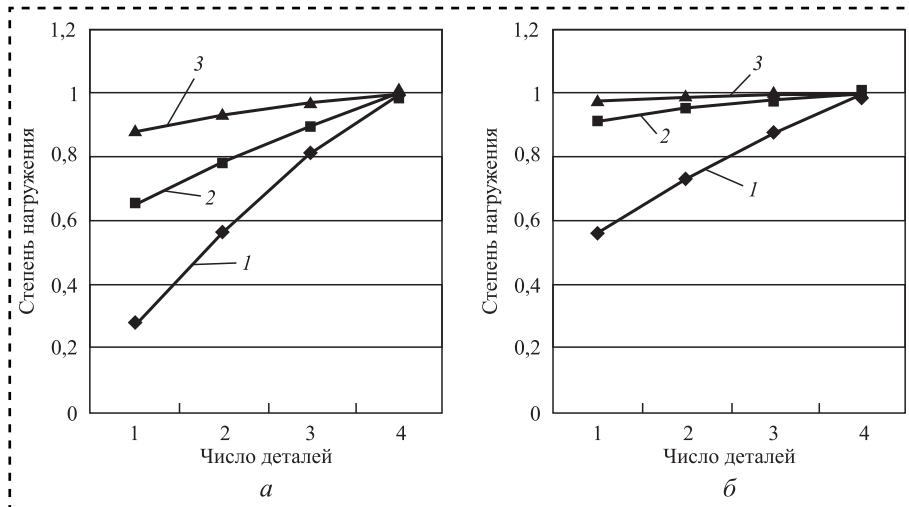


Рис. 2. Степень нагружения крепежных деталей ГРС при многообходной затяжке: а — для податливости $\eta = 0,2$; б — для податливости $\eta = 0,4$; 1 — после первого обхода; 2 — после второго обхода; 3 — после третьего обхода

деталей после каждого из трех обходов для ГРС с различными значениями относительной податливости. Пример результатов такого расчета, графически отображающий зависимость степени нагружения от числа затягиваемых деталей и разных значений относительной податливости, приведен на рис. 2.

При затяжке соединений с меньшей относительной податливостью и одинаковым числом резьбовых деталей их нагрузки растут более интенсивно. Поэтому для сборки таких ГРС потребуется увеличить число обходов, чтобы

обеспечить нормированную силу затяжки.

Провели сравнение расчетных значений степени нагружения затягиваемых крепежных деталей с экспериментальными результатами, полученными ранее в работе [5], при затяжке группового резьбового соединения, которое уплотняет крышку химического сосуда высокого соединения. В процессе эксперимента проводили симметричную парную затяжку до требуемой силы, которая соответствовала удлинению крепежных деталей на 0,15 мм. Деформацию шпилек

(число их пар $N = 4$) измеряли закрепленными на их торцах индикаторами часового типа, ножки которых разместили в осевых отверстиях стержней шпилек [5]. Результаты этих измерений за три обхода представлены в табл. 1.

По экспериментальным данным из табл. 1 провели перерасчет деформаций на значения степени нагружения для каждой из затягиваемых пар шпилек. При этом использовали рассчитанные ранее значения податливостей двух одновременно затягиваемых шпилек и податливость деталей стыка [5]. Полученные

Таблица 1

Удлинение крепежных деталей

Номер обхода	Номер шпильки	Удлинения шпилек, мм, с номерами							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	1 и 5	0,15	0	0	0	0,15	0	0	0
	3 и 7	0,145	0	0,15	0	0,14	0	0,15	0
	2 и 6	0,13	0,15	0,147	0	0,125	0,15	0,138	0
	4 и 8	0,12	0,145	0,131	0,15	0,111	0,145	0,125	0,15
2	1 и 5	0,15	0,14	0,13	0,148	0,15	0,14	0,115	0,146
	2 и 6	0,145	0,15	0,125	0,146	0,148	0,15	0,121	0,143
	3 и 7	0,143	0,148	0,15	0,142	0,146	0,145	0,15	0,141
	4 и 8	0,14	0,145	0,149	0,15	0,145	0,141	0,145	0,15
3	1 и 5	0,15	0,143	0,148	0,15	0,15	0,141	0,143	0,149
	2 и 6	0,149	0,15	0,149	0,146	0,149	0,15	0,141	0,147
	3 и 7	0,149	0,149	0,15	0,144	0,149	0,149	0,15	0,145
	4 и 8	0,148	0,149	0,149	0,15	0,149	0,149	0,15	0,15

