

ЖУРНАЛ ВЫХОДИТ ПРИ СОДЕЙСТВИИ МЕЖДУНАРОДНОГО СОЮЗА МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ
ЖУРНАЛ ВХОДИТ В ПЕРЕЧЕНЬ УТВЕРЖДЕННЫХ ВАК РФ ИЗДАНИЙ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИЙ ТРУДОВ СОИСКАТЕЛЕЙ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ

1 2008
(90)

СОДЕРЖАНИЕ

Экономика и организация сборочного производства

Ларин С.Н. Информационное сопровождение процессов сборки приборных комплексов 3

Камакин В.А. Оценка экономической эффективности внедрения средств автоматизированной информационной поддержки процессов управления 6

Технологичность конструкции

Лустенков М.Е. Определение основных геометрических параметров планетарных шариковых передач 12

Сборочное оборудование и его элементы

Кристалль М.Г., Лохман Б.В., Стегачёв Е.В. Струйное устройство для ориентирования деталей 18

Сборочно-сварочные работы. Пайка

Коротков А.Н., Дубинкин Д.М. Повышение работоспособности обдирочных кругов на операциях обработки сварных швов путем использования шлифовальных зерен с контролируемой формой 20

Обеспечение качества. Испытания. Контроль

Матросова Ю.Н., Матросов А.Е., Клычева Е.В., Данилов М.М., Федотов М.В. Автоматизированная система определения пористости и физико-механических свойств материалов деталей перед сборкой 27

В помощь конструктору, технологу

Черенков С.Я. Нестандартный технологический прием в решении монтажных проблем 31

Информация

Кулиш Е.В., Турыгин Ю.В., Мага Душан. Решение контактной задачи прессовых полисоединений 33

Тулина Л.И., Гладышева М.П., Сергеев В.Е. Технология изготовления многоуровневых микроплат 41

Светлаков Ю.А. Разработка технологий механической обработки деталей из твердых хрупких неметаллических материалов 46

Указатель статей, опубликованных в 2007 году 52

**Председатель
редакционного совета**
Ф.М. МИТЕНКОВ, академик РАН

**Редакционный совет
МОСКВА**

В.М. БЕДРИН	А.В. МЕДАРЬ
А.С. ВАСИЛЬЕВ (главный редактор)	Е.А. МИКРИН
А.А. ГУСЕВ	Ю.Ф. НАЗАРОВ
А.М. ДАЛЬСКИЙ	В.В. ПОРОШИН
И.Н. ЖЕСТКОВА	О.Н. РУМЯНЦЕВА
(зам. главного редактора)	Б.В. ШАНДРОВ
Ю.Г. КОЗЫРЕВ	А.А. ШАТИЛОВ
А.И. КУМЕНКО	А.Г. ХОЛОДКОВА
	Г.А. ЯРКОВ

Региональные редсоветы

АСТРАХАНЬ

В.П. БУЛГАКОВ
А.Д. ДОРОХОВ
В.В. МИКИТЯНСКИЙ
Н.Н. ПАНАСЕНКОВ

БЕЛГОРОД

Н.А. ПЕЛИПЕНКО

БРЯНСК

О.А. ГОРЛЕНКО

ВЛАДИВОСТОК

Ю.Н. КУЛЬЧИН
А.А. СУПОНЯ
В.В. КОРНИЕНКО

ВОЛГОГРАД

В.Г. КАРАБАНЬ
М.Г. КРИСТАЛЬ
В.И. ЛЫСАК

В.М. ТРУХАНОВ

ИЖЕВСК

И.В. АБРАМОВ
Б.А. ЯКИМОВИЧ
В.Г. ОСЕТРОВ

И.К. ПИЧУГИН

КАЗАНЬ

Р.И. АДГАМОВ

КОВРОВ

Ю.З. ЖИТНИКОВ

КОЛОМНА

Ю.Д. АМИРОВ

КОМСОМОЛЬСКО-НА-АМУРЕ

В.Ф. КУЗЬМИН

Б.Н. МАРЬИН

В.И. ШПОРТ

НАБЕРЕЖНЫЕ ЧЕЛНЫ

С.В. ДМИТРИЕВ

Р.М. ХИСАМУТДИНОВ

ОМСК

В.Н. КОСТЮКОВ

ОРЕЛ

Ю.С. СТЕПАНОВ

Г.А. ХАРЛАМОВ

ОРЕНБУРГ

В.А. БОНДАРЕНКО

А.П. ФОТ

РЫБИНСК

В.Ф. БЕЗЪЯЗЫЧНЫЙ

В.В. НЕПОМИЛУЕВ

А.Н. СЕМЕНОВ

САМАРА

М.В. ЕВДОКИМОВ

Ю.А. ВАШУКОВ

Г.А. КУЛАКОВ

В.А. НИКОЛАЕВ

ТОЛЬЯТТИ

А.И. РЫЖКОВ

Б.Ф. ХАЗОВ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

Е.В. ШАЛОБАЕВ

ХАБАРОВСК

В.А. ЛАШКО

Украина

КИЕВ

А.С. ЗЕНКИН

В.А. МАТВИЕНКО

ДОНЕЦК

А.И. МИХАЙЛОВ

СЕВАСТОПОЛЬ

Е.Л. ПЕРВУХИНА

ХАРЬКОВ

Б.М. АРПЕНТЬЕВ

Беларусь

МИНСК

В.Л. БАСИНОК

ГОМЕЛЬ

В.Е. СТАРЖИНСКИЙ

ПОЛОЦК

М.Л. ХЕЙФЕЦ

Ответственные за подготовку и выпуск номера:

Н.М. КУЩ-ЖАРКО, О.Н. ЛУТОВИНИНА,
А.В. ЗОРИН

Журнал зарегистрирован в Министерстве РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации ПИ № 77-1747 от 25 февраля 2000 г.

Журнал распространяется по подписке, которую можно оформить в любом почтовом отделении (индексы по каталогу "Роспечать" – 79748, Объединенному каталогу "Пресса России" – 84967, каталогу "Почта России" – 60257) или непосредственно в издательстве
Тел.: (495) 268-38-42; тел./факс: 268-85-26. Факс: (495) 269-48-97.
E-mail: sborka@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.

За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель.

THE MONTHLY
NEWSMAGAZINE
FOR SCIENTISTS
AND MANUFACTURERS

ASSEMBLING



IN MECHANICAL ENGINEERING AND INSTRUMENT-MAKING

THE MAGAZINE IS PUBLISHED UNDER THE PATRONAGE OF INTERNATIONAL UNION OF MECHANICAL ENGINEERS
THE JOURNAL IS AMONG THOSE APPROVED BY AAC RF FOR DISSERTATION PUBLICATION

1 2008
(90)

CONTENTS

Economy and the Organization of Assembly Manufacture

- Larin S.N.** Information support of assembly of instrument complexes 3
Kamakin V.A. Estimation of economic efficiency of means of the automated information support of managerial processes 6

Manufacturability of a Construction

- Lustenkov M.E.** The definition of the base geometrical parameters of the planetary ball transmissions 12

Production Tools and Machinery for Assembly

- Kristal M.G., Lohkhan B.V., Stegachev E.V.** Jet stream orientation device 18

Assembly Welding Works. Solder

- Korotkov A.N., Dubinkin D.M.** The increasing of abrasive wheels' efficiency during the processing of welded seam by using polishing grains with controlled form 20

Quality Assurance. Testing. Monitoring

- Matrosova U.N., Matrosov A.E., Klycheva E.V., Danilov M.M., Fedotov M.V.** The automated system of definition of parameters of porosity of materials and physicomaterial properties of materials of details before assembly 27

Industrial and Design Engineer's Aid

- Cherenkov S.Y.** Non-standard technological reception in the decision of assembly problems 31

Information

- Kulish E.V., Turydin U.V., Dushan Maga.** The decision of a contact problem of presses polyconnections 33
Tulina L.I., Gladysheva M.P., Sergeev V.E. Technology of production cascading micropayment 41
Svetlakov U.A. Development of technologies of machining of details from firm fragile nonmetallic materials 46
The bibliography of published in 2007 papers 52

Journal is distributed on subscription, which can be issued in any post office (index on the catalogue of the "Rospechat" agency 79748, the union catalogue "Pressa Rossii" 84967, the catalogue "Pochta Rossii" 60257) or directly in editorial of the journal.
Ph.: (495) 268-38-42; ph./fax: 268-85-26. Fax: (495) 269-48-97.
<http://www.mashin.ru>
E-mail: sborka@mashin.ru
Labor Red Banner Order Public Corporation "Publishing House "Mashine Building" 107076, Moscow, Stromynsky per. 4
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.

Chair of Editorial Advisory Board –
Member of Russian Academy of Science
F.M. MITENKOV

Editors

MOSCOW

BEDRIN V.M.
VASIL'EV A.S.
(Chief editor)
DALSKY A.M.
GUSEV A.A.
ZHESTKOVA I.N.
(Deputy chief editor)
KOZYREV YU.G.
KUMENKO A.I.

MEDAR' A.V.
MIKRIN E.A.
NAZAROV Yu.F.
POROSHIN V.V.
RUMIANTSEVA O.N.
SHANDROV B.V.
SHATILOV A.A.
KHOLODKOVA A.G.
YARKOV G.A.

Regional editors

ASTRACHAN

BULGAKOV V.P.
DOROKHOV A.F.
MIKITIANSKI V.V.
PANASENKOV N.N.

BELGOROD

PELIPENKO N.A.

BRIANSK

GORLENKO O.A.

VLADIVOSTOK

KULSHIN YU.N.
SUPONIA A.A.
KORNIENKO V.M.

VOLGOGRAD

KRISTAL M.G.
KARABAN' V.G.
LYSAK V.I.
TRUKHANOV V.M.

IZHEVSK

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

KAZAN

ADGAMOV R.I.

KOVROV

ZHITNIKOV Yu.Z.

KOLOMNA

AMIROV Yu.D.

KOMSOVLSK-ON-AMUR

KUZMIN V.F.

MARJIN B.N.

SCHPORT V.I.

NABEREZHNYE CHELNY

DMITRIEV S.V.

KHISAMUTDINOV R.M.

OMSK

KOSTIUKOV V.N.

OREL

STEPANOV Yu.S.
KHARLAMOV G.A.

ORENBURG

BONDARENKO V.D.
FOT A.P.

RYBINSK

BEZIAZYSHNY V.F.
NEPOMILUEV V.V.
SEME NOV A.N.

SAMARA

EVDOKIMOV M.V.
VASHUKOV Yu.A.
KULAKOV G.A.
NIKOLAEV V.A.

TOLIATI

KHAZOV B.F.
RYZHKOV A.I.

ST.-PETERSBURG

SHALOBAYEV E.V.

KHABAROVSK

LASHKO V.A.

Ukraine

KIEV

ZENKIN A.S.

MATVIENKO V.A.

DONETSK

MIKHAILOV A.I.

SEVASTOPOL

PERVUKHINA E.L.

KHARKOV

ARPENTIEV B.M.

Belarus

MINSK

BASINJUK V.L.

GOMEL

STARZHINSKI V.E.

POLOTSK

KHEIFETZ M.L.

Executive editors of current issue:

KUSH-ZHARKO N.M., LUTOVININA O.N.,
ZORIN A.V.

The journal is registered by RF Ministry of Press, Tele- and Broadcasting and Mass Communications Media.
Registration certificate ПИ № 77-1747,
February 25, 2000

Free price

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СБОРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 658.511.66

С.Н. Ларин (ФНПЦ ОАО "НПО "Марс", г. Ульяновск)

Информационное сопровождение процессов сборки приборных комплексов

Предложен обзор возможностей автоматизированной системы управления технологической подготовкой (АСУТП) основного производства. Показана актуальность создания и концепция построения автоматизированной системы управления производством, которая специализируется на опытном изготовлении сложных приборных комплексов. Рассмотрены принципы построения и функциональные возможности автоматизированной системы в части информационной поддержки сборки приборных комплексов. Определены задачи и принципы комплексного проведения работ по указанным направлениям.

The present article is an overview of functionality of automated control system for production engineering. It also reveals creation relevance and design conception of automated control system for production, which specializes in pilot production of sophisticated devices, considers design principles and automated system functionality in the field of information support of device assembly, defines tasks and principles of integrated work in the indicated field.

На современном высокотехнологичном производстве все чаще делается выбор в пользу единой информационной системы, способной обеспечить быстрый и эффективный обмен данными между всеми уровнями предприятия – от непосредственного исполнителя на участке до руководства производством, и гарантировать более высокую отдачу от внедрения системы автоматизации производственных процессов.

Известно, какое большое количество различной информации используется на современном предприятии и какие разнообразные задачи встают перед пользователями автоматизированных систем. В АСУТП помимо разработки технологических процессов, корректировки параметров процесса, хранящихся в базе данных, возникает необходимость и информационного сопровождения

технологического процесса по всему циклу изготовления. Для решения подобных задач крайне необходимы инструменты, которые позволили бы быстро и эффективно работать в условиях опытных и мелкосерийных производств.

Для автоматизации сложных и трудоемких функций в условиях опытных производств предложена система комплексной подготовки производства и информационной поддержки сборки приборных комплексов. Первым этапом построения процесса сборки приборных комплексов стала *разработка функциональных моделей* (рисунок).

В настоящее время технология моделирования и анализа бизнес-процессов достаточно формализована [1]. Для разработки функциональной модели управления подготовкой производства и информационного сопровождения сборки приборных комплексов использована методология и нотация SADT, регламентированная под названием IDEF0, официально принятая в России.

На основании конструкторской документации, разработанной в программе параметрической графики (например в SolidWorks, AutoCAD) и переданной в электронном виде из системы "Search" в систему комплексной подготовки производства, формируется состав изделия, включающий сборочные единицы, детали, основные и вспомогательные материалы, стандартные и покупные изделия [2].

Первичным документом, на котором построена система комплексной подготовки производства, является документ на запуск (извещение).

Формирование исходной информации для запуска реализуется следующим образом:

1. Формируется состав изделия, в котором отражены основные характеристики изготавливаемого объекта, иерархическая входимость сборок в изделие и количество единиц в изделии.

2. Изделие рассчитывается по основным материалам, комплектующим, формируются ведомости



трудоемкости, частные сетевые графики и другие организационно-технические документы.

3. Формируются сопроводительные ярлыки для передачи комплекта документов непосредственно на изготовление и сборку в производство, которые включают в себя:

- наименование объекта сборки;
- разбивку всех работ по стадиям сборки;
- наименование и описание операций для каждой стадии сборки и контроля;
- указание на применяемое оборудование, приспособления, инструменты;
- перечень основных и вспомогательных материалов, применяемых при сборке;
- время на выполнение отдельных операций;
- разряды квалификации рабочих и другие данные.

Одним из сложных и трудоемких этапов при производстве приборных комплексов является *разработка технологических процессов* [3]. В данной системе по-новому решается вопрос проектирования технологических процессов. При разработке технологических процессов была использована не специализированная система проектирования технологических процессов, а разработанный программный модуль.

Весьма перспективным направлением, основанным на создании баз данных по типовым подетальным и сборочным технологическим процессам, является так называемое *технологически ориентированное проектирование* [4]. Технолог на основе проведенного автоматизированного поиска в базе данных наиболее рациональных видов технологий для данной конструкции получает по сути дела конструкторско-технологическое решение. Оно существенно ускоряет дальнейший ход подготовки производства.

При разработке технологического процесса изготовления и сборки изделия необходимо рассматривать несколько вариантов процессов сборки, обеспечивающих получение требуемых качественных характеристик изделия. Из возможных вариантов автоматизированным способом выбирают наиболее экономичный и производительный для заданных производственных условий.

Критериями оценки технологического процесса сборки являются следующие основные показатели:

а) трудоемкость операций и всего сборочного процесса (или производительность, являющаяся величиной, обратной трудоемкости);

б) себестоимость выполнения отдельных сборочных операций и всего технологического процесса сборки.

Помимо данных показателей, называемых *абсолютными*, применяются еще так называемые *относительные* показатели экономичности технологического процесса:

а) коэффициент загрузки каждого рабочего места;

б) коэффициент трудоемкости процесса сборки, характеризующий трудоемкость сборки по отношению к трудоемкости изготовления изделия в целом, и др.

Экономичность сборочной операции характеризуется стоимостью ее выполнения. При определении себестоимости следует учитывать и влияние оборудования, связанного с применением того или иного метода сборки. Не всегда выбор наиболее производительного оборудования экономически оправдан. Так, при малой программе выпуска изделий применение высокопроизводительного, но дорогого оборудования приводит к возрастанию себестоимости изготовления изделия.

Эффективность метода выполнения операции определена *производительной мощностью*. Она оценивается количеством узлов или изделий, проходящих через него в единицу времени:

$$Q = \frac{TK}{t_{шт}}, \quad (1)$$

где Q – производительность в единицу времени;

T – рабочее время (ч, смена), к которому отнесена производительность (мин или ч);

K – количество рабочих центров;

$t_{шт}$ – норма штучного времени при выполнении операций всеми K рабочими (мин или ч).

Себестоимость сборки изделия $C_{сб}$ определяется как сумма стоимости выполнения всех операций:

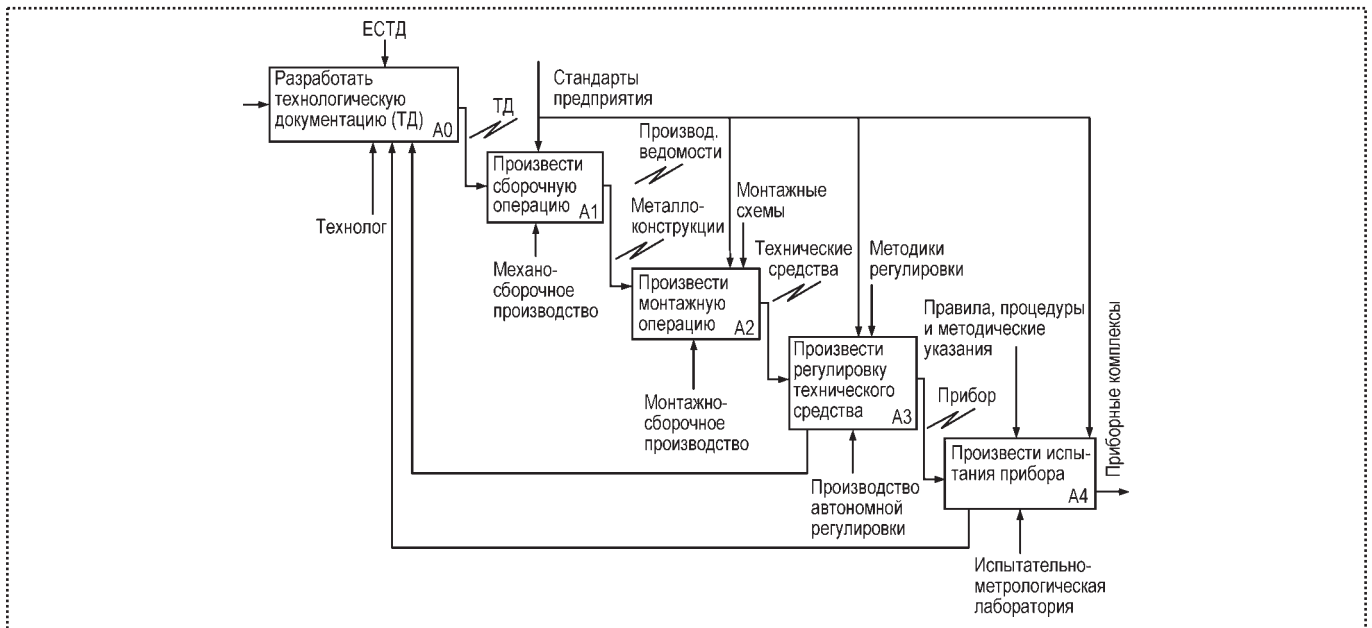
$$C_{сб} = \sum C_{оп}, \quad (2)$$

а *расчетная трудоемкость сборки* $T_{сб}$ – как сумма норм времени всех операций:

$$T_{сб} = \sum T. \quad (3)$$

Величины $C_{сб}$ и $T_{сб}$ – абсолютные критерии оценки запроюктированного процесса сборки в целом [5].

После разработки технологических процессов (маршрутных карт) и проведения полного ком-



Модель функционирования АСУ производства

плекса материального и трудового нормирования, планово-экономических расчетов в производство передается информация о составе изделия с результатами технологической подготовки.

Передача данных позволяет исключить дублирование ввода данных, приводящих к необоснованным трудозатратам, повышению вероятности ошибок в данных, несвоевременности и несогласованности в отчетных документах.

Система подготовки производства и информационного сопровождения сборки приборных комплексов обеспечивает необходимый набор функций для управления производством и содержит информацию о составе, нормативных материальных и трудовых затратах, а также о технологии изготовления компонентов изделия. Система предполагает распределенный ввод информации и ее централизованное хранение.

Внутрицеховой и межцеховой производственный учет производят в реальном времени. В связи с этим в системе все основные действия диспетчеров и технологов (формирование и выдача сопроводительного ярлыка, ход выполнения сменного задания-наряда, фактическая сдача детали на склад) имеют привязку к реальному времени.

На основе разработанного маршрута технологического процесса автоматизированным способом формируется сопроводительный ярлык. Сопроводительный ярлык уникален и имеет штрих-код.

Штрих-код служит для отметки основных этапов изготовления.

Вывод

Система подготовки производства и информационного сопровождения сборки приборных комплексов предназначена для решения следующих основных задач:

1. Формирования запуска изделий в производство.
2. Разработки технологических процессов (единичные ТП, типовые ТП, ведомости деталей).
3. Координации процесса изготовления.
4. Анализа результатов изготовления.
5. Внутрицехового и межцехового производственного диспетчерования.
6. Формирования, печати и учета отчетной документации.
7. Реализации реляционных запросов, связанных с выборками из базы данных изделий и их компонентов.

При работе с системой используются ресурсы базы данных:

- ♦ типовые и единичные технологические процессы;
- ♦ данные об основных и вспомогательных материалах, используемых в различных видах технологических операций: сварке, газовой резке,



термообработке, нанесении химических и лакокрасочных покрытий и т.п.;

♦ данные об основных параметрах покупных комплектующих деталей.

Перечень дополнительных возможностей программного обеспечения АСУ производства далеко не исчерпывается теми, которые были рассмотрены в статье.

Система подготовки производства и информационного сопровождения сборки приборных комплексов отвечает самым высоким требованиям, предъявляемым к системам подобного уровня, и может решать любые задачи, возникающие в про-

цессе автоматизации высокотехнологичного производства.

Список литературы

1. **Информационные** технологии в наукоемком машиностроении / под общ. ред. А.Г. Братухина. Киев: Техника, 2001.
2. **Ларин С.Н.** Основные задачи обеспечения технологичности конструкции изделия в автоматизированных системах // Автоматизация управления. 2004. № 4.
3. **Ларин С.Н.** Создание системы конструкторско-технологического анализа // Судостроение. 2004. № 6.
4. **САПР** изделий и технологических процессов в машиностроении / Р.А. Аллик, В.И. Бородянский, А.Г. Бурин и др.; под общ. ред. Р.А. Алика. Л.: Машиностроение, 1986. 319 с.
5. **Советов Б.Я., Яковлев С.А.** Моделирование систем / М.: Высш. шк., 2001. 343 с.

УДК 658.012.011.56

В.А. Камакин (РГАТА им. П.А. Соловьева)

Оценка экономической эффективности внедрения средств автоматизированной информационной поддержки процессов управления

Предложена методика оценки экономической эффективности внедрения системных средств автоматизированной информационной поддержки и построения корпоративных информационных систем.

The technique of an estimation of economic feasibility, efficiency of introduction of system means of the automated information support and construction of corporate information systems is offered.

Необходимость внедрения на предприятии корпоративной информационной системы для обеспечения заданных показателей качества продукции на сегодняшний день никем не оспаривается. Однако для реализации функций управления, таких как планирование, прогнозирование, учет, необходима экономическая оценка планируемых мероприятий. В противном случае автоматизированные средства информационной поддержки могут расходовать ресурсы организации, не обеспечивая их увеличение. Для решения данной задачи предложена методика оценки экономической эффективности внедрения

средств автоматизированной информационной поддержки процессов управления.

В основу методики положен принцип измерения экономической эффективности мероприятий по управлению качеством процессов на базе баланса между затратами на соответствие и затратами на несоответствие [1].

Под затратами на соответствие понимаются расходы, которые организация должна понести для реализации плана. Применимо к корпоративным средствам автоматизированной информационной поддержки затраты на соответствие структурно можно подразделить на:

- внедрение мероприятий (капитальные);
- сопровождение (эксплуатационные).

С учетом аспектов производства [2] может быть сформирована матричная схема структуризации затрат, имеющих место в связи с внедрением корпоративной информационной системы. Схема приведена на рисунке.

На первом этапе оценки экономической эффективности определяют **затраты на внедрение**. Они



Внедрение	Сопровождение	
Закупка	Обслуживание	Оборудование
Установка	Ремонт	
Наладка	Замена	
Выбор	Обновление	Программное обеспечение
Закупка	Модификация	
Инсталляция		
Обучение	Привлечение	Персонал
Привлечение	Переподготовка	
Перепроектирование	Модификация	Процессы
Наладка		
Адаптация		
Идентификация	Приобретение	Материалы
Приобретение	Хранение	

Матричная схема затрат на корпоративную информационную систему

предполагают однократное вложение ресурсов в течение всего времени актуальности мероприятий.

Под актуальным временем мероприятия понимается промежуток, в течение которого реализованные мероприятия обеспечивают возврат вложенных в них средств и не требуют реинжиниринга. Для корпоративных информационных систем машиностроительных предприятий значение актуального времени обычно принимают равным пяти годам.

В соответствии с матричной схемой использование в корпоративной системе современных технических средств (оборудование) предполагает *расходы на его закупку*. Этих расходов при создании корпоративной информационной системы избежать не удастся практически никогда. Более того, в общей структуре капитальных затрат на оборудование они могут достигать 80 %.

Установка оборудования включает в себя подготовку помещений, при необходимости их ремонт, прокладку силовых кабелей и кабелей связи, опре-

деление расположения средств беспроводной связи, размещение вычислительного оборудования. В структуре затрат на оборудование установка составляет 15...20 % от затрат на приобретение.

Затратность наладки в настоящее время неуклонно снижается. Современное оборудование имеет совокупность средств для автоматической настройки протоколов аппаратного и программного взаимодействия составляющих корпоративной информационной системы. Проведенный анализ показал, что на сегодняшний день в структуре затрат затраты на наладку не должны превышать 10 %.

Важным аспектом при создании корпоративной информационной системы является *программное обеспечение*. Капитальные затраты на него включают в себя выбор, предполагающий проведение анализа существующих программных систем управления доступом, операционных систем сервера и рабочих мест, систем управления базами данных, пользовательских приложений для решения тех или иных задач управления. В структуре капитальных затрат на программное обеспечение стоимость выбора может составлять 5...10 %.

Закупка обеспечения предполагает приобретение лицензионных версий продуктов с учетом организации необходимого количества рабочих мест. Совокупные капитальные затраты на закупку составляют 85...90 % расходов на программное обеспечение.

Инсталляция включает в себя установку, наладку, разработку, модификацию программного обеспечения на сервере и рабочих местах и требует вложений порядка 10...15 %.

Для эффективного функционирования корпоративной информационной системы необходимо наличие навыков работы с автоматизированными средствами информационной поддержки у персонала. В связи с этим необходимо *проведение системного обучения работников предприятия средствам и методам современных информационных технологий*. Такое обучение требует значительных затрат, связанных с организацией и осуществлением процесса обучения. Кроме того, проведение массового обучения персонала требует отвлечения его от исполнения профессиональных обязанностей, что тоже составляет капитальные расходы на обучение. В целом капитальные затраты на обучение могут достигать 70 % от общей суммы расходов на вопросы, связанные с персоналом.



Помимо обучения работники привлекаются для построения корпоративной информационной системы. Состав и численность команды операторов процесса зависит от специфики производства, однако на начальном этапе внедрения системы в команде должны преобладать специалисты в области управления и экономики. Количество технических специалистов на этом этапе небольшое. Они нужны для оценки возможности технической реализации тех или иных концепций. Основная работа лежит в области планирования деятельности и измерения эффективности. Ее решают специалисты управленческого профиля.

На последующих этапах улучшения системы чаще приходится решать задачи технического профиля, и большого количества специалистов управленческого и экономического направления в бизнес-команде не требуется.

В зависимости от планируемого уровня автоматизации процессов методом экспертной оценки получены следующие данные для определения численности бизнес-команды, обеспечивающей создание корпоративной информационной системы. Они сведены в табл. 1.

Предполагается привлечение работников как на освобожденной основе, так и по совместительству. Количество работников определяют исходя из планируемого количества автоматизируемых рабочих

1. Состав бизнес-команды для создания корпоративной информационной системы

Ожидаемый уровень внедрения	Состав специалистов перед началом работ, % (от числа персонала, занятого в автоматизированных процессах)	
	Освобожденных	Без отрыва от основных обязанностей
Автоматизированная информационная система	5	0
Автоматизированная система информационной технологии	10	5
Корпоративная информационная система: Workflow CALS PLM	10	10
	20	

мест. Исследования показали, что такой подход обеспечивает наиболее адекватное определение ресурсов для наукоемкого предприятия.

Кроме того, определен и качественный состав бизнес-команды для машиностроительного производства. Данные по составу приведены в табл. 2.

