

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

# 3

# 2013

# (152)

## СОДЕРЖАНИЕ

### *Сборочное оборудование и его элементы*

Кристалль М.Г., Гольцов А.С., Плешаков А.А., Полякова М.В. Устройство для контроля размеров сопрягаемых поверхностей при сборке коронок для перфораторного бурения . . . . . 3

### *Сборочно-сварочные работы. Пайка*

Карабанов В.В., Бохоров И.О. Пайка меди и ее сплавов . . . . . 6

### *Обеспечение качества. Испытания. Контроль*

Доронина Ю.В., Копп В.Я. Построение и развитие системы контроля качества изделий сборочного производства . . . . . 21

Бойкачев В.Н., Хоменко В.В. Разработка основных принципов интегрированного управления качеством конструкторско-технологических решений на всех стадиях жизненного цикла радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов . . . . . 25

### *В помощь конструктору, технологу*

Сорокин М.Н., Ануров Ю.Н. Выбор полей допусков сопрягаемых параметров при селективной сборке изделий типа «вал-втулка» . . . . . 28

Чижиков В.И. Проектирование упругого кинематического соединения манипулятора с нелинейной характеристикой восстанавливающей силы при неопределённой закономерности внешнего воздействия . . . . . 35

### *Информация*

Иванов А.Н. МИТЕХ-2012 . . . . . 41

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

#### **Редакционный совет**

<b>МОСКВА</b>	А.И. КУМЕНКО
А.С. ВАСИЛЬЕВ	А.В. МЕДАРЬ
(главный редактор)	Е.А. МИКРИН
А.А. ГУСЕВ	В.В. ПОРОШИН
М.В. ВАРТАНОВ	Б.В. ШАНДРОВ
А.М. ДАЛЬСКИЙ	А.А. ШАТИЛОВ
И.Н. ЗИНИНА	А.Г. ХОЛОДКОВА
Ю.Л. ИВАНОВ	Г.А. ЯРКОВ
Ю.Г. КОЗЫРЕВ	

#### **Региональные редсоветы**

<b>БЕЛГОРОД</b>	<b>ОРЕНБУРГ</b>
Н.А. ПЕЛИПЕНКО	А.Н. ПОЛЯКОВ
<b>БРЯНСК</b>	А.И. СЕРДЮК
О.А. ГОРЛЕНКО	А.П. ФОТ
<b>ВЛАДИВОСТОК</b>	<b>РЫБИНСК</b>
Ю.Н. КУЛЬЧИН	В.Ф. БЕЗЪЯЗЫЧНЫЙ
А.А. СУПОНЯ	В.В. НЕПОМИЛУЕВ
В.М. КОРНИЕНКО	А.Н. СЕМЕНОВ

<b>ВОЛГОГРАД</b>	<b>САМАРА</b>
В.Г. КАРАБАНЬ	М.А. ЕВДОКИМОВ
М.Г. КРИСТАЛЬ	Ю.А. ВАШУКОВ
В.И. ЛЫСАК	Г.А. КУЛАКОВ
В.М. ТРУХАНОВ	В.А. НИКОЛАЕВ
<b>ИЖЕВСК</b>	<b>САНКТ-ПЕТЕРБУРГ</b>
И.В. АБРАМОВ	В.Ф. КУЗЬМИН
Б.А. ЯКИМОВИЧ	Е.В. ШАЛОБАЕВ
В.Г. ОСЕТРОВ	<b>ТОЛЬЯТТИ</b>

<b>КАЗАНЬ</b>	<b>ТУЛА</b>
Р.И. АДГАМОВ	В.В. ПРЕЙС
<b>КОВРОВ</b>	<b>ХАБАРОВСК</b>
Ю.З. ЖИТНИКОВ	В.А. ЛАШКО

<b>КОЛОМНА</b>	<b>Украина</b>
Ю.Д. АМИРОВ	<b>КИЕВ</b>
<b>КОМСОМОЛЬСКИЙ-НА-АМУРЕ</b>	А.С. ЗЕНКИН
Б.Н. МАРЬИН	В.А. МАТВИЕНКО
В.И. ШПОРТ	<b>ДОНЕЦК</b>
А.М. ШПИЛЕВ	А.Н. МИХАЙЛОВ
<b>НАБЕРЕЖНЫЕ ЧЕЛНЫ</b>	<b>СЕВАСТОПОЛЬ</b>
С.В. ДМИТРИЕВ	Е.Л. ПЕРВУХИНА
Р.М. ХИСАМУТДИНОВ	

<b>НИЖНИЙ НОВГОРОД</b>	<b>Беларусь</b>
С.В. ГОЛУБЕВ	<b>МИНСК</b>
<b>ОМСК</b>	В.Л. БАСИНЮК
В.Н. КОСТЮКОВ	М.Л. ХЕЙФЕЦ
<b>ОРЕЛ</b>	<b>ГОМЕЛЬ</b>
Ю.С. СТЕПАНОВ	В.Е. СТАРЖИНСКИЙ
Г.А. ХАРЛАМОВ	<b>ИЗРАИЛЬ</b>
	В.М. БЕДРИН
	<b>ПОЛЬША</b>
	П. ЛЕБКОВСКИ
	Е. ЛУНАРСКИ

#### **Ответственные за подготовку и выпуск номера:**

Ю.А. ЧИЧОВ, И.М. ГЛИКМАН

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.: (499) 268-38-42; тел./факс: 268-85-26. Факс: (499) 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

3 2013  
(152)

### CONTENTS

#### *Production tools and machinery for assembly*

**Kristal M.G., Goltsov A.S., Pleshakov A.A., Polyakova M.V.** The device for control of the sizes of interfaced surfaces at assembly of crowns for perforating drilling . . . . 3

#### *Assembly welding works. Soldering*

**Karabanov V.V., Bohorov I.O.** Soldering of copper and its alloys . . . . . 6

#### *Quality assurance. Testing. Monitoring*

**Doronina J.V., Kopp V.Ya.** Construction and perfection of system checking quality of adjustment production wares . . . . . 21

**Boykachev V.N., Khomenko V.V.** Development of guidelines for integrated quality management of design-engineering solutions at all stages of spacecraft electronic equipment life cycle . . . . . 25

#### *Industrial and design engineer's aid*

**Sorokin M.N., Anurov Yu.N.** Choice of fields of admissions of interfaced parameters at selective assemblage of products of type "shaft-plug" . . . . . 28

**Chijikov V.I.** Design of elastic kinematic connection of the manipulator with the nonlinear characteristic of restoring force at uncertain regularity of external influence . . . . . 35

#### *Information*

**Ivanov A.N.** MITEX-2012 . . . . . 41

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.: (499) 268-38-42; ph./fax: 268-85-26. Fax: (499) 269-48-97.  
<http://www.mashin.ru> E-mail: [sborka@mashin.ru](mailto: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**

A.S. VASIL'EV  
(Chief editor)  
M.V. VARTANOV  
A.M. DALSKY  
A.A. GUSEV  
I.N. ZININA  
Yu.L. IVANOV  
Yu.G. KOZYREV

A.I. KUMENKO  
A.V. MEDAR'  
E.A. MIKRIN  
V.V. POROSHIN  
B.V. SHANDROV  
A.A. SHATILOV  
A.G. KHOLODKOVA  
G.A. YARKOV

##### **Regional editors**

##### **BELGOROD**

N.A. PELIPENKO

##### **BRIANSK**

O.A. GORLENKO

##### **VLADIVOSTOK**

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

##### **VOLGOGRAD**

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

##### **IZNEVSK**

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

##### **KAZAN**

R.I. ADGAMOV

##### **KOVROV**

Yu.Z. ZHITNIKOV

##### **KOLOMNA**

Yu.D. AMIROV

##### **KOMSOMOLSK-ON-AMUR**

B.N. MARJIN  
V.I. SCHPORT  
A.M. SHPILEV

##### **NABEREZHNYE CHELNY**

S.V. DMITRIEV  
R.M. KHISAMUTDINOV

##### **NIZHNY NOVGOROD**

S.V. GOLUBEV

##### **OMSK**

V.N. KOSTIUKOV

##### **OREL**

Yu.S. STEPANOV  
G.A. KHARLAMOV

##### **ORENBURG**

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

##### **RYBINSK**

V.F. BEZIAZYSHNY  
V.V. NEPOMILUEV  
A.N. SEMENOV

##### **SAMARA**

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

##### **ST.-PETERSBURG**

V.F. KUZMIN  
E.V. SHALOBABEV

##### **TULA**

V.V. PREYS

##### **TOLIATI**

A.I. RYZHKOV

##### **KNABAROVSK**

V.A. LASHKO

##### **Ukraine**

##### **KIEV**

A.S. ZENKIN  
V.A. MATVIENKO

##### **DONETSK**

A.N. MIKHAILOV

##### **SEVASTOPOL**

E.L. PERVUKHINA

##### **Belarus**

##### **MINSK**

V.L. BASINJUK  
M.L. KHEIFETZ

##### **GOMEL**

V.E. STARZHINSKI

##### **ISRAEL**

V.M. BEDRIN

##### **POLAND**

P.LEBKOVSKI  
E. LUNARSKI

#### **Executive editors of current issue:**

Yu.A. CHICHOV, I.M. GLIKMAN

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

УДК 681.5.08

М.Г. Кристаль, А.С. Гольцов, д-ра техн. наук, А.А. Плешаков,  
М.В. Полякова, инженеры (Волгоградский государственный технический университет)  
E-mail: crysmar@mail.ru

## Устройство для контроля размеров сопрягаемых поверхностей при сборке коронок для перфораторного бурения

*Разработано устройство для контроля размеров сопрягаемых поверхностей при сборке коронок для перфораторного бурения, в основе которого лежит временное преобразование давления, устанавливающегося в измерительной камере первичного преобразователя. Временное преобразование выполняется с помощью порогового элемента, корпус которого разделен тремя мембранами на управляющую и вспомогательную камеры, разница давлений в которых регистрируется с помощью дифференциально установленных датчиков Холла, реагирующих на магнитное поле, создаваемое намагниченным сердечником, соединяющим мембраны порогового элемента.*

*Authors have developed a measuring device for mating parts in perforating crowns' assembly, which is based on temporal conversion of air pressure in controlling chamber. Temporal conversion is held by the threshold element, whose enclosure is divided into controlling and aiding chambers by three membranes. Pressure difference in the chambers is being evaluated by differentially installed Hall generators reacting on magnetic field created by magnetized core, which connects the membranes of the threshold element.*

**Ключевые слова:** контроль, измерение, сопрягаемая деталь, коронка, перфораторное бурение, добывающая промышленность, временное преобразование, давление.