Экспериментальные и расчетные значения степени нагружения затягиваемых пар

Номер обхода	Экспериментальные/расчетные значения для пар с номерами			
	1	2	3	4
1	0,763/0,8067	0,8536/0,8736	0,9666/0,9388	1,0/1,0
2	0,95/0,979	0,9633/0,9861	0,98/0,9912	
3	0,9766/0,985	0,9871/0,9906	0,9933/0,9953	

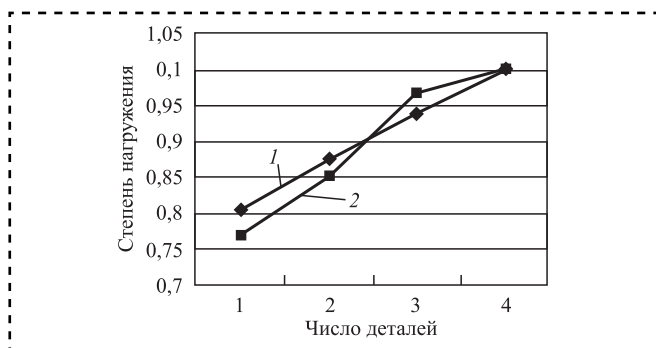


Рис. 3. Сравнение расчетных (1) и экспериментальных (2) значений степени нагружений после первого обхода

результаты сравнили с соответствующими расчетными значениями (табл. 2).

Суммарная осевая нагрузка соединения после первого обхода по экспериментальным данным составляет $Q_{\text{эксп}}^{(N)} = 3,5832P$, а полученная теоретически $Q_{\text{расч}}^{(N)} = 3,6191P$. Соответственно, после второго обхода $Q_{\text{эксп}}^{(2N)} = 3,8933P$ и $Q_{\text{расч}}^{(2N)} = 3,952P$, а после третьего — $Q_{\text{эксп}}^{(3N)} = 3,957P$ и $Q_{\text{расч}}^{(3N)} = 3,979P$.

Сопоставление расчетных значений степени нагружения крепежных деталей с экспериментальными графически представлено на рис. 3.

Предлагаемый в качестве примера рис. 3 демонстрирует достаточную сходимость теоретических и экспериментальных результатов.

Заключение

В процессе затяжки деталей группового резьбового соединения имеет место снижение степени нагрузки ранее затянутых крепежных

деталей при затяжке последующих. Интенсивность такого уменьшения осевых сил растет с увеличением относительной податливости элементов соединения. Следовательно, для обеспечения равномерности нагружения фланцевых стыков нужно осуществление многообходной затяжки деталей ГРС. Установленные зависимости позволяют с достаточной точностью рассчитывать распределение осевых сил в крепежных деталях для обеспечения плотности фланцевого стыка. Проведенное сравнение этих сил с экспериментальными значениями показало, что расхождение экспериментальных и расчетных значений степени нагружения исследуемого соединения находится в пределах двух процентов.

Библиографический список

1. Drozdov A.N., Stepanov V.V. Manual pulse wrenches. Monograph. M.: MGSU. 2017. 84 p.
2. Суслов А.Г. Технология машиностроения: учебник. М: КНОРУС. 2013. 336 с.
3. Водолазская Н.В., Искрицкий В.М., Водолазская Е.Г. Сборка резьбовых соединений. Проблемы и перспективы совершенствования технологии сборочных процессов. Краматорск: ДГМА, 2014. 192 с.
4. Водолазская Н.В. Силовой анализ процесса сборки резьбовых соединений при симметричной затяжке крепежных // Сборка в машиностроении и приборостроении. 2017. № 11. С. 486—490.
5. Водолазская Н.В. Расчет параметров определенных технических систем на основе моделирования их сборочных процессов // Сборка в машиностроении и приборостроении. 2018. № 9. С. 425—429.
6. Vodolazskaya N.V., Iskritskiy V.M. Mathematical Analysis of Assembly Technology of Responsible Types of Connections // Research and Development in Mechanical Industry. 2017. Vol. 1. P. 205—211.

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

Технологичность конструкции стенда технической диагностики тормозных качеств грузовых автомобилей

Проведен кинематический расчет технологичности конструкции стенда технической диагностики тормозных качеств на примере грузового автомобиля КамАЗ-5320.