Затраты на привлечение персонала для создания системы автоматизированной информационной поддержки процессов управления могут быть приблизительно рассчитаны с использованием соотношения (1). Величина совокупных капитальных затрат на привлечение персонала обычно составляет 30...40 %:

$$Z_{\text{кап}} = T_{\text{пр}} (P_p + k_{\text{и}} P_c) (1 + H_o), \quad (1)$$

где $Z_{\text{кап}}$ – капитальные затраты на привлечение персонала;

$T_{\text{пр}}$ – время разработки и реализации проекта, мес.;

$k_{\text{и}}$ – усредненный коэффициент использования совместителей;

P_p – ежемесячная совокупная заработная плата работников, привлеченных на освобожденной основе, руб.;

P_c – ежемесячная совокупная заработная плата совместителей, руб.;

H_o – совокупные отчисления в бюджет.

Капитальные затраты на процессы включают в себя расходы на их перепроектирование в связи с переходом на новые средства информационной поддержки, наладку процессов, предполагающую оперативную оптимизацию для устранения возможных ошибок проектирования и обеспечения максимальных показателей качества процессов.

Адаптация процессов требует затрат на временное снижение эффективности процессов в связи с переходом на новую базу поддержки. Основ-

2. Структура бизнес-команды

Команда бизнес-процесса (операторы)	Соотношение специалистов по специальностям, %	
Менеджеры	40	
Экономисты	30	
Технические специалисты	Программисты	5
	Электронщики	15
	Специалисты по сетям связи	10



ная доля расходов при этом приходится на пере-проектирование.

Кроме всего перечисленного, необходимо планирование затрат на расходные материалы. Они включают в себя расходы на определения перечня необходимых материалов, их количества и поставщиков, а также собственно оплату поставок.

На основе полученных данных можно рассчитать затраты на внедрение корпоративной информационной системы:

$$Z_k = \sum_i Z_{ki}, \quad (2)$$

где Z_k – затраты на внедрение, руб.;

Z_{ki} – составляющие затрат на внедрение в соответствии с рисунком, руб.

На втором этапе реализации методики определяют *затраты на сопровождение* автоматизированных средств информационной поддержки, которые могут быть структурированы в соответствии с матричной схемой (см. рисунок).

Как правило, ежегодные затраты на сопровождение не превышают 15 % от затрат на внедрение. Затраты на сопровождение предлагается рассчитывать в удельных денежных единицах, приведенных к одному месяцу. На основе анализа матричной схемы может быть получена величина затрат на сопровождение

$$Z_s = \sum_i Z_{si}, \quad (3)$$

где Z_s – эксплуатационные затраты, руб./мес.;

Z_{si} – составляющие эксплуатационных затрат руб./мес.

Затраты на несоответствие включают в себя те упущенные выгоды, которые предприятие может иметь при наличии корпоративной информационной системы. В качестве таких выгод рассматривают:

- ◆ сокращение времени процессов;
- ◆ снижение расходов на бумагу;
- ◆ снижение трудоемкости операций;
- ◆ снижение брака;
- ◆ сокращение сроков проектирования и подготовки производства нового изделия;
- ◆ сокращение затрат на проектирование и подготовку производства нового изделия;
- ◆ снижение ошибок осуществления процессов;
- ◆ обеспечение повторяемости процессов;
- ◆ обеспечение прозрачности процессов;
- ◆ обеспечение гибкости процессов;
- ◆ улучшение имиджа организации.

Наиболее значимой, но трудной для расчета выгодой является необходимость наличия высокоавтоматизированной корпоративной информационной системы для обеспечения возможности захвата рынка продукции в условиях жесткой конкуренции.

Предлагается осуществлять денежное выражение таких выгод в удельных единицах, приведенных к одному месяцу. Тогда реализацию методики ежемесячной прибыли организации в связи с внедрением автоматизированных средств информационной поддержки можно рассчитать по формуле

$$\Pi = \sum_i \frac{D_i}{\tau_i} - Z_s, \quad (4)$$

где Π – ежемесячная прибыль, руб./мес.;

D_i – совокупный (за все время актуальности мероприятий) доход от i -й выгоды, руб.;

τ_i – период актуальности мероприятий по i -й выгоде, мес.

На основании полученных данных с учетом капитальных затрат на внедрение может быть рассчитан период окупаемости мероприятий

$$T = \frac{Z_k}{\Pi}, \quad (5)$$

где T – период окупаемости, мес.

Планируемые мероприятия по внедрению средств автоматизированной информационной поддержки следует считать эффективными, если период окупаемости минимум в два раза меньше, чем период актуальности мероприятий на первом этапе внедрения корпоративной информационной системы, и в три-четыре раза – при реализации мероприятий по непрерывному улучшению.

Для иллюстрации применения методики в решении конкретных задач рассмотрим пример оценки эффективности применения средств автоматизированной информационной поддержки для внедрения автоматизированной информационной системы управления проектом на машиностроительном предприятии, осуществляющем производство сложной бытовой техники. Такие системы позволяют решать задачи, связанные с разработкой и реализацией проектов новой продукции, процессов, а также оперативного управления планированием и выполнением мероприятий.

*Исходные данные для расчета*

Исходное число автоматизированных рабочих мест	0
Число создаваемых автоматизированных рабочих мест	20
Класс средств автоматизированной информационной поддержки	Автоматизированная информационная система
Этап внедрения корпоративной информационной системы . . .	1

В соответствии с методикой **на первом этапе** определим *затраты на внедрение*. Для этого воспользуемся матричной схемой (см. рисунок). Поскольку уровень автоматизации в соответствии с исходными данными соответствует автоматизированной информационной системе, то в качестве вычислительного оборудования рабочих мест достаточно использовать персональные ЭВМ.

Наибольшую эффективность системы управления проектами обеспечивают при их внедрении на базе современных средств САПР, реализующих технологии CAD/CAM/CAE, WorkFlow и пр. Это позволяет не только организовывать процесс управления, но и осуществлять моделирование, проектирование и технологическую подготовку производства нового изделия в электронном виде. Это обуславливает повышенные требования к мониторам (проектирование) и вычислительным мощностям на тех рабочих местах, где осуществляется электронное моделирование. Таким образом, средняя стоимость автоматизированного рабочего места составляет 30 тыс. руб.

Кроме этого, необходимо приобретение сетевого оборудования, к которому в данном конкретном случае нет специальных требований. Общие затраты на его закупку составляют 610 тыс. руб. Стоимость установки оборудования данного класса 95 тыс. руб. (15 % от закупки), наладка на аппаратном уровне не требуется. Общие затраты – 705 тыс. руб.

Автоматизированные информационные системы не предъявляют высоких требований к программному обеспечению. Для их работ требуются:

- операционная система на рабочие места, поддерживающая групповое распределение прав доступа пользователей и сетевой режим работы (стоимость одной копии порядка 4 тыс. руб.);
- система управления проектом (САПР) – общая усредненная стоимость 20 рабочих мест порядка 700 тыс. руб.

Выбор решения не требует значимых ресурсов и может не учитываться при расчете. Поскольку стоимость современных средств САПР, как правило,

включает в себя их установку, а инсталляция программного обеспечения предполагает только затраты на установку и настройку операционной системы, что составляет величину порядка 5 % от затрат на приобретение операционных систем – 4 тыс. руб. В результате общие затраты на программное обеспечение составляют 784 тыс. руб.

Затраты на персонал предполагают привлечение одного работника на освобожденной основе для внедрения и сопровождения системы (см. табл. 1). Время ее инсталляции в данном конкретном случае не более одного месяца, следовательно, расходы согласно выражению (1) соответствуют заработной плате специалиста с учетом всех необходимых отчислений за один месяц – 20 тыс. руб.

Затраты на обучение работников: время обучения – 1 мес. по 8 ч в неделю, количество – 20 чел., заработная плата преподавателя – 40 тыс. руб. Итого – 120 тыс. руб. Общие затраты на персонал – 140 тыс. руб.

На уровне автоматизированной информационной системы существенных затрат на перепроектирование, наладку и адаптацию процессов, а также на приобретение и идентификацию материалов не требуется.

Таким образом, в соответствии с (2) получаем затраты на внедрение, составляющие 1 млн 629 тыс. руб.

На **втором этапе** рассчитываем затраты *на сопровождение*. Для этого за основу также берем матричную схему затрат (см. рисунок). Обслуживание, ремонт и замена оборудования выбранного класса с учетом количества требуют, как правило, вложений в пределах 10 % от стоимости его закупки, т.е. 61 тыс. руб. Время актуальности выбираем 5 лет (60 месяцев) (базовое значение показателя). В результате затраты на оборудование составляют 1 тыс. руб./мес.

Крупнейшие западные корпорации тратят на программное обеспечение 5 000...15 000 долл. в год. Для отечественных предприятий эта цифра примерно на порядок ниже. Кроме того, в данном случае программное обеспечение можно вообще не обновлять в течение всего времени актуальности.

Таким образом, затраты на сопровождение программного обеспечения можно определить на уровне примерно 1 тыс. руб./мес. Больших затрат на переподготовку персонала в условиях автоматизированной информационной системы не требуется. Затраты на привлечение одного работника состав-



ляют 20 тыс. руб./мес. Затратность модификации процессов при эксплуатации автоматизированной информационной системы также незначительна.

Расходы, связанные с материалами, в данном случае сводятся к расходам на электрическую энергию, поскольку все остальные затраты (отопление, материалы и т.п.) имеют место и при отсутствии автоматизированной информационной системы. Потребляемая мощность одного рабочего места на базе персональной ЭВМ составляет порядка 300 Вт. Затраты – 20 рабочих мест, 8 ч в день, 21 рабочий день в месяце, стоимость электроэнергии 1 руб./кВт·ч – 1 тыс. руб./мес. В результате в соответствии с (3) совокупные затраты на сопровождение составляют 23 тыс. руб./мес.

Количественное измерение ожидаемых выгод на **третьем этапе** представляет собой наибольшую сложность и в значительной степени зависит не только от специфики производства, но и от конкретного предприятия.

Для типового производства сложной бытовой техники на данном примере приблизительную оценку выгод можно произвести следующим образом. Общее сокращение сроков проектирования для таких видов изделий – 50 % (от 70 до 35 недель). Сокращение трудоемкости операций проектировщиков и менеджеров проекта – в среднем 65 %.

Таким образом, за счет снижения трудоемкости с учетом заработной платы персонала и количества рабочих мест ежемесячная выгода составит 260 тыс. руб./мес.

Отказ от использования твердых носителей обеспечивает экономию на расходных материалах порядка 1 тыс. руб./мес.

Если ограничиться данными показателями, то уже ежемесячный доход от внедрения автоматизированной информационной системы управления проектом составляет 261 тыс. руб.

Прочие выгоды в конечном итоге обеспечивают значительно больший доход, однако в общем виде без привязки к конкретному предприятию перед внедрением системы точное их определение практически невозможно. В соответствии с выражением (4) ежемесячная прибыль составляет 238 тыс. руб./мес.

На **четвертом этапе** в соответствии с выражением (5) рассчитываем период окупаемости, который в данном случае составляет 7 мес. С учетом срока актуальности, составляющего 60 мес., полученное значение окупаемости свидетельствует о необходимости внедрения автоматизированных информационных систем в процессе проектирования сложной бытовой техники.

Вывод

Данная методика позволяет оценить с экономической точки зрения эффективность и целесообразность внедрения средств системной автоматизированной информационной поддержки процессов управления предприятием.

Список литературы

1. **Кожина Т.Д., Камакин В.А.** Модель стратегического управления разработкой авиационной продукции / Экономика и управление научно-техническими инновациями и проектами в современных условиях / Мат-лы межд. науч.-практ. конф. (27–28 мая 2004 г.). М.: Изд-во МАИ, 2004.
2. **Кожина Т.Д., Камакин В.А., Юдин И.Д.** Стандартизация и матричная система управления качеством готовой продукции / Вестник РГАТА: сб. науч. тр. Рыбинск, 2002. № 2.

СПРАВОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ

Самоконтрящиеся гайки сохраняют работоспособность при многократных переборках резьбовых соединений. Нормируются максимальный момент первого завинчивания гайки и минимальный момент пятнадцатого отвинчивания ($M_{зав}^1$ и $M_{отв}^{15}$). В отечественной промышленности они соответствуют значениям, указанным в таблице. Нормативы ИСО по моменту пятнадцатого отвинчивания выше за счет использования точных резьб: для болтов 4h6h, для гаек 4H5H.

Нормативы контящих свойств самоконтрящихся гаек

Резьба	$M_{зав}^1$ (наибольший), Н·м	$M_{отв}^{15}$ (наименьший), Н·м	Резьба	$M_{зав}^1$ (наибольший), Н·м	$M_{отв}^{15}$ (наименьший), Н·м
M3	0,4/0,7	0,03	M10	4,0/6,9	0,60
M4	0,7/0,9	0,10	M12	9,8/9,8	1,00
M5	1,0/1,3	0,15	M14	12,7/12,7	1,50
M6	1,3/2,7	0,20	M16	15,7/15,7	2,0
M8	2,0/4,9	0,40			

Примечание. В числителе даны значения для ушковых и плавающих гаек; в знаменателе – для шестигранных гаек.

Определение основных геометрических параметров планетарных шариковых передач

Исследованы механические передачи с промежуточными телами качения. Рассмотрены структура, принципы работы и сборки этих передач. Приведен расчет основных геометрических параметров планетарных шариковых передач на основе анализа силового взаимодействия их звеньев. Проанализировано влияние этих параметров на КПД.

The mechanical transmissions with intermediate rollers are investigated. The principles of structure, work and assembly of these transmissions are considered. The expressions for calculating of the base geometrical parameters of planetary ball transmissions, on the base of force analysis, are given. The influence of these parameters on efficiency coefficient is analyzed.

Планетарные шариковые передачи (ПШП) представляют собой отдельный класс трехзвенных механизмов, в которых основные звенья взаимодействуют посредством тел качения, выполняющих функции сателлитов аналогично колесам-сателлитам в традиционных зубчатых планетарных передачах. Основные звенья ПШП представлены на рис. 1.

Модель передачи представляет собой взаимодействие (взаимопересечение) двух периодических кривых с равными амплитудами A , замкнутых на цилиндре с радиусом образующей окружности R .

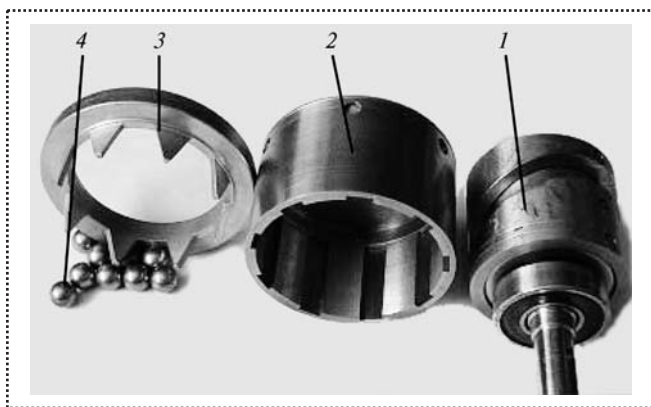


Рис. 1. Основные детали ПШП:

1 – внутренний составной кулачок; 2 – вал с пазами; 3 – многопериодный наружный кулачок; 4 – шарики

Одна кривая имеет число периодов $Z_1 = 1$ и представляет собой эллипс, другая – число периодов Z_3 . Точки пересечения кривых – центры тел качения шариков. При вращении ведущего звена – составного внутреннего кулачка 1 (см. рис. 1) – тела качения 4 перемещаются по его эллипсообразной беговой дорожке и одновременно по профильной рабочей поверхности неподвижного наружного кулачка 3. Тела качения при этом также выполняют колебательные движения вдоль пазов вала 2, который является выходным (ведомым) звеном.

ПШП можно рассматривать как кулачковый механизм и как волновую передачу, у которой деформируемым звеном является система тел качения, а внутренний кулачок – генератором. Можно анализировать данное зацепление с применением теории винтовой пары (наклонной плоскости). Доказано, что систему тел качения при динамическом анализе можно рассматривать как единое вращающееся тело, так как моменты инерции (осевой и полярный) у нее не изменяются в любой момент времени. Основанием для классификации данной передачи как планетарной является полное подчинение ее кинематики формуле Виллиса, с тем лишь отличием, что роль чисел зубьев центральных колес выполняют числа периодов.

Разработанная передача с числом периодов $Z_1 = Z_3 = 1$ позволила разрабатывать средства малой механизации с ручным приводом [1]. Многопериодные передачи позволяют увеличить диапазон передаточных чисел и создавать компактные редукторы (рис. 2). На основе ПШП также возможно проектирование многоступенчатых редукторов.

Преимуществами передач данного типа по сравнению с другими механическими передачами являются:

- малогабаритность (передаточное отношение не зависит от радиальных размеров);
- высокая нагрузочная способность (в передаче нагрузки одновременно участвуют несколько тел качения);

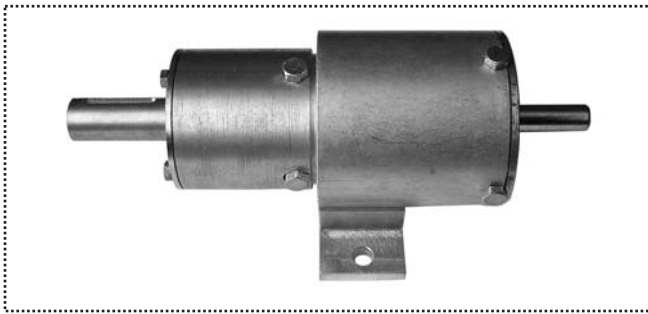


Рис. 2. Планетарный шариковый редуктор с передаточным отношением $u = 9$

- технологичность изготовления деталей передачи (определенные сложности может вызвать только изготовление рабочих поверхностей наружного кулачка).

Сборка передачи осуществляется методом "погружения". При этом вал с пазами фиксируется неподвижно, внутренний кулачок погружается в него до степени, достаточной для размещения одного шарика, находящегося в нижней точке беговой дорожки внутреннего кулачка. Далее внутренний кулачок поворачивается на определенный угол и в свободную соседнюю ячейку устанавливается следующий шарик. Внутренний кулачок при закладывании шариков постепенно погружается в вал с пазами. После того как установлены все тела качения, с одной из сторон вала с пазами в зацепление вводится наружный кулачок. Далее редуцирующий узел фиксируют в корпусе и в него закладывают консистентную смазку (гипоидное масло с графитом).

Регулировка зацепления и компенсация износа рабочих поверхностей наружного кулачка осуществляются его осевым перемещением с помощью установки специальных регулировочных прокладок.

Для определения геометрических параметров нами была разработана плоская и пространственная фрикционные модели, позволяющие оценить КПД передачи на стадии проектирования [2]. Анализ фрикционной модели позволяет получить значения усилий на основных звеньях, что необходимо для дальнейшего расчета их прочности. Варьируя геометрией передачи в определенных пределах, можно снизить потери мощности и увеличить КПД. Фрикционная модель зацепления была получена методом кинестатики с определением сил (реакций), действующих на систему тел качения со стороны остальных звеньев передачи.

Рассматривая установившийся режим работы и пренебрегая силами тяжести деталей передачи, на

основе анализа и преобразования фрикционной модели была получена теоретическая зависимость реакции наружного кулачка N_3 от реакции внутреннего кулачка N_1 :

$$N_3 = \frac{N_1 \sum_{i=1}^t [\cos(\alpha_{1i}) - f \sin(|\alpha_{1i}|)] - N_2 ft - S_4 ft}{\sum_{i=1}^t [\cos(\alpha_{3i}) + f \sin(\alpha_{3i})]}, \quad (1)$$

где α_{1i} и α_{3i} – углы подъема наклонных поверхностей соответственно внутреннего и наружного кулачков в точке контакта с i -м телом качения;

t – число тел качения в передаче;

N_2 – реакция вала с пазами;

S_4 – реакция корпуса;

f – коэффициент трения.

Необходимо учесть, что в реальной передаче радиус окружности расположения центров тел качения R может отличаться от R_1 , R_2 и R_3 – радиусов окружностей расположения точек контакта тела качения с внутренним кулачком, валом с пазами и наружным кулачком соответственно.

Исходя из баланса мощностей и выражения (1), получим зависимость между реакциями на ведущем и ведомом звеньях

$$K_1 N_1 = K_2 N_2 + K_3, \quad (2)$$

где K_1 , K_2 и K_3 – условно введенные коэффициенты.

Данные коэффициенты определяют согласно зависимостям

$$K_1 = \sum_{i=1}^t (\sin|\alpha_{1i}| + f \cos \alpha_{1i}) + \frac{\sum_{i=1}^t [\cos \alpha_{1i} - f \sin(|\alpha_{1i}|)]}{\sum_{i=1}^t (\cos \alpha_{3i} + f \sin \alpha_{3i})} \times \left\{ \sum_{i=1}^t [\sin|\alpha_{3i}| - f \text{sign}(\alpha_{3i}) \cos \alpha_{3i}] \right\}; \quad (3)$$

$$K_2 = t \left\{ \cos \beta + \frac{f(1 - \sin \beta)}{\sum_{i=1}^t (\cos \alpha_{3i} + f \sin \alpha_{3i})} \times \left[\sum_{i=1}^t (\sin(|\alpha_{3i}|) - f \text{sign}(\alpha_{3i}) \cos \alpha_{3i}) \right] \right\}; \quad (4)$$



$$K_3 = \frac{m_4 R t \omega_2^2}{\sum_{i=1}^i (\cos \alpha_{3i} + f \sin \alpha_{3i})} \times \left[\sum_{i=1}^i (\sin(|\alpha_{3i}|) - f \operatorname{sign}(\alpha_{3i}) \cos \alpha_{3i}) \right], \quad (5)$$

где β – угол отклонения силы N_2 от касательной к окружности с радиусом R_2 ;

ω_2 – угловая скорость звена 2 (вала с пазами).

Учитывая, что крутящий момент на ведущем M_1 и ведомом M_2 валах можно определить согласно выражениям

$$M_1 = N_1 R_1 \sum_{i=1}^i (\sin(|\alpha_{1i}|) + f \cos \alpha_{1i}), \quad (6)$$

$$M_2 = N_2 R_2 t \cos \beta$$

и используя известную зависимость для определения КПД $\eta = M_2/M_1 u$, можно показать, что

$$\eta = \frac{N_2 R_2 t \cos \beta}{u N_1 R_1 \sum_{i=1}^i [\sin(|\alpha_{1i}|) + f \cos \alpha_{1i}]}. \quad (7)$$

Выразив в выражении (7) отношение N_2/N_1 и используя формулу (2), получим

$$\eta^* = \frac{R_2}{R_1} \frac{t \cos \beta}{u \sum_{i=1}^i [\sin(|\alpha_{1i}|) + f \cos(\alpha_{1i})]} \frac{K_1 - K_3/N_1}{K_2}. \quad (8)$$

Функцию η^* целесообразно определить не как КПД, а как коэффициент передачи, так как при его определении присутствуют соотношения радиусов R_1 и R_2 . Собственно КПД передачи необходимо определять путем определения потерь мощностей.

Проанализируем выражение (8) со следующими допущениями:

- отношение радиусов R_2 и R_1 примем равным единице;
- угол β – нулю (плоская модель);
- коэффициентом K_3 , зависящим от скоростей вращения звеньев, пренебрегаем.

В этом случае

$$\eta^* = \frac{t K_1}{u K_2 \sum_{i=1}^i [\sin(|\alpha_{1i}|) + f \cos(\alpha_{1i})]}. \quad (9)$$

Аналитически исследовать модель (9) неудобно – там присутствуют многочисленные суммирования,

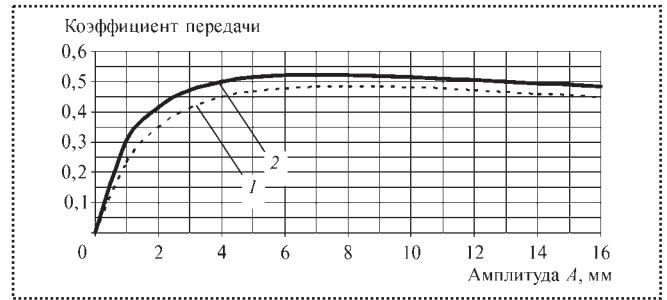


Рис. 3. Сравнение моделей зацепления:

1 – односторонний контакт; 2 – двусторонний контакт

так как углы α_{1i} и α_{2i} являются периодически изменяющимися функциями угла поворота ведущего вала φ_1 . Если рассмотреть модель для определения мгновенного КПД зацепления в одной ячейке для первой кинематической схемы (звено ведущее 1 – звено ведомое 2 – звено остановленное 3) [3] и преобразовать ее для всего зацепления, то можно получить зависимость

$$\eta_{12}^{(3)} = \frac{\sum_{i=0}^{i-1} \sin(\alpha_{1i} + \alpha_{3i}) \cos \phi}{u \sum_{i=0}^{i-1} \sin(\alpha_{1i} + \phi) \cos(\alpha_{3i} - 2\phi)}, \quad (10)$$

где ϕ – угол трения, определяемый как арктангенс от коэффициента трения f .

Задачей исследования на данном этапе являлась проверка сопоставимости моделей (10) и (9). Для этого с помощью ЭВМ были исследованы зависимости (9) и (10), как функции изменяющейся амплитуды. Параметры исследуемой передачи: $Z_1 = 1$, $Z_3 = 8$, $r_{ш} = 3$ мм, $R = 20$ мм, $A = 10$ мм, $f = 0,1$. Из графиков на рис. 3 следует, что коэффициенты передачи описываются зависимостями, имеющими аналогичный характер, а это означает допустимость использования простой зависимости (10) для анализа механических потерь в планетарных шариковых передачах.

Различие графиков, представленных на рис. 3, происходит из-за двух видов силового взаимодействия в ячейках многопериодной планетарной шариковой передачи по сравнению с другими видами передач этого типа, где возможна реализация одностороннего контакта шарика и выступа наружного кулачка.

При работе рассматриваемой передачи нагруженными оказываются все участки рабочей поверхности наружного кулачка (кроме вершин и

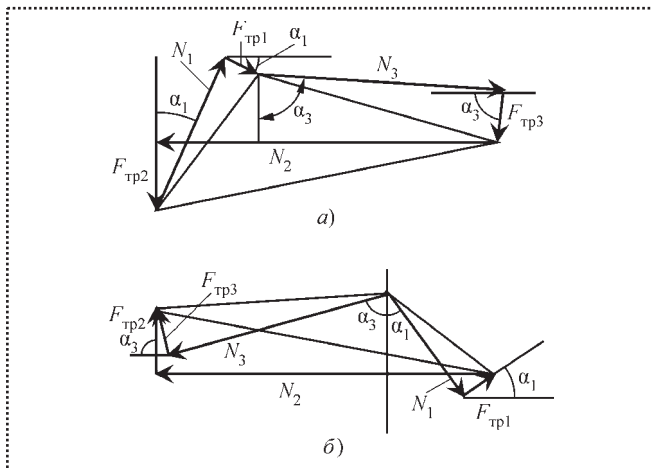


Рис. 4. К вопросу силового взаимодействия шариков и многозвездчатого кулачка:

a – проекция $F_{тр3}$ совпадает по направлению с проекцией N_3 ; *б* – проекция $F_{тр3}$ противоположна проекции N_3

впадин). Односторонний контакт происходит при формировании беговой дорожки на внутренней цилиндрической поверхности наружного кулачка. Шарик при этом контактирует как бы с двумя наружными кулачками, поверхности которых нагружаются поочередно.

Преимущество такого взаимодействия, описываемого зависимостью (10), – осевая уравновешенность передачи. Однако при этом кроме теоретического снижения КПД в систему добавляются избыточные связи, что требует повышенной точности изготовления деталей.

Так как в рассматриваемой планетарной шариковой передаче контакт тела качения с выступами наружного кулачка двухсторонний (вновь рассматриваем первую кинематическую схему), то при взаимодействии шариков с рабочими поверхностями одной из сторон направления проекции силы трения $F_{тр3}$ и N_3 совпадают (рис. 4, *a*), а при взаимодействии с рабочими поверхностями другой стороны – их направления противоположны (рис. 4, *б*). Этот режим оказывается более благоприятным, так как приводит к повышению коэффициента передачи.

При определении оптимального значения амплитуды основными параметрами зацепления являются: радиус расположения центров шариков R и амплитуда A . Если радиус R во многом определяется максимально допустимыми габаритами, в которые необходимо встроить передачу, то амплитуду A

необходимо оптимизировать по критерию минимальных механических потерь.