**Keywords:** control, measurement, mating parts, crown, perforating, mining industry, temporal conversion, air pressure.

**В** добывающей промышленности для бурения используют коронки широкой номенклатуры, отличающиеся конструктивными и размерными параметрами. Коронка содержит определенное число твердосплавных зубков.

Для обеспечения заданных натягов при установке зубков в коронку требуется 100 %-ное измерение их диаметров и последующая сортировка в размерные

группы. Поскольку программа выпуска коронок достаточно велика, необходимо также повышение быстродействия измерительного устройства.

Для обеспечения надежности попадания зубков в соответствующие размерные группы предложено измерительное устройство повышенной точности и быстродействия.

В состав устройства (рис. 1, а) входят: источник сжатого воздуха (на рисунке не показан); сообщенный с ним первичный преобразователь 2 в виде измерительного сопла с измерительной камерой 3; пороговый элемент 13; компаратор 12; дроссель 4; двухпозиционный клапан 5; блок управления 7; пневматическая емкость 6 и блок выбора размерной группы, который состоит из последовательно соединенных элемента 8 задержки, генератора 9 импульсов, управляемого элемента 10 сравнения, управляющий вход которого соединен с выходом компаратора 12 и счетчика 11 импульсов.

Пороговый элемент (рис. 1, б) выполнен в виде корпуса 19, который разделен тремя мембранами 20 на две камеры – управляющую 14 и вспомогательную 15. Мембраны соединены сердечником 16, выполненным в виде постоянного магнита, таким образом, что при деформации мембран под действием разницы давлений в управляющей и вспомогательной камерах сердечник смещается на соответствующую величину в осевом направлении.

В корпусе 19 порогового элемента напротив противоположных торцов сердечника 16 соосно ему установлены два датчика 18 Холла, соединенных по дифференциальной схеме с возможностью перемещения вдоль оси сердечника и фиксации каждого из них. Датчики осевым перемещением с помощью юстировочных винтов 17 устанавливаются в положения, при которых разность сигналов  $\Delta U = U_1 - U_2$  равна нулю при равенстве давлений в управляющей и вспомогательной камерах порогового элемента 13.

Пневматическая емкость 6 соединена с управляющей камерой 14 порогового элемента 3 и с двухпозиционным клапаном 5, один вход которого подключен к измерительной камере 3 первичного пре-

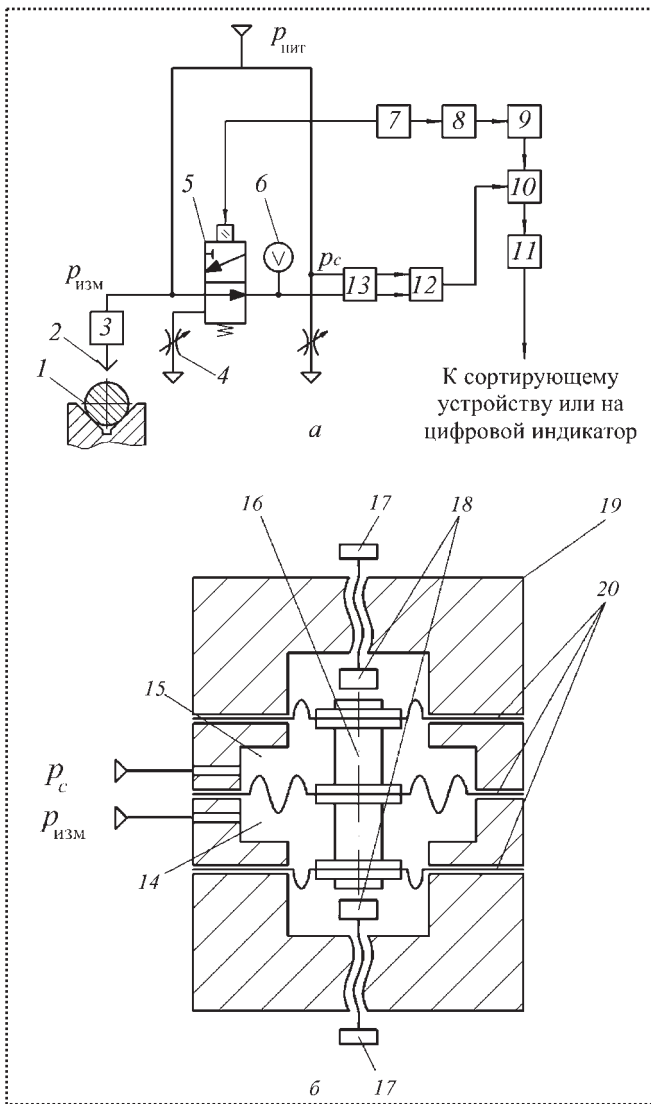


Рис. 1. Измерительное устройство (а) и входящий в его состав пороговый элемент (б)

образователя 2, а второй через дроссель 4 сообщен с атмосферой. Работой клапана 5 управляет блок 7 управления. Вход элемента 8 задержки соединен с выходом блока 7 управления. Выходы датчиков 18 Холла соединены с входами компаратора 12, который осуществляет вычисление разности  $\Delta U$  сигналов датчиков. Когда сердечник 16 находится в среднем положении,  $\Delta U = 0$  и на выходе компаратора 12 формируется сигнал  $U_0$  уровня логического нуля (запрещающий сигнал). При смещении сердечника и, соответственно, изменении магнитного поля относительно датчиков, сигнал от датчиков меняется, т.е.  $\Delta U \neq 0$  и на выходе компаратора формируется сигнал  $U_1$  уровня логической единицы (разрешающий сигнал).

Цикл измерения осуществляют следующим образом.

После установки детали 1 на измерительную позицию в измерительной камере 3 устанавливается давление  $p_{изм}$  (рис. 2), соответствующее величине зазора между соплом первичного преобразователя 2 (см. рис. 1) и поверхностью контролируемой детали, определяемому ее размером. Клапан 5 при этом находится в исходном положении, соединяя управляющую камеру 14 и емкость 6 с измерительной камерой 3. В управляющей камере и в пневматической емкости также устанавливается давление  $p_{изм}$ . Вспомогательная камера 15 порогового элемента 13 подключена к источнику сжатого воздуха и давление в ней имеет постоянную величину  $p_c$ , причем  $p_c \ll p_{изм}^{min}$ . Величина  $p_{изм}^{min}$  соответствует давлению в управляющей камере 14 при установке на измерительную позицию детали с наименьшим размером. Система мембран 20 смещает сердечник 16 в сторону вспомогательной камеры 15 и величина  $\Delta U$  принимает значение, соответствующее смещению сердечника. На выходе компаратора 12 формируется разрешающий сигнал.

При запуске устройства в работу сигнал с блока 7 управления подается на двухпозиционный клапан 5. Клапан переключается и воздух, находящийся в управляющей камере 14 и в пневматической емкости 6, начинает стравливаться в атмосферу через дроссель 4. Давление в управляющей камере 14 уменьшается от  $p_{изм}$  до  $p_c$  за время  $t_{изм}$ , которое определяется величиной  $p_{изм}$  и соответствует размеру измеряемой детали. Одновременно с подачей сигнала на клапан 5 блок 7 управления подает сигнал на элемент задержки 8, который через интервал времени задержки  $t_{зад}$  подает сигнал на включение генератора 9 импульсов. Величина  $t_{зад}$  соответствует времени, необходимому

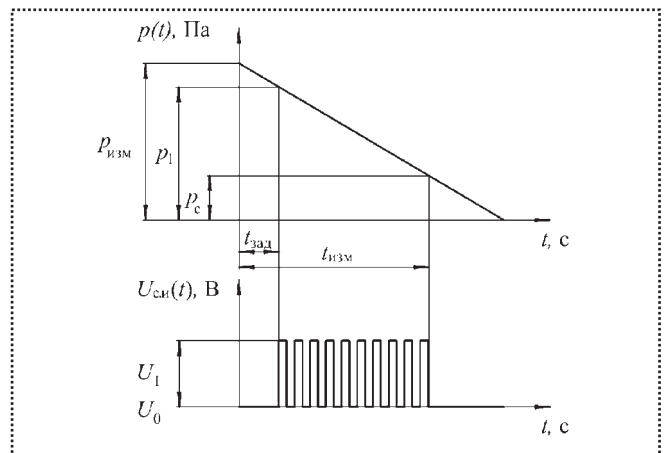


Рис. 2. Характер изменения давления  $p$  в камерах порогового элемента и сигнала  $U_{сч}$  на входе счетчика импульсов



для изменения давления в управляющей камере 14 с  $p_1$  до  $p_c$ .