The kinematic calculation of technological design of the stand of technical diagnostics of braking qualities on the example of the truck car KamAZ-5320.

Ключевые слова: автомобиль, средства технической диагностики, технология, тормозные стенды.

Keywords: car, means of technical diagnostics, technology, brake stands.

Все средства технической диагностики подразделяют на две большие группы. Первая, к которой относят основную часть стендов, — более многочисленная. Эта группа средств технической диагностики работает с использованием сил сцепления колеса с опорной поверхностью. В данных стендах реализуемый тормозной момент ограничен силой сцепления колеса с опорной поверхностью стенда, поэтому в большинстве из них невозможно реализовать полный тормозной момент автомобиля.

Наиболее характерным представителем силовых роликовых стендов является стенд модели К-208 М (рис. 1). Этот стенд предназначен для легковых и малотоннажных грузовых автомобилей. В отличие от типовой компоновки опорно-приводное устройство стенда К-208 М выполнено в виде двух независимых блоков, что позволяет удобно разместить их на осмотровой канаве, не загромождая ее и обеспечивая свободный доступ к точкам регулирования тормозных механизмов.

Кроме силового роликового стенда К-208 М, для проверки тормозов легковых автомобилей применяют также стенды мод. К-486 и РН-500А (Польша) и ряд других. Инерционные роликовые тормозные стенды могут иметь два принципиальных конструктивных варианта

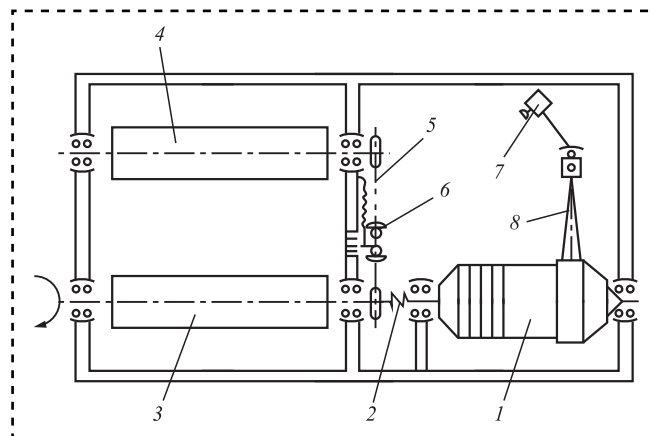


Рис. 1. Роликовый узел стенда К-208 М:

1 — мотор-редуктор; 2 — муфта; 3 — ролик; 5 — цепная передача; 6 — натяжное устройство; 7 — датчик измерения силы; 8 — рычаг

опорно-приводных устройств: первый вариант предусматривает привод от ведущих колес автомобиля (рис. 2, а), второй — электропривод (рис. 2, б).

Вторая группа стендов, работающих без использования сил сцепления колеса с опорной поверхностью, конструктивно отличается тем, что тормозной момент передается непосредственно через колесо или через ступицу. Эта группа стендов не нашла широкого примене-

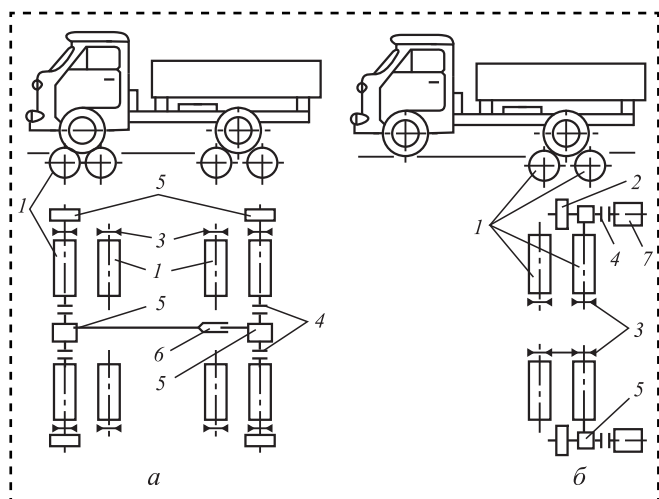


Рис. 2. Инерционные роликовые стенды для диагностики тормозов:

a — с приводом от ведущих колес автомобиля; *б* — с электроприводом: 1 — ролик; 2 — маховик; 3 — цепная передача; 4 — соединительные электромагнитные муфты; 5 — редуктор; 6 — передаточный вал; 7 — электродвигатель

ния из-за сложности конструкции и нетехнологичности проведения испытаний [1].