Преобразуем выражение для определения мгновенного КПД ПШП для первой кинематической схемы. Выразим его через угол α_1

$$\eta(\alpha_1) = \frac{\sin(\alpha_1 + \alpha_3) \cos \phi}{u \sin(\alpha_1 + \phi) \cos(\alpha_3 - 2\phi)} = \frac{(\sin \alpha_1 \cos \alpha_3 + \cos \alpha_1 \sin \alpha_3) \cos \phi}{u \sin(\alpha_1 + \phi) [\cos \alpha_3 \cos(2\phi) + \sin \alpha_3 \sin(2\phi)]} \quad (11)$$

Разделим и числитель, и знаменатель выражения (11) на $\cos \alpha_3$, предполагая, что передача при $\alpha_3 = 90^\circ$ не существует, и получим

$$\begin{aligned} \eta(\alpha_1) &= \frac{(\sin \alpha_1 + \cos \alpha_1 \operatorname{tg} \alpha_3) \cos \phi}{u \sin(\alpha_1 + \phi) [\cos(2\phi) + \operatorname{tg} \alpha_3 \sin(2\phi)]} = \\ &= \frac{\left(\sin \alpha_1 + \cos \alpha_1 \frac{Z_3 \operatorname{tg} \alpha_1}{Z_1} \right) \cos \phi}{\left(\frac{Z_1 + Z_3}{Z_1} \right) \sin(\alpha_1 + \phi) \left[\cos(2\phi) + \frac{Z_3}{Z_1} \operatorname{tg} \alpha_1 \sin(2\phi) \right]} = \\ &= \frac{\sin \alpha_1 \left(1 + \frac{Z_3}{Z_1} \right) \cos \phi}{\left(\frac{Z_1 + Z_3}{Z_1} \right) \sin(\alpha_1 + \phi) \left[\cos(2\phi) + \frac{Z_3}{Z_1} \operatorname{tg} \alpha_1 \sin(2\phi) \right]} = \\ &= \frac{\sin \alpha_1 \cos \phi}{\sin(\alpha_1 + \phi) \left[\cos(2\phi) + \frac{Z_3}{Z_1} \operatorname{tg} \alpha_1 \sin(2\phi) \right]} \end{aligned}$$

Взяв производную от выражения (11) $d\alpha_1$ и приравняв ее к нулю, определим угол, при котором функция $\eta(\alpha_1)$ имеет оптимальное значение

$$\alpha_{1\text{опт}} = \arctg \left(\frac{\sqrt{2Z_3 Z_1 - \operatorname{tg}^2 \phi}}{2Z_3} \right) \quad (12)$$

Проанализируем, зависит ли оптимальное значение угла α_1 от кинематической схемы. Рассмотрим вторую схему (звено ведущее 1 – звено ведомое 3, звено 2 остановлено). При этом

$$\eta(\alpha_1) = \frac{\left(\frac{Z_3}{Z_1} \operatorname{tg} \alpha_1 \cos \phi - \sin \phi \right) \cos(\alpha_1 + 2\phi)}{\frac{Z_3}{Z_1} \sin(\alpha_1 + \phi) \left(\cos 2\phi + \frac{Z_3}{Z_1} \operatorname{tg} \alpha_1 \sin 2\phi \right)}; \quad (13)$$

$$\alpha_{\text{опт}} = -\phi + \arctg \left[\frac{Z_1 \sin \phi (2 \cos^3 \phi - \cos \phi) + 2Z_3 \cos^3 \phi \sin \phi + \sqrt{2[\cos^2 \phi Z_1 Z_3 (2 \cos^2 \phi - 1)]}}{Z_1 (1 - 3 \cos^2 \phi + 2 \cos^4 \phi) + 2Z_3 \cos^4 \phi} \right]. \quad (14)$$

Сравнение выражений (14) и (12) с помощью ЭВМ показало их абсолютную идентичность. Поэтому исследовать будем формулу (12) как менее громоздкую.

Так как в многопериодной ППП многопарное зацепление, то при проектировании передачи угол $\alpha_{\text{опт}}$ можно принимать средним углом, который определяют из уравнения

$$\arctg \left(\frac{2A}{\pi R} \right) = \arctg \left(\frac{\sqrt{2Z_3 Z_1 - \text{tg}^2 \phi}}{2Z_3} \right) \Rightarrow A_{\text{опт}} = \frac{\pi R \sqrt{2Z_3 Z_1 - \text{tg}^2 \phi}}{4Z_3}.$$

При заглаблении шарика во внутренний кулачок на величину $r_{\text{ш}}$ (радиуса шарика) или более реакция взаимодействия тел направлена по касательной к окружности с радиусом R (рис. 5).

При заглаблении шарика на величину меньшую, чем $r_{\text{ш}}$, реакция N_1 отклоняется от касательной на угол γ .

Рассмотрим выражение, согласно которому определяется момент M_1 . В случае, когда $\gamma \neq 0$, дейст-

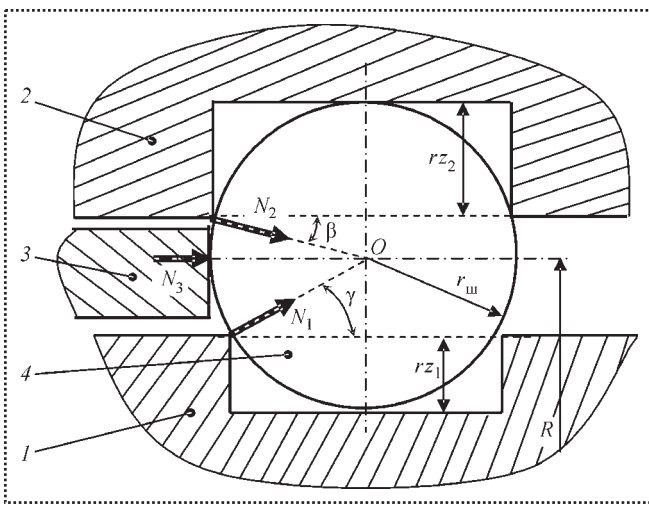


Рис. 5. К вопросу о величине заглабления шарика в детали ППП:

1 – внутренний составной кулачок; 2 – вал с пазами; 3 – многопериодный наружный кулачок; 4 – шарик

вительная реакция внутреннего кулачка будет равна $N_1/\cos \gamma$. Это увеличе-

ние не отразится на окружной составляющей силы, однако на увеличении силы трения скажется заметно:

$$M_1 = \frac{N_1}{\cos \gamma} R_1 \sum_{i=0}^{i-1} (\sin |\alpha_{1i}| \cos \gamma + f \cos \alpha_{1i}). \quad (15)$$

При этом динамические нагрузки не учитываем.

При изменении угла γ , радиус R_1 также изменяется согласно зависимости

$$R_1 = R - r_{\text{ш}} \sin \gamma. \quad (16)$$

Проанализируем, как изменяется крутящий момент M_1 на входном валу передачи, для того чтобы обеспечить крутящий момент на выходном валу $M_2 = 200$ Н·м. Параметры передачи: $Z_1 = 1$, $Z_3 = 8$, $r_{\text{ш}} = 3$ мм, $R = 20$ мм, $A = 10$ мм, $f = 0,05$. Рассмотрим также, как изменяется при этом КПД передачи, определяемый по формуле:

$$\eta' = \frac{M_2 R_2}{u M_1 R_1}. \quad (17)$$

Отношение радиусов R_2/R_1 было введено в формулу (17) для определения КПД, так как оно присутствует в коэффициенте передачи. Результаты анализа графически представлены на рис. 6 и 7.

Анализ графиков показывает, что с увеличением значения угла γ момент M_1 возрастает сначала

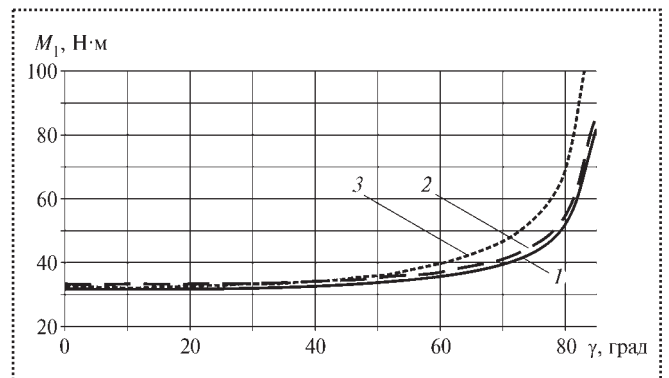


Рис. 6. Изменение момента M_1 от угла γ :

1 – $R = 20$ мм, $f = 0,05$; 2 – $R = 20$ мм, $f = 0,1$; 3 – $R = 40$ мм, $f = 0,05$

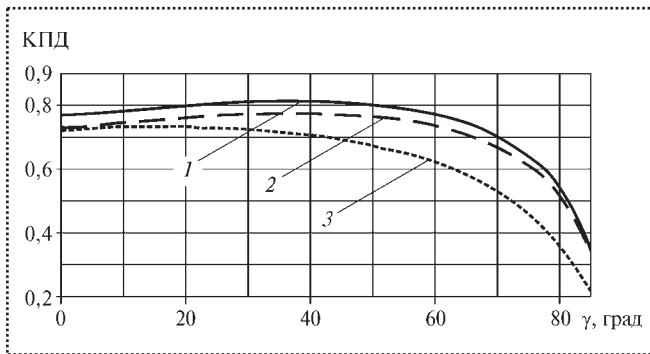


Рис. 7. Изменение КПД от угла γ :
 1 – $R = 20$ мм, $f = 0,05$; 2 – $R = 20$ мм, $f = 0,1$; 3 – $R = 40$ мм, $f = 0,05$

плавно, затем достаточно резко. График КПД достигает оптимального значения (максимального значения) при некотором значении угла γ , однако при увеличении соотношения $R/r_{ш}$ экстремум функции на исследуемом отрезке не выявляется.

Таким образом, в силовых передачах угол γ следует принимать равным нулю и проектировать заглабление шарика во внутренний кулачок на величину $rZ_1 = r_{ш}$. Приближенность его к оптимальному значению (отличному от нуля для малогабаритных передач) на практике будет обеспечена благодаря кривизне поверхностей кулачка (см. рис. 4, кривизна с радиусом R не учтена), а также естественному износу контактирующих поверхностей.

Определим рациональную величину заглабления шариков в вал с пазами. Проанализируем выражение (8) с помощью ЭВМ, изменяя угол β . Результаты анализа графически представлены на рис. 8. При этом было учтено, что радиус R_2 зависит от угла β :

$$R_2 = R + r_{ш} \sin \beta. \quad (18)$$

График на рис. 8 показывает, что для увеличения КПД угол β необходимо увеличивать. Однако при угле $\beta = \pi/2$ ПШП из передачи зацеплением превращается в передачу трением. При увеличении угла β резко возрастают значения реакции N_2 , по-

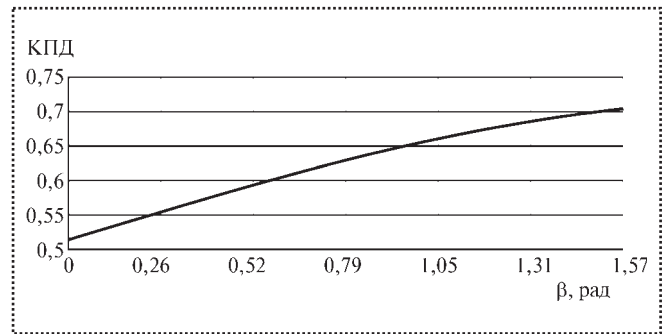


Рис. 8. Изменение КПД в зависимости от угла β

этому окончательно решать этот вопрос нужно после проведения прочностных расчетов. Исходя из условия равной прочности, можно назначить величину заглабления в вал с пазами $rZ_2 = 0,25r_{ш}$, тогда такая же величина, равная $0,25r_{ш}$, останется для размещения неподвижного многопериодного кулачка. Значения углов γ и β определяют по формуле

$$\gamma(\beta) = \arcsin \left(\frac{r_{ш} - rZ_{1(2)}}{r_{ш}} \right). \quad (19)$$

Вывод

На основании анализа фрикционной модели планетарного шарикового зацепления получены зависимости для определения оптимальных геометрических параметров передачи для различных кинематических схем. Проведенные лабораторные испытания на опытных образцах редукторов подтвердили справедливость расчетов.

Список литературы

1. Лустенков М.Е. Ключ для демонтажа ведущих колес грузовых автомобилей ЗИЛ и ГАЗ // Автомобильная промышленность. 2003. № 5. С. 24–25.
2. Лустенков М.Е. Планетарные шариковые передачи цилиндрического типа: монография / М.Е. Лустенков, Д.М. Макаревич. Могилев: Бел. Рос. ун-т, 2005. 123 с.
3. Лустенков М.Е. Шариковые планетарные передачи для средств малой механизации // Вестник машиностроения. 2004. № 6. С. 15–17.

М.Г. Кристаль, канд. техн. наук, Б.В. Лохман, Е.В. Стегачёв, канд. техн. наук
(Волгоградский государственный технический университет)

Струйное устройство для ориентирования деталей

Приведено описание струйного ориентирующего устройства для плоских деталей типа "галета", обеспечивающего переворот детали посредством импульсного воздействия на нее двух струй сжатого воздуха.

This article presents a description of a jet stream plane element orientation device, which provides element's flip-over by means of discreet impact of two compressed air jets.

Для задач автоматического ориентирования деталей применяют воздействие на них струй сжатого воздуха. Такие устройства, использующие энергию струй, долговечны, надежны в работе и не имеют холостых ходов.

Авторами предложена схема (рис. 1, а), реализующая процесс ориентирования плоской детали при помощи воздействия на нее двух струй сжатого воздуха [1].

Последовательность воздействия струй для ориентирования плоской детали:

- струя сжатого воздуха F_I поворачивает деталь вокруг точки O (первый этап переворота);
- затем струя сжатого воздуха F_{II} переносит центр тяжести детали из точки C' в точку C и переворачивает деталь вокруг точки C (второй этап переворота), заканчивая тем самым процесс переворота.

Как следует из временных диаграмм силовых воздействий (рис. 1, б, в), мы рассматриваем два случая:

- первый – силовые воздействия F_I и F_{II} разнесены по времени (рис. 1, б);
- второй – силовые воздействия F_I и F_{II} накладываются по времени (рис. 1, в).

В предложенной схеме длительности t_I , t_{II} соответственно каждого из импульсов F_I , F_{II} , интервал t_{I-II} задержки (наложения), а также величины импульсов F_I , F_{II} являются настраиваемыми параметрами.

Данный процесс реализуется в разработанном авторами струйном устройстве для ориентирования плоских деталей типа "галета" (рис. 2, а).

Деталь I устанавливается на горизонтальной рабочей поверхности корпуса 2 , ограниченной борта-

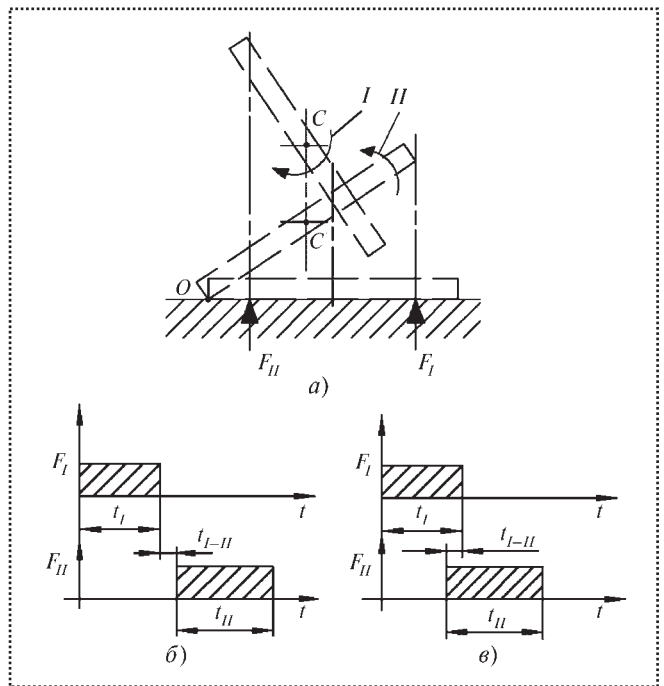


Рис. 1. Этапы струйного ориентирования плоской детали: а – схема переворота детали под действием струй сжатого воздуха; б – диаграммы силовых воздействий при разнесенных по времени импульсах; в – диаграммы силовых воздействий при накладываются по времени импульсах

ми 3 . В корпусе выполнены две сопловые камеры 4 и 5 . На рабочей поверхности симметрично относительно продольной оси детали расположены группы сопел 6 и 7 , соответственно соединенные с сопловыми камерами 4 и 5 . Камеры 4 , 5 коммутируются с источником сжатого воздуха посредством каналов 8 , 9 через пневмораспределители 10 , 11 . В каналах 8 , 9 установлены датчики 12 , 13 давления, а также дроссели 14 , 15 . Входы пневмораспределителей 10 , 11 подключены к системе управления.

Блок 16 системы управления может быть выполнен на логических элементах (рис. 2, б). В этом случае система управления состоит из двух триггеров 17 , 18 и двух элементов 19 , 20 временной задержки.

Устройство работает следующим образом.

Сигнал подается на входы триггера 17 и элемента 19 временной задержки. На выходе Q триггера 17 появляется единичный сигнал. Он поступает на

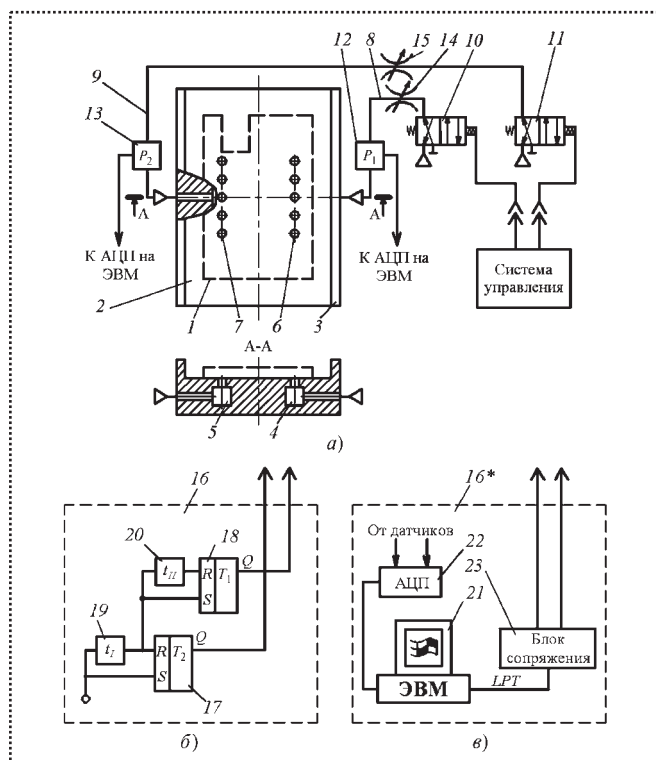


Рис. 2. Струйное ориентирование плоских деталей:
 а – устройство струйного ориентирования плоских деталей; б – система управления на логических элементах; в – система управления от ЭВМ

вход пневмораспределителя 10 (см. рис. 2, а) и меняет положение золотника последнего. Сжатый воздух по каналу 8 через дроссель 14 поступает в сопловую камеру 4 и через группу сопел 6 подбрасывает деталь.

Начинается первый этап переворота.

По истечении заданного времени t_1 (см. рис. 2, б) элемент 19 временной задержки выдает сигнал на вход R триггера 17, а также на входы триггера 18 и элемента 20 временной задержки. При этом триггер 17 меняет состояние выхода на нулевое, что отключает подачу сжатого воздуха от сопловой камеры 4 (см. рис. 2, а) первой группы исполнительных сопел 6. Первый этап переворота закончен.

Одновременно на выходе Q триггера 18 (см. рис. 2, б) появляется единичный сигнал, поступающий на вход пневмораспределителя 11. Сжатый воздух по каналу 9 (см. рис. 2, а) через дроссель 15 поступает в сопловую камеру 5 и через группу сопел 7 взаимодействует с деталью. Начинается второй этап переворота.

По истечении заданного времени t_{II} элемент 20 (см. рис. 2, б) временной задержки выдает сигнал

на вход R триггера 18, что "обнуляет" его выход и сбрасывает давление из сопловой камеры 5 (см. рис. 2, а) второй группы исполнительных сопел 7. Переворот закончен.

При этом устройство работает в режиме, при котором длительность импульсного воздействия струи сжатого воздуха на деталь ограничена заранее определенными заданными интервалами времени t_1 , t_{II} (см. рис. 2, б). Задание каждого из двух интервалов t_1 , t_{II} , обеспечивающих первый и второй этапы переворота, осуществляется при помощи двух элементов 19, 20 временной задержки соответственно.

Таким образом, переворот детали в зоне ориентирования осуществляется за счет последовательного импульсного силового воздействия на нее двух струй сжатого воздуха, истекающих из двух групп исполнительных сопел и разнесенных по времени при помощи элементов временной задержки. Величины этих воздействий регулируются соответствующими дросселями на входах сопловых камер. В совокупности это позволяет применять устройство предлагаемой конструкции в широком диапазоне типоразмеров деталей с сохранением высокого быстродействия.

Для выполнения экспериментальных исследований разработана система управления данным устройством от ЭВМ (рис. 1, в). Тогда блок 16* системы управления представляет собой ЭВМ 21 с подключенным аналого-цифровым преобразователем (АЦП) 22, а также блок 23 сопряжения.

Управление работой пневмораспределителей 10 и 11 осуществляется от ЭВМ 21 через блок 23 сопряжения. Информация о рабочих давлениях в сопловых камерах 4, 5 поступает в ЭВМ с датчиков 12, 13 через АЦП 22.

Вывод

Специально созданное программное обеспечение позволяет варьировать длительности t_1 , t_{II} импульсов F_1 , F_{II} , интервал t_{1-II} задержки (наложения) с точностью до 0,01 с в широком диапазоне величин. Это, в свою очередь, дает возможность подобрать рациональное соотношение значений рабочих давлений и времени, а также синхронизировать работу устройства с датчиками и записывающей аппаратурой.

Список литературы

1. Патент РФ № 2305619. Авторы: М.Г. Кристаль, Б.В. Лохман, Е.В. Стегачёв, С.А. Носонов. Оpubл.: 10.09.2007. Бюл. № 25.

СБОРОЧНО-СВАРОЧНЫЕ РАБОТЫ. ПАЙКА

УДК 621.791.053:621.922.02

А.Н. Коротков, д-р техн. наук (Кузбасский государственный технический университет),
Д.М. Дубинкин (ООО "КемеровоХиммаш", г. Кемерово)

Повышение работоспособности обдирочных кругов на операциях обработки сварных швов путем использования шлифовальных зерен с контролируемой формой

Изучено влияние формы шлифовальных зерен на эффективность работы обдирочных шлифовальных кругов. Установлено, что форма зерна влияет на производительность шлифования обдирочными кругами, интенсивность их износа, эффективную мощность, температуру при шлифовании и качество обработанной поверхности. Выведены математические зависимости и приведены рекомендации по повышению эксплуатационных возможностей обдирочных кругов.

The article deals with the study of the form influence of polishing grains on efficiency of abrasive disk. It is determined that the factor of grains' form influences the efficiency of polishing by abrasive disk, wear intensity, effective capability, temperature while polishing and quality of treated surface. The article tells about mathematic dependency, which explain the discovered relationships. The recommendations concerning with increasing working capacity of abrasive disk are given in the article.

В настоящее время обдирочные шлифовальные круги на бакелитовой связке широко используют во многих областях машиностроения. Данный тип инструмента нашел применение на заготовительных и котельно-сборочных операциях при удалении с заготовок дефектного слоя материала после литья,ковки и штамповки, а также при обработке сварных швов в заготовках (карт, днищ, обечаек и др.). Этому способствуют как универсальные возможности данного инструмента, так и относительная доступность абразивных материалов, из которых он изготовлен.

Практика использования обдирочных кругов на производстве показывает, что эффективность их применения могла бы быть значительно выше. Одна из причин такого положения состоит в недостаточной степени использования потенциальных

возможностей компонентов обдирочного круга, а именно: эффективность применения шлифовальных зерен не превышает 10...20 % [3]. Это связано с тем, что зерна нормального электрокорунда, используемые при изготовлении обдирочных кругов на бакелитовой связке, несмотря на одинаковый номер зернистости, имеют произвольную конфигурацию и, следовательно, разную геометрию. Хаотичная форма и геометрия шлифовальных зерен приводят к тому, что многие из них недостаточно эффективно либо вообще никак не участвуют в процессе резания. Поэтому одним из перспективных путей повышения работоспособности шлифовальных инструментов, в том числе и обдирочных шлифовальных кругов на бакелитовой связке, является подбор оптимальной и упорядоченной формы и, как следствие, геометрии шлифовальных зерен, используемых при изготовлении данных инструментов.

Цель работы состоит в повышении работоспособности обдирочных шлифовальных кругов путем использования шлифовальных зерен с контролируемой формой.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- ♦ произвести разделение исходной абразивной массы на фракции с определенной формой зерен (изометрической, промежуточной и игольчатой) и дать количественную оценку форме зерен, находящихся в разных фракциях, по параметру "коэффициент формы";
- ♦ разработать конструкции экспериментальных обдирочных кругов, состоящих из зерен с контролируемой формой и создать технологию по изготовлению таких инструментов;
- ♦ разработать методику и создать испытательный комплекс для оценки эксплуатационных характеристик опытных обдирочных шлифовальных кругов, изготовленных из зерен с контролируемой



формой, на котором провести лабораторные испытания этих инструментов и установить степень влияния формы абразивных зерен на режущую способность Q_m и износ кругов h , эффективную мощность, затрачиваемую на шлифование W_e и температуру резания T °С, на микротвердость и макроструктуру в поверхностных слоях обрабатываемых деталей;

♦ построить математические модели, отражающие влияние коэффициента формы K_ϕ шлифовальных зерен и режимов шлифования на эксплуатационные характеристики обдирочных шлифовальных кругов, и разработать рекомендации по созданию и применению новых конструкций обдирочных шлифовальных кругов, содержащих в своей структуре классифицированные по форме абразивные зерна.

Для изучения влияния формы и геометрии зерен на эксплуатационные характеристики обдирочных шлифовальных кругов в лаборатории "Резание металлов" КузГТУ был произведен рассев партии нормального электрокорунда марки 13А 80 по признаку формы. Сортировку зерен по форме выполняли на вибрационном сепараторе [3].

Для оценки формы рассеянных на вибрационном сепараторе шлифовальных зерен использовали программу "Zerno" [4], которая позволяет количественно оценить форму и геометрические параметры шлифовальных зерен различных марок и зернистостей. А именно, изображения, предварительно отсканированных на планшетном сканере шлифовальных зерен в количестве не менее 100 шт. из каждой ячейки вибрационного сепаратора, заносили в программу "Zerno", которая в автоматическом режиме определяла коэффициент формы зерен в виде отношения диаметров описанных $D_{оп}$ и вписанных окружностей $D_{вп}$ в проекции контура рассматриваемых зерен:

$$K_\phi = D_{оп} / D_{вп}. \quad (1)$$

Изготовление опытной партии экспериментальных обдирочных кругов ПП150×25×32 13А 80 [K_ϕ] 35 37 БУ производили на кафедре "Металлорежущие станки и инструменты" КузГТУ и в ООО "Юргинские абразивы" (г. Юрга). За основу был взят типовой технологический процесс, реализуемый на ООО "Юргинские абразивы". Исключением в нем было лишь то, что в качестве материала использовали классифицированные по форме шлифовальные зерна нормального электрокорунда

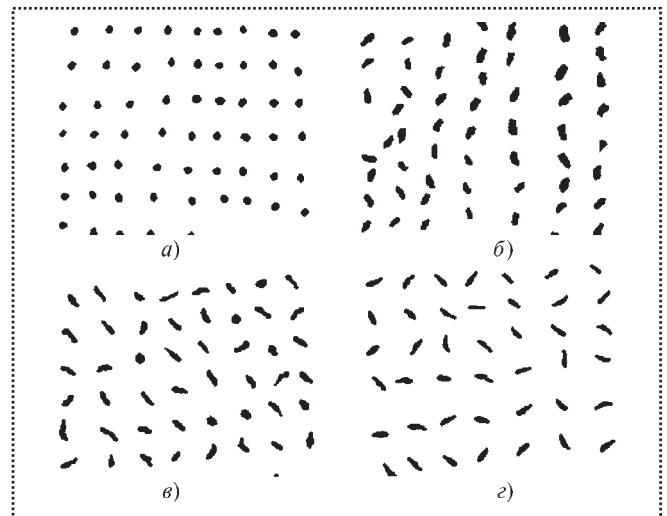


Рис. 1. Разновидности форм шлифовальных зерен:

a – изометрическая, $K_\phi \approx 1,28$; *б* – промежуточная, $K_\phi \approx 1,52$; *в* – произвольная, $K_\phi \approx 1,81$; *з* – игольчатая, $K_\phi \approx 2,30$

марки 13А 80, предварительно полученные в результате сепарации обычного абразива.

Обдирочные круги изготавливали из шлифовальных зерен, имеющих следующую форму: изометрическую (рис. 1, *a*) со средним коэффициентом формы зерен $K_\phi \approx 1,28$; промежуточную (рис. 1, *б*) – $K_\phi \approx 1,52$; произвольную (рис. 1, *в*) – $K_\phi \approx 1,81$; игольчатую (рис. 1, *з*) – $K_\phi \approx 2,3$.

В соответствии с поставленными задачами в работе оценивали следующие выходные параметры:

- режущую способность Q_m – интенсивность съема металла, представляющую собой отношение массы снятого материала заготовки M_3 ко времени обработки τ , г/мин:

$$Q_m = M_3 / \tau; \quad (2)$$

- интенсивность износа обдирочного круга h , определяемую как масса израсходованного материала круга M_k ко времени обработки τ , г/мин:

$$h = M_k / \tau; \quad (3)$$

- эффективную мощность W_e , затрачиваемую на шлифование, характеризующую уровень энергетических затрат привода главного движения станка на процесс шлифования и определяемую как произведение напряжения V на разность токов рабочего $I_{р.х}$ и холостого хода $I_{х.х}$, Вт:

$$W_e = V(I_{р.х} - I_{х.х}); \quad (4)$$

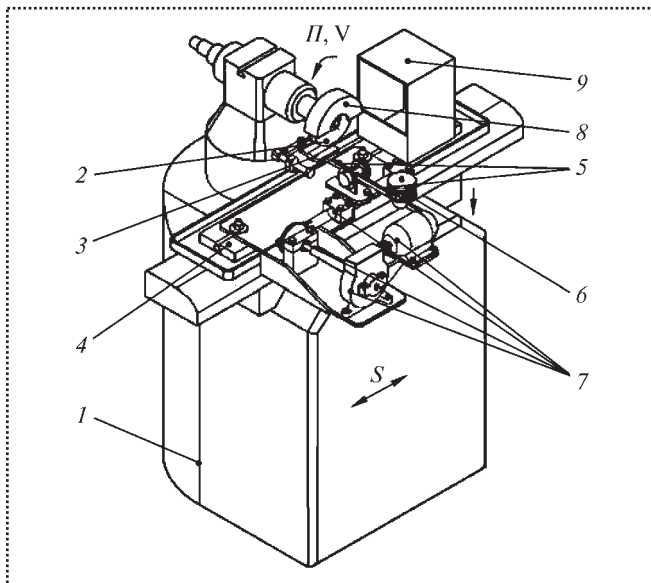


Рис. 2. Экспериментальная установка на базе универсально-заточного станка мод. 3А64Д:

n – число оборотов; v – скорость подачи; S – продольная подача стола; P – сила, действующая на заготовку со стороны шлифовального круга

- температуру в зоне резания (T , °С), характеризующую теплонапряженность процесса шлифования.