Значение  $p_1$  соответствует давлению, которое устанавливается в управляющей камере 14, если на измерительной позиции находится деталь с размером, равным границе между нулевой и первой размерными группами. Так как на управляющий вход элемента 10 сравнения подается разрешающий сигнал от компаратора 12, импульсы от генератора 9 проходят через элемент 10 сравнения и подаются на счетчик 11 импульсов. В момент, когда давление в управляющей камере 14 достигает значения  $p_c$ , сердечник 16 возвращается в среднее положение. Разность сигналов  $\Delta U$  становится равной нулю и на выходе компаратора 12 формируется сигнал, запрещающий элементу 10 сравнения пропускать импульсы на счетчик 11, и цикл измерения заканчивается.

Число импульсов, поступившее на счетчик 11 за измерительный цикл, соответствует размерной группе, к которой относится измеряемая деталь. Далее эта информация передается в устройство автоматической сортировки и выводится на цифровой индикатор.

Точность измерения линейных размеров деталей предложенным устройством ограничена погрешностью  $\delta_{изм}$ , включающей:

$\delta_{у.д}$  – погрешность установки датчиков Холла;

$\delta_{д1}$  и  $\delta_{д2}$  – погрешность датчиков Холла;

$\delta_{г}$  – погрешность, связанную с частотой генератора импульсов;

$\delta_{к}$  – погрешность, связанную с разбросом времени переключения двухпозиционного клапана.

Погрешность  $\delta_{у.д}$  установки датчиков Холла и погрешности  $\delta_{д1}$  и  $\delta_{д2}$ , обусловленные технологией их изготовления, минимизируют подстройкой юстировочными винтами 17.

Погрешность  $\delta_{г}$ , зависящую от частоты импульсов, создаваемых генератором 9, минимизируют увеличением частоты следования импульсов.

Разброс времени переключения двухпозиционного клапана 5 обуславливает погрешность  $\delta_{к}$  и зависит

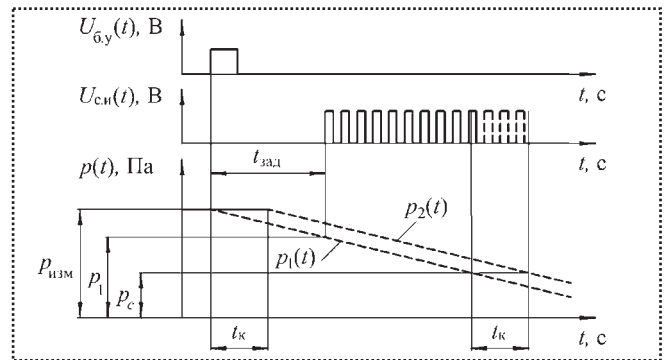


Рис. 3. Характер изменения: сигнала  $U_{б.у}$  на выходе блока управления, сигнала  $U_{с.м}$  на входе счетчика импульсов, давления  $p$  в управляющей камере порогового элемента (изменение давления  $p_1(t)$  при  $t_к = 0$ ,  $p_2(t)$  при  $t_к > 0$ )

от колебаний уровня давления питания и погрешности изготовления конструктивных элементов клапана. Сигнал от блока 7 управления подается на клапан 5 и элемент задержки 8 одновременно и прием импульсов счетчиком 11 должен совпадать по времени с моментом достижения давления  $p$  в управляющей камере величины  $p_1$ . Однако в действительности переключение клапана запаздывает на случайную величину времени  $t_к$ , в результате чего давление в управляющей камере 14 достигает значения  $p_1$  уже после начала приема импульсов счетчиком, который принимает большее число импульсов, так как измерение длится дольше на величину  $t_к$  (рис. 3). Это оказывает непосредственное влияние на точность измерения, так как число импульсов соответствует определяемому размеру детали.

Предложенное устройство может быть использовано для измерения линейных размеров не только диаметров зубков, но и диаметров отверстий под них для обеспечения заданных натягов при сборке коронок для перфораторного бурения. Для дальнейшего повышения точности устройства необходимы дополнительные исследования.

# СБОРОЧНО-СВАРОЧНЫЕ РАБОТЫ. ПАЙКА

УДК 621.791.048

**В.В. Карabanов**, канд. техн. наук, **И.О. Бохоров**, инженер  
Тел.: 8-498-520-34-72

## Пайка меди и ее сплавов

*Приведена характеристика меди и ее сплавов – латуни, бронзы. Рассмотрены свойства и составы припоев и паяльных флюсов, применяемых для пайки меди и ее сплавов, а также приведены механические и технологические свойства этих паяных соединений.*

*The characteristic of copper and its alloys – brass, bronze is provided. Properties and compositions of solders and the soldering gums applied to the soldering of copper and its alloys are considered, and also mechanical and technological properties of these solder connections are given.*

**Ключевые слова:** медь, латунь, бронза, низкотемпературная пайка, высокотемпературная пайка, припой, флюс, композиционный припой, свойства паяных соединений.

**Keywords:** copper, brass, bronze, soft soldering, brazing, solder, gumboil, composite solder, properties of solder connections.

Медь и ее сплавы широко применяют во всех отраслях промышленности, в том числе при изготовлении изделий, работающих в условиях повышенных и криогенных температур. Среди технических материалов медь отличается высокой электро- и теплопроводностью, благодаря чему ее используют в электротехнической, электронной и радиотехнической промышленности в качестве основного материала рабочих блоков при создании теплообменных аппаратов.

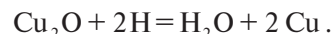
Основным методом сборки медных элементов в указанных изделиях является низкотемпературная пайка. Качество современной электронной техники в значительной степени определяется качеством паяных соединений, для получения которых используются различные способы пайки.

Пайку медных изделий производят всеми известными способами: с помощью паяльника, газовой горелки, токами высокой частоты (ТВЧ), погружением в расплавы солей и припоя и т.д. Пайку с помощью нагрева изделия паяльником осуществляют только при соединении тонкостенных изделий, при этом максимальная температура нагрева составляет 350 °С. Массивные изделия паяют с применением нагрева га-

зовыми горелками. Крупные трубчатые теплообменники с большим числом паяемых участков погружают в расплавы солей или припоя.

В электростатическом ряду активных металлов медь расположена ближе всего к благородным металлам. В обычных условиях медь устойчива против атмосферной коррозии вследствие образования на ее поверхности защитной пленки из окиси меди CuO, но при нагреве свыше 100 °С образуется плотная пленка закиси меди Cu<sub>2</sub>O, которая не обладает такими хорошими защитными свойствами. В результате кислород и другие газы легко проникают в нагреваемый металл. Для сохранения очищенной поверхности меди в процессе нагрева необходимо применять защитные атмосферы и среды. Проникающие в медь газы снижают ее коррозионную стойкость и затрудняют процесс пайки.

При пайке меди не рекомендуют применять в качестве защитной атмосферы водород или газообразные соединения водорода. При наличии малых примесей кислорода в меди, в том числе в виде ее оксидов, при пайке в среде, содержащей водород, возникает опасность его диффузии в медь с последующим образованием воды в соответствии с химической реакцией:



Под действием большого внутреннего давления паров воды при нагреве образуются местные внутренние разрывы с последующим охрупчиванием паяемой меди и ее сплавов. Охрупчивающее действие паров воды в меди усиливается с повышением температуры. Глубина диффузии кислорода в медь тем больше, чем больше содержание водорода в защитной атмосфере, чем выше температура нагрева и больше время выдержки при ней. Поэтому при высокотемпературной пайке стремятся применять очищенную от кислорода медь (МБ). При необходимости пайки меди марок М1, М2 и других применяют атмосферу формиоргаза с содержанием водорода 2...5 %.

К медным промышленным сплавам относятся латуни, бронзы и медно-никелевые сплавы. Двойные латуни представляют собой сплав меди с цинком. Предельная растворимость цинка в твердой меди составляет 39 %. Практически применяют сплавы с содержанием цинка до 50 % [1].



Применяемые в промышленности двойные латуни (Л80, Л86, Л90, Л96) очень пластичны и легко деформируются в холодном и горячем состоянии. Предел прочности однофазных латуней после отжига составляет 250...500 МПа. Латуни марок Л63, Л68 также применяют в качестве медно-цинковых припоев.

Многокомпонентные латуни содержат легирующие компоненты Al, Si, Ni, Fe, Sn, Mn, Pb в количестве от 1 до 3 % каждого, которые увеличивают прочность сплава, но снижают его пластичность. Наиболее эффективно упрочняют латунь алюминий и олово, в меньшей степени — кремний и марганец. Наибольшее упрочнение латуни происходит при ее комплексном легировании элементами Al, Si, Ni, Mn, повышающими также коррозионные свойства сплава. Никель повышает устойчивость латуни против коррозионного растрескивания.