Тормозные стенды позволяют определять тормозную силу на колесе, силы на педали тормоза (для автотранспортных средств с пневмоприводом — тормозов), время запаздывания срабатывания тормозного привода, тормозов, контуров (для автотранспортных средств с пневмоприводом тормозов) и время растормаживания колес. Используют их на постах и линиях диагностики предприятия автомобильного сервиса, а также при государственном техническом осмотре АТС. Однако ни один из них не пригоден для диагностирования тормозных систем автомобилей ЗиЛ, ГАЗ, КамАЗ, КрАЗ, "Урал" в силу своей маломощности. Поэтому их необходимо дорабатывать в условиях предприятий автомобильного сервиса — увеличивать мощность привода, усиливать клиноременную, цепную передачи, подбирать редуктор. Технология решения поставленной задачи включает пять этапов.

1. Расчет тяговых сил P_T на колесах (например, грузового автомобиля КамАЗ-5320).

Составляем стандартное уравнение его силового баланса:

$$P_T = P_K + P_{\Pi} + P_B + P_{\text{и}}, \quad (1)$$

где P_K , P_{Π} , P_B , $P_{\text{и}}$ — силы сопротивления соответственно качению, дорожному подъему, воздуха и инерции.

Так как на стенде автомобиль находится в горизонтальном положении и не движется, то силы P_B и P_{Π} равны нулю, тогда

$$P_T = P_K + P_{\text{и}} = mgf + m\delta j, \quad (2)$$

где m — полная масса автомобиля;

g — ускорение свободного падения;

f — коэффициент сопротивления перекатыванию колеса по бетонному ролику, $f = 0,015$;

δ — коэффициент учета влияния вращающихся масс, $\delta = 1,1$;

j — ускорение разгона автомобиля, $j = 0,5 \text{ м/с}^2$.

Учитывая, что масса автомобиля КамАЗ-5320 17 т, получаем значение P_T для одного его колеса: $P_T = 11,85 \text{ кН}$.

2. Кинематический расчет привода стенда (рис. 3).

Начинаем его с подбора электродвигателя.

Общий КПД привода:

$$\eta = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4, \quad (3)$$

где $\eta_1 = 0,97$ — КПД ременной передачи;

$\eta_2 = 0,96$ — КПД цепной передачи;

$\eta_3 = 0,93$ — КПД пары подшипников;

$\eta_4 = 0,98$ — КПД двухступенчатого соосного редуктора.

В итоге получаем: $\eta = 0,885$.

Мощность $P_{\text{вых}}$ на выходе привода, кВт:

$$P_{\text{вых}} = P_T v, \quad (4)$$

где v — линейная скорость поверхности беговых барабанов.

Требуемая мощность $P_{\text{д}}^{\text{ТР}}$:

$$P_{\text{д}}^{\text{ТР}} = \frac{P_{\text{вых}}}{\eta}. \quad (5)$$

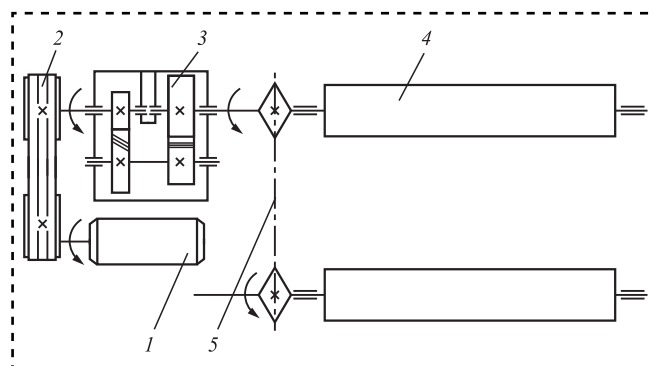


Рис. 3. Кинематическая схема тормозного стенда:

1 — электродвигатель; 2 — клиноременная передача; 3 — соосный цилиндрический редуктор; 4 — беговой ролик; 5 — цепная передача



Поскольку значение v принимается равным 0,75 мс, то $P_{\text{вых}} = 8,889$ кВт и $P_{\text{д}}^{\text{тр}} = 10,05$ кВт. По данной мощности из ГОСТ 19523—81 находим, что для модернизируемого стенда больше всего подходит электродвигатель 4А132М4УЗ: его мощность $P_{\text{д}}$ при частоте $n_{\text{д}}$ вращения якоря 1460 мин⁻¹ составляет 11 кВт.