Для лабораторных исследований была спроектирована и изготовлена экспериментальная установка (рис. 2), базой для которой послужил универсально-заточный станок мод. 3А64Д 1. В нем обдирочный круг 2 устанавливали на шпинделе, а заготовку 3 прижимали к кругу посредством балансира, установленного на кривошипно-шатунном механизме 7, который закреплен на столе станка 4. Рычаг балансира 5 прижимал заготовку к кругу с постоянной силой за счет действия груза 6. Круг закрывался съемным защитным кожухом 8, а продукты резания собирались в бункере 9.

Для оценки температуры резания сварных швов был разработан программно-измерительный комплекс (рис. 3). Здесь в сквозное отверстие, просверленное в центре обрабатываемой заготовки, закладывали хромель-копелевую термопару ($\varnothing 0,4$ мм) на расстоянии L максимально близком (и во всех случаях одинаковом) к зоне шлифования. Сигнал с термопары 2 передавался через одноканальный измеритель-регулятор ТРМ1А-Щ2-ТП-И 1 и частотно-амплитудный преобразователь [6] сигналов 5 на ЭВМ 6, где он обрабатывался по специально разработанной программе [5]. Шлифование осуществля-

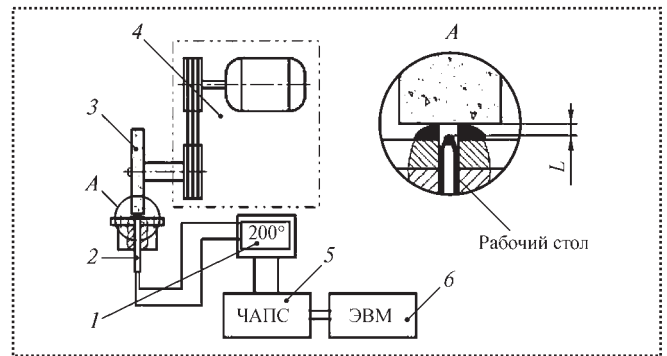


Рис. 3. Программно-измерительный комплекс

ли испытуемым обдирочным кругом 3, приводимым во вращение шпинделем станка 4, с заданными и контролируемыми параметрами по силе прижатия инструмента к детали и по подаче.

Экспериментальные круги (48 шт.) испытывали на операции обдирки сварных швов специальных заготовок. Заготовки представляли собой фрагменты из листовой стали с двухсторонним скосом кромок по ГОСТ 8713–79, соединенные между собой автоматической сваркой под слоем флюса. Сварку образцов производили согласно стандартному сборочно-сварочному технологическому процессу автоматической сварки с применением соответствующих режимов сварки и сварочных материалов.

Исследования выполняли по схеме полного факторного эксперимента [1, 2]. В качестве варьируемых параметров и интервалов использовали:

K_{ϕ} – коэффициент формы зерен, $K_{\phi} = 1,28...2,3$;

$V_{кр}$ – окружную скорость круга, $V_{кр} = 30...50$ м/с;

S – подачу, $S = 2,32...4,0$ м/мин;

$P_{наг}$ – прилагаемую нагрузку, $P_{наг} = 37...71$ Н.

План восемнадцати опытов предусматривал три уровня для каждой переменной. Выбор уровней был произведен с учетом используемого в исследованиях экспериментального стенда и предельных режимов резания, установленных в ходе определения условий шлифования опытными обдирочными кругами.

Для установления функциональной зависимости $y = f(V_{кр}, P_{наг}, K_{\phi}, S)$ была использована общепринятая в теории резания формула (5), которая отражала статистическую закономерность между коэффициентом формы зерен, элементами режима обработки (входными параметрами) и объектом исследования (выходным параметром):

$$y = CV_{кр}^{m_1} P_{наг}^{m_2} K_{\phi}^{m_3} S^{m_4}, \quad (5)$$

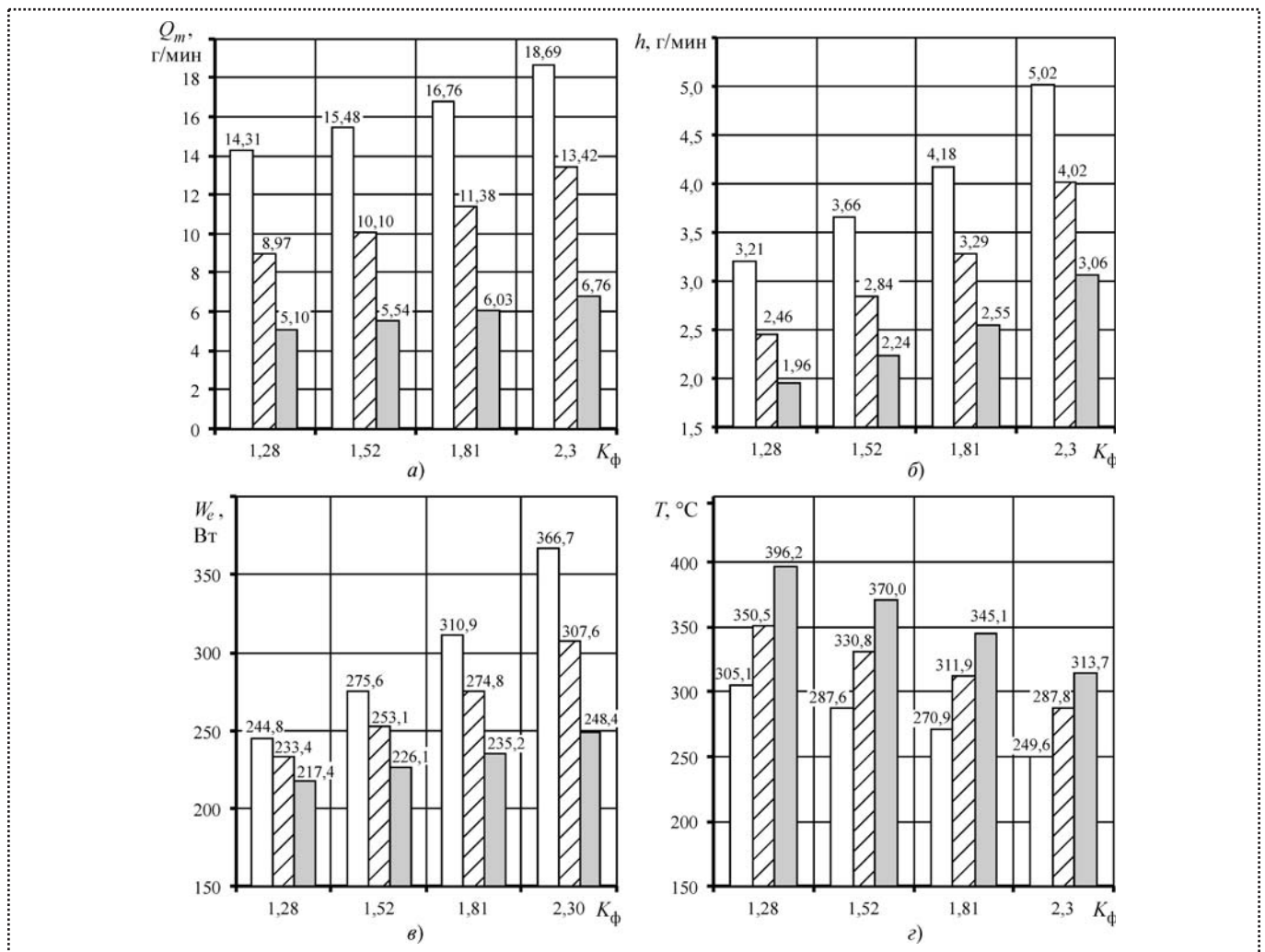


Рис. 4. Влияние коэффициента формы зерен K_ϕ 13A80 на:

а – производительность шлифования обдирочными кругами Q_m ; б – интенсивность изнашивания обдирочных кругов h ; в – эффективную мощность шлифования W_e ; г – температуру резания T °С; □ – сварной шов 09Г2С (229 НВ); ▨ – сварной шов Ст3 (250 НВ); ■ – сварной шов 12Х18Н10Т (285 НВ)

где y – объект исследования (выходной параметр); C – постоянный коэффициент; m_1, m_2, m_4 – показатели степени при составляющих режимах резания; m_3 – показатель степени коэффициента формы зерна.

В результате статистической обработки и анализа экспериментальных данных с помощью ЭВМ [2] были получены следующие частные уравнения регрессий (Q_m , г/мин; h , г/мин; W_e , Вт; T , °С):

■ при обработке металла сварного шва стали 09Г2С ГОСТ 19281–89

$$Q_m = 1,488 \cdot 10^{-3} V_{кр}^{1,066} P_{наг}^{1,131} K_\phi^{0,456} S^{0,367}; \quad (6)$$

$$h = 1,256 \cdot 10^{-1} V_{кр}^{-0,216} P_{наг}^{0,905} K_\phi^{0,766} S^{0,191}; \quad (7)$$

$$W_e = 3,05 \cdot 10^{-3} V_{кр}^{1,473} P_{наг}^{1,344} K_\phi^{0,689} S^{0,098}; \quad (8)$$

$$T = 1,392 V_{кр}^{0,783} P_{наг}^{0,648} K_\phi^{-0,343} S^{-0,078}; \quad (9)$$

■ при обработке металла сварного шва стали Ст3сп ГОСТ 380–94:

$$Q_m = 9,499 \cdot 10^{-6} V_{кр}^{1,498} P_{наг}^{1,744} K_\phi^{0,686} S^{0,703}; \quad (10)$$

$$h = 4,342 \cdot 10^{-2} V_{кр}^{-0,291} P_{наг}^{1,179} K_\phi^{0,834} S^{0,166}; \quad (11)$$

$$W_e = 14,69 \cdot 10^{-3} V_{кр}^{1,243} P_{наг}^{1,159} K_\phi^{0,471} S^{0,142}; \quad (12)$$

$$T = 1,606 V_{кр}^{0,774} P_{наг}^{0,661} K_\phi^{-0,337} S^{-0,098}; \quad (13)$$

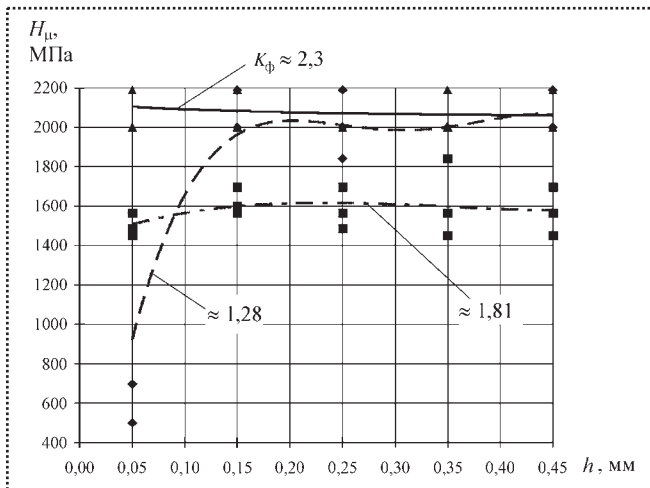


Рис. 5. Распределение микротвердости в поверхностных слоях образцов из стали 09Г2С ГОСТ 19281–89

■ при обработке металла сварного шва стали 12Х18Н10Т ГОСТ 5632–72:

$$Q_m = 3,856 \cdot 10^{-8} V_{кр}^{2,223} P_{наг}^{2,217} K_{\phi}^{0,482} S^{0,965}; \quad (14)$$

$$h = 5,091 \cdot 10^{-3} V_{кр}^{-0,288} P_{наг}^{1,572} K_{\phi}^{0,759} S^{0,441}; \quad (15)$$

$$W_e = 3,33 \cdot 10^{-3} V_{кр}^{1,945} P_{наг}^{0,864} K_{\phi}^{0,228} S^{0,128}; \quad (16)$$

$$T = 2,176 V_{кр}^{0,761} P_{наг}^{0,641} K_{\phi}^{-0,399} S^{-0,124}. \quad (17)$$

Учитывая вероятностный характер процесса, точность полученных уравнений оценивали путем:

- расчета доверительных интервалов по критерию Стьюдента (при уровне значимости $\alpha = 0,1$);
- статистики Фишера;
- значимости коэффициентов моделей.

Проверка показала, что математические модели зависимостей адекватны.

На рис. 4 приведены графики зависимостей выходных параметров обдирочных кругов при шлифовании заготовок из разных сталей от коэффициента формы зерен K_{ϕ} на режиме резания: $V_{кр} = 45$ м/с; $P_{наг} = 55$ Н; $S = 3,6$ м/мин.

Исследование микротвердости и макроструктуры обработанных поверхностей обдирочными кругами проводили на опытных образцах из стали 09Г2С ГОСТ 19281–89 с помощью микротвердомера ПМТ-3 и микроскопа мод. МИМ-6. При этом на обработанных поверхностях выбирали наиболее неблагоприятные шлифованные участки сварного шва.

По результатам измерения микротвердости был построен график распределения микротвердости в поверхностных слоях (рис. 5). Из него видно, что при обработке обдирочными кругами:

♦ с изометрической формой зерен $K_{\phi} \approx 1,28$ происходит снижение микротвердости 480...950 МПа в поверхностном слое на глубине 0...5 мкм, после чего микротвердость повышается и стабилизируется до 1850...2190 МПа, это подтверждено фотографией (рис. 6, а) микроотпечатков;

♦ с произвольной формой зерен $K_{\phi} \approx 1,81$ происходит небольшое снижение микротвердости 1450...1590 МПа в поверхностном слое на глубине 0...5 мкм, после чего микротвердость повышается и стабилизируется до 1550...1700 МПа, это подтверждено фотографией (рис. 6, б) микроотпечатков;

♦ с игольчатой формой зерен $K_{\phi} \approx 2,3$ изменение микротвердости в поверхностном слое не про-

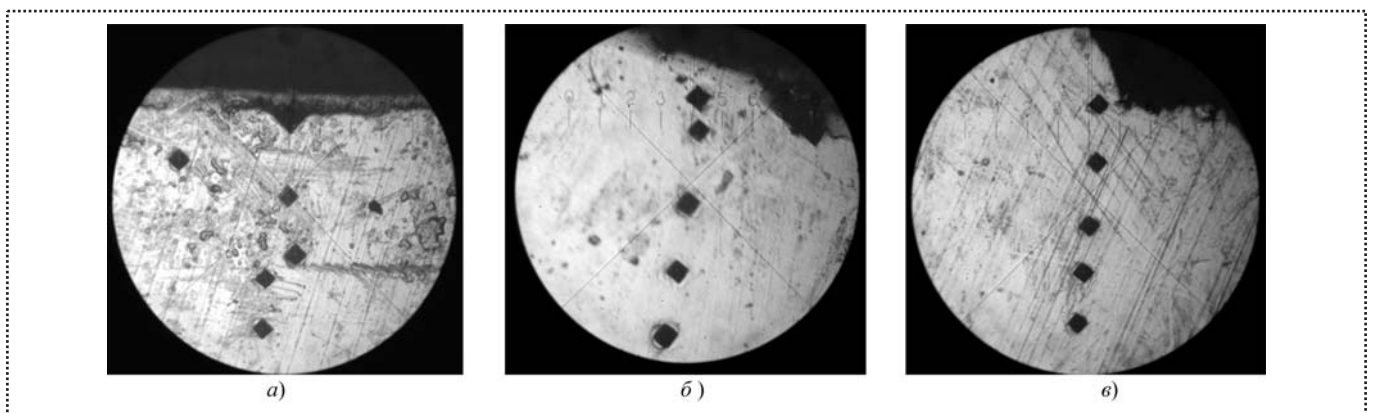


Рис. 6. Распределение микротвердости в поверхностных слоях образцов:

а – при обработке обдирочными кругами с изометрической формой зерен, $K_{\phi} \approx 1,28$; б – при обработке обдирочными кругами с произвольной формой зерен, $K_{\phi} \approx 1,81$; в – при обработке обдирочными кругами с игольчатой формой зерен, $K_{\phi} \approx 2,3$



исходит, это подтверждено фотографией (рис. 6, в) микроотпечатков.

В результате изучения макроструктуры в поверхностных слоях образцов было установлено, что при обработке экспериментальными кругами:

- с изометрическими зёрнами $K_{\phi} \approx 1,28$ образуется слой термического влияния в виде прижога (рис. 7), который имеет глубину 5...10 мкм, это

косвенно подтверждено величиной температуры в зоне резания;

- с произвольными зёрнами $K_{\phi} \approx 1,81$ образуются дефекты (рис. 8) в виде отслоений и шлифовочных микротрещин;

- с игольчатыми зёрнами $K_{\phi} \approx 2,3$ отсутствует зона термического влияния и другие дефекты (рис. 9).

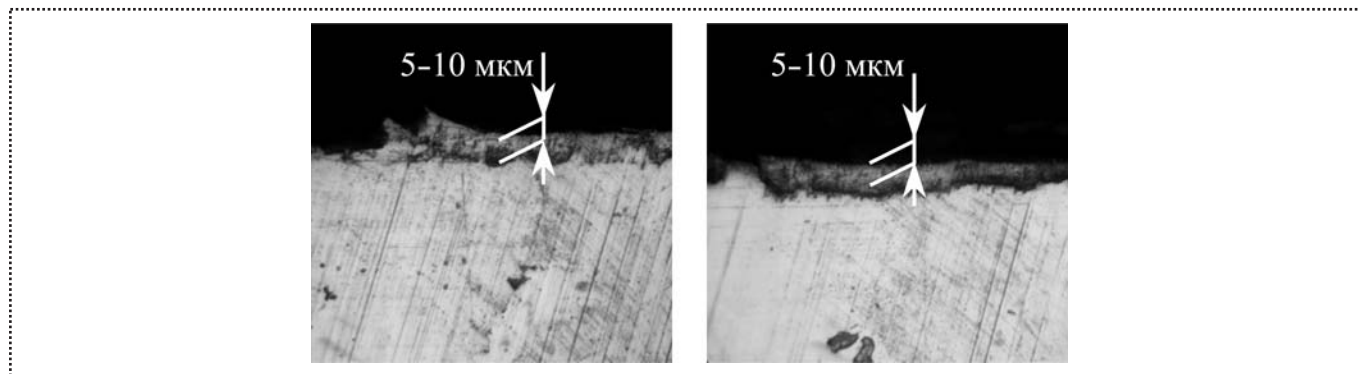


Рис. 7. Макроструктура (дефект прижог) при шлифовании обдирочными кругами, содержащими изометрические зёрна, $K_{\phi} \approx 1,28$

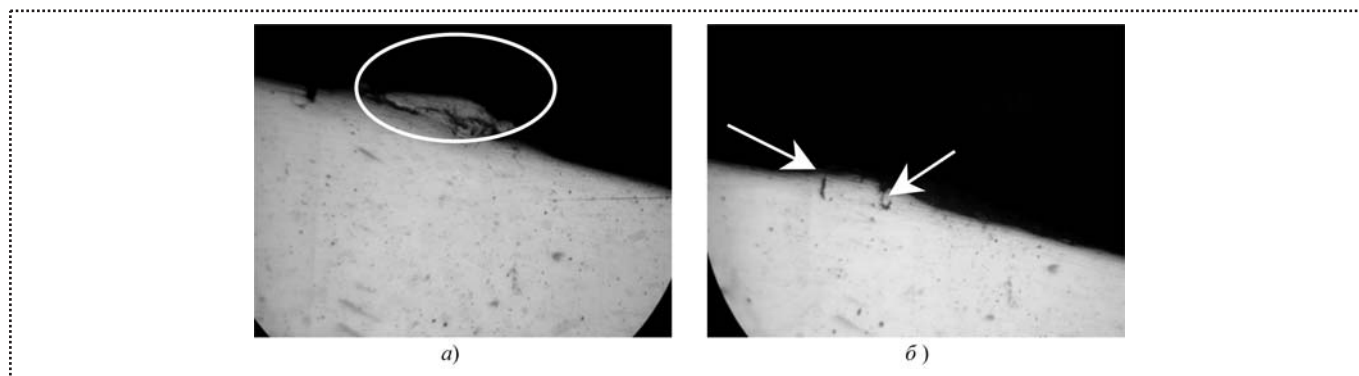


Рис. 8. Макроструктура при шлифовании обдирочными кругами, содержащими произвольные зёрна при $K_{\phi} \approx 1,81$:
а – дефект отслоения; б – дефект микротрещины

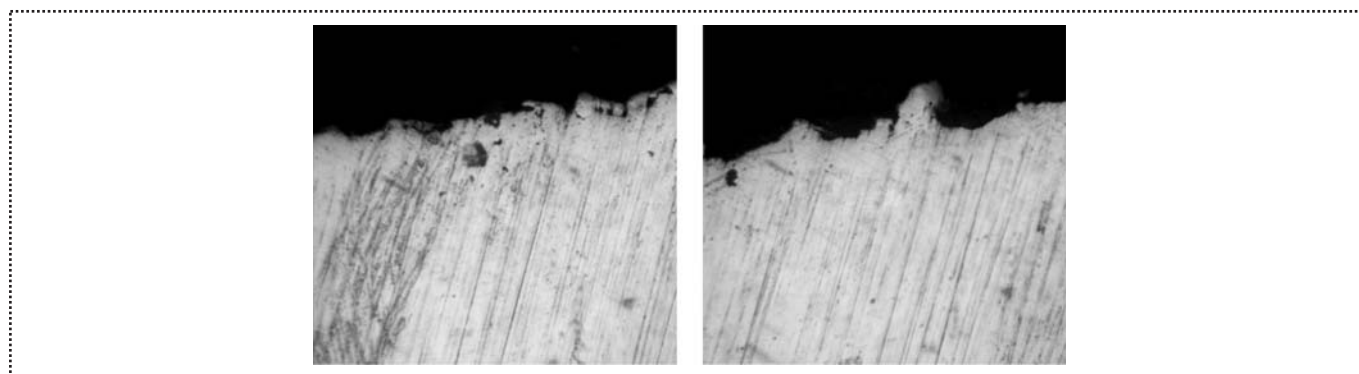


Рис. 9. Макроструктура при шлифовании обдирочными кругами, содержащими игольчатые зёрна ($K_{\phi} \approx 2,3$)



Выводы

1. Форма шлифовальных зерен весьма существенно влияет на работоспособность обдирочных шлифовальных кругов на бакелитовой связке и эффективность их использования.

2. Наиболее результативным, с точки зрения достигаемого эффекта, следует считать дифференцированный подход к выбору формы зерен в обдирочных кругах в зависимости от принятого для данного случая критерия эффективности обработки. Так, если при обработке наиболее важным показателем считается производительность Q_m и температура на поверхности детали $T^\circ\text{C}$, то целесообразно использовать обдирочные круги с зернами игольчатой формы $K_\phi \approx 2,3$, а если приоритет имеют износ инструмента h и эффективная мощность шлифования We , то предпочтительней использовать обдирочные круги с зернами изометрической формы $K_\phi \approx 1,28$.

3. Качество обработанных поверхностей деталей тоже зависит от формы зерен, находящихся в обдирочном круге. Так, используя зерна игольчатой формы $K_\phi \approx 2,3$ в обдирочных кругах, можно добиться заметного повышения качества обработан-

ной поверхности и предотвратить возможность появления дефектов.

4. Целенаправленно подбирая форму зерен в обдирочных шлифовальных кругах на бакелитовой связке, можно существенно повысить их работоспособность и эффективность применения.

Список литературы

1. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Издательство "Наука", 1976. 279 с.

2. Берк К., Кэйри П. Анализ данных с помощью Microsoft Excel / пер. с англ. М.: Издательский дом "Вильямс", 2005. 560 с.

3. Коротков А.Н., Баштанов В.Г., Дубов Г.М. и др. Модернизированный вибрационный сепаратор для сортировки абразива по форме // Ресурсосберегающие технологии в машиностроении. Материалы 2-й межрегиональной научно-практической конференции с международным участием 2002 г. Алтайский гос. техн. ун-т, БТИ. Бийск. 2002. С. 65–69.

4. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2003611938. "Zerno" / Оpubл. 22.08.2003 г.

5. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2006614134. WaveAnalizator / Д.М. Дубинкин, А.А. Язьков. № 2006613319; Заявлено 03.09.06; Оpubл. 01.12.06.

6. Свидетельство об официальной регистрации топологии интегральной микросхемы № 2007630017. "Частотно-амплитудный преобразователь" / Д.М. Дубинкин, И.А. Кояхов. № 2007630004; Заявлено 05.01.07; Оpubл. 28.03.07.

Уважаемые читатели!

Продолжается подписка
на научно-технический и производственный журнал
"УПРОЧНЯЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПОКРЫТИЯ"

Подписные индексы по каталогам:

"Роспечать" – 85159, "Пресса России" – 39269, "Почта России" – 60252.

Подписку на журнал можно оформить с любого номера в любом отделении связи
или непосредственно в издательстве по адресу:

Россия, 107076, Москва, Стромьинский пер., д. 4,
ОАО "Издательство "Машиностроение"

Тел.: (495) 269-66-00 (отдел реализации), (495) 268-40-77 (редакция);
e-mail: realiz@mashin.ru utp@mashin.ru

УДК 681.2-52

Ю.Н. Матросова, А.Е. Матросов, Е.В. Клычева,
М.М. Данилов, М.В. Федотов, кандидаты техн. наук
(КГТА, г. Ковров)

Автоматизированная система определения пористости и физико-механических свойств материалов деталей перед сборкой

Разработана система определения физико-механических свойств материалов по параметрам пористости в зависимости от вида пор в материале контролируемого изделия.

Is developed system of definition of physicomachanical properties of materials on parameters of porosity depending on a kind of times in a material of a controllable product.

В настоящее время в машиностроении при сборке деталей в сложные узлы вопрос качества входящих в узел деталей стоит наиболее остро. Наиболее перспективным является автоматизированный неразрушающий контроль качества деталей, позволяющий быстро и без разрушения детали оценить ее физико-механические свойства, поэтому отпадает необходимость в процессе сборки дополнительно испытывать изделие на прочность.

К такому виду контроля относится газодинамический автоматизированный неразрушающий контроль физико-механических свойств материалов по оценке их пористости, который позволяет контролировать физико-механические свойства всех пористых материалов, таких как керамика, бетон, металлокерамика, стекло, древесина и другие материалы.

В основе газодинамического метода лежат следующие исходные уравнения:

- уравнение Дарси

$$q = K_{\phi} \frac{\Delta p}{l}; \quad (1)$$

- уравнение Фика для стационарного потока

$$q = -D \sqrt{\left(\frac{\partial \rho}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial \rho}{\partial y}\right)^2} \Big|_{y=d}^{x=l}; \quad (2)$$

- уравнение Фика для нестационарного потока

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 \rho}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \rho}{\partial y^2} \right); \quad (3)$$

- уравнение Лейбензона

$$\frac{\partial p^2}{\partial t} = \frac{K_0 p_a}{\mu} \left(\frac{\partial^2 p^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p^2}{\partial y^2} \right); \quad (4)$$

- добавочное уравнение

$$q = \frac{V_u}{R_0 T F} \frac{dp_u}{dt}, \quad (5)$$

где ρ – плотность газа, кг/м³;

q – поток газа в единицу времени, кг/(с·м²);

K_{ϕ} – коэффициент фильтрации, с;

l – линейный размер в направлении фильтрации, м;

Δp – перепад давления газа в материале (потери напора), Па;

D – коэффициент диффузии, м²/с;

x, y – координаты, м;

d – диаметр образца материала, м;

p – давление газа, Па;

K_0 – коэффициент проницаемости, м²;

μ – коэффициент пористости, %;

μ – коэффициент динамической вязкости, Па·с;

p_a – атмосферное давление, Па;

F – площадь материала, м²;

R_0 – газовая постоянная, Дж/(кг·К);

V_u – объем, м³;

p_u – текущее давление газа, Па;

T – температура, К;

t – время, с.

В результате совместного решения системы исходных уравнений получены зависимости для определения параметров пористости материалов [1]:



♦ коэффициент пористости материалов, содержащих активные, замкнутые и условно-замкнутые поры,

$$\Pi = \frac{2V_u t_c (p_u - p_c)}{F^2 p_a (t_u - t_c)}, \quad (6)$$

где p_c, t_c – соответственно давление (Па) и время (с) в измерительной камере, соответствующие переходу от кнудсеновского к ламинарному режиму течения газа;

p_u, t_u – текущее значение давления (Па) и времени (с), $t_u > t_c$;

♦ коэффициент пористости материалов, содержащих активные поры,

$$\Pi = \frac{11K_\phi^2 p_a}{8d^2 K_0 \mu}; \quad (7)$$

♦ коэффициент пористости материалов, содержащих замкнутые поры,

$$\Pi = \frac{11DK_r p_a \nu}{8d^2 \mu}, \quad (8)$$

где ν – коэффициент кинематической вязкости.

При этом коэффициенты, характеризующие пористость, определяются из выражений:

■ коэффициент растворимости

$$K_r = \frac{2\mu V_u t_c (p_u - p_c)}{F^2 \nu p_a^2 (t_u - t_c)}, \quad (9)$$

■ коэффициент фильтрации

$$K_\phi = \frac{2\mu V_u l (p_u - p_c)}{F \nu p_a^2 (t_u - t_c)}, \quad (10)$$

■ коэффициент газопроницаемости

$$K_0 = \frac{2\mu V_u l (p_u - p_c)}{F p_a^2 (t_e - t_c)}, \quad (11)$$

■ коэффициент диффузии

$$D = \frac{(p_u - p_c) V_u l}{F p_a (t_u - t_c)}, \quad (12)$$

где

$$t_c = \frac{8d^2}{11D} \text{ или } t_c = \frac{8d^2 \Pi \mu}{11K_0 p_a} \quad (13)$$

– время перехода от кнудсеновского режима течения газа к ламинарному.