В промышленности применяют деформируемые и литейные латуни. Деформируемые латуни марок ЛАЖ66-1-1 и ЛАЖМц59-1-1, благодаря содержанию железа, хорошо деформируются в холодном и горячем состояниях. Литейные латуни применяют для фасонного литья.

В промышленности широко применяют сплавы меди с другими элементами — свинцом, алюминием, марганцем, бериллием, называемые бронзами. Алюминиевые бронзы выделяются высокими механическими свойствами, которые возрастают с повышением содержания алюминия. При содержании 11...12 % алюминия предел прочности сплава достигает 600 МПа. Наиболее широкое применение имеет алюминиевая бронза марки БрАЖ9-4, содержащая железо, никель, марганец, которые повышают прочность, коррозионную стойкость и пластичность сплава.

Высоколегированная бронза марки БрАЖН10-4-4 — наиболее прочный сплав с содержанием алюминия, отличается высокой жаропрочностью.

Бериллиевая бронза, с оптимальным содержанием бериллия (2,0...2,5 %), относящаяся к классу дисперсно-твердеющих медных сплавов, подвержена закалке и старению. Такая структура бериллиевой бронзы обусловлена снижением растворимости бериллия в меди со снижением температуры: при 870 °С — 2,7 % Be, при 578 °С — 1,4 % Be, при 20 °С — 0,2 % Be. Для повышения прочности бериллиевой бронзы применяют термообработку.

Современное производство электротехнических изделий и электронной техники базируется на использовании низкотемпературной пайки с применением легкоплавких оловянно-свинцовых припоев. При низкотемпературной пайке обеспечивается необходимая технологическая прочность соединения медных элементов и сохранение исходных свойств металла.

Для подготовки меди и медных сплавов к пайке кроме обычных способов механической очистки и обработки в щелочных растворах применяют некоторые специфические способы активирования их поверхностей. Пятипроцентный раствор серной кислоты может оказаться достаточным для подготовки меди. Для очистки поверхности бронз и сплавов меди с никелем и хромом после обработки в этом растворе необходимо погружать элементы в 2 %-ный раствор бихромата натрия с 3 %-ным раствором серной кислоты.

Оксиды, образующиеся на алюминиевых, бериллиевых, хромистых бронзах, могут быть удалены в 20...30 %-ном растворе серной кислоты при температуре 60...80 °С. Растворение оксидов возможно также в водном растворе азотной кислоты (30 %). Оксиды кремния, бериллия, алюминия перед пайкой удаляют в смеси соляной и азотной кислот и сразу же очищенную поверхность защищают слоем достаточно активного флюса.

Для защиты от воздействия атмосферы на очищенную поверхность меди методом лужения наносят оловянные или оловянно-свинцовые покрытия толщиной 3...5 мкм. Лаковые покрытия защищают поверхность металла примерно в течение шести месяцев.

При нагреве меди и медных сплавов на их поверхности возникают легкоудаляемые и трудноудаляемые оксидные пленки. Первые оксиды, возникающие на поверхности меди и ее сплавов, легко диссоциируют при низкотемпературной пайке. Тонкие слои оксидов CuO и Cu<sub>2</sub>O растворимы в канифоли. При нагреве медных сплавов, легированных алюминием, бериллием, хромом, титаном, кремнием и другими элементами, образуются химически стойкие, труднорастворимые во флюсе оксиды на основе этих элементов.

При низкотемпературной пайке меди и медных сплавов применяют две группы флюсов — флюсы на основе канифоли и флюсы на основе хлорида цинка [2].

Флюсы на основе канифоли имеют низкую коррозионную активность, поэтому их после пайки можно с изделий не удалять. Однако флюсы на основе канифоли имеют низкую химическую активность по отношению к оксидным пленкам и обугливаются при температурах свыше 320 °С. Такие флюсы применяют только при ручной пайке, с использованием для нагрева паяльника.

Флюсы на основе хлорида цинка обладают более высокой химической активностью, не обугливаются, но вследствие их коррозионной активности необходимо их удаление с паяных соединений, что усложняет процесс пайки.

С целью повышения активности флюса в него вводят специальные химические соединения — активато-

ры. А с целью улучшения технологических свойств во флюс вводят хлориды легкоплавких металлов (олова, кадмия, свинца, висмута).

Показателем активности флюса служит площадь растекания припоя по поверхности металла, покрытой данным флюсом (ГОСТ 23904–79). За одно и то же время припой с более активным составом флюса растекается на большей площади нагреваемой поверхности.

Канифольные флюсы применяют в виде канифольно-спиртовых растворов. В условиях массового производства медных изделий и при механизированной пайке легкоплавкими припоями используют в основном водные растворы неорганических флюсов, так как вода хорошо затекает в капиллярные зазоры и при этом является дешевым компонентом. Вода не обладает флюсующими свойствами, поэтому площадь растекания припоя с водой, без введения флюсующих компонентов, равна нулю. При введении в воду флюсующих химических соединений растворы приобретают флюсующие свойства, удаляют оксидные пленки и способствуют растеканию припоя. Количество вводимых компонентов, вызывающих значительное растекание припоя, зависит от активности компонентов и может различаться в 3–6 раз. Содержание флюсующих компонентов в водных растворах должно соответствовать их максимальному рациональному содержанию, под которым понимается такое содержание компонента во флюсе, с увеличением которого площадь растекания припоя не увеличивается или увеличивается незначительно [3].

Как показали исследования [3], максимальная площадь растекания оловянно-свинцового припоя (ПОССу 30-2) по меди при использовании спирто-канифольного флюса при температуре пайки

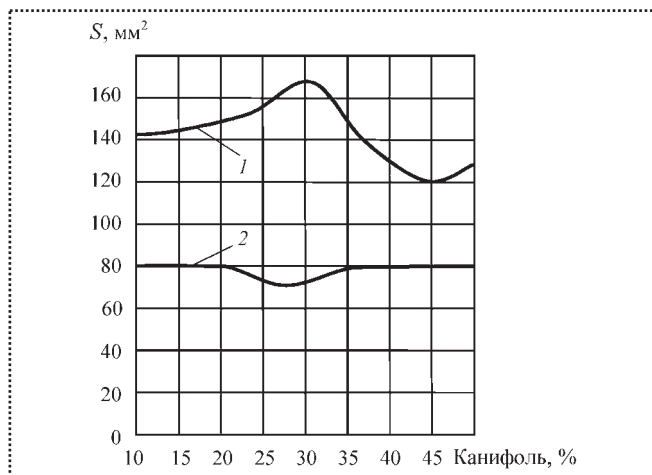


Рис. 1. Зависимость площади  $S$  растекания припоя ПОССу 30-2 по меди (1) и латуни (2) от концентрации канифоли во флюсе

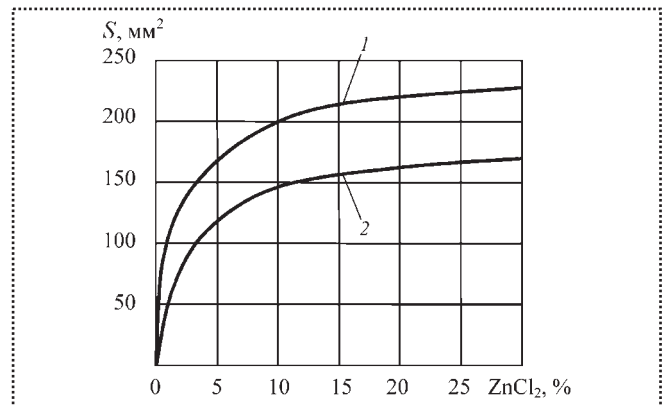


Рис. 2. Зависимость площади  $S$  растекания припоя ПОССу 30-2 по меди (1) и по латуни (2) от содержания хлорида цинка в водном растворе

320 °С достигается при содержании 30 % канифоли в растворе (рис. 1). При введении в раствор свыше 30 % канифоли возрастает степень обугливания флюса и затрудняется процесс растекания припоя. Растекание припоя в этих же условиях по латуни значительно ниже и практически не зависит от содержания канифоли в растворе.

Более активными флюсующими свойствами обладают водные растворы хлорида цинка. Из рис. 2 видно, что растекание указанного припоя резко возрастает при введении в раствор до 5 %  $ZnCl_2$ . При дальнейшем увеличении его содержания в растворе до 10 % наблюдается плавное увеличение площади растекания, затем активность возрастает незначительно.

По латуни припой растекается меньше, чем по меди, хотя характер кривых идентичен, что связано с более высокой химической стойкостью оксидов цинка по сравнению с оксидами меди в водных растворах хлористого цинка.

Более высокой флюсующей активностью при пайке латуни обладает водный раствор хлорида аммония. Площадь растекания припоя резко увеличивается при введении его в раствор в небольших количествах — до 2,5 % (рис. 3). При дальнейшем его увеличении в растворе до 5 % увеличение площади растекания припоя замедляется, а при содержании свыше 5 % остается

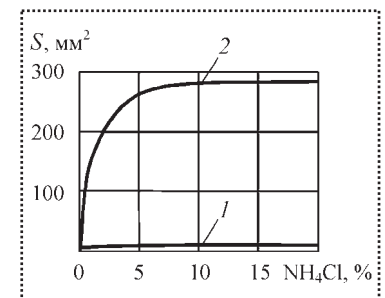


Рис. 3. Зависимость площади  $S$  растекания припоя ПОССу 30-2 по меди (1) и латуни (2) от содержания хлорида аммония в водном растворе флюса





постоянной. При пайке меди с использованием раствора хлорида аммония растекания припоя не наблюдается.