Общее передаточное число u привода стенда представляет собой произведение передаточных чисел ременной u_1 и цепной $u_2 = 1$ передач, а также передаточного числа u_3 соосного редуктора. С другой стороны, это отношение частоты $n_{\text{д}}$ якоря электродвигателя к частоте $n_{\text{р}}$ вращения роликов стенда. Первая из этих частот известна ($n_{\text{д}} = 1460$ мин⁻¹).

Найдем частоту $n_{\text{р}}$:

$$n_{\text{р}} = \frac{60v}{\pi 10^{-3} d_{\text{р}}} = 69,23 \text{ мин}^{-1}, \quad (6)$$

где $d_{\text{р}}$ — диаметр беговых роликов, $d_{\text{р}} = 210$ мм.

Следовательно, $u = 21,0891$. Тогда передаточное число u_1 ременной передачи составит $u_1 = \frac{u}{u_2 u_3} = 1,34$.

Мощность P_3 на входном валу редуктора:

$$P_3 = \frac{P_{\text{вых}}}{\eta_2 \eta_3 \eta_4} = 9,739 \text{ кВт}. \quad (7)$$

Крутящий момент на валу электродвигателя T_1 .

$$T_1 = 9550 \frac{P_{\text{д}}^{\text{тр}}}{n_{\text{д}}} = 65,7 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (8)$$

Момент T_2 на ведомом валу редуктора:

$$T_2 = 9550 \frac{P_{\text{р}}}{n_{\text{р}}} = 85,3 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (9)$$

где $n_{\text{р}} = n_{\text{д}}/u_1 = 1090$ мин⁻¹.

Момент T_3 на ведомом валу редуктора, т.е. на выходном валу привода:

$$T_3 = 9550 \frac{P_{\text{вых}}}{n_3} = 1245 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (10)$$

3. Расчет клиноременной передачи.

По значению крутящего момента $T_1 = 65,7$ Н·м на ведущем валу передачи определяем, что для надежной работы ремня сечением Б минимальный диаметр шкива должен быть не менее 125 мм. Но для надежности увеличиваем

этот диаметр d_1 до 180 мм. Тогда диаметр d_2 ведомого шкива

$$d_2 = d_1 u (1 - \varepsilon) = 238,8 \approx 250 \text{ мм}, \quad (11)$$

где ε — коэффициент скольжения ремня, $\varepsilon = 0,01$.

После этого уточняем передаточное число u_1 ременной передачи:

$$u_1 = \frac{d_2}{d_1 (1 - \varepsilon)} = 1,4. \quad (12)$$

Это значение отличается от расчетного u на $\Delta u = 4,7$ %, что меньше допустимых 5 %. Поэтому из ГОСТ 1284.3—96 принимаем окончательно: $d_1 = 180$ мм, $d_2 = 250$ мм.

Далее определяем интервал $a_{\text{min}} \dots a_{\text{max}}$ межосевых расстояний шкивов:

$$a_{\text{min}} = 0,55(d_1 + d_2) + T_0 = 247 \text{ мм}, \quad (13)$$

где $T_0 = 10,5$ мм;

$$a_{\text{max}} = d_1 + d_2 = 430 \text{ мм}. \quad (14)$$

Для уверенности в надежной работе стенда принимаем $a = 600$ мм.

Расчетная длина L ремня:

$$L = \frac{\pi(d_1 + d_2)}{2} + \frac{(d_1 - d_2)^2}{4a} = 1877 \text{ мм}. \quad (15)$$

Ближайший размер по ГОСТ 1284.3—96 — $L = 2000$ мм.

Уточняем межосевое расстояние a :

$$a = 0,25[(L - (d_1 + d_2))] + \sqrt{(L - (d_1 + d_2))^2 - 2(d_1 - d_2)^2} = 661 \text{ мм}. \quad (16)$$

Угол α обхвата меньшего шкива:

$$\alpha = 180 - \frac{57(d_1 - d_2)}{a} = 174^\circ. \quad (17)$$

Число z ремней в передаче:

$$z = \frac{P_1 C_{\text{р}}}{P_0 C_L C_{\alpha} C_z} = 3,02, \quad (18)$$

где P_1 — передаваемая мощность;

P_0 — мощность, передаваемая одним ремнем;

$C_{\text{р}}$ — коэффициент, характеризующий режим работы передачи;



C_z, C_L, C_α — коэффициенты, учитывающие число ремней, их длину и угол обхвата шкива соответственно.