По полученным значениям пористости в зависимости от вида пор в материале определяются физико-механические свойства материалов, например, предел прочности на растяжение [2–4]:

• материалов, содержащих активные, замкнутые и условно-замкнутые поры,

$$\sigma_B = \sigma_{BK} \frac{1 - 1,5\Pi}{1 + 1,5\Pi}; \quad (14)$$

• материалов, содержащих замкнутые поры,

$$\sigma_B = \sigma_{BK} (1 - \Pi/\Pi_n)^m; \quad (15)$$

• материалов, содержащих активные поры,

$$\sigma_B = \sigma_{BK} e^{-n\Pi}, \quad (16)$$

где σ_B – предел прочности пористого материала;

σ_{BK} – предел прочности непористого материала;

β – параметр, определяющий неоднородность распределения напряжений по сечению, обусловленную неравномерным распределением пор в площади сечения;

Π – пористость материала;

Π_n – пористость свободной насыпки порошка;

m – константа;

n – некоторая постоянная, значение которой лежит в пределах 4...7.

Блок-схема автоматизированного устройства для определения непосредственно на изделиях коэффициентов пористости, проницаемости, фильтрации Φ_ϕ , диффузии, растворимости изображена на рис. 1 [1].

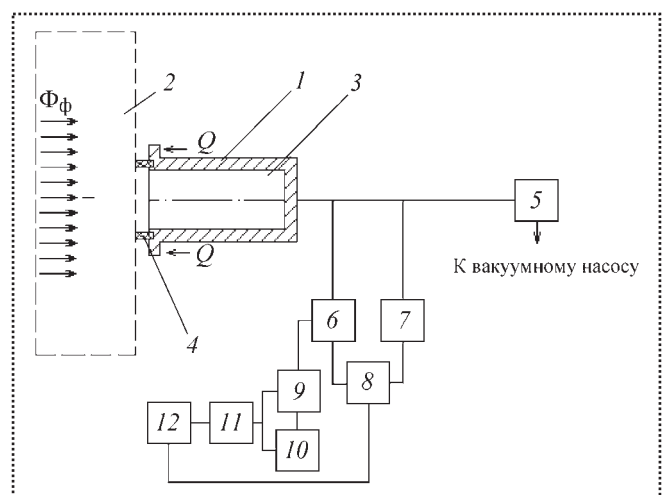


Рис. 1. Блок-схема автоматизированного устройства для определения непосредственно на изделиях коэффициентов пористости, проницаемости, фильтрации Φ_ϕ , диффузии, растворимости газа

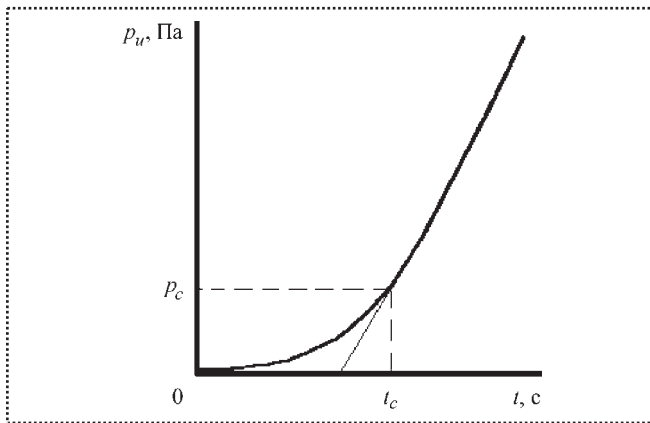


Рис. 2. Зависимость p_u давления от времени t

Устройство содержит измерительный стакан 1, соединенный с контролируемым изделием 2, который при помощи скобы (условно не показана) прижимается к изделию 2 усилием Q , образуя измерительную камеру 3 устройства. Кольцо 4 из вакуумной резины служит для герметизации системы.

Измерительная камера 3 посредством клапана 5 соединена с вакуумным насосом (условно не показан), который позволяет создавать разрежение в измерительной камере 3.

Для измерения изменения давления в камере 3 перед клапаном 5 установлены датчик давления 6 и датчик времени 7, выходы которых подсоединены к ЭВМ 8. Датчик времени 7 соединен с усилителем сигнала 9, выход которого подключен к запоминающему устройству 10. Усилитель сигнала 9 и запоминающее устройство 10 соединены со сравнивающим устройством 11, выход которого соединен с преобразователем сигнала 12, второй выход которого подключен к ЭВМ 8.

После открытия клапана 5 и создания вакуума при помощи вакуумного насоса в измерительной камере 3 клапан 5 закрывается. Так как с внешней плоскости изделия атмосферное давление, а в измерительной камере 3 вакуум будет наблюдаться фильтрационный поток газа Φ_{ϕ} через материал изделия. Давление в камере 3 будет повышаться. Изменение давления с течением времени будет отслеживаться датчиком давления 6 и датчиком времени 7, данные с которых передаются на вход ЭВМ 8. Концентрация газа в камере 3 при повышении давления будет изменяться. Усилитель сигнала 9 при изменении давления газа будет усиливать сигнал об изменении приращения давления в камере 3, а запоминающее устройство 10 – фиксировать каж-

дое последующее приращение давления, соответствующее определенному промежутку времени.

Сравнивающее устройство 11 осуществляет сравнение последующего приращения давления с предыдущим и подает информацию о новом значении давления в измерительной камере 3 на преобразователь сигнала 12. Преобразователь сигнала преобразовывает приращение давления газа в камере 3 в приращение объема газа и подает данные на ЭВМ 8, которая по специальной программе строит графическую зависимость изменения давления в измерительной камере 3 с течением времени, определяет численные значения давления p_c , p_u , времени t_c и t_u (фиксированные промежутки времени), где $t_u > t_c$, $p_u > p_c$ и объема газа V_u при t_u , p_u .

В процессе эксперимента может быть два вида кривых изменения давления (разрежения) в камере 3. Если активные поры достаточно велики, их число достаточно велико и фильтрация газа происходит в ламинарном режиме, то кривая рис. 2. В этом случае, экстраполируя кривую, находят точку, в которой приращение давления остается постоянным во времени. После этого находят соответствующие этой точке значения давления p_c и времени t_c и из уравнений определяют численные значения коэффициентов пористости.

Если активные поры настолько малы, что в начальный момент существует фильтрация в кнудсеновском режиме, то имеем кривую изменения давления в измерительной камере 3, представленную на рис. 3.

В этом случае, экстраполируя кривую и определив точки начала постоянных приращения давления в измерительной камере 3 в кнудсеновском

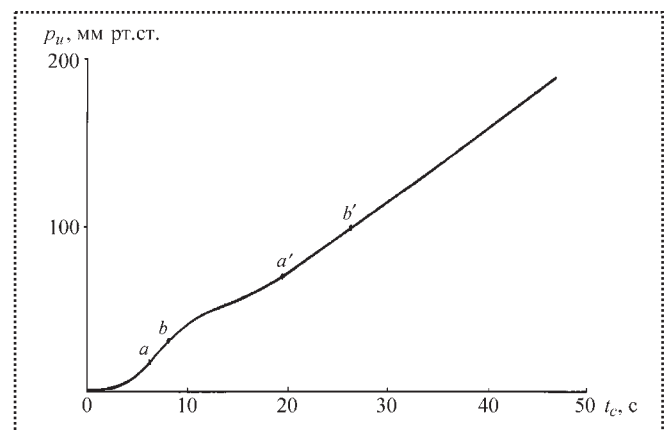


Рис. 3. Осциллограммы изменения давления p_u от времени t_c

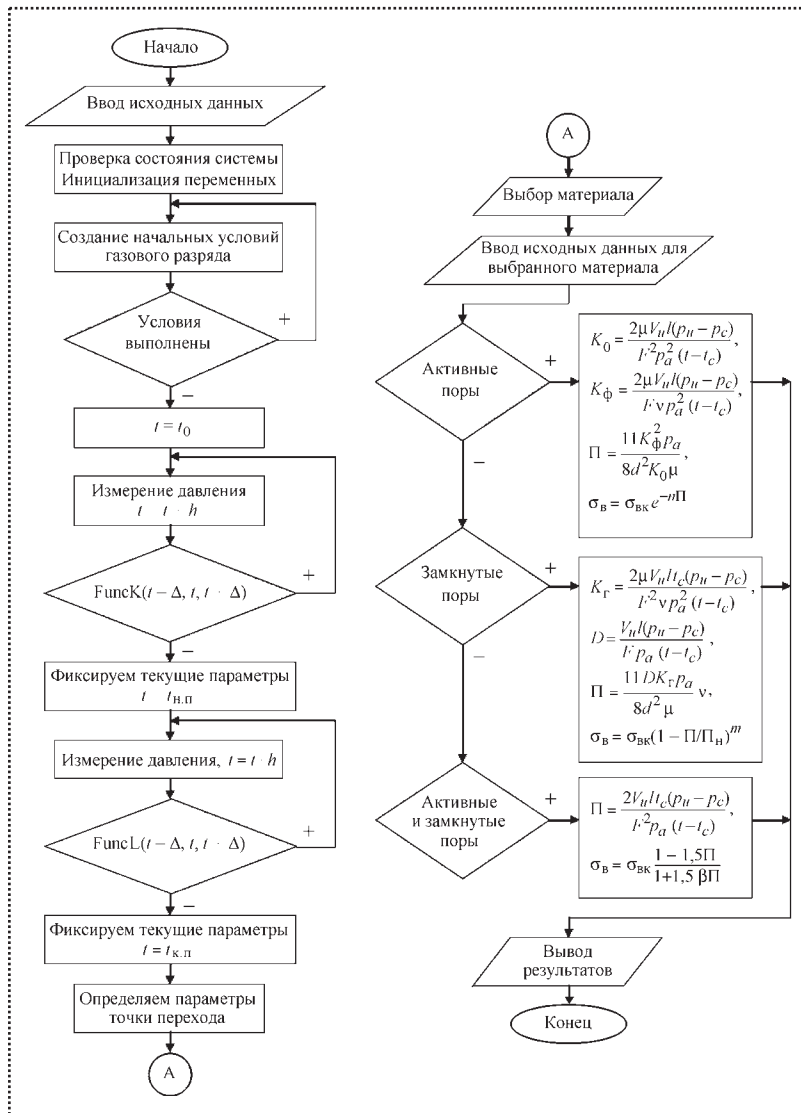


Рис. 4. Алгоритм программы определения физико-механических свойств пористых материалов

и ламинарном режимах истечения, по значениям p_c и t_c , соответствующим этим точкам, можно определить численные значения коэффициентов пористости для кнудсеновского и ламинарного режимов истечения.

Для автоматизации процесса определения параметров пористости и физико-механических свойств изделий разработана программа, алгоритм которой приведен на рис. 4.

На начальном этапе работы программы вводят исходные данные, проверяют состояние системы, создают начальные условия. Далее измеряют давление газа в каждой контрольной точке t_c с шагом h , где t – время, h – шаг изменения времени.

Параметры системы в точках

$$t - \Delta, t, t + \Delta,$$

где t – время;

Δ – бесконечно-малая величина передается в функцию $\text{FuncK}()$, которая возвращает результат True, если зависимость изменения давления газа от времени соответствует кнудсеновскому режиму течения газа, в противном случае – False.

Циклический процесс продолжается до тех пор, пока не будет зафиксирована точка $t_{н.п.}$, в которой зависимость изменения давления от времени не будет соответствовать кнудсеновскому режиму. Данная точка будет считаться временем начала переходного процесса. Аналогично определяют $t_{к.п.}$ – время окончания переходного процесса.

В итоге по полученным значениям находят параметры точки перехода t_c, p_c . Далее выбирают материал, для которого будет проводиться дальнейший расчет, вводят исходные данные для выбранного материала рассчитывается коэффициент пористости Π и предел прочности σ_b .

На основе предлагаемого алгоритма в среде Delphi7 на языке программирования Pascal разработана программа определения физико-механических свойств материалов по параметрам пористости.

Вывод

Предлагаемая разработка позволяет автоматизировать процесс неразрушающего контроля физико-механических свойств изделий из пористых материалов перед сборкой.

Список литературы

1. Способ определения параметров пористости: Патент РФ № 2275617, МКИ³ G01N15/08 // Ю.З. Житников, А.Н. Иванов, Ю.Н. Матросова, А.Е. Матросов. Б.И. № 12, 2006.
2. Ермаков С.С., Вязников Н.Ф. Металлокерамические детали в машиностроении. Ленинград, "Машиностроение" (Ленингр. отд-ние), 1975. 232 с.
3. Вязников Н.Ф., Ермаков С.С. Металлокерамические материалы и изделия. Ленинград: "Машиностроение", 1967. 224 с.
4. Белов С.В. Пористые проницаемые материалы. Справ. изд. / под ред. С.В. Белова. М.: Металлургия, 1987. 335 с.

С.Я. Черенков (г. Санкт-Петербург)

Нестандартный технологический прием в решении монтажных проблем

Предложена конструкция соединения болт–гайка, позволяющая за счет выполненных в стержне болта и по внутреннему диаметру гайки взаимно симметричных болтов обеспечивать их соединение в труднодоступных местах путем набрасывания (надевания по пазам) гайки на болт и последующим поворотом ее на угол, равный 2π , разделенному на число указанных пазов.

При проведении различного рода монтажных работ зачастую приходится использовать болтовое крепление изделий и конструкций. Причем условия проведения работ бывают такими, при которых не всегда обеспечена возможность свободного доступа к головкам болтов и гаек. Это затрудняет и усложняет процесс наворачивания гайки на требуемую длину резьбы болта даже ключами, имеющими накладную головку с шарниром или гибким стволом. Кроме того, в случае стесненности рабочего места не исключена возможность травмирования оператора, производящего эту работу.

Для исключения этих явлений и обеспечения должной технологичности операции по болтовому

скреплению изделий и конструкций, а также сокращения сроков, трудоемкости и безопасности проведения работ, предлагается иной, отличный от стандартного, вариант скрепления изделий и конструкций за счет использования предлагаемой модификации болта и гайки (рис. 1–2).

Сущность решения этого вопроса заключается в формировании по всей длине резьбовой части болта и гайки (изготовленных по ГОСТу) четырех симметричных пазов и прорезей соответственно на глубину резьбы, равных по ширине выступающим нарезным сегментам.

Такое конструктивное решение дает возможность исключить операцию навинчивания (наворачивания) гайки на болт. Использование этого решения сводится к весьма простой операции, а именно: на болт, установленный в соответствующее место, гайка не наворачивается, а набрасывается (надевается). При этом она своими резьбовыми сегментами проходит по пазам болта до упора в поверхность соединяемых изделий, а затем гаечным ключом лишь доворачивается на угол 45° по ходу резьбы. При этом резьбовые сегменты гайки

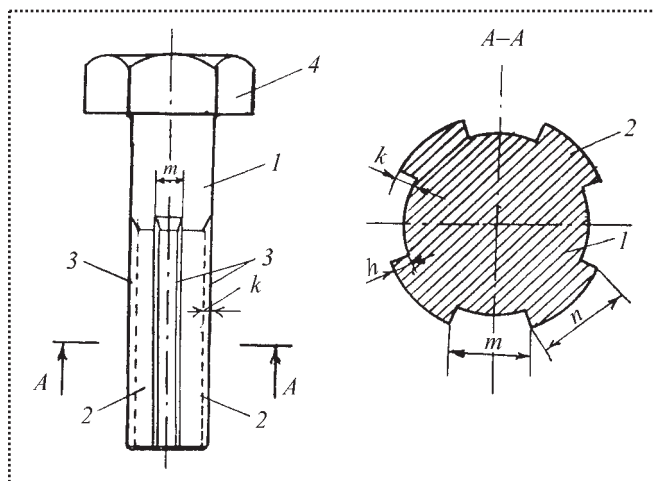


Рис. 1. Модифицированный болт:

1 – стержень; 2 – резьба (резьбовой сегмент); 3 – симметричные пазы; 4 – головка болта; m – ширина паза; k – глубина паза; n – ширина резьбового сегмента; h – высота резьбы

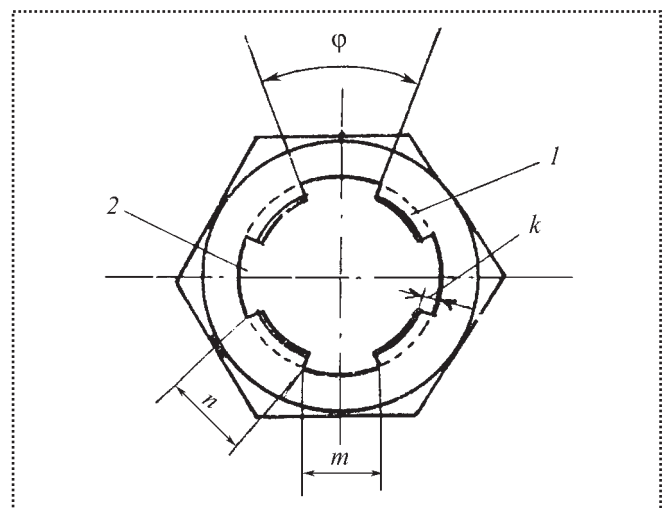


Рис. 2. Гайка:

1 – резьбовой сегмент; 2 – симметричные прорези; m – ширина прорези; k – глубина прорези; n – ширина резьбового сегмента; φ – угол разворота гайки



входят в зацепление с резьбовыми сегментами болта, чем обеспечиваются подтяг и скрепление изделий. Фиксацию такого ботового соединения осуществляют обычными стандартными стопорными шайбами.

Отворачивание (снятие) гайки осуществляют за счет разворота ее ключом на 45° в противоположном направлении.

Для приведения к модифицированному исполнению болтов и гаек, выпускаемых промышленностью в соответствии с ГОСТ, достаточно осуществить лишь одну операцию – формирование пазов на болте и прорезей на гайке. Причем эта

операция упрощена ввиду симметричного их расположения.

При изготовлении серийной партии этих крепежных изделий достаточно в технологический процесс внести операцию по формированию пазов и прорезей, что не усложнит корректировку технической документации.

Вывод

Предложенное техническое решение ускоряет временной цикл и сокращает трудоемкость проведения монтажных работ.

НОВАЯ КНИГА Издательства "МАШИНОСТРОЕНИЕ"

Гузев В.И., Батуев В.А., Сурков И.В.

Режимы резания для токарных и сверлильно-фрезерно-расточных станков с числовым программным управлением: Справочник. 2-е изд. / Под ред. В.И. Гузеева. М.: Машиностроение, 2007. 368 с.

ISBN 978-5-217-03404-8

Приведены сведения, необходимые для определения режимов резания при точении, растачивании, обработке отверстий, фрезеровании, на станках с числовым программным управлением, а также приложения, включающие сведения по современным моделям станков с ЧПУ.

Для нормировщиков и технологов, занятых подготовкой управляющих программ и расчетов обоснованных норм времени на работы, выполняемые на металлорежущих станках с ЧПУ в механических цехах машиностроительных предприятий.

Цена с НДС 363 р.

Е.В. Кулиш, Ю.В. Турыгин, д-р техн. наук
(Ижевский государственный технический университет),
Душан Мага, канд. техн. наук
(Университет им. А. Дубчека, г. Тречин, Словакия)

Решение контактной задачи прессовых полисоединений

Рассмотрены вопросы, возникающие при использовании метода конечных элементов для решения контактной задачи прессовых полисоединений, изложена методика расчета прессовых полисоединений с учетом взаимного влияния посадочных поверхностей. Предложенная методика позволяет определять напряженно-деформированное состояние деталей и нагрузочную способность прессовых полисоединений, в том числе со сложной геометрией, находить концентраторы напряжений в конструкциях.

Questions of finite elements method application for solution of contact task for press polyjoints are viewed in article. A calculation principle for press polyjoints taking into account mutual influence of landing surfaces is stated. Principle is allowed to define mode of deformation of parts and load-carrying capacity of press polyjoints, including with complex geometry, and find stress raisers in designs.

Прессовое полисоединение (ППС) — это сборка трех и более деталей с гарантированным натягом, образующих конструкцию, позволяющую передавать различные по величине и направлению нагрузки.

Прессовые полисоединения (в сравнении с применением обычных соединений с натягом) получают все большее распространение в современных машино- и приборостроении благодаря следующим преимуществам:

- высокая ремонтпригодность;
- экономия дорогостоящих материалов;
- использование промежуточных деталей в качестве уплотнителей, диэлектриков, центрирующих деталей, элементов, уберігающих главные детали конструкции от неравномерного распределения давлений, коррозии и других неблагоприятных факторов [1].

Наиболее распространенный пример полисоединения, имеющего две радиально расположенные посадки, представлен на рис. 1.

Конструкции ППС реализованы и в маленьких гироскопах, позволяя экономить на использовании

драгоценных металлов, и в посадках крупногабаритных подшипников на валах бумагоделательных машин, повышая ремонтпригодность ответственных конструкций. Однако широкому применению прессовых полисоединений препятствуют несовершенство точных методов расчета их нагрузочной способности (НС) и напряженно-деформированного состояния (НДС). В практике расчета конструкций с прессовыми полисоединениями на производственных и ремонтных предприятиях используют методики расчета, основанные на классических зависимостях Ляме-Гадолина [2], не учитывающих взаимное влияние контактных поверхностей деталей ППС.

Простые аналитические зависимости не позволяют:

- учитывать сложные формы конструкций;
- моделировать сборку с контролем технологических параметров;
- определять поля параметров НДС деталей с достоверной точностью, что недопустимо при проектировании ответственных узлов и деталей современных приборов и машин.

Наиболее эффективным и востребованным инструментом преодоления указанных препятствий являются численные, численно-аналитические методы расчета и моделирования конструкций. Исследования в данной области актуальны, и цель

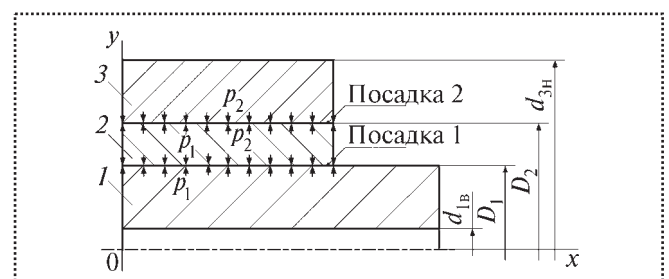


Рис. 1. Схема прессового полисоединения:

1 — охватываемая деталь (вал); 2 — промежуточная деталь (втулка); 3 — охватывающая деталь (ступица); D_1 , D_2 — средние диаметры соответствующих посадок; индексы n и v — внутренний и наружный диаметры соответственно



статьи – создание методики решения контактной задачи ППС численными методами.

Численная реализация расчетов возможна несколькими известными методами:

- граничных элементов;
- конечных разностей;
- конечных элементов (МКЭ), наиболее распространенный [3].

МКЭ обычно реализуют либо путем написания авторских программных продуктов на языках высокого уровня, либо путем использования распространенных программных комплексов, например ANSYS [4] или COSMOS/WORKS [5].

При реализации конкретных задач критерием выбора пути решения на основе МКЭ является соотношение "цена/качество".

Параметр "цена" подразумевает не только денежную стоимость при написании кода программы или лицензии на коммерческий программный комплекс, но и опосредованные издержки, связанные с использованием продукта в практике, например обучение персонала.

Параметр "качество" определяет уровень сложности задач. Например, при исследовании каких либо специфических научных задач чаще востребованным оказывается путь реализации "узких" авторских программных продуктов. Однако при решении общих задач или при проектировании конструкций на предприятии в рамках технологических цепочек широкое применение находят коммерческие программные комплексы с обязательной возможностью интеграции с CAD/CAM/CAE системами.

Численная реализация расчета ППС позволяет снять следующие ограничения, при расчете конструкций полисоединений:

- сложную геометрию деталей;
- очередность сборки деталей;
- материалы деталей;
- технологические параметры сборки.

Решение контактной задачи ППС методом конечных элементов позволяет:

- определить величину и распределение контактных давлений в зонах посадок, характеризующих нагрузочную способность полисоединения;
- рассчитать параметры напряженно-деформированного состояния деталей, характеризующих качество полисоединения в опасных зонах;

■ оптимизировать конструкцию полисоединения с целью повышения нагрузочной способности полисоединения и улучшения напряженно-деформированного состояния;

■ исследовать влияние технологических параметров сборки ППС на качественные характеристики конструкции (нагрузочная способность и НДС).

Решение задачи прочностного анализа с применением МКЭ состоит из следующих основных этапов:

1. Идентификация задачи и выбор пути решения.
2. Создание геометрической модели, пригодной для МКЭ.
3. Разбиение модели на сетку конечных элементов.
4. Приложение к модели граничных условий (закрепление на границе и/или граничные нагрузки).
5. Численное решение системы уравнений.
6. Анализ результатов [3].

В соответствии с перечисленными этапами опишем применение МКЭ в решении многоконтактной задачи ППС.

На первом этапе выполним анализ задачи.

Контактные задачи имеют две существенные проблемы:

■ истинная контактная зона до решения задачи неизвестна. В зависимости от нагрузок, свойств материала, граничных условий и других факторов поверхности могут входить в контакт друг с другом и выходить из него внезапно и непредсказуемо;

■ необходимость учета трения. Существует несколько видов трения и моделей, описывающих поведение при взаимодействии тел с учетом трения, и все эти модели являются нелинейными. Фрикционный контакт может быть хаотическим, создавая трудности при сходимости. Задача многосвязного контакта в ППС обуславливает учет взаимного влияния контактных поверхностей деталей.

Получение общего решения о НДС деталей сложной формы, справедливого для упругой и упругопластической зон деформаций с учетом контактных взаимодействий, приводит к физическим нелинейным соотношениям.

Нелинейное поведение конструкции полисоединения является результатом множества причин,



которые могут быть сведены в перечисленные ниже основные категории:

- ◆ изменение состояния;
- ◆ геометрические нелинейности;
- ◆ нелинейное поведение материала (упруго-пластическое деформирование).

Контакт является подмножеством задач нелинейности, связанных с изменением состояния.

Геометрическая нелинейность характеризуется большими перемещениями и (или) поворотами в конструкции, имеющей большие деформации, определяющие нелинейный отклик.

Нелинейная связь напряжений с деформациями является причиной нелинейного поведения конструкции.

На свойства связи напряжений с деформациями материала влияют многие факторы, включая:

- историю приложения нагрузок (как для упруго-пластического отклика);
- условия окружения (такие как температура);
- длительность времени приложения нагрузок (как для отклика при ползучести).

Для расчета нелинейных задач используется метод Ньютона–Рафсона [4]. В данном методе нагрузка разделена на серию приращений нагрузки. Приращения нагрузки можно прикладывать в течение нескольких шагов нагружения. Перед каждым решением метод Ньютона–Рафсона оценивает невязку вектора нагрузок, появляющуюся вследствие различия между восстановленными (нагрузками, соответствующими элементным напряжениям) и приложенными нагрузками. Далее программа выполняет линейный расчет, используя невязки нагрузок, и проверяет наличие сходимости. Если критерии сходимости не удовлетворены, то невязка вектора нагрузки вычисляется повторно, матрица жесткости обновляется, и вычисляется новое решение. Эта итерационная процедура продолжается до сходимости расчета.

Для улучшения сходимости задачи можно применять различные методы, такие как:

- поиск на линии;
- автоматическое назначение шага нагрузки и деление его пополам.

Если сходимость не может быть достигнута, то проводим расчет с уменьшенным приращением нагрузки [4].

Для обеспечения максимальной точности рассчитываемых параметров НДС в структуре прессового полисоединения осуществляют минимизацию

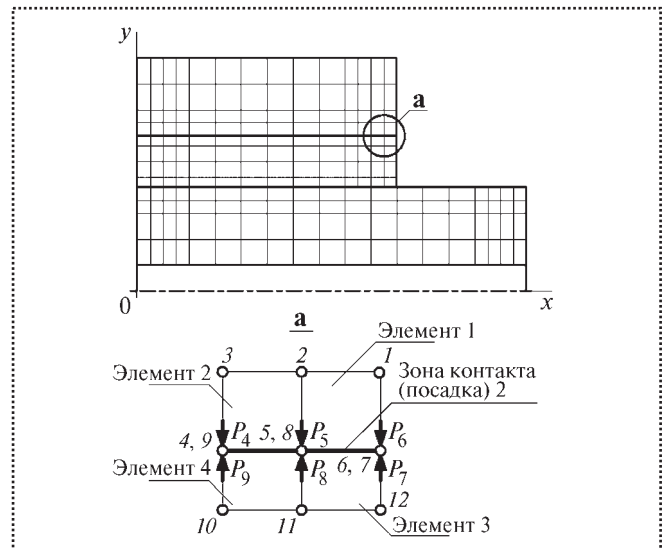


Рис. 2. Конечно-элементная модель прессового полисоединения с прямоугольными осесимметричными элементами первого порядка (четырёхузловые):
1...12 – элементы матрицы

потенциальной энергии деформированного тела. Аппроксимирующей функцией чаще всего является линейный, квадратичный или кубический полином. Такой полином, связанный с соответствующим элементом, называется **функцией элемента**.

Второй этап – геометрическая модель ППС в зависимости от типа задачи разбивается на осесимметричные или объемные конечные элементы (рис. 2). Для повышения точности расчета используют элементы второго порядка.

В предполагаемых зонах концентраций напряжений и их градиентов (контактные зоны и торцевые участки деталей) производится сгущение конечно-элементной сетки.