Наиболее оптимальными флюсующими свойствами из представленных химических соединений при пайке меди и латуни обладает хлорид цинка ( $ZnCl_2$ ), который отличается следующими свойствами:

- термической устойчивостью при пайке и сохранением флюсующих свойств в широком интервале температур от 20 до 700 °С, температура плавления составляет 315...326 °С, температура кипения – 733 °С;
- оловянно-свинцовые припои с водным раствором хлорида цинка растекаются как по латуни, так и по меди;
- отсутствием обугливания при температурах выше 320 °С;
- хорошей растворимостью в холодной и горячей воде (375 г в 100 г воды при 20 °С и 615 г – при 100 °С), что позволяет в широких пределах (от 0 до 70 %) изменять концентрацию  $ZnCl_2$  в водном растворе, а также легко смывать в горячей воде остатки  $ZnCl_2$  после пайки.

Активность и технологичность водных растворов флюсов может возрастать при содержании двух (или более) химических соединений. На рис. 4 приведена зависимость площади растекания припоя ПОССу 30-2 по меди (а) и латуни (б) от содержания хлорида аммония ( $NH_4Cl$ ) в водном растворе хлорида цинка ( $ZnCl_2$ ). Припой с хлоридом аммония в водном растворе меди не растекается. Введение хлорида аммония в водные растворы хлорида цинка различной концентрации приводит к существенному увеличе-

нию площади растекания как по латуни, так и по меди. Наибольшая площадь растекания припоя по латуни наблюдается при меньшем содержании хлорида цинка в растворе, и наоборот. На основе указанных компонентов созданы промышленные флюсы марки "Прима" ("Прима-11", "Прима-111").

Трехкомпонентные флюсы обладают более высокими технологическими свойствами, чем одно- и двухкомпонентные. Оптимальный состав одного из трехкомпонентных флюсов: 10 %  $ZnCl_2$  – 3 %  $NH_4Cl$  – 0,3 %  $NH_2OH \times 2HCl$ . Еще большими технологическими свойствами обладает трехкомпонентный флюс состава: 10 %  $ZnCl_2$  – 3 %  $NH_4Cl$  – 2 %  $HCl$  – 0,5 % карбамид – 0,3 % гидроксилламин гидрохлорида (патент РФ № 2204466).

Повышение температуры пайки приводит к возрастанию площади растекания припоя. При этом необходимо учитывать, что активность жидких флюсов, оцениваемая по площади растекания припоя, увеличивается до определенного температурного предела, зависящего от скорости нагрева, т.е. от временного параметра, выше которого она резко снижается (рис. 5).

При максимальной растекаемости припоя наблюдаются минимальные пористость шва и краевой угол смачиваемости, максимальные прочность соединения и активность флюса, т.е. степень уровня флюсующих свойств при пайке существенно изменяется в зависимости от температуры и длительности пайки. Неучет действия этих факторов приводит к браку при производстве – пониженной прочности соединения, пористости, к потере герметичности, снижению электропроводности и т.п.

Пайка меди и латуни оловянно-свинцовыми припоями при температурах вне области их максималь-

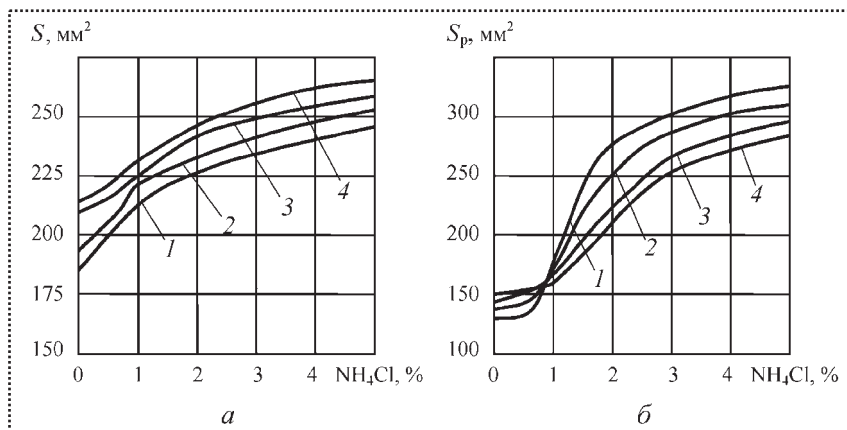


Рис. 4. Зависимость площади  $S$  растекания припоя ПОССу 30-2 по меди (а) и латуни Л63 (б) от содержания хлорида аммония в водном растворе хлорида цинка: 1 – 10 %; 2 – 15 %; 3 – 20 %; 4 – 25 %

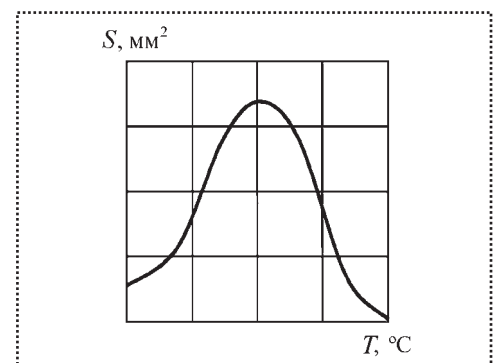


Рис. 5. Типичная кривая зависимости площади  $S$  растекания низкотемпературных флюсов от температуры нагрева  $T$



ной активности не обеспечивает достаточно высокой прочности и плотности паяного шва. Стабильный процесс получения качественных паяных соединений возможен только при строгом контроле температуры пайки. Высокое качество паяных соединений может быть обеспечено при пайке только в интервале высокой активности флюса.

Синтезировать новые флюсы для низкотемпературной пайки (так же как и припой) не представляет затруднений даже для небольших мелкосерийных производств. Поэтому на многих предприятиях разрабатывают и создают более совершенные, по сравнению с существующими, флюсы, отвечающие задачам конкретного производства.

С учетом того, что флюсы на основе канифоли и хлористого цинка не всегда проявляют требуемые флюсующие свойства, имеют узкий температурный интервал активности, а остатки флюса с хлоридом цинка способствуют развитию коррозии, был создан новый флюс на основе водного раствора винной кислоты ( $C_4H_6O_6$ ), в который добавлены хлорид цинка, бура и поверхностно-активное вещество (ПАВ) ОП-7. Наилучшим комплексом свойств обладает флюс состава: 5 %  $C_4H_6O_6$  – 15...20 %  $ZnCl_2$  – 5...7 % бура – 0,5 % ПАВ+ $H_2O$  [5].

Данный флюс имеет более широкий температурный интервал активности и уменьшает влияние их остатков на коррозионную стойкость паяных соединений. Флюс применяют при использовании припоев ПОС 61 и ПОССу 30-2 и широко используют в приборостроении и электротехнической промышленности. Температура пайки 220...280 °С. Припой применяют без последующей промывки паяных соединений, он обеспечивает их работу при циклических и вибрационных нагрузках. Предел прочности паяных соединений составляет 55 МПа.

Наличие буры во флюсе расширяет температурный интервал его активности, составляющий 180...380 °С. Флюс надежно защищает жидкий припой и основной металл от окисления за счет выделения борного ангидрида и повышает растекаемость жидкого припоя. Поверхностно-активное вещество уменьшает угол смачивания жидкого припоя.

Медь можно паять многими способами и припоями. Наиболее широкое применение имеют оловянно-свинцовые припои (низкотемпературная пайка), в первую очередь в электронной технике, и медно-фосфорные припои (высокотемпературная пайка), как заменители серебряных припоев.

В качестве припоев могут быть использованы все сплавы системы "олово–свинец" с содержанием олова от 2 до 90 %. В зависимости от соотношения в сплаве свинца и олова свойства припоев заметно меняются, поэтому при выборе состава припоя для пайки

конкретной конструкции следует исходить из назначения припоя [6].

Чистое олово обладает высокими технологическими свойствами: низкой температурой плавления (+230 °С), хорошей смачиваемостью и растеканием по меди и ее сплавам, высокой коррозионной стойкостью. Однако высокая стоимость олова, а также аллотропические изменения в нем при низких температурах (–30...–60 °С), т.е. переход белого олова в черное, называемое "оловянной чумой" и приводящее к разрушению соединения, ограничивают его применение в промышленности. Наличие в олове алюминия и цинка ускоряет процесс превращения, а висмута, свинца, сурьмы – задерживает. При наличии в олове 0,3...0,5 % висмута или 0,5 % сурьмы или 1 % свинца распад олова невозможен, поэтому пайку изделий, работающих при низких температурах, необходимо производить с применением олова технических марок 01, 02, 03.

При пайке элементов электрооборудования, в том числе электропроводов, применяют оловянные припои, содержащие небольшое количество легирующих элементов – серебро, медь, никель, сурьму. Данные припои имеют значительное преимущество по сравнению с чистым оловом, особенно, по показателю коррозионной стойкости [7].