Для ремней типа Б $P_0 = 4,7$ кВт, $C_z = 0,95$ при $C_p = 1,3$, т.е. для средних режимов работы, $z = 2...3$, для $\alpha = 174^\circ$ — $C_\alpha = 0,99$, $L = 2000$ мм — $C_L = 0,98$. Поэтому принимаем $z = 3$.

Натяжение F_0 ветви клинового ремня:

$$F_0 = \frac{850P_1P_pC_z}{zv_nC_\alpha} + 9v_n^2 = 301 \text{ Н}, \quad (19)$$

где P_p — расчетная мощность;

v_n — скорость в передаче;

ϑ — коэффициент, характеризующий сечение ремня, для ремня типа Б, $\vartheta = 0,18$.

Радиальные силы F_r^B :

$$F_r^B = 2F_0z \sin \frac{\alpha}{2} = 1803 \text{ Н}. \quad (20)$$

Ширина B шкивов:

$$B = e(z - 1) + 2l = 63 \text{ мм}, \quad (21)$$

где e, l — размеры канавки для шкивов под ремни типа Б, $e = 19$ мм, $l = 12,5$ мм.

4. Расчет цепной передачи.

Так как передаточное число цепной передачи $u_2 = 1$, то числа зубьев ведущей z_1 и ведомой z_2 звездочек равны. Принимаем, что $z_1 = z_2 = 20$.

Мощность P_p передачи:

$$P_p = PK_\vartheta = \frac{P_{\text{вых}}K_\vartheta}{2} = \frac{P_3K_\vartheta}{2} = 8 \text{ кВт}, \quad (22)$$

где K_ϑ — коэффициент эксплуатации, $K_\vartheta = K_1K_2K_3K_4 = 1,8$;

$K_1 = 1,1$ — коэффициент динамичности;

$K_2 = 1,2$ — коэффициент смазки;

$K_3 = 1,15$ — коэффициент сменности работы;

$K_4 = 1,2$ — коэффициент при регулируемом натяжении цепи;

$P = 4,44$ кВт.

Определяем шаг t цепи, приняв ориентировочно допустимое давление $[p] = 26$ МПа по нормам DIN 8195 для скорости v до 1 м/с:

$$t = 2,83 \sqrt{\frac{T_3K_\vartheta}{2z_1[p]}} = 36,4 \text{ мм}. \quad (23)$$

По ГОСТ 13568—75 наиболее близкий к этому шагу шаг имеет однорядная цепь ПР-38,1-127 с $t = 28,1$ мм.

Скорость v_3 цепи:

$$v_3 = \frac{z_1 n_3}{6 \cdot 10^4} = 0,87 \text{ м/с}. \quad (24)$$

Определим действительное давление p звеньев цепи:

$$p = \frac{2,8^3 T_3 K_\vartheta}{2z_1 t^3} = 22,2 \text{ МПа}. \quad (25)$$

Оно меньше допустимых 26 МПа. То есть условие $p < [p]$ выполняется.

Число $z_{ц}$ звеньев цепи:

$$z_{ц} = 2a_{ц} + \frac{z_1 + z_2}{2} + \frac{(z_2 - z_1)^2}{2\pi a} = \quad (26)$$

$$= \frac{2a}{t} + \frac{z_1 + z_2}{2} + \frac{(z_2 - z_1)^2}{2\pi a},$$

где $a_{ц} = 12,3$ мм;

$$\frac{z_2 - z_1}{2\pi} = 0;$$

$z_{ц} = 44,6 \approx 45$.

Расчетная длина цепи $L_{ц} = z_{ц}t = 1714,5$ мм.

Диаметр d делительных окружностей звездочек:

$$d = \frac{t}{\sin \frac{\pi}{z_1}} = 243,6 \text{ мм}. \quad (27)$$

Окружная сила $F_{ц}$ в передаче:

$$F_{ц} = \frac{T_3}{d} = 5,11 \text{ кН}. \quad (28)$$

Сила $F_r^{ц}$, действующая на вал от натяжения цепи:

$$F_r^{ц} = 1,2F_{ц} = 6,132 \text{ кН}. \quad (29)$$

5. Подбор редуктора тормозного стенда, исходя из крутящего момента T_3 на выходном валу ($T_3 = 1,245$ кН·м).