На третьем этапе особенностью расчета полисоединений МКЭ является необходимость использования для промежуточных деталей минимум тройного слоя конечных элементов в целях корректной передачи нагрузок от охватывающей детали к охватываемой и обратно. Контактное взаимодействие можно определять с помощью контактных пар, состоящих из контактных конечных элементов, соответствующих основным элементам, порядка.

Наличие натягов в полисоединении обуславливает возникновение узловых сил. В собранном виде соединение находится в состоянии равновесия, и мы имеем право предположить, что сумма всех сил,



действующих внутри соединения, равна нулю. Это касается и зон контакта.

На четвертом этапе в рамках решаемой задачи граничные условия – только условия симметрии, т.е. подразумевается статическая задача теории прочности без приложения внешних нагрузок.

Представив ППС в виде охватываемой, промежуточной и охватывающей деталей, получим три системы линейных уравнений:

$$\begin{aligned} [K_1]\{X_1\} &= \{P_1\}, \\ [K_2]\{X_2\} &= \{P_2\}, \\ [K_3]\{X_3\} &= \{P_3\}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $[K]$ – матрица коэффициентов жесткости детали; $\{X\}$ – перемещения узлов сетки конечных элементов;

$\{P\}$ – поверхностные и объемные силы, действующие в узлах сетки;

индексы: 1 – охватываемая деталь; 2 – промежуточная; 3 – охватывающая.

На пятом этапе получить общее решение системы (1) сложно, поэтому реализуют разработанный авторами алгоритм определения контактных давлений в полисоединении, в котором контактные зоны 1 и 2 рассматривают по отдельности, но во взаимной связи.

Принимаем случай, когда вектор свободных членов (вектор нагрузок) формируется для заданной величины натяга.

По начальным значениям диаметров сопрягаемых поверхностей первой зоны определяем значение натяга.

Сформируем начальные матрицы жесткости деталей $[K_1]$, $[K_2]$ и $[K_3]$. Для объяснения механизма формирования матриц жесткости воспользуемся теорией МКЭ [3].

Матрица жесткости всей детали определяется суммой подматриц элементов:

$$[K] = \sum_{e=1}^n [K]^e \quad (2)$$

с учетом того, что матрица жесткости отдельного элемента

$$[K]^e = \int_{V^e} [B]^T [D] [B] dV, \quad (3)$$

где e – определяет матрицы элементов.

Матрицу упругости $[D]$ изотропного материала запишем в виде [2]

$$[D] = \frac{E_i(1-\mu_i)}{(1+\mu_i)(1-2\mu_i)} \times \begin{bmatrix} 1 & \frac{\mu_i}{1-\mu_i} & \frac{\mu_i}{1-\mu_i} & 0 \\ \frac{\mu_i}{1-\mu_i} & 1 & \frac{\mu_i}{1-\mu_i} & 0 \\ \frac{\mu_i}{1-\mu_i} & \frac{\mu_i}{1-\mu_i} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\mu_i}{2(1-\mu_i)} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где μ_i и E_i – значения переменных параметров упругости (коэффициент Пуассона и модуль упругости) для i -й итерации в решении задач с упругопластическими деформациями [2].

При необходимости расчета тел со свойствами ортотропии или анизотропии матрица $[D]$ принимает вид с учетом расположения плоскостей изотропных слоев.

В зависимости от типа конечного элемента записывают функции формы элемента N'_i, N'_j, \dots [3]. Например, для прямоугольного элемента второго порядка узлов, а соответственно и функций формы будет восемь. Функции формы выбирают таким образом, чтобы при подстановке координат узлов получали соответствующие узловые перемещения.

Матрица элемента $[B]$ состоит из подматриц узлов, каждая из которых получается путем циклической перестановки элементов матрицы для одного из узлов. Вид матрицы формы узла определяется типом конечного элемента и соответствующими функциями координат узловых точек [3].

Например, для треугольного конечного элемента матрица $[B]$ имеет вид

$$[B] = [B_i, B_j, B_m].$$

Соответственно, для узла i , матрица $[B_i]$ имеет вид

$$[B_i] = \begin{bmatrix} 0 & \frac{\partial N'_i}{\partial z} \\ \frac{\partial N'_i}{\partial r} & 0 \\ \frac{1}{r} N'_i & 0 \\ \frac{\partial N'_i}{\partial z} + \frac{\partial N'_i}{\partial r} \end{bmatrix}.$$



В соответствии с теорией МКЭ перемещения любой точки внутри конечного элемента определяются соотношением

$$\{X\} = [N]\{\delta\}^e = [N_i, N_j, N_m, \dots] \begin{Bmatrix} \delta_i \\ \delta_j \\ \delta_m \\ \vdots \end{Bmatrix}, \quad (5)$$

где компоненты $[N]$ – функции положения;

$\{\delta\}^e$ – перемещения узловых точек рассматриваемого элемента. Число узлов элемента зависит от формы элемента и его типа.

Для рассматриваемого осесимметричного случая напряженного состояния вектор-столбец перемещений

$$\{X\} = \begin{Bmatrix} X_r(r, z) \\ X_z(r, z) \end{Bmatrix} \quad (6)$$

содержит горизонтальные и вертикальные перемещения типичной точки внутри элемента, а столбец

$$\{\delta_i\} = \begin{Bmatrix} X_{ri} \\ X_{zi} \end{Bmatrix} \quad (7)$$

содержит соответствующие перемещения узла i [2].

После формирования матриц жесткости деталей переходим к поочередному решению стандартных контактных задач в зонах посадок полисоединений, например, начиная с посадки 1 (см. рис. 2).

Из множества алгоритмов решения обычной контактной задачи методом конечных элементов примем модифицированный метод Лагранжа.

Искомый вектор нагрузок во всех узлах сетки детали полисоединения находим из соотношения обратной прямоугольной матрицы единичных сил и вектора перемещений, определяемого величиной натяга соединения. В случае постоянного натяга по длине соединения перемещение каждого узла по радиальной координате равно половине общей для посадки величины натяга. Формируем вектор нагрузок.

С учетом равенства узловых сил $P_1 = P_{21}$ в сопряженных узлах зоны контакта запишем систему алгебраических уравнений:

$$\begin{aligned} X_1 &= [K_1]P_1, \\ X_{21} &= [K_2]P_{21}. \end{aligned} \quad (8)$$

Решаем систему уравнений (2) одним из итерационных способов, например методом Ньютона–Рафсона [3], добиваясь "сгонки" решения путем минимизации величины невязки перемещений.

Запишем уравнение по определению эквивалентных узловых сил

$$[K]\{\delta\} + \{P\}_q + \{P\}_b + \{P\}_{\varepsilon_0} + \{P\}_{\sigma_0} - \{R\} = 0, \quad (9)$$

где $\{P\}_q$ – обусловлены распределенными нагрузками;

$\{P\}_b$ – обусловлены дополнительной нагрузкой, прикладываемой в узлах граничного элемента;

$\{P\}_{\varepsilon_0}$ – обусловлены начальными деформациями;

$\{P\}_{\sigma_0}$ – обусловлены начальными напряжениями;

$\{R\}$ – матрица сил для сохранения равновесия в узлах.

Нагрузки, возникающие на границе элемента, статически эквивалентны узловым силам элемента

$$\{P\}^e = \{P_i, P_j, P_m, \dots\}^T, \quad (10)$$

где каждая из сил $\{P_i\}$ имеет столько же компонентов, сколько и соответствующее узловое перемещение $\{\delta_i\}$.

По уточненным векторам узловых сил определяем величины узловых перемещений для каждой из деталей посадки.

С учетом найденных перемещений во второй детали из решения контактной задачи для посадки 1 производят уточнение матрицы жесткости и осуществляют решение контактной задачи для посадки 2 аналогичным образом (используя индексы обозначений матриц для второй посадки), решая систему алгебраических уравнений:

$$\begin{aligned} X_{22} &= [K_2]P_{22}, \\ X_3 &= [K_3]P_3. \end{aligned} \quad (11)$$

Найденное решение дает величины контактных давлений в зоне посадки второй и третьей деталей и перемещения в деталях.

Механизм уточнения узловых сил позволяет получить достаточно точное решение при однократном



выполнении цикла с третьего по пятый этапы, а при необходимости возможно его повторение.

Уточнение расчета выполняют в соответствии с необходимой точностью, определяющей коэффициент α , равный

$$\alpha = \frac{N_i - N_{i-1}}{N_i},$$

где i – соответствующий индекс натяга N каждой из посадок в цикле итераций по уточнению расчета.

Если известны перемещения во всех точках элемента, то деформацию в деталях определяют [2]:

$$\{\varepsilon\} = [B]\{X\}^e, \quad (12)$$

где компоненты вектора деформации имеют вид

$$\{\varepsilon\} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_z \\ \varepsilon_r \\ \varepsilon_\theta \\ \gamma_{rz} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial x_z}{\partial z} \\ \frac{\partial x_r}{\partial r} \\ \frac{x_r}{r} \\ \frac{\partial x_z}{\partial z} + \frac{\partial x_r}{\partial r} \end{Bmatrix} \quad (13)$$

и легко выражаются через узловые перемещения элемента

$$\{\varepsilon\} = [B]^e \{\delta\}^e = [B_i, B_j, B_m, \dots] \{\delta\}^e. \quad (14)$$

В случае, когда функции формы линейные, деформации будут постоянны по всему элементу.

Напряжения в соответствии с законом Гука и возможным начальным напряженным состоянием определяют:

$$\{\sigma\} = \begin{Bmatrix} \sigma_z \\ \sigma_r \\ \sigma_\theta \\ \tau_{rz} \end{Bmatrix} = [D](\{\varepsilon\} - \{\varepsilon_0\}) + \{\sigma_0\}, \quad (15)$$

где $[D]$ – матрица упругости, содержащая характеристики материала;

$\{\varepsilon\}$ и $\{\varepsilon_0\}$ – полученная и начальная деформации соответственно;

$\{\sigma\}$ и $\{\sigma_0\}$ – полученное и начальное напряжения соответственно.

Узловые силы позволяют определить контактные давления в узлах и элементах деталей полисоединения.

На шестом этапе результаты решения позволяют описать характер распределения конечных контактных давлений в зонах посадок и определить максимальную нагрузочную способность ППС путем расчета минимальной силы сдвига для каждой из посадочных зон.

В зоне контакта возникают фрикционные силы, обусловленные тем, что охватываемая деталь удлиняется, охватывающая укорачивается, а промежуточная деталь испытывает деформации в зависимости от величин контактных давлений со стороны охватывающей и охватываемой деталей.

Суммы всех сил трения в каждой из зон контакта должны быть равны нулю, однако необходимо помнить об их влиянии на НДС соединения – они стремятся увеличить концентрацию напряжений в традиционно опасных зонах. На рис. 3 представлена блок-схема решения контактной задачи пресового полисоединения.

Практика указывает на то, что реализация метода конечных элементов, решая задачи многосвязного контакта ППС, предпочтительно выполнять в одном из коммерческих конечно-элементных программных комплексов, которые обеспечивают:

- широкий набор средств моделирования и визуализации;
- возможности учета различных конструктивных и технологических параметров при выполнении решений;
- требуют меньших трудовых затрат при создании модели.

Шестой этап. По разработанной методике решения контактной задачи ППС был выполнен вычислительный эксперимент по расчету образцов ППС (рис. 4). Образцы представляют собой неподвижные посадки трех деталей в радиальном положении, собранные любым из доступных методов сборки.

Исходные данные для расчета образца 1:

- внутренние диаметры деталей: $d_{1в} = 0$ мм, $d_{2в} = 28$ мм, $d_{3в} = 36$ мм;
- наружные диаметры деталей: $d_{1н} = 28,06$ мм, $d_{2н} = 36,1$ мм, $d_{3н} = 80$ мм;
- у образца 2 изменены: $d_{3в} = 50$ мм, $d_{2н} = 50,1$ мм и $d_{3н} = 65$ мм;

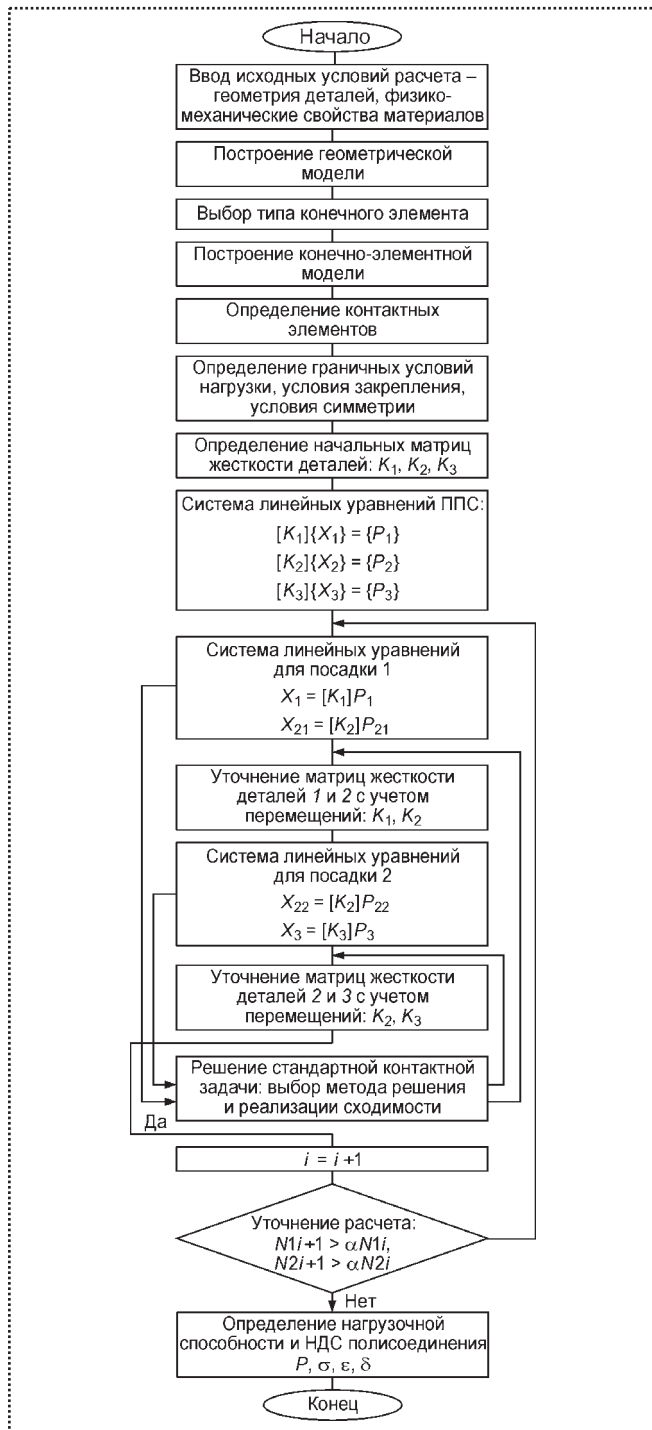


Рис. 3. Схема алгоритма расчета ППС методом конечных элементов

• все детали имеют одинаковую длину $l = 35$ мм и одинаковые физико-механические свойства материала:

- коэффициент Пуассона $\mu = 0,3$;
- модуль упругости $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па.

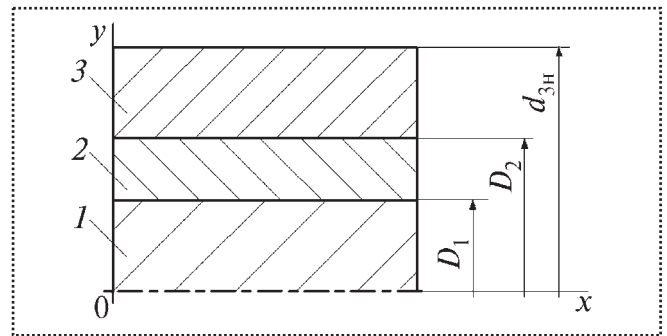


Рис. 4. Эскиз образца прессового полисоединения

Анализ результатов расчета распределения осевых перемещений в деталях ППС указывает на то, что большая жесткость конструкции образца 1 приводит к более значительному удлинению детали 1 в сравнении с жесткостью конструкции образца 1:41 мкм против 26 мкм. Увеличение диаметра посадки детали 2 (см. рис. 1) приводит к увеличению осевых деформаций детали 3. Анализ осевых удлинений детали 2 указывает на свойства, более близкие для охватываемых деталей, чем для охватываемых – увеличение диаметра посадки детали 2 приводит к уменьшению осевых удлинений.

Анализ радиальных перемещений в ППС указывает на то, что при увеличении жесткости конструкции – деталь 1 уменьшается в диаметре, деталь 3 увеличивается. Перемещения в детали 3 определяются не только диаметром посадки детали 2, но и общей жесткостью полисоединения. Например, для образца 1 наружный диаметр детали 2 увеличился, в то время как для образца 2 – он уменьшился.

Анализ напряжений в деталях ППС производили в соответствии с эпюрами, представленными на рис. 5, а, б.

При малой жесткости промежуточной детали 2 (образец 1) в ней образуются очаги напряжений, в то время как при большой жесткости (образец 2) – поля напряжений распределены равномерно. Одинаковая длина деталей и относительно большая жесткость охватываемой детали 1 в обоих образцах практически не сказываются на напряжениях в детали 1 – они постоянны.

Малая жесткость охватывающей детали 3 в образце 2 вызывает более неравномерное распределение контактных давлений в сравнении с образцом 1. Симметрия ППС определяет симметричное распределение параметров НДС в деталях.

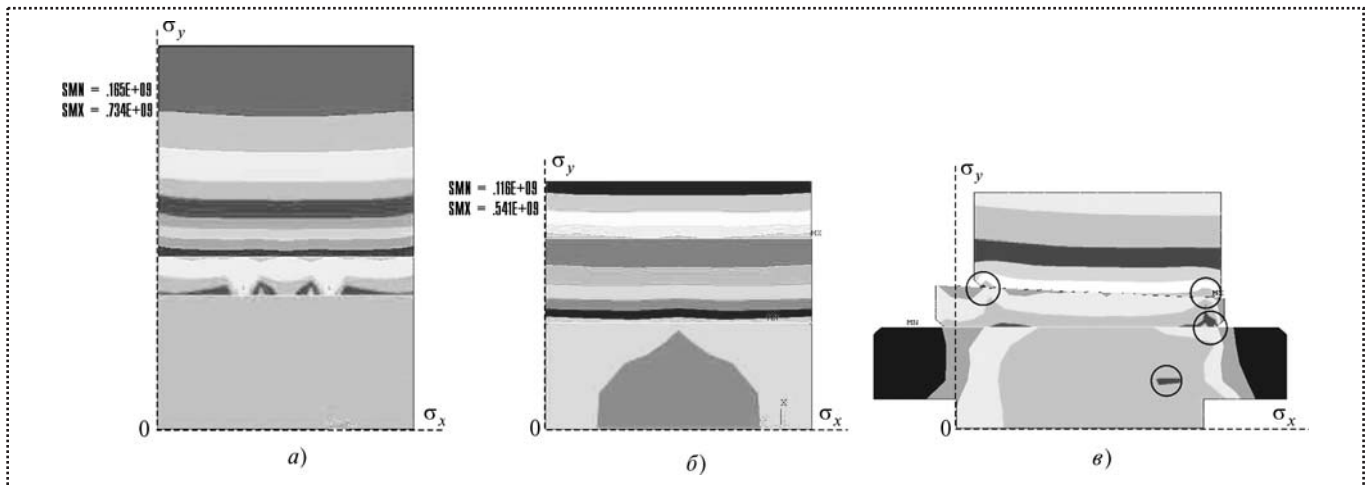


Рис. 5. Эпюра эквивалентных напряжений:
 а – в образце 1; б – в образце 2; в – в образце 3

Преимущества численного метода расчета ППС реализованы в расчете образца со сложной геометрией (эпюра напряжений представлена на рис. 5, в).

Исходные данные образца 3, в котором собраны детали разной длины, с конической посадкой, фасками для снижения пиков напряжений под торцами деталей и центрирующими отверстиями на валу:

Внутренние диаметры деталей:

- $d_{1в} = 0$ мм, $d_{2в} = 28$ мм, средний $d_{3в} = 36$ мм;
- наружные диаметры деталей: $d_{1н} = 28,02$ мм, средний $d_{2н} = 36,04$ мм, $d_{3н} = 65$ мм;
- длины деталей $l_1 = 50$ мм, $l_2 = 35$ мм, $l_3 = 30$ мм, $\mu = 0,3$, $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па;
- угол наклона конической посадки 3° ;
- длины фасок деталей $l_{ф} = 0,5$ мм;
- угол наклона фасок 45° ;
- в центре вала присутствуют расточные отверстия: диаметр 8 мм, длина 10 мм.

Анализ эпюры, представленной на рис. 5, в, указывает на то, что учет сложной геометрии детали позволяет отслеживать концентрации напряжений (обозначены кругами) в деталях:

- 1 – обусловленные переменной жесткостью детали 3;
- 2 – обусловленные торцом и малой жесткостью детали 2;
- 3 – обусловленные зоной торцов, однако сниженные благодаря выполнению фасок.

Вывод

Предложенная методика позволила определять параметры напряженно-деформированного состояния деталей в образцах ППС, в том числе со сложной геометрией, учитывая взаимное влияние деталей в полисоединении. Искомые деформации позволяют однозначно определять параметры нагрузочной способности ППС.

Методика прошла промышленную апробацию при расчете узла кривошипа нефтяного насоса и используется для определения концентраторов напряжений в конструкциях и повышения нагрузочной способности путем топологической оптимизации.

Список литературы

1. Evgeniy V. Kulish, Marat M. Abashev, Anna V. Ivannikova, Alexey V. Schenyatskiy. Numerical-analytical Methods in Perfection of Assembly Technique of Joints in Main Machines Units. Budapest, Hungary, Pollack Periodica. Vol. 1. No. 2. P. 71–82 (2006) www.akademiai.com.
2. Абрамов И.В., Щенятский А.В., Турыгин Ю.В. и др. Высоконапряженные соединения с гарантированным натягом. Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2002. 300 с.: ил.
3. Dusan Maga, Rene Hartyansky. Numericke riesenia. Univerzita obrany, Brno, Czech Rep., 2006. 174 p.
4. Басов К.А. ANSYS: справочник пользователя. М.: ДМК Пресс, 2005. 640 с.
5. Алямовский А.А. SolidWorks/COSMOSWorks. Инженерный анализ методом конечных элементов. М.: ДМК Пресс, 2004. 432 с.



Л.И. Тулина, М.П. Гладышева, В.Е. Сергеев

(ИИИ Измерительных систем им. Ю.Е. Седакова, г. Нижний Новгород)

Технология изготовления многоуровневых микроплат

Содержит результаты исследований по разработке технологии изготовления многоуровневых микроплат по двум вариантам: с изоляцией мест пересечения и со сплошным слоем изоляции и окнами в местах контакта верхнего и нижнего уровней коммутации.

Рассмотрены преимущества и недостатки каждого из вариантов, особенно подчеркнута необходимость планирования для обеспечения надежности многоуровневых микроплат.

The given work contains results of researches on development of manufacturing techniques of multilevel micropayments by two variants: with isolation of places of crossing and with a continuous layer of isolation and windows in places of contact of the top and bottom levels of switching. Advantages and lacks of each of variants are considered, is especially underlined necessity planarization for maintenance of reliability of multilevel micropayments.

Задача разработки технологии изготовления многоуровневых микроплат для многокристальных модулей актуальна для нашего института при создании малогабаритных блоков памяти, так как многокристальный модуль (МКМ) позволяет повысить быстродействие и надежность радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) при одновременном уменьшении массогабаритных параметров и увеличении функциональной сложности.

Сложность данной разработки связана со следующими особенностями многоуровневых плат:

- большая насыщенность проводниковыми элементами коммутационных слоев;
- значительная площадь пересечений и переходов с одного уровня на другой;
- высокие требования по качеству и надежности проводниковых и изоляционных слоев;
- требования по пригодности к сборочным операциям;
- сложность контроля электрофизических параметров, основными из которых являются целостность электрических цепей и отсутствие коротких замыканий.

Основными задачами, которые необходимо решить при создании высоконадежных многоуровневых микроплат, являются:

- ◆ выбор материалов и способов формирования металлических пленок с высокой электропроводностью и стабильностью свойств;
- ◆ исследование и разработка высококачественных систем межслойной изоляции;
- ◆ решение задач совместимости различных материалов;
- ◆ разработка оптимальных конструкторско-технологических вариантов исполнения с точки зрения технологичности их создания, получения оптимальных массогабаритных параметров и надежности в эксплуатации.

Конструкторско-технологические варианты исполнения многослойных плат очень разнообразны.

Наиболее широко в производстве гибридных интегральных схем распространены два варианта многослойной коммутации:

- с изоляцией мест пересечения;
- со сплошным слоем изоляции и окнами в местах контакта верхнего и нижнего уровней коммутации.

Технология изготовления двухуровневых микроплат с изоляцией мест пересечения

На рис. 1 приведен фрагмент коммутации с изоляцией мест пересечения. В качестве материала межуровневой изоляции используют позитивный фоторезист ФП-9120-1,8.

Межуровневая изоляция в местах пересечения проводников сформирована в виде двух наложенных друг на друга площадок различной площади. Это позволяет сглаживать рельеф, что в свою очередь снижает вероятность разрыва проводников верхнего уровня. Формирование изоляционных слоев — сложный и трудоемкий процесс.

Качество и толщина изоляционных слоев зависят от многих технологических факторов:

- марки и концентрации фоторезиста;
- скорости вращения центрифуги при нанесении фоторезиста на подложку;

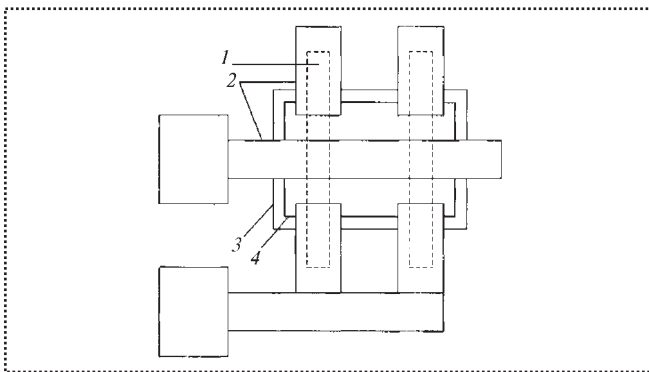


Рис. 1. Фрагмент коммутации с изоляцией мест пересечения:
1 – первый проводниковый слой (перемычки); 2 – второй проводниковый слой (основной); 3, 4 – межуровневая изоляция, состоящая из двух слоев фоторезиста разной площади

■ температуры и времени термообработки режимов экспонирования.

Технологический маршрут изготовления плат с двухуровневой тонкопленочной коммутацией с изоляцией мест пересечения содержит следующую последовательность операций [1]:

- 1) напыление пленок РС-3710, V–Cu–Ni;
- 2) формирование в первом слое соединительных перемычек фотолитографическим травлением пленок V–Cu–Ni;
- 3) формирование резисторов фотолитографическим травлением пленок РС-3710;
- 4) формирование межуровневой изоляции на основе фоторезиста ФП-9120-1,8;
- 5) напыление пленок V–Cu–Ni;
- 6) формирование коммутационных элементов фотолитографическим травлением пленок V–Cu–Ni;
- 7) защита пленочных элементов.

Аналогичная технология используется в ВНИИЭФ (г. Саров) и в ФГУП ПО "Старт" (г. Пенза).

Преимущества разработанного маршрута:

- по этой технологии возможно изготовление многослойных плат с резисторами;
- формирование соединительных перемычек в нижнем уровне позволило проводить травление коммутационных элементов обоих уровней одним и тем же травителем, так как перемычки перекрываются проводниками верхнего уровня и изоляционными площадками.

По разработанной технологии были изготовлены тестовые образцы, имеющие следующие характеристики:

Основные характеристики

Материал:	
подложки	Ситалл
резисторов	Сплав РС-3710 $r = 200, 500 \text{ Ом}$
коммутационных элементов	V–Cu–Ni
изоляционных площадок	Фоторезист ФП-9120-1,8
защитного слоя	Фоторезист ФП-9120-1,8
Число пересечений на плате	
размером 25×45 мм	1130

Конструкторско-технологические ограничения

Толщина нижнего слоя коммутации, мкм	1–3
Минимальная ширина элементов первого уровня, мкм	30
Толщина верхнего слоя коммутации, мкм	3–4
Минимальная ширина элементов второго уровня, мкм	60
Минимальное расстояние между элементами, мкм	100
Общая толщина изоляционных площадок, мкм	3,5–4,5
Размер нижней изоляционной площадки, мкм:	
минимальный	350×460
максимальный	2000×2000

Параметры межуровневой изоляции

Сопротивление изоляции, МОм	100
Пробивное напряжение В, более	100
Паразитная емкость пересечения пФ, менее	1

На данных образцах были проведены испытания по имитации 17 лет складского и трех лет полевого хранения. Результаты положительные.

Разработанная технология трудоемкая и довольно сложная, выход годных плат невысокий (порядка 12 %). В настоящее время проводят работы по совершенствованию технологии упрощения маршрута и повышения надежности плат.

Технология изготовления многослойных микроплат со сплошным слоем изоляции и окнами в местах контакта верхнего и нижнего уровней коммутации

В общем виде вариант (маршрут) изготовления многослойных плат со сплошным слоем изоляции и окнами в местах контакта верхнего и нижнего уровней коммутации включает в себя следующие операции:

- очистку подложки;
- напыление первого коммутационного слоя;
- фотолитографию;
- нанесение сплошного изоляционного слоя;
- формирование окон в слое изоляции;
- напыление второго коммутационного слоя через магнитные маски.



В целях обеспечения надежности на первом этапе работ была поставлена задача сокращения "мокрых" операций при изготовлении многослойных плат. Она была решена применением масок из магнитных материалов при напылении проводников [1].