На основе олова созданы припои ВПр9 (91,5 % Sn, 5,0 % Ag, 1,0 % Cu, 2,5 % В) и ВПр6 (79,5 % Sn, 8,0 % Ag, 7,5 % Cu, 5 % В) и другие, с температурой пайки до 200 °С [7]. Небольшие добавки в припой меди и никеля (0,5...1,0 %) повышают коррозионную стойкость. При этом на поверхности паяного шва образуется пассивная пленка и плотные нерастворимые продукты коррозии, выполняющие роль барьерного покрытия. Дальнейшее увеличение в припое этих легирующих элементов не влияет на коррозионные свойства соединений.

Введение в припой ВПр6 и ВПр9 серебра до 8 % не всегда оправдано, так как серебро вызывает заметное увеличение (до 40 %) тока коррозии в припое и не способствует пассивации. На поверхности припоя образуются рыхлые осадки продуктов коррозии, которые не защищают металл от воздействия среды. Легирование сплава олово-сурьма серебром приводит к увеличению тока коррозии на 60...100 %. Поэтому при эксплуатации паяных соединений в агрессивных электролитических средах необходимо содержание серебра в оловянных припоях снижать до 1 %. Однако необходимо учитывать, что при более высоком содержании серебра повышаются другие технологические и механические свойства припоев на основе олова.

Добавление сурьмы улучшает свойства припоев на основе олова и не оказывает заметного влияния на коррозионные свойства получаемых соединений



ввиду близости электрохимических свойств сурьмы и олова.

Наибольшее применение нашли оловянно-свинцовые припои, содержащие 30...60 % олова (ГОСТ 21930–76, ГОСТ 21931–76 и ряд ТУ). В зависимости от содержания в припоях олова изменяются свойства и температура их плавления. Минимальная температура плавления (183,3 °С) достигается при содержании в припое 61,9 % олова. Припой такого состава (ПОС 61) имеет эвтектическую структуру, пластичен, обладает высокими технологическими свойствами.

Паяные оловянно-свинцовыми припоями швы подвержены старению, прочность их снижается, особенно при повышенных температурах (100...140 °С). Прочность паяных соединений из меди и латуни после длительного естественного старения снижается до 15 %, а при искусственном старении при 100...150 °С – на 30 %.

Введение в оловянно-свинцовые припои небольшого количества сурьмы приводит к повышению предела ползучести, снижает склонность к старению и предотвращает аллотропические превращения олова. В связи с этим, оловянно-свинцовые припои подразделяют на бессурьмянистые, малосурьмянистые (0,2...0,5 %) и сурьмянистые (0,5...6,0 %) [6].

При пайке меди широко распространенными оловянно-свинцовыми припоями (ПОС 40, ПОС 61, ПОС 90) поверхность гальтального участка паяного шва может подвергаться общей коррозии. Для ее предотвращения паяные соединения рекомендуют защищать лакокрасочными покрытиями.

Длительный нагрев при пайке меди оловянно-свинцовыми припоями приводит к заметной химической эрозии меди и изменению температурного интервала кристаллизации припоя, ухудшает жидкотекучесть припоя, может привести к образованию подрезов в гальтельных участках или сквозному проплавлению тонкостенных деталей. При легировании припоя паяемым металлом скорость эрозии значительно уменьшается. Так скорость химической эрозии меди в жидком припое ПОС 61 уменьшается в 100 раз при введении в припой до 2 % меди.

При пайке меди припоями ПОС 40, ПОС 61 на границе спая возникает хрупкая прослойка интерметаллидов ( $Cu_6Sn_5$ ), снижающая прочность паяного шва. Заметное снижение прочности соединения происходит также при кратковременном контакте расплава припоя с паяемым металлом (1 с), в течении которого при 250 °С возникает прослойка интерметаллидов толщиной 1 мкм.

Ограничение роста прослойки интерметаллидов возможно при введении в припой элементов, имеющих большее химическое средство с медью, чем ос-

новные компоненты припоя. К таким элементам относят магний и титан. Эти элементы образуют химические соединения также с оловом и свинцом, что способствует модификации структуры шва. Введение магния в припой в количестве 0,05...0,1 % приводит к уменьшению толщины и сплошности прослойки интерметаллидов и повышает прочность паяного шва на 12 %.

Для пайки криогенной техники применяют припой на свинцовой основе, содержание олова в которых составляет менее 15 %. Применение припоя на свинцовой основе, легированного серебром (ПСр3), позволяет получать тепло- и хладостойкие соединения.

Особенностью пайки латуни оловянно-свинцовыми припоями является повышенная пористость паяного шва. Особенно развитая пористость наблюдается при пайке латуней марок Л150, Л63, Л68 и др., чем и можно объяснить более низкую прочность соединений из латуни по сравнению с прочностью соединений из меди, паяных теми же припоями. Причиной пористости считают плохую смачиваемость латуни легкоплавкими припоями из-за большой химической стойкости оксидов меди и трудностью вывода газовых пор из малых зазоров (менее 0,3 мм), особенно при неравномерном нагреве области соединения. Газовая пористость в швах паяных латунных конструкций резко уменьшается при печной пайке, когда обеспечивается равномерный нагрев конструкции. Но при пайке латуней в печах с восстановительной атмосферой для предохранения их от окисления и испарения цинка необходимо применение флюса.

При использовании припоев ПОС 40 и ПОС 61 перегрев конструкции при пайке может привести к снижению прочности соединения на 15...20 %.

Качественную пайку медных и латунных изделий легкоплавкими припоями с большим содержанием свинца (свыше 18 %) осуществляют с применением комплексных флюсов, содержащих хлориды цинка, олова, меди и калия. Применение малооловянистых припоев и комплексных флюсов особенно рационально при пайке изделий из медных сплавов методом погружения в расплавленный припой. При пайке погружением в ванну с припоем предварительно офлюсованные детали нагревают в расплаве припоя, который при температуре пайки заполняет соединительные зазоры. Зеркало припоя защищают активированным углем или инертным газом. Для трубчатых медных теплообменников применяют пайку погружением в расплавы солей и припоев. Недостатком пайки в соляных ваннах является трудность удаления остатков флюса из труднодоступных участков изделия.



Безфлюсовая низкотемпературная пайка меди и ее сплавов в газовой среде и в вакууме не находит широкого применения в условиях массового производства паяных изделий, вследствие сложности оборудования и высокой стоимости газовой среды. Предложено в качестве дешевой газовой защиты для пайки меди и ее сплавов применять перегретый (сухой) водяной пар (А.С. № 889319, СССР). В интервале температур 130...930 °С водяной пар является инертной газовой средой для меди и ее сплавов и может быть использован как активная газовая среда и теплоноситель при низкотемпературной пайке меди и ее сплавов с применением оловянно-свинцовых припоев [8].

Смесь сухого водяного пара с добавкой 0,05 % HCl обеспечивает формирование качественного паяного шва уже при 240 °С при выдержке 2,5 мин. Применение при пайке меди хлористого водорода вместо хлористого цинка позволяет снизить температуру пайки с 350 до 260 °С. В смеси с сухим водяным паром в процессе нагрева припой разлагается на азот, водород и хлористый водород, обеспечивая создание активной газовой среды при пайке меди и ее сплавов. В среде активированного продуктами разложения хлорида аммония сухого водяного пара проводится качественная пайка при 240 °С медно-латунных радиаторов с применением припоя ПОССу 30-2.

Оловянно-свинцовые припои имеют невысокие физические свойства. Повышение физических свойств паяных соединений достигается применением композиционных припоев, матрицей которых является оловянно-свинцовый припой. В таких припоях легкоплавкая матрица обеспечивает монолитность шва, а более тугоплавкий наполнитель – его более высокие физические свойства. Определено, что при внесении в оловянно-свинцовый припой ПОС 40 в качестве наполнителя порошка меди до 20 % приводит к увеличению ударной вязкости в 2,2 раза, а предела прочности в 1,4 раза [9].

Одной из проблем современной электронной техники является повышение надежности паяных соединений, работающих при повышенных температурах, которые достигают значения 0,65 от температуры плавления припоя ПОС 61, наиболее широко применяемого при производстве электронной техники. Теплоустойчивость припоя является одним из основных факторов, определяющих работоспособность соединений.

Для повышения прочности и жаропрочности припоев используют способ легирования, который в сочетании с термической обработкой позволяет повысить эти характеристики за счет улучшения свойств матрицы припоя и так называемого дисперсионного упрочнения. Наиболее эффективным является повышение жаропрочности паяных соединений путем

применения дисперсно-упрочненных композиционных припоев, которые сохраняют устойчивую структуру до высоких температур, близких к температуре их плавления [10].

На основе припоя ПОС 61 разработан композиционный припой, упрочненный мелкодисперсными, равномерно распределенными частицами фаз, образуемых микродобавками никеля и германия. В качестве упрочняющих элементов могут также быть использованы интерметаллидные системы Ni–Sn, Fe–Sn, Ni–Zr, Zn–Sn, а также тугоплавкий карбид вольфрама WC.

Материал-упрочнитель должен растворяться в жидкой матрице при температуре 240...250 °С, а внесимое количество легирующего элемента не должно превышать предельной растворимости при этой температуре. В этом случае выпадение упрочняющих частиц будет происходить в процессе охлаждения, что позволяет обеспечить сохранение технологических свойств исходного припоя и исключить процесс коагуляции упрочняющих частиц в процессе длительной работы соединения при температуре пайки волной припоя.

Наиболее эффективны припои при размерах образующихся частиц до 1 мкм при их суммарном содержании в матрице припоя в пределах 2...3 %. Для обеспечения максимально возможной дисперсности интерметаллидной фазы, выделяемой при кристаллизации припоя, применяют быстрое охлаждение расплава путем распыления его в воде.