По ГОСТ 12080—75 в данном случае лучше всего подходит соосный двухступенчатый цилиндрический редуктор Ц2С-125-16, имеющий $u = 16$ и допустимый крутящий момент на тихоходном валу $[T_{\text{доп}}] = 1,4$ кН·м. То есть при таком выборе условие $T_3 < [T_{\text{доп}}]$ выполняется.



Редуктор Ц2С-125-16 имеет допускаемую радиальную нагрузку на быстроходном валу $[F_r^B] = 2$ кН, а на тихоходном — $[F_r^H] = 8$ кН. Радиальная (консольная) нагрузка на ведущий вал от ременной передачи $F_r^B = 1,803$ кН и на ведомый вал от цепной передачи $F_r^H = 6,132$ кН. Следовательно, условия $F_r^B < [F_r^B]$ и $F_r^H < [F_r^H]$ выполняются.

Поток отказов P работы стенда технической диагностики автомобиля и любого его элемента определяется законом нормального распределения:

$$P = \exp^{(-\lambda t)}, \quad (30)$$

где λ — интенсивности потока отказов;
 t — наработки;
 $\exp = 2,71$.

Библиографический список

1. Жомир В.Н., Амарей В.И. Справочник технического состояния автомобилей. Кишнев: Картя Молдлвеняскэ, 1989. 228 с.



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

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 17.03.2020. Подписано в печать 30.04.2020. 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.

К сведению авторов журнала «Сборка в машиностроении, приборостроении»

Объем статьи (текст статьи, рисунки, таблицы), предлагаемой к публикации, не должен превышать 12 страниц, напечатанных на белой бумаге (формата А4) на одной стороне листа через полтора интервала 12-м кеглем.

Все страницы в статье должны быть пронумерованы.

В редакцию представляется статья в электронном виде — файл (с расширением .doc или .pdf) с набором текста (шрифт Times New Roman) или распечатанная рукопись (на белой бумаге (формата А4) на одной стороне листа).

Требования к оформлению статьи

1. Обязательно должны быть представлены сведения об авторах:

- Ф.И.О.;
- ученая степень и звание (если есть);
- место работы;
- должность;
- адреса и телефоны (домашний и служебный), факс;
- E-mail.

Названия учреждений, в которых выполнялись исследования, необходимо раскрывать полностью, указывать город.

2. Обязательно представлять на русском и английском языках:

- фамилии, имена и отчества авторов, название учреждения, в котором выполнялось исследование;
- название статьи;
- аннотацию к статье;
- ключевые слова.

3. Начало статьи должно быть оформлено по следующему образцу:

- УДК (Индекс статьи по Универсальной десятичной классификации <http://teacode.com/online/udc/>);
- авторы (с указанием ученой степени);
- полное название учреждения, в котором выполнялось исследование;
- город;
- страна (для иностранных авторов).

Ссылку на гранты необходимо обозначать звездочкой () на первой странице.*

4. Формулы, буквенные обозначения (прописные и строчные, латинского и греческого алфавитов), цифры, знаки и их расположение должны быть четкими и различимыми.

Для набора формул и буквенных обозначений следует использовать программу MathType или редактор формул Equation в офисном редакторе Microsoft Office Word.

5. После текста должен быть приведен список литературы, используемый при написании статьи.

Составляется список по порядку ссылок в тексте и оформляется по ГОСТ 7.0.5—2008. Ссылки на иностранную литературу следует писать на языке оригинала без сокращений. Количество литературных источников не должно превышать пяти наименований. Допускается ссылка на литературу не ранее 2000 г. выпуска (при необходимости ссылку на более "старый" источник литературы приводят непосредственно в тексте).

6. Иллюстрации представляются в виде отдельных файлов (с расширением .doc, .tiff, .pdf, .jpeg 600 dpi), размер не должен превышать 186 мм.

Рисунок должен быть четким и иметь подрисовочную подпись. Подрисовочные подписи следует представлять отдельным списком. Объяснение рисунков и фотографий в тексте и подписи к ним должны соответствовать содержанию рисунков.

Данные таблиц и рисунков не должны дублировать текст!

Все статьи, поступающие в редакцию, проходят рецензирование.

В случае отклонения статьи редакционным советом журнала редакция оставляет за собой право сообщать автору о решении редакционного совета без предоставления рецензии.

Материалы, присланные в редакцию, обратно не высылаются

Плата за публикацию статей не взимается