В ходе проведения исследований по разработке технологии изготовления прецизионных масок из магнитных материалов решены следующие вопросы:

- 1) выбран материал – это лента из магнитного сплава 29НК толщиной 0,05 мм;
- 2) разработаны режимы отдельных операций и маршруты изготовления масок, отличительными особенностями являются одностороннее и двухстороннее травление, в результате которого получены маски с различным профилем окон (конус или скругленный профиль).

Разработанная технология изготовления масок позволяет получать маски с минимальным размером элемента 100 мкм с точностью 10...12 мкм.

Основными задачами, стоящими перед разработчиками технологии напыления через магнитные маски, были:

- ♦ выбор материала проводников и метода напыления;
- ♦ разработка комплекта оснастки для совмещения и закрепления маски с подложкой;
- ♦ оценка погрешности (точности) выполнения геометрических размеров проводников (величина подпыла) и совмещения маски с подложкой.

В качестве проводящего материала выбрана композиция ванадий–медь–никель, причем для напыления проводящего слоя, на котором в дальнейшем будут проводить сборку, был выбран техпроцесс, обеспечивающий толщину пленки никеля 0,1...0,15 мкм за счет использования специальной конструкции испарителя никеля.

Отработку технологии напыления проводников проводили как на установках термического напыления (УВН-74П-3, УВН-2М-2), так и на установках магнетронного напыления ("Оратория-5", "Катод-1М").

Сложной оказалась задача разработки комплекта оснастки для закрепления и совмещения маски с подложкой (рис. 2) [2].

На первом этапе разработаны варианты магнитного подложкодержателя. Были изготовлены держатели с разным количеством магнитов. Магниты однополярно располагались в ячейках стального

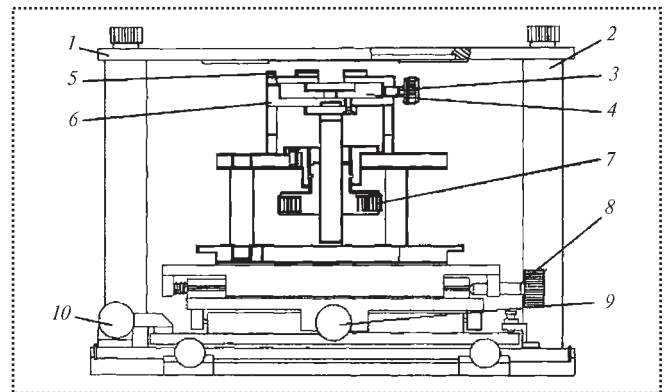


Рис. 2. Комплект оснастки для закрепления и совмещения маски с подложкой:

1 – рамка; 2 – стойка; 3 – винт; 4 – магнитная система; 5 – подложкодержатель; 6 – ползун; 7 – гайка; 8 – микровинт для перемещения столика по координатной оси x; 9 – микровинт для перемещения столика по координатной оси y; 10 – микровинт для изменения угла положения столика

основания, магниты с чередованием полюсов – в ячейках анодированной алюминиевой пластины, закрепленной на стальном основании, в которые вставлены алюминиевые кольца.

Критерием оценки стала величина подпыла, которая характеризует качество прижима маски к подложке. Величину подпыла определяли по разнице размеров элементов на маске и подложке. Величина подпыла составила 5...10 мкм по всей поверхности, что говорит о достаточно равномерном прижиге маски к подложке.

В технологии изготовления многослойных коммутационных плат наиболее важным является обеспечение высокой точности совмещения элементов разных уровней. С этой целью разработано и изготовлено приспособление для совмещения и закрепления масок с координатным столиком с микровинтами, обеспечивающее точность совмещения элементов разных уровней 5...10 мкм.

Одна из самых сложных проблем в технологии изготовления многослойных плат – создание надежной изоляции.

При разработке технологии нанесения изоляционных слоев и формирования в них окон были исследованы различные материалы – фоторезисты ФН-11СК и ФП-9120-1,8, полиимидный лак АД-9103.

Качество изоляции из фоторезистов ФН-11СК и ФП-9120-1,8 определяли после напыления проводников через магнитную маску. Были отмечены случаи короткого замыкания (КЗ) и нестабильное

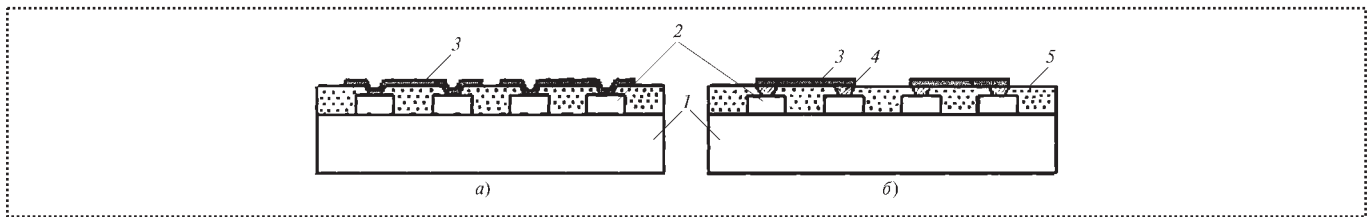


Рис. 3. Варианты изготовления многоуровневых микроплат:

a – без планаризации; *б* – с планаризацией; 1 – подложка; 2 – нижняя коммутация; 3 – верхняя коммутация; 4 – окно, заполненное металлом; 5 – изоляционный слой

значение проводящих цепей, а также наблюдали случаи недостаточной адгезии проводников к изоляции.

Наиболее стабильные результаты получены с использованием лака АД-9103. Он и был выбран в качестве изолирующего материала.

В ходе работ большое внимание уделяли:

- отработке режимов нанесения лака;
- температурной обработке;
- режиму имидизации лака на воздухе и в вакууме;
- формированию окон химическим и плазмохимическим травлением.

Критериями оценки служили отсутствие КЗ и сопротивление изоляции.

Совместно с этими работами прорабатывали также режимы межоперационной очистки (перед нанесением лака, перед напылением следующего проводящего слоя).

В структуре с многоуровневой разводкой чередуются металлические и межслойные изолирующие пленки, что обуславливает ее ступенчатость, которая может привести к короткому замыканию между слоями и обрыву соединений. Кроме того, с ростом числа межсоединений увеличивается опасность возникновения ненадежных контактов. Поэтому основное внимание уделяли разработке технологии планаризации рельефа путем:

- планаризации рельефа проводников органической пленкой;
- заполнения контактных окон.

При планаризации рельефа поверхности органической пленкой для получения равномерного изоляционного слоя лака без резких перепадов на границах коммутационных элементов было опробовано два способа.

Первый способ выравнивания – нанесение на коммутационный слой дополнительного слоя лака, толщина которого должна быть соизмерима с тол-

щиной коммутации. В этом случае после фотолитографического травления (которое позволяет вскрыть коммутационный слой) получали планарную поверхность и на нее наносили основной изолирующий слой.

Второй способ выравнивания – получение необходимого рельефа слоя изоляции за счет изменения вязкости лака, его толщины и режимов нанесения.

Наиболее технологичным оказался второй способ, так как он содержит меньшее количество фотолитографических операций.

Для получения надежных низкоомных переходов между уровнями и исключения разрывов проводников необходимо дополнительно заполнять контактные окна, т.е. планаризировать рельеф (рис. 3, поз. 4). Авторы выбрали нетрадиционное гальваническое наращивание в окнах проводникового материала, а вакуумное напыление через магнитные маски.

Наиболее перспективным является пропыление окон магнетронным методом. Работу по пропылению окон проводили на установке магнетронного напыления "Оратория-5" и установке термического напыления УВН-74П-3. По результатам отработок переходное сопротивление межслойной коммутации для магнетронного напыления составило (в среднем) 0,086 Ом, для термического – 0,092 Ом. Сопротивление проводящих цепей составило 0,8...5,0 Ом в зависимости от длины проводников. Разрывов цепей не наблюдалось.

Разработанный маршрут содержит технологические операции [3]:

1. Очистку подложки.
2. Напыление резистивного слоя.
3. Напыление проводящего слоя.
4. Формирование первого коммутационного слоя и резисторов методом фотолитографии.
5. Межоперационную очистку.
6. Нанесение полиимидного лака.



7. Имидизацию лака.
8. Фотолитографическое формирование окон.
9. Межоперационную очистку.
10. Пропыление окон через маску.
11. Напыление второго коммутационного слоя через маску.
12. Для формирования третьего и четвертого слоев коммутации необходимо повторить операции 5–11.

По разработанной технологии изготовлены трех- и четырехуровневые платы с резисторами, аналогичные платам прибора по теме "БИС-Гибрид".

Сопrotивление проводящих цепей составило 0,87...4,3 Ом при том, что в отдельных цепях присутствовало до 6 переходов и переходы были с 1 на 2, с 2 на 3, с 1 на 3, с 2 на 4. Сопrotивление изоляции составило более 100 МОм. Случаев КЗ не было.

Были проведены лабораторные климатические испытания. Изменение сопrotивления проводящих цепей после пяти термоциклов изменения температуры от +70 до –60 °С составило в среднем 0,5 Ом, а после воздействия в течение 30 сут относительной влажности воздуха 98 % – 1,6 Ом. Однако сопrotивление нескольких цепей стало более 5 Ом (всего 120 проводящих цепей):

- ◆ после пяти термоциклов – 1;
- ◆ после влаги – 13 (больше 10 Ом – 4).

Изменение сопrotивления резисторов не превысило 2 %.

Несмотря на то что после испытаний не все параметры проводящих цепей удовлетворяют требованиям конструкторской документации, можно считать результаты испытаний положительными, а изменения, превышающие эти требования, говорят о том, что необходимо провести дальнейшую более детальную отработку каждой операции маршрута изготовления многоуровневых плат.

Выводы

Разработаны технологические документации по изготовлению масок из магнитных материалов, лабораторные инструкции по напылению проводниковых элементов через магнитные маски, по формированию изоляционных слоев, по формированию защитного покрытия. Выбраны методы планаризации рельефа поверхности и лабораторный маршрут изготовления многослойных плат.

Список литературы

1. Отчет № НИТО 261-975–2003 о НИР "Исследование и разработка технологии изготовления гибридной микроэлектроники для перспективных приборов и систем контроля".
2. Отчет № НИТО 261-977–2004 о НИР "Исследование и разработка технологии изготовления гибридной микроэлектроники для перспективных приборов и систем контроля".
3. Отчет № НИТО 261-978–2005 о НИР "Исследование и разработка технологии изготовления гибридной микроэлектроники для перспективных приборов и систем контроля".

СПРАВОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ

Опыт организации производства специальных крепежных изделий для односторонней постановки безударной клепки подтверждает необходимость учета номенклатуры деталей по типоразмерам, а не только по типам или видам.

Анализ номенклатуры крепежных изделий для односторонней постановки и безударной клепки

Наименование изделия	Число типоразмеров	Входящие детали	Число типоразмеров деталей
Заклепки высокого сопротивления срезу из конструкционных сталей	231	Корпус	231
		Винт	87
		Кольцо	5
Заклепки с сердечником из алюминиевых сплавов	35	Корпус	35
		Сердечник	9
Болтозаклепки из алюминиевого сплава	495	Стержень	495
		Кольцо	6
Болтозаклепки из конструкционной стали	784	Стержень	784
		Кольцо	5
Заклепки пустотелые из алюминиевого сплава	68	Заклепка	68



Ю.А. Светлаков (НИИ измерительных систем
им. Ю.С. Седакова, г. Нижний Новгород)

Разработка технологий механической обработки деталей из твердых хрупких неметаллических материалов

Рассматриваются технологии механической обработки неметаллических материалов при изготовлении электрорадиоизделий с использованием электрофизических методов.

Technologies of machining of nonmetallic materials are considered at manufacturing electroradioproducts with use of electrophysical methods.

Создание приборов в машиностроении, работающих в миллиметровом диапазоне длин волн, потребовала разработки и освоения в опытном производстве ряда принципиально новых технологических процессов.

Из числа разработанных технологий можно выделить следующие:

- комплекс технологических процессов изготовления ферритовых элементов для переключающих устройств средних волновых частот (СВЧ) и коротких волновых частот (КВЧ) диапазонов длин волн, который включает в себя операции: резку; круглую шлифовку; плоскую шлифовку с обеспечением точности изготовления до 9 качества и шероховатостью обработанных поверхностей до $Ra\ 0,63$; профильную шлифовку с обеспечением угловой точности до $3'$; ультразвуковую прошивку отверстий прямоугольной формы с размерами сторон до 0,3 мм с обеспечением точности изготовления до 11 качества и шероховатостью обработанных поверхностей до $Ra\ 1,25$;

- комплекс технологических процессов изготовления ферритовых элементов в виде микростержней и дисков для вентилях и циркуляторов СВЧ и КВЧ диапазонов длин волн, который включает в себя операции: резку с обеспечением точности изготовления до 9 качества; бесцентровую круглую шлифовку деталей диаметром до 0,5 мм с обеспечением точности изготовления до 8 качества и шероховатостью обработанных поверхностей до $Ra\ 0,63$; плоскую шлифовку деталей высотой до 0,5 мм с обеспечением точности изготовления до 8 качества и шероховатости обработанных поверхностей до $Ra\ 0,63$;

- комплекс технологических процессов механической обработки подложек из феррита, поликора, керамических радиотехнических материалов, ниобата лития, кварцевого стекла для получения микроплат, который включает в себя операции: шлифовку и полировку свободным абразивом с обеспечением шероховатости обработанных поверхностей до $Ra\ 0,04$; шлифовку и полировку связанным абразивом с обеспечением точности изготовления до 6 качества; разделение (резка) подложек на микроплаты с обеспечением точности изготовления до 10 качества.

- комплекс технологических процессов механической обработки деталей из кварцевого стекла и иодата лития для линий задержки на объемных акустических волнах, который включает в себя операции: резку, шлифовку и полировку с обеспечением точности изготовления до 7 качества (5 качество – при обработке пьезоэлементов из монокристалла иодата лития толщиной 0,01 мм) и шероховатости обработанных поверхностей до $Ra\ 0,04$.

- комплекс технологических процессов электроэрозионной обработки деталей из токопроводящих материалов, который включает в себя операции: координатно-прошивочную профилированным инструментом и вырезку непрофилированным инструментом с обеспечением точности изготовления до 9 качества и шероховатостью обработанных поверхностей до $Ra\ 0,63$.

Помимо указанных комплексов технологических процессов были разработаны и внедрены в опытное производство и другие технологические процессы, которые имеют большое значение при изготовлении деталей в опытном производстве. Среди них – контактно-эрозионная правка алмазных шлифовальных кругов на металлической связке, резка капилляров для оптических соединителей, доработка алмазных перфорированных сверл, прорезка пазов в кольцевых сердечниках из ферритов, размерная обработка магнитов из магнито-твердых материалов, приготовление наклеечной смолы, применяемой при механической обработке деталей из твердых хрупких неметаллических мате-



риалов (ТХНМ), приготовление полировочных смол для обработки поверхностей, механическая обработка звукопроводов из ниобата лития, изготовление объемных поглотителей для СВЧ устройств, извлечение сломанных крепежных деталей и инструмента из деталей, электроэрозионное фактурирование и маркирование изделий, круглое наружное шлифование деталей из стекла, бесцентровое шлифование заготовок из керамических радиотехнических материалов, скрайбирование ситалловых подложек и другие.

Изготовление ферритовых элементов Y-формы для переключающих КВЧ устройств миллиметрового диапазона длин радиоволн

Внешний вид ферритового элемента (вкладыша) и переключающего ферритового устройства с элементом представлены на рис. 1 и 2.

Конструкция такого ферритового элемента с обозначением основных размеров, контролируемых при его изготовлении, представлена на рис. 3.

Следует отметить, что ферритовые элементы имеют небольшие размеры, так размеры A , C , H не превышают 2 мм, а размеры отверстий прямоугольного сечения $a \times b$ находятся в диапазоне 0,3...0,8 мм.

На основе проведенных экспериментальных работ по созданию переключающих невзаимных КВЧ устройств сформулированы следующие основные технические требования к точности изготовления ферритовых элементов:

- точность линейных размеров (кроме отверстий) – 9 квалитет;
- точность угловых размеров – $\pm 10'$;
- точность выполнения отверстий – 11 квалитет;
- шероховатость обрабатываемых поверхностей (кроме поверхностей отверстий) – $Ra\ 0,63$;
- шероховатость поверхностей отверстий – $Ra\ 1,25$.

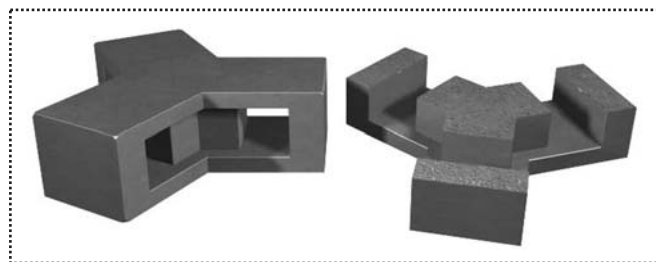


Рис. 1. Ферритовый вкладыш

В результате проведенных экспериментальных работ разработан технологический процесс, который позволяет изготавливать детали в соответствии с вышеперечисленными требованиями.

Маршрут разработанного технологического процесса состоит из следующих основных операций:

1. Круглая наружная шлифовка заготовок по технологическим размерам.
2. Резка заготовок в технологический размер.
3. Плоская шлифовка заготовок по торцам в технологический размер.
4. Профильная шлифовка образующих поверхностей Y-конфигурации с выполнением размеров A и α .

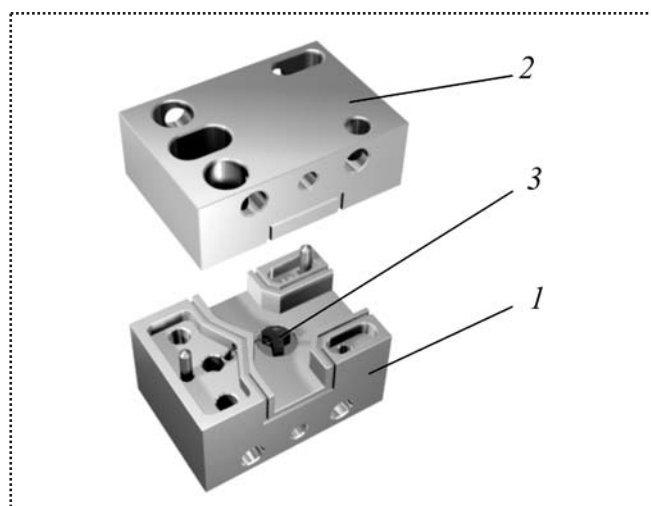


Рис. 2. Ферритовый переключатель:

1 – корпус; 2 – крышка; 3 – ферритовый вкладыш

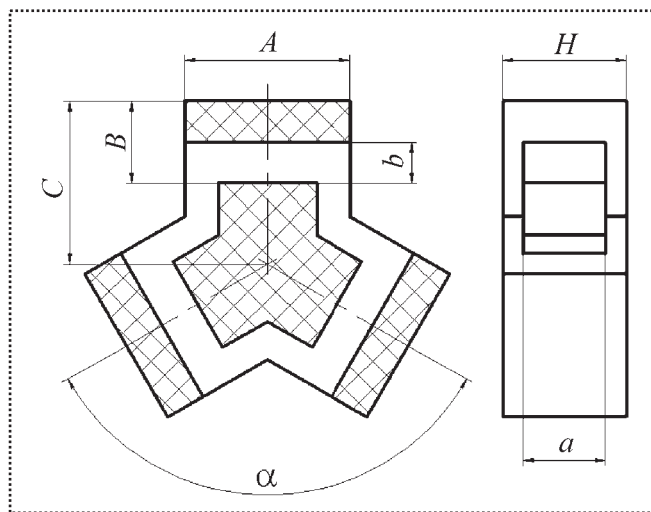


Рис. 3. Конструкция ферритового элемента



5. Плоская шлифовка образующих граней в размер C .

6. Плоская шлифовка деталей по высоте в размер H .

7. Ультразвуковая размерная обработка отверстий и углублений с выполнением размеров B, b, a .

Обработка деталей из ферритов и других твердых хрупких материалов возможна в основном с применением алмазного инструмента и специальных средств технологического оснащения. Общим требованием ко всем операциям шлифовки является высокое качество правки алмазных шлифовальных кругов, так как плохая подготовка шлифовального инструмента является основной причиной сколов на острых кромках деталей. Кроме этого, на всех операциях шлифовки в качестве основного метода крепления заготовок на приспособлениях выбрано приклеивание при помощи наклеечной смолы, что вызвано невозможностью использования зажимных приспособлений в связи с малыми размерами деталей и низкими прочностными характеристиками ферритов.

Первые три операции служат для придания заготовке определенной формы с технологическими размерами, необходимыми для ее базирования в приспособлениях на дальнейших операциях, и являются типовыми.

После проведения многочисленных экспериментов и использования разнообразной оснастки, было признано оптимальным производить профильную шлифовку на заточном станке фирмы "Walter". Обработанные по высоте и диаметру (операции 1–3) ферритовые диски вклеиваются в специальную оправку, которую выставляют и закрепляют в патроне станка. Обработку ведут по управляющей программе.

На технологической операции 4 применяют алмазный шлифовальный круг на металлической связке. Применение шлифовальных кругов на керамической или органической связке не дает удовлетворительных результатов ввиду того, что правка таких кругов — трудоемкий процесс, который не обеспечивает получения достаточно острой рабочей кромки круга, необходимой для получения точного профиля детали. Применение кругов на металлической связке позволило избежать указанных недостатков. Правку этих кругов производят на станке с помощью установки электроэрозионной правки по разработанной технологии.

Операции 5 и 6 плоского шлифования производят на плоскошлифовальном станке с применением оригинальной оснастки.

Отверстия прямоугольной формы и сложнопрофильные углубления в элементе (операция 7) выполняют на ультразвуковом станке. В качестве абразива используют водную суспензию шлифпорошка карбида бора 4 (или алмазного порошка). Выбор абразива производят из условий максимальной производительности и обеспечения требований по точности и шероховатости обрабатываемых поверхностей. Отверстия выполняют прошивкой с двух сторон в целях предотвращения сколов на выходе инструмента из заготовки и калибровки отверстия.

Рассмотренная технология позволяет изготавливать ферритовые элементы, полностью удовлетворяющие техническим требованиям.

Производство пластин малой толщины из иодата лития LiIO_3 для изготовления пьезопреобразователей линий задержки на объемных акустических волнах

Технические требования, предъявляемые к пластинам

Материал	Монокристалл иодата лития
Толщина обработанной пластины, мм	0,008...0,012
Шероховатость обрабатываемых поверхностей Ra , мкм	0,04
Допуски поверхностей на, мм:	
общую ошибку, N	0,5
местную ошибку, ΔN	0,5

Дополнительные требования конструкторской документации (КД), обусловленные технологией сборки пьезопреобразователей:

- пластина на операцию сборки должна поступать наклеенной на технологическую подложку;
- размеры и качество обработки пластины должны обеспечивать получение хотя бы одного пьезоэлемента, показанного на рис. 1.

Известно, что кристалл иодата лития является хрупким, а также гигроскопичным и водорастворимым материалом, что накладывает определенные ограничения на изготовление деталей из него. В связи с особыми свойствами кристалла иодата лития были сформулированы *специальные требования, которые необходимо соблюдать в процессе изготовления пьезоэлементов:*

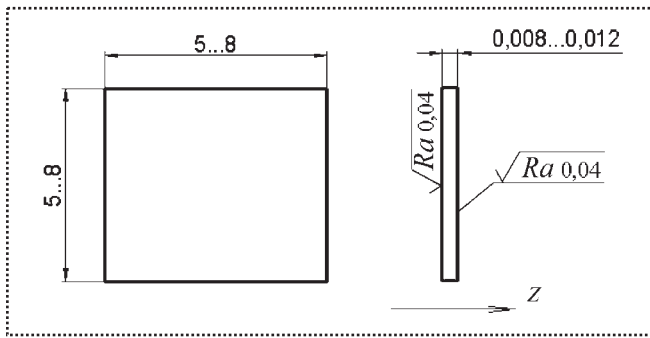


Рис. 4. Пьезоэлемент:
Z – главная оптическая ось

- при обработке кристалл и изделие из него не должны соприкасаться с водой и водосодержащими растворами;

- не допускать хранение кристалла и изделий из него на открытом воздухе: межоперационное хранение кристалла и изделий из него производить в эксикаторах с силикагелем.

В процессе работы в качестве заготовки использовали монокристалл иодата лития с базовым Z-срезом, сориентированным перпендикулярно главной оптической оси кристалла.

Маршрут механической обработки пластин из иодата лития для получения пьезоэлементов включает в себя следующие основные операции:

1. Резку кристалла на пластины.
2. Шлифование (предварительное).
3. Шлифование-полирование первой стороны.
4. Шлифование-полирование второй стороны.

При операции резки кристалл разрезали на пластины по технологическим размерам по толщине примерно 2,0 мм на станке для резки кристаллов ВО-732В с применением полосовых пил с алмазным покрытием.

Кристалл иодата лития наклеивали на плоскопараллельное стекло плоскостью, параллельной главной оптической оси Z монокристалла (рис. 4), после чего склеенный блок устанавливали на станок так, чтобы ось Z кристалла была перпендикулярна режущим кромкам полосовых пил.

Операция предварительной шлифовки предназначена для достижения плоскопараллельности обрабатываемых поверхностей заготовки и создания надежных технологических баз для последующих операций. Обработку заготовки проводили с двух сторон поочередно на шлифовально-полировальном станке ШПН-1 с применением алмазных порошков. В качестве притира использовали латунный шлифо-

вальник. Затем заготовку наклеивали на технологическую подложку пчелиным воском.

На следующей операции проводили окончательную обработку одной поверхности пластины с обеспечением требуемых шероховатости и точности формы. Обработку выполняли на станке ШПН-1 с применением алмазных порошков на стеклянном шлифовальнике и смоляном полировальнике.

На заключительной операции осуществляли окончательную обработку второй стороны до получения необходимых толщины пластины и качества обработанной поверхности.

При окончательном полировании в качестве притира использовали стеклянный шлифовальник, на поверхность которого была натянута тонкая ткань (батист). Выбор батиста в качестве материала полировальника обусловлен тем, что исключается "прилипание" пластины к полировальнику, что имеет место при обработке на смоляном полировальнике. Перед операцией заготовку наклеивали очищенным пчелиным воском на технологическую подложку стороной, обработанной на предыдущей операции, при этом добивались обеспечения толщины слоя пчелиного воска не более 0,002 мм.

В качестве технологической подложки на операциях шлифовки и полировки применяли плоскопараллельное стекло.

В качестве жидкой фазы суспензии алмазных порошков на всех операциях использовали этиленгликоль. *Выбор этиленгликоля, представляющего собой двухатомный спирт, обусловлен следующими факторами:*

- ◆ при обработке кристалл иодата лития не должен соприкасаться с водой и водосодержащими растворами;

- ◆ кристалл нерастворим в спиртах;

- ◆ этиленгликоль обладает оптимальной вязкостью, позволяющей при шлифовке и полировке кристалла создавать несжимаемый слой в зазоре между притираемыми поверхностями, уменьшая глубину врезания зерен в обрабатываемый материал, что важно, так как иодат лития обладает малой твердостью (по Моосу – 4).

Нагрев заготовки и технологической подложки при наклейке до температуры плавления пчелиного воска и охлаждение до комнатной температуры производили в сушильном шкафу в целях равномерного изменения температуры по объему заготовки и технологической подложки. Этим исклю-



чали воздействие на них термических ударов, появление внутренних механических напряжений, приводящих к изменению форм заготовки и технологической подложки (что влияет на точность обработки), а также к разрушению заготовок.

Рассмотренная технология позволяет изготавливать пластины из иодата лития с заданными техническими характеристиками.

Технология механической обработки деталей из оптического стекла для линий задержки на объемных акустических волнах

В состав линий задержки на объемных акустических волнах для СВЧ блоков входят детали из оптического стекла – поглотители и звукопроводы. В качестве материалов для изготовления этих деталей используют кварцевое стекло КВ и стекло оптическое Ф4.

Типичные представители этих деталей даны на рис. 5 (поглотители) и рис. 6 (звукопроводы). Из рисунков видно, что данные детали имеют достаточно сложную конфигурацию, включающую в себя элементы конусных и сферических поверхностей.

Особенностью механической обработки данных деталей является получение поверхностей с высокой точностью размеров, формы и качеством обработки.

Основные технические требования, предъявляемые к деталям:

- шероховатость обрабатываемых поверхностей

Ra:

торцевых	0,04
остальных	0,63

- допуски торцевых поверхностей, мм:
 - на общую ошибку, N 0,5
 - на местную ошибку, ΔN 0,5

В результате проведенных экспериментальных работ были разработаны технологические процессы, которые позволяют изготавливать детали в соответствии с вышеперечисленными требованиями.

Маршрут технологического процесса механической обработки поглотителей состоит из следующих основных операций:

1. Резка заготовки по технологическим размерам.
2. Шлифование боковых поверхностей заготовок с четырех сторон согласно чертежу.
3. Шлифование конической поверхности согласно чертежу.

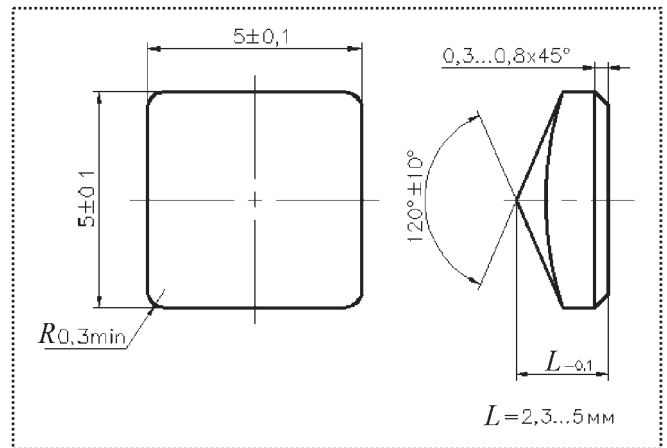


Рис. 5. Поглотитель

4. Предварительное шлифование торцевых поверхностей по технологическим размерам с припуском под плоскую шлифовку и полировку.