Германий присутствует в структуре припоя в виде частиц размером порядка сотых долей микрометра, а никель образует интерметаллиды систем Ni–Sn или Ni–Ge–Sn в виде мелкодисперсных частиц, так и скоплений более крупных частиц порядка десятка микрон. По сравнению с припоем ПОС 61 наибольшее упрочнение (до 30 %) обеспечивается при введении 0,15 % Ni и 0,15 % Ge, оно достигает 47 % при температуре 100...120 °С.

Свинец тяжелый, токсичный металл. В последнее время в мире возрастает внимание к вопросам экологической безопасности, в связи с чем все более актуальными становятся проблемы безсвинцовой пайки.

В июле 2006 г. в Европе вступила в силу директива, запрещающая производство и импорт продукции, содержащей свинец. Этот документ заметно сказался на состоянии электронной промышленности, где применяется оловянно-свинцовый припой ПОС 61 [11, 12].

Исследования и создание безсвинцовых припоев находятся в начальной стадии. Переход на безсвинцовые припои – достаточно сложная научно-техническая задача, учитывая, что технологический процесс пайки используют самые передовые отрасли совре-



менной промышленности. Замена припоев связана с изменением технологии и режимов пайки, с совершенствованием паяльных материалов и технологического оборудования.

Многие исследовательские и проектные компании особенно интенсивно занимаются этой проблемой. Свыше 170 университетов в мире проводят разработки и исследования в области пайки. Однако до настоящего времени не предложено полноценной замены оловянно-свинцовым припоям и, в частности, ПОС 61.

Рассмотрено большое число возможных сплавов, из которых за базовый был выбран сплав, содержащий олово, серебро, медь и близкий по характеристикам к припою ПОС 61, с температурой плавления в интервале 217...220 °С [12].

В различных странах были определены базовые безсвинцовые сплавы с незначительными различиями по химическому составу: в США принят сплав, содержащий 3,9 % Ag, 0,6 % Cu, остальное – Sn; в Европе – 3,8 % Ag, 0,5 % Cu, остальное – Sn; в Японии – 3,0 % Ag, 0,5 % Cu, остальное – Sn.

Приведенные сплавы близки к тройному эвтектическому сплаву, содержащему 3,5 % Ag, 0,7 % Cu, остальное – Sn, с температурой плавления 217 °С. По механическим свойствам сплавы превосходят припой ПОС 61, но уступают ему по температуре плавления, по снижению которой разработки продолжают [13].

В России предложено в базовый состав безсвинцового припоя добавлять 0,15 % галлия, что приводит к повышению прочности припоя на 18 %. Микролегирование является основным направлением совершенствования безсвинцовых припоев. В качестве микродобавок могут быть использованы интерметаллиды, сплавы систем никель–олово, железо, ванадий, цирконий, цирконий–олово, вольфрам, молибден, карбид вольфрама, германий [14].

Простыми и недорогими припоями для высокотемпературной пайки меди и медных сплавов являются медно-цинковые припои ПМЦ36 и ПМЦ48, а также латуни. Припои ПМЦ относят к категории хрупких сплавов, поэтому их применяют только при пайке изделий, не подвергающихся вибрационным и динамическим нагрузкам. Пайку латунями следует проводить с большой скоростью нагрева для сокращения времени контакта жидкого припоя с паяемым металлом и предотвращения интенсивного испарения цинка. С целью получения безпористых паяных швов необходимо назначать широкие паяльные зазоры и обильное нанесение на паяемую область активного флюса (марки ПВ201).

Применяемая в качестве конструкционного материала латунь (Л63) имеет высокую температуру плавления (свыше 1000 °С). Для ее снижения и повыше-

ния технологических свойств припоя в латуни вводят в небольших количествах олово и кремний (до 1 %). Олово понижает температуру плавления припоя и повышает его коррозионные свойства. Кремний, окисляясь при пайке, соединяется с элементами флюса, образуя плотную пленку боросиликатов, замедляющую испарение цинка. Припои имеют высокие механические свойства (предел прочности до 200 МПа) и обеспечивают высокую плотность и герметичность паяного шва. К таким припоям относят латуни марок ЛОК59-1-03, ЛК62-05, П-21 и др. [6].

Ввиду испарения цинка пайку медно-цинковыми припоями в защитных средах и в вакууме не проводят. Пайку медных изделий обычно проводят с применением нагрева токами высокой частоты (ТВЧ), в печах, пламенем газовой горелки и в соляных ваннах. Для удаления оксидных пленок с поверхности меди и ее сплавов при пайке используют активные боратные флюсы [6], способные разрушать оксидные пленки как на меди, так и на латуни и бронзе.

При пайке меди и промышленных двухкомпонентных латуней (Л63, Л68) можно применять двухкомпонентные боратные флюсы, состоящие из буры и борной кислоты в соотношении 50:50 или 80:20.

С целью повышения активности флюса при пайке медных сплавов с химически стойкими оксидными пленками (латуни, бронзы) и снижения температуры плавления флюса применяют боратные флюсы более сложного состава, включающего активные фторидные и фторборатные соединения щелочных металлов.

Удаление оксидной пленки боритными флюсами при пайке может происходить путем растворения пленки во флюсе, химического взаимодействия оксидной пленки с компонентами флюса, в результате чего пленка связывается в соединение, растворимое во флюсе, или вытесняется на поверхность флюсового слоя [15].

При взаимодействии компонентов флюса с паяемым металлом происходит постепенное разрушение оксидной пленки и переход ее в шлак, а также растворение паяемого металла во флюсе и растворение оксидной пленки в паяемом металле. Растворение паяемого металла во флюсе происходит особенно активно в тех случаях, когда флюс насыщается его оксидами. Если же процесс растворения происходит активно, то растворимый металл мигрирует к поверхности флюса, где происходит его окисление. В результате флюс быстро истощается, загустевает и теряет свои свойства, а его поверхность покрывается оксидной пленкой. При увеличении количества флюса, вносимого в паяльный зазор, оксидная пленка образуется и растет менее интенсивно.

Эффективными мерами по сохранению свойств флюсового покрытия является изоляция его от окис-



лительного воздействия атмосферы, а также повышение скорости пайки путем применения высокоскоростных средств нагрева (токов высокой частоты). При ручной газопламенной пайке флюс в зону пайки вносят в течение всего процесса.

Основным процессом, протекающим при флюсовой пайке, является химическое взаимодействие компонентов флюса с оксидной пленкой и с паяемым металлом.

В процессе высокотемпературной пайки бора и борная кислота разлагаются с образованием борного ангидрида, который, взаимодействуя с оксидной пленкой, образует легкоплавкие бораты. Оксиды щелочных металлов, взаимодействуя с оксидной пленкой и паяемым металлом, образуют шлаки с низкой температурой плавления.

Основными фторборатными флюсами, применяемыми при пайке меди и ее сплавов (ГОСТ 23178–78) являются: ПВ284, ПВ284Х, ПВ209, ПВ209Х.

В настоящее время создан новый фторборатный флюс ФК-47 для пайки меди и медных сплавов припоями, имеющими температурный интервал плавления от 600 до 850 °С. В ЗАО "Аларм" (Москва) осуществлено улучшение флюсов марок ПВ209, ПВ284. Снижен температурный интервал активности флюсов, остатки которых могут легко удаляться после пайки. Также ЗАО "Аларм" предлагает новые активные фторборатные флюсы марок ФК335, ФК250, ФК320 и пасту ФП-1 [6].

Электротехнические изделия содержат множество медных и латунных элементов, соединенных высокотемпературной пайкой, обеспечивающей высокую прочность паяных соединений и сопротивляемость статическим и динамическим нагрузкам.

С древних времен при высокотемпературной пайке медных сплавов и драгоценных металлов находят широкое применение припои на серебряной основе с высоким содержанием серебра. В современной промышленности используют припои на основе серебра с содержанием меди, цинка, кадмия, олова, фосфора и других элементов.

Припои на серебряной основе имеют сравнительно низкую температуру плавления, обладают высокими тепло- и электропроводными свойствами, пластичностью, коррозионной стойкостью и технологичностью. Низкая стойкость оксидов серебряных припоев позволяет применять их при пайке меди и сталей, работающих в условиях вакуума и при повышенных статических и вибрационных нагрузках.

Легирование припоев на основе серебра литием и бором повышает их растекаемость и придает припоям самофлюсующие свойства. Введение большого количества олова снижает температуру начала плавления и расширяет интервал кристаллизации, что позволяет

пять этими припоями разнородные материалы с различными коэффициентами температурного расширения без образования трещин.

Широко применяемые серебряные припои представлены в ГОСТ 19738–74.

С развитием электротехнической промышленности, возрастанием объемов производства электротехнических изделий становятся все более актуальными снижение содержания серебра в припоях на серебряной основе и создание принципиально новых припоев полноценных их заменителей.

Вначале в промышленности взамен серебряных припоев при пайке медных и латунных изделий начали применять двойные медно-фосфорные сплавы эвтектического состава – МФ9, МФ10 (ГОСТ 4515–93), которые активно взаимодействуют с паяемым металлом, хорошо растекаются, затекая в глубокие паяльные зазоры, имеют сравнительно невысокие температуру плавления и стоимость. Отличительной особенностью двойных медно-фосфорных припоев являются их высокие самофлюсующие свойства, позволяющие проводить безфлюсовую пайку медных сплавов даже на воздухе.