5. Плоское шлифование и полировка торцевых поверхностей по размеру L согласно чертежу.

Операцию резки заготовок по габаритам по технологическим размерам с припуском под последующие операции производят на заточном станке модели 3А-64Д алмазным кругом формы АОК.

Шлифование боковых поверхностей заготовок с четырех сторон поочередно по размеру согласно чертежу осуществляют на шлифовально-полировальном станке 3ШП-350М свободным абразивом – суспензиями абразивных микропорошков из белого электрокорунда последовательно. Обработку заготовок производят в блоке, при этом заготовки наклеивают на планшайбу. После шлифования двух противоположных граней заготовок третью грань шлифуют, обрабатывая заготовки по одной штуке, без наклейки на планшайбу, постоянно контролируя перпендикулярность к уже обработанным двум параллельным граням. При шлифовке четвертой грани заготовки вновь обрабатываются блоком.

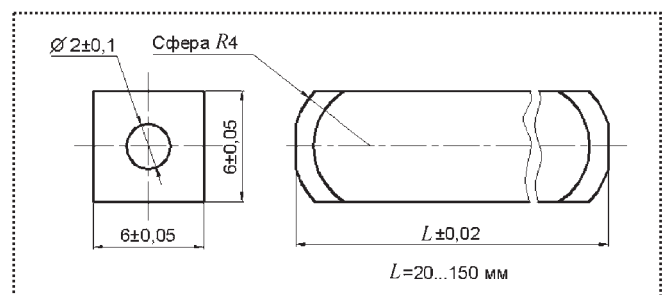


Рис. 6. Звуковод



В качестве притира на всех операциях шлифования используют латунный шлифовальник.

Шлифование конической поверхности поглотителей по размеру согласно чертежу производят на круглошлифовальном станке алмазным кругом на металлической связке. Шлифование конуса выполняют с одновременным поворотом передней и шлифовальной бабок станка. Для крепления заготовок в бабке изделия станка применяют специальное приспособление.

Предварительное шлифование торцевых поверхностей, предназначенное для снятия основной части припуска, необходимого для крепления и базирования заготовок на предыдущей операции, осуществляют на станке 3ШП-350М. На данной и последующих операциях заготовки крепят в специальном приспособлении, которое позволяет обрабатывать группу заготовок с обеспечением точности формы обрабатываемых торцевых поверхностей и их перпендикулярности осей деталей.

Схема крепления (наклейки) заготовок на приспособление приведена на рис. 7.

Шлифование торцевых поверхностей поглотителей по размеру с припуском под полировку производят на шлифовально-полировальном станке модели ШПН-1 суспензиями микропорошков из белого электрокорунда с последовательным уменьшением зернистости. Полируют абразивной суспензией оптипола. В качестве полировальника используют смоляной полировальник. Контроль линейного размера L выполняют с помощью микроскопа УИМ-23, контроль шероховатости торцевых полированных поверхностей – на образцах-свидетелях, обработанных в блоке совместно с поверхностями деталей.

Маршрут технологического процесса механической обработки звукопроводов состоит из следующих основных операций:

1. Резка заготовок по технологическому размеру.
2. Шлифование боковых поверхностей заготовок с четырех сторон по размеру согласно чертежу.
3. Предварительное шлифование торцевых поверхностей с двух сторон поочередно по технологическому размеру с припуском под плоскую шлифовку и полировку.
4. Плоское шлифование и полировка торцевых поверхностей с двух сторон поочередно по размеру L согласно чертежу.
5. Шлифование сферических поверхностей по размеру согласно чертежу.

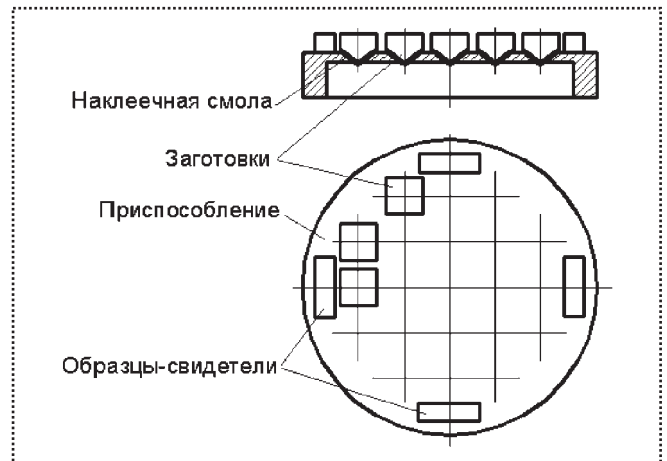


Рис. 7. Схема наклейки заготовок поглотителей

Операции резки, шлифовки и полировки боковых и торцевых поверхностей в данном технологическом процессе аналогичны операциям рассмотренного выше технологического процесса обработки поглотителей. Исключение составляет применяемая специальная оснастка для крепления в блок звукопроводов при шлифовке и полировке торцев. Эта оснастка позволяет обрабатывать группу звукопроводов и обеспечивает точность формы обрабатываемых торцевых поверхностей и их перпендикулярность боковым поверхностям.

Шлифование сферической поверхности звукопроводов производят на шлифовально-полировальном станке ШПН-1 с применением абразивных микропорошков из белого электрокорунда. Обработку ведут по одной заготовке с помощью притиров, наклеиваемых на планшайбу станка. Притиры имеют форму чашек с различными радиусами рабочей поверхности. Обрабатывают последовательно, начиная с притира с наибольшим радиусом и микропорошка с наибольшей зернистостью. Для защиты полированной поверхности звукопроводов от повреждений перед обработкой на нее наносят специально разработанную защитную композицию на основе битумного лака, обладающего хорошими адгезионными свойствами, выдерживающую полный цикл обработки на данной операции и легко удаляющуюся с поверхности ацетоном.

Рассмотренные технологии позволяют изготавливать поглотители и звукопроводы из кварцевого и оптического стекла для линий задержки с заданными техническими характеристиками.



Указатель статей, опубликованных в 2007 году

Поздравления

Абрамову Ивану Васильевичу 65 лет	№ 5
Безъязычному Вячеславу Феокистовичу 70 лет	№ 8
Горленко Олегу Александровичу 65 лет	№ 1
Гусеву Алексею Алексеевичу 70 лет	№ 2
Дальскому Антону Михайловичу 85 лет	№ 6
Ивашко Виктора Сергеевича поздравляем	№ 5
Кристалю Марку Григорьевичу 60 лет	№ 12
Осетрову Владимиру Григорьевичу 70 лет	№ 6
Шандрову Борису Васильевичу 70 лет	№ 3
Якимовичу Борису Анатольевичу 55 лет	№ 4

Экономика и организация сборочного производства

Коршунов А.И., Пасынков С.М. Создание автоматизированной системы оценки конструктивно-технологической сложности и трудоемкости технологического передела "Слесарно-сборочные работы"	№ 7
Кузнецов А.П., Завертеева О.В. Методика определения неэффективных рабочих мест в структуре механосборочных производств	№ 7

Технологичность конструкции

Безъязычный В.Ф., Надеждин И.В. Сравнительная оценка кинематических характеристик механизмов вспомогательного оборудования автоматизированного сборочного производства	№ 5
Коршунов А.И. Конструктивно-технологическая сложность технологического передела "слесарно-сборочные работы"	№ 5
Кузнецов А.П. Теоретические основы синтеза и анализа структур-стратегий производственных систем машиностроения при выборе многомен-клатурного оборудования	№ 5
Рябов Г.К., Гаврилов С.С., Дворецкий А.М., Потапов Д.Н. Обеспечение собираемости цепных волновых передач внешнего зацепления	№ 10
Шишкарев М.П. Выбор типа предохранительного устройства привода машины	№ 12

Технология производства авиационных двигателей

Аверьянов И.Н. Применение инструментов качества при проектировании приспособлений для производства авиационных двигателей и наземных газотурбинных установок	№ 11
Белов Д.В. Объемная фрезерная обработка на МОЦ деталей ГТД с пространственно-сложными поверхностями	№ 11
Дмитриева М.Н. Технологическое обеспечение контактной жесткости поверхностей деталей авиационных двигателей	№ 11
Ильин И.В., Матвеев А.С. Новые методы изготовления широкохордных лопаток ГТД	№ 11

Шеховцева Е.В., Шеховцева Т.В. Использование электроэрозионной обработки для обеспечения эксплуатационных свойств цилиндрических зубчатых колес ГТД	№ 11
Яманин А.И. Поршневые двигатели с кулачковыми преобразующими механизмами	№ 11

Современные технологии сборки

Абрамов К.Н. Вопросы обеспечения точности изделий вспомогательного производства на основе анализа сборочных размерных цепей	№ 6
Антонюк В.С., Выслоух С.П., Филиппова М.В. Автоматизированное проектирование технологических процессов сборки изделий приборостроения	№ 6
Барков И.А., Осетров В.Г. Семантический анализ и синтез размерных цепей	№ 8
Божкова Л.В., Варганов М.В., Монахова Ю.Б. Совершенствование технологии вибрационной сборки плоских деталей	№ 10
Воячек И.И., Евстигнеев Е.А. Рациональное обеспечение качества соединений с натягом при сборке с анаэробными материалами	№ 12
Гвоздев В.Д. Размерные цепи: расчет размеров компенсаторов	№ 8
Даньков А.М., Родионова С.И., Красовский В.А., Турандин М.М. Некоторые доводы в пользу сборной конструкции крупногабаритных зубчатых колес приводов технологического оборудования	№ 9
Ерохин В.В. Погрешность базирования деталей в установочно-зажимных самоцентрирующих механизмах	№ 3
Кристал М.Г., Широкий А.В., Чувиллин И.А. Новый подход в определении объема накопителя деталей	№ 12
Коваленко В.В. Разборка и сборка роторов питательных насосов с использованием индукционного нагрева	№ 4
Машков Ю.К., Овчар З.Н., Мамаев О.А., Зябликов В.С. Исследование технологии сборки и надежности неразъемных металлополимерных соединений узлов транспортных машин	№ 3
Микитянский В.В., Сахно К.Н. Проектирование и монтаж трасс сложных судовых трубопроводных систем	№ 9
Непомилуев В.В. Исследование возможностей повышения качества изделий при сборке	№ 10
Свицкий Д.Н. Компактное оборудование для быстрого прототипирования изделий сложной формы каркасными сборными конструкциями	№ 12
Симаков А.Л., Житников Б.Ю., Захарова Е.В. Метод стабилизации траектории движения деталей при автоматизированной установке уплотнений	№ 6
Тодошенко А.И., Поздеев С.Г., Бурдин С.А. Высоконагруженное фланцевое соединение	№ 7
Тютников Г.Ф., Мартынов Р.Е. Полная взаимозаменяемость втулок при установке с натягом	№ 8



- Хейфец М.Л., Кухта С.В., Голубев О.П., Мрочек Ж.А.** Моделирование процессов послойного формирования поверхностей с сопутствующей сборкой сложно-профильных изделий № 7
- Шуваев В.Г.** Диагностика прессовых соединений при ультразвуковой сборке № 1

Современные проблемы сборки

- Курнасов Е.В., Селиванов С.А.** Метод расчета гидродинамических подшипников № 2
- Шрубченко И.В.** Определение характеристик пятна контакта поверхностей качения опор технологических барабанов № 2

Сборочное оборудование и его элементы

- Антонец И.В.** Магнитометрический датчик на основе феррозондов с односторонней импульсной схемой возбуждения для считывания информации с магнитного устройства адресования № 5
- Бедрин В.М., Бедрина А.В.** Однопозиционные пневмомеханические сборочные автоматы. *Продолжение* . . . № 1
- Безязычный В.Ф., Надеждин И.В.** Повышение производительности автоматизированной сборки за счет увеличения быстродействия транспортно-загрузочного оборудования № 4
- Божкова Л.В., Варганов М.В., Монахова Ю.Б.** Ориентации плоских цилиндрических деталей . . . № 12
- Житников Ю.З., Житников Б.Ю.** Методология разработки высокоточных многошпиндельных заворачивающих устройств № 3
- Житников Ю.З., Золотарева О.В.** Теоретическое обоснование предельных режимов работы ориентирующих устройств № 12
- Житников Ю.З., Симаков А.Л., Житников Б.Ю.** Разработка и обоснование метода пассивной адаптации деталей, сопрягаемых по резьбовым поверхностям № 2
- Журавлев А.Н., Борисов М.А.** Структурно упорядоченная сборка под сварку резьбовых соединений алмазных буровых долот № 7
- Кобзев А.А.** Коррекция программного движения в сборочных системах № 7
- Кулинский А.Д.** Роторная сборка резьбовых соединений № 3
- Мазенин П.Г., Свиридов С.Н.** Моделирование сборочных комплексов с компьютерным управлением . . . № 7
- Марихов И.Н.** Оптимальное управление движением подающих устройств № 9
- Надеждин И.В.** Загрузочные устройства с вертикальной подачей плоских деталей для автоматизированной сборки № 12
- Рябов Г.К., Ганькова Т.А., Заплаткин А.А.** Проектирование автоматического клинременного вариатора с учетом сборки и регулировки № 6
- Тимофеев А.В.** Программное управление сборочными роботами № 3, 4
- Штриков Б.Л., Шуваев В.Г., Папшев В.А.** Автоматизированная система научных исследований процессов ультразвуковой сборки № 12

Технологическая оснастка для сборки

- Вашуков Ю.А., Ломоносовский О.В., Никоноров Н.Н.** Реализация технологического процесса образования высоконагруженных соединений № 1
- Воркуев Д.С.** Многошпиндельный гайковерт нового класса для заворачивания и затяжки кратного числа резьбовых соединений № 12
- Житников Б.Ю., Тюрина И.В.** Влияние осевых сил затяжки на точность групповых резьбовых соединений многошпиндельными заворачивающими устройствами нового класса № 6
- Кабаева О.Н., Симаков А.Л.** Выбор кинематической схемы устройства пассивной адаптации и ее конструктивная реализация № 2
- Мальшев Е.Н., Тин Сан.** Проектирование направляющих элементов сборочного процесса № 12
- Савельева Л.В.** Закрепление тонкостенных деталей в термоприспособлении для сборки № 2

Сборочно-сварочные работы. Пайка

- Бондарь А.В.** Повышение качества сварных соединений в процессе сборки № 6
- Емельянов А.А.** Оптимальные режимы импульсного кондиционирования электродов в вакууме № 12
- Рыжков А.И., Хазов Б.Ф.** Отказы и предельное состояние технологического оборудования сварки кузовов в массовом производстве автомобилей № 10
- Сидоров В.П., Ковтунов А.И., Бородин М.Н., Чермашенцева Т.В.** Исследование процессов рафинирования при сварке сталей с алюминиевым покрытием № 3

Сборка с использованием клея

- Варганов М.В., Зинина И.Н., Щербаков В.И.** Аналитические модели для расчета типовых схем клеевых соединений в конструкциях кузовов автомобилей . . . № 7

Транспортирование объектов сборки

- Мурзинов В.Л.** Управление скоростью движения изделий на пневмоконвейере № 10
- Харькин О.С., Дроботов А.В., Стегачев Е.В., Кристаль М.Г.** Динамика перемещения деталей в струйных сортировочных устройствах № 1

Соединения деталей и машин

- Крайнев А.** Подвижные соединения и уплотнения (функциональная целесообразность и технологичность) № 2, 5, 8, 10, 12

Питание сборочных линий

- Харькин О.С., Дроботов А.В., Кристаль М.Г., Безрукова Т.В.** Модель струйного сортировочного устройства № 6

Триботехнологии

- Меделяев И.В.** Трение как составная часть механизма изнашивания № 7



Обеспечение качества. Испытания. Контроль

- Аистов И.П.** Влияние качества сборки на типовые дефекты шестеренных насосов авиационного назначения № 12
- Аксенов С.И.** Технологии XXI века. "ProldentTM – электронно-цифровая подпись" № 5
- Барабанов В.Г.** Стенд для контроля герметичности запорной и переключающей арматуры № 8
- Березин С.Я., Леонов В.Н.** Упругие модели в решении задачи Н.Е. Жуковского № 4
- Бондарь А.В., Щипанов М.В., Смоленцев Е.В., Шелякин А.И.** Селективный отбор труб для сборки бурильных комплектов № 9
- Гайдар С.М.** Обеспечение качества и надежности автомобильной техники при длительном хранении с помощью ингибированных составов № 4
- Глухова Л.В.** Управление качеством функционирования информационных систем сборочных производств № 6
- Давыдова Е.В., Преис В.В.** Бункерное загрузочное устройство для деталей с неявно выраженной асимметрией торцов № 9
- Заверняев Б.Г., Курис Э.В., Щеглов М.В.** Диагностика точности ступенчато-регулируемого привода № 6
- Заплаткин А.А., Михеев С.С., Рябов Г.К., Ганькова Т.А.** Послесборочные испытания и отладка клиноременного вариатора № 8
- Камакин В.А.** Оценка эффективности средств системной автоматизации информационной поддержки процессов управления качеством продукции авиадвигателестроительного предприятия № 9
- Копылов И.В., Федоров А.А.** Определение статического момента рабочих лопаток вентилятора в трех направлениях как способ снижения вибрации двигателя на рабочих режимах № 8
- Короткин В.И.** Упрощенный расчет цилиндрических зубчатых передач Новикова № 4,5
- Кузнецов С.П., Долгих Ю.Т.** Система сбора и обработки информации при испытаниях газотурбинных двигателей № 11
- Кулебякин А.А., Тяпкин Ю.А., Янчевский Ю.В.** Способ контроля несоосности соединяемых при сборке тел цилиндрической формы № 12
- Меделяев И.А.** Инженерные критерии оценки износостойкости материалов пар трения машин и механизмов № 4
- Михайлов А.Л., Посадова О.Л.** Методика вибродиагностики автоколебаний рабочего колеса вентилятора ТРДД в режиме реального времени № 11
- Михайлов А.Л., Скирта С.М., Пахоменков А.В., Чигрин В.С.** Исследование влияния толщины и свойств нанопокртытия пластины на ее частотные характеристики № 11
- Первухина Е.Л., Голикова В.В.** Анализ нестационарных случайных процессов в задачах автоматизации производственных испытаний машиностроительных изделий № 8

- Сарычев С.В., Шепель В.Т.** Применение теории риска к задаче управления летной годностью авиационных ГТД № 11
- Ситников В.Ф.** Метод повышения надежной эксплуатации дизельных силовых установок № 6
- Тимофеев М.Ю.** Обоснование принципиальной схемы установки для дегазации масел гидравлических приводов № 2
- Тимофеев М.Ю.** Прогнозирование возникновения кавитации в проточных элементах гидравлических приводов № 5
- Углов А.Л., Хлыбов А.А.** Особенности конструкции ультразвукового датчика для контроля неоднородного распределения напряжений в плоских элементах конструкций № 10
- Чигрин В.С., Веретенников А.П., Беляков С.А.** Об одном источнике возникновения высокочастотных вибраций в подшипниках качения газотурбинных двигателей № 11
- Штриков Б.Л., Батищева О.М., Узенгер А.А.** Мониторинг и прогноз развития дефектов поверхностей контакта деталей подшипника № 10
- Штриков Б.Л., Шуваев И.В.** Повышение качества резьбовых соединений путем применения ультразвука № 6

Газодинамика и теплообмен в технических системах

- Аверьянов Г.С., Зелов Д.Ф., Хамитов В.Н.** Пневмодвигатель и газодинамические процессы в рабочих полостях его цилиндра № 11
- Белова С.Е., Орешкина М.Н., Поткин А.Н.** Применение методики оптимизации эффективности охлаждения при 3D-моделировании теплового состояния перфорированной дефлекторной лопатки соплового аппарата турбины № 11
- Гладков Ю.И., Ремизов А.Е.** Анализ численного исследования по определению потерь в кольцевом диффузорном канале при наличии входной закрутки № 11
- Данилюк М.А., Богомолов Е.Н.** Исследование возможности управления отрывом потока в диффузорном канале с помощью генераторов продольных вихрей № 11
- Карелин О.О., Ремизов А.Е.** Исследование диффузорных течений на кафедре "Авиационные двигатели" № 11
- Кузнецов В.И., Щука И.О.** Выхлопное устройство для ТВД с закруткой периферийного потока № 11

Разборка. Ремонт

- Бондарь А.В., Смоленцев Е.В., Тишин В.В.** Восстановление зазоров при сборке деталей путем нанесения покрытий № 4
- Гайдар С.М.** Особенности эксплуатации и ремонта автомобильной техники, обусловленные коррозионными процессами в резьбовых соединениях № 3



Кожушко Г.Г., Савинова Н.В., Ямпольский Д.А., Рыбак Г.Ю. Влияние конструктивных элементов на напряженно-деформированное состояние мостового крана № 6

Монтаж и ремонт тепловых сетей, теплопотребляющего оборудования и санитарно-технических систем № 1–5

Экология и безопасность сборочных работ

Степанов Ю.С., Шакулин О.П. Методика расчета линейной виброзащитной системы с подвеской маятникового типа № 7

В помощь конструктору, технологу

Горленко О.А., Тихомиров В.П., Проскурин А.С. Зубчатая передача как функциональный модуль объекта проектирования № 8

Максимова М.И. Способ деформации колец при установке их во внутренние канавки цилиндрических поверхностей № 12

Поляков А.И. Балансировка сборных комбинированных шлифовальных кругов с аксиально-смещенным режущим слоем № 9

Пындак В.И., Попов А.В. Компоновка передач и трансмиссий со сферическим преобразующим механизмом № 10

Ракошиц Г.С. Уменьшение числа сборочных операций № 1

Труханов В.М., Трофимов В.Е. Обеспечение надежности зубчатых передач № 10

Подготовка специалистов

Глухова Л.В. Подготовка инженеров-менеджеров по управлению качеством информационных систем сборочных производств № 1

Стржемечный М.М. Опыт МГТУ "МАМИ" в подготовке специалистов по автоматизированной сборке в машиностроении № 4

Чистоклетов Н.Ю. Менеджмент качества научной деятельности вуза № 6

В порядке обсуждения

Григорьев В.С. Систематизация новых понятий в области производства технических систем № 7

Страницы истории

Белова С.Е. Страницы истории кафедры "Авиационные двигатели" № 11

Белова С.Е. Евгений Николаевич Богомолов № 11

По страницам иностранных журналов

Андреев А.Г. Новости сборочного производства № 8

Нормативная документация

Общемашиностроительные нормативы времени на слесарные работы по ремонту оборудования № 1, 3–5, 7–10

Система технического обслуживания и ремонта автомобильной техники. Требования к эксплуатационной технологичности и ремонтно-пригодности изделий (по материалам ГОСТ 21624–81) № 5

Система технического обслуживания и ремонта техники. Основные положения (по материалам ГОСТ 28.001–83) № 5

Система технологической подготовки производства (редакция 2000 г.)

Технологическая подготовка производства. Термины и определения основных понятий (по материалам ГОСТ 14.004–83) № 2

Обеспечение технологичности конструкций изделий. Общие требования (по материалам ГОСТ 14.201–83) № 2

Технологичность конструкции изделий. Термины и определения (по материалам ГОСТ 14.205–83) .. № 2

Технологический контроль конструкторской документации (по материалам ГОСТ 14.206–73) ... № 2

Нормирование расхода материалов. Основные положения (по материалам ГОСТ 14.322–83) № 2

Подъемники с рабочими платформами. Термины и определения (по материалам ГОСТ Р 52064–2003). *Продолжение* № 1

Тара потребительская полимерная. Общие технические условия (по материалам ГОСТ Р 51760–2001). *Продолжение* № 1

Указатель статей, опубликованных в 2006 году № 1

Влияние наладки станка на образование дефектов (таблица) № 7

Гарантированный боковой зазор $j_{n \min}$ для зубчатых колес при $m < 1$ мм (таблица) № 8

Заклепка с сердечником из алюминиевых сплавов ... № 2

Затраты времени на переналадку сборочных роботов и роботизированных сборочных систем (таблица) ... № 1

Инструмент ручной для винтов (таблица) № 4

Коэффициенты полезного действия зубчатых передач (таблица) № 7

Коэффициенты трения f в зубчатых передачах (таблица) № 7

Коэффициент трения полиамида ПА-6 (таблица) № 9

Основные методы виброзащиты № 7

Основные размеры зубьев в модульной системе (таблица) № 9

Сборка склеиванием № 7

Соединительные детали (таблица) № 4

Соответствие видов сопряжений видов допусков на боковой зазор, классов отклонений межосевого расстояния и степеней точности по нормам плавности (таблица) № 8

Справочный материал

Старжинский В.Е., Антонок В.Е., Кане М.М., Шалобаев Е.В., Шилько С.В. Словарь-справочник по зубчатым передачам русско-английско-немецко-французский № 3, 4, 7–9



- Потери** времени τ из-за отказов отдельных видов устройств сборочных машин (таблица) № 1
- Приводные** детали и приспособления (таблица) № 6
- Рекомендуемые** допуски и посадки для приборных подшипников скольжения $d = 1...5$ мм (таблица) № 10
- Рекомендуемый** минимальный боковой зазор для прямозубых конических колес (таблица) № 8
- Рекомендуемые** посадки и поле допусков сопряжения вал – втулка для приборных подшипников скольжения (таблицы) № 10
- Число** измерений в зависимости от вероятности безотказной работы P № 1

Информация

- Андреев А.Г.** Новости техники и технологии № 9
- Зайцев А.И.** Определение эффективной частоты импульсного тока, подводимого в зону резания, при токарной обработке с электроконтактным подогревом зоны резания № 9
- Плотников А.Л., Крылов Е.Г.** Способ повышения эффективности работы многолезвийного твердосплавного инструмента на автоматизированном станочном оборудовании № 9
- Центр "Нанотехнологии и наноматериала"** при Тамбовском государственном университете им. Г.Р. Державина № 6

Конференции

- Международная** школа-конференция молодых ученых, аспирантов и студентов им. П.А. Соловьева и В.Н. Кондратьева № 1
- 7-я Международная** научно-техническая конференция "Инженерия поверхности и реновация изделий" № 1, 2
- Международная** научно-практическая конференция "Студент–специалист–профессионал" № 1
- VI Международная** научно-техническая конференция "Материалы, технологии и оборудование в производстве, эксплуатации, ремонте и модернизации машин" № 1, 7
- 9-я Международная** практическая конференция – выставка "Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки" № 3
- Международная** научно-практическая конференция "Технологическое обеспечение и автоматизированное управление параметрами качества поверхностного слоя, точности обработки деталей и сборки газотурбинных двигателей" № 6

- XIV Международная** научно-практическая конференция "Машиностроение и техносфера XXI века" № 7

Выставки

- 2-я Международная** специализированная выставка вакуумной техники, материалов и технологий "Вакуумтехэкспо" № 1
- Международная** выставка "Машиностроение" № 1, 4
- Международная** выставка машин оборудования, технологий и продукции металлургической промышленности и литейного производства "Металлэкспо" № 3
- Международная** специализированная выставка приборов и оборудования для научных исследований "SIMEXPO – научное приборостроение" – 2008 № 8, 9, 10
- Международная** выставка "Формы. Пресс-формы. Штампы" № 4

Издательство "Машиностроение" представляет книги

- Авиадвигателестроение.** Качество, сертификация и лицензирование: учебное пособие / В.Ф. Безъязычный, А.Ю. Замятин, В.Ю. Замятин и др. № 11
- Технология** лазерной обработки конструкционных и инструментальных материалов в авиадвигателестроении: учеб. пособие / Р.Р. Латыпов, Н.Г. Терегулов, А.М. Смыслов, А.В. Лоботов № 11
- Технологические** процессы механической и физико-химической обработки в авиадвигателестроении: учеб. пособие / В.Ф. Безъязычный, М.Л. Кузьменко, В.И. Крылов и др. № 11
- Полетаев В.А.** Технология автоматизированного производства лопаток газотурбинных двигателей № 11

Новые книги, вышедшие в издательстве "Машиностроение"

- Распопов В.Я.** Микромеханические приборы: учеб. пособие № 5
- Кожевников Д.В., Кирсанов С.В.** Резание материалов: учеб. для студентов высших учебных заведений № 5

В издательстве "Машиностроение" готовятся к изданию книги

- Работа** на фрезерных станках: Справочник для рабочего / Л.Г. Бердников, В.Ф. Безъязычный, В.И. Крылов, Е.М. Большаков
- Справочник** токаря-универсала / под. ред. М.Г. Шеметова и В.Ф. Безъязычного

Ордена Трудового Красного Знамени ОАО "Издательство "Машиностроение", 107076, Москва, Стромьинский пер., 4
Учредитель ООО "Издательство Машиностроение – 1".

Адрес электронной почты издательства: **E-mail: mashpubl@mashin.ru**; редакции журнала: **sborka@mashin.ru; www.mashin.ru**

Телефон редакции журнала: (495) 268-38-42; тел./факс (495) 268-85-26; факс 269-48-97.

Дизайнер *Погорелова Т.Н.* Технический редактор *Тупталов С.Ю.* Корректоры *Сажина Л.И., Солюшкина Л.Е.*

Сдано в набор 12.11.07 г. Подписано в печать 25.12.07 г. Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 6,86. Уч.-изд. л. 7,28. Заказ 11. Свободная цена.

Оригинал-макет и электронная версия подготовлены в ОАО "Издательство "Машиностроение".

Отпечатано в ООО "Подольская Периодика", 142110, Московская обл., г. Подольск, ул. Кирова, д. 15.