Пайка без применения флюса или с его ограниченным применением проводится быстрее и с повышенным качеством, так как избыток флюса может служить источником образования шлаковых включений в паяном шве, снижающих его прочность. Активная диффузия меди в расплав припоя при пайке снижает в приграничной области содержание фосфора и улучшает качество спая.

Медно-фосфорные сплавы и припои не рекомендуют применять при пайке стали ввиду образования на границе с паяемым металлом хрупкой прослойки фосфида железа. При необходимости пайки железа такими припоями на паяемые поверхности железных деталей наносят медные барьерные покрытия.

Прочность соединений, паяных двойными медно-фосфорными сплавами, приближается к прочности меди. При содержании в сплаве до 8 % фосфора образуется твердый раствор на основе меди. Двойные медно-фосфорные сплавы, содержащие до 5 % фосфора, достаточно пластичны при 20 °С, но имеют высокую температуру плавления. При содержании в сплаве свыше 5 % фосфора повышается хрупкость сплава при комнатной температуре и сплавы не могут образовываться с приложением давления. Однако при температурах свыше 450 °С эти сплавы становятся пластичными. При температуре 300 °С удлинение и сужение образцов сплава повышается с 0,1 до 6 %, при 500 °С этот показатель возрастает в шесть раз. Высокая пластичность сплавов с содержанием фосфора свыше 6 % при повышенных температурах



позволяет получать из них проволоку (заготовку для изготовления элементов припоя) [16].

Фосфор является дешевым депрессантом и раскислителем в медно-фосфорных припоях. Он образует с медью эвтектику при содержании его до 8,4 % с температурой плавления 714 °С. Существенными недостатками медно-фосфорных сплавов, применяемых в качестве припоев, являются повышенные хрупкость и пористость паяных швов при содержании фосфора свыше 7,5 %.

Разработанные на основе медно-фосфорных сплавов припоя, содержащие 2 % сурьмы, — ПФОЦ7-3-2 и ПМФСy92-6-2, — имели ограниченное применение вследствие низкой прочности, пластичности, газовой пористости и необходимости установки зазоров при пайке менее 0,3 мм.

Определено, что добавление кремния в данные сплавы (0,10...0,15 % от объема припоя) не сужает область твердых растворов на основе меди, зато способствует модификации структуры сплава, снижает пористость паяных швов, повышает коррозионные свойства и улучшает механические свойства, которые приближаются к свойствам меди [17].

В ИЭС им. Е.О. Патона на основе медно-фосфорного припоя ПМФ7 с использованием добавки кремния для высокотемпературной пайки меди и ее сплавов разработан новый припой ПМФС6-0,15 с температурой плавления, сходной с температурой плавления припоя на серебряной основе марки ПСр-42, и составляющей 750...780 °С [18].

Как известно, введение в медные сплавы (бронзы) до 4 % кремния расширяет область  $\alpha$ -фазы, повышает прочность сплава до 20 %, уменьшает растворимость в меди химических элементов и испарение летучих компонентов, резко снижает пористость сплава. Кремний является хорошим раскислителем, менее активен к фосфору, чем олово и марганец, повышает (вместе с бором) коррозионную стойкость. Силициды меди обладают высокой окислительной стойкостью, кислотостойкостью, стойки к резкой смене температур. При содержании в припое на медной основе 0,10...0,15 % кремния и 6,0...7,5 % фосфора обеспечивается высокая прочность и плотность паяных соединений. При содержании в припое менее 6 % фосфора увеличивается пластичность припоя, но возрастает его температура плавления. Кремний в припое не образует новой фазы, сужающей область твердого раствора меди и уменьшающей пластичность сплава, предупреждает образование пористости в шве.

Припой ПМФС6-0,15 повышает коррозионную стойкость паяных соединений за счет образования на поверхности припоя солей фосфатов меди и силицидов меди. Последние препятствуют испарению цинка из припоя, очищают шов от неметаллических вклю-

чений, которые являются зародышами пор и причиной непропая. Припой обеспечивает качественную пайку изделий с паяльными зазорами до 0,6 мм. Добавки кремния сужают интервал кристаллизации припоя и позволяют паять изделия с некапиллярными зазорами, что упрощает процесс их сборки.

Наиболее целесообразно использовать припой в виде пасты, что позволяет производить пайку изделий при любом пространственном положении паяльных зазоров. Вяжущее и цементирующее свойство пасты связано с образованием гидрата фторида кальция при разведении смеси водой.

Определено, что если применить для пайки смесь порошков припоя и флюса, которые до этого хранились в виде сухой смеси свыше 20 суток, то будет наблюдаться эффект упрочнения паяного шва. При пайке свежеприготовленной смесью порошков прочность соединения на срез составляет 311 МПа, а после 20-суточного хранения сухой смеси прочность соединения на срез возрастает до 386 МПа. Этот эффект связан с изменением при длительном хранении сухой порошковой смеси конфигурации поверхности частиц припоя. Увеличивается толщина изменяющегося поверхностного слоя, растет масса частиц припоя, изменяется их цвет. На поверхности частиц образуются сложные комплексы фосфорнокислых солей. Процесс упрочнения паяного шва связан с изменением его химического состава, происходящего в связи с переходом меди из сложных комплексных солей фосфорнокислой меди поверхностного слоя, образующегося на частицах порошка припоя при длительном хранении его в смеси с флюсом, в шов. Повышение прочности шва обусловлено образованием и увеличением объема твердого раствора цинка и фосфора в меди. При этом уменьшается доля хрупкой составляющей  $Cu_3P$  до 32 % и, соответственно, увеличивается пластичность шва.

Достичь эффекта упрочнения паяного шва можно и другими способами. В состав пасты из флюса и припоя можно добавить сложные компонентные соли меди, фосфорную кислоту и гидроокись меди в количестве 0,2...0,8 % от массы пасты. При пайке соединений достигается прочность, получаемая при пайке исходной пастой после ее 20-дневного хранения. Второй способ повышения прочности паяного шва заключается в выдержке исходной порошковой смеси при 400 °С в течение 6 ч.

Эффект упрочнения происходит в широком диапазоне дисперсности частиц припоя (от 5 до 500 мкм). Также можно отметить, что с увеличением срока хранения смеси снижается пористость паяного шва до 20 %.

Повышение площади растекания припоя, уменьшение краевого угла смачивания связано с уменьше-



нием поверхностного натяжения припоя за счет его легирования поверхностно активным элементом – кремнием, образующим на поверхности расплава пленку силицида меди ( $\text{Cu}_3\text{Si}$ ).

Припой ПМФС6-0,15 не склонен к недопустимой эрозии паяемого металла при температурах ниже  $820^\circ\text{C}$ .

В процессе пайки в результате химического взаимодействия веществ, входящих в состав припоя и флюса, выделяется достаточное количество газообразных продуктов, которые при больших зазорах (до 0,6 мм) дрейфуют через слой расплава припоя в течение времени выдержки (30...90 с), что устраняет пористость в швах и обеспечивает их высокую прочность.

Фосфор образует фосфид меди ( $\text{Cu}_3\text{P}$ ), который устойчив на воздухе и в воде при температуре до  $100^\circ\text{C}$ . При взаимодействии с оксидом меди в коррозионной среде он образует на поверхности соли из нерастворимых устойчивых солей фосфатов меди, которые повышают стойкость против электролитической коррозии.

Кремний образует сплошной защитный слой силицида меди ( $\text{Cu}_3\text{Si}$ ), обеспечивающий защиту поверхности припоя при пайке в печи или на воздухе без защитной среды.

Во ВНИИавтогенмаш (Москва) для аналогичного назначения на основе медно-фосфорных сплавов были разработаны припой ПМФОЦр6-4-0,03 и его полный аналог по физико-механическим свойствам припой П14 (ПМФОБ-4), содержащие вместо кремния олово (3,5...4,5 %). Олово снижает температуру начала плавления припоя (температуру солидуса) до  $680^\circ\text{C}$ , полностью растворяется в меди и способствует сфероидизации частиц  $\text{Cu}_3\text{P}$ , входящих в эвтектику, что повышает пластичность сплава [19].

Добавки циркония, который является модификатором, в припой ПМФОЦр6-4-0,03 способствуют образованию благоприятной структуры припоя и повышает растворимость олова в меди. Припой ПМФОЦр6-4-0,03 обеспечивает более высокие пластические свойства соединений медных деталей, чем латунных, что обусловлено образованием на границе припой-медь пластичной диффузионной прослойки твердого раствора на основе меди. При пайке деталей из латуни такой прослойки не образуется, поэтому угол загиба соединений несколько ниже, чем у медных соединений. Рабочая температура при газопламенной пайке составляет  $700...720^\circ\text{C}$ .

При пайке отмечается хорошее заполнение капиллярных зазоров с образованием двухсторонней галтели при величине нахлестки в соединении 8...10 мм. При пайке припоем ПМФОЦр6-4-0,03 применяют значительно меньше флюса, чем при пайке серебря-

ным припоем ПСр-45, что приводит к резкому снижению брака по негерметичности. Высока вибростойкость и коррозионная стойкость припоя.

С использованием данного припоя можно паять хромосодержащие стали (12X18H9T) и композитные материалы после их электролитического покрытия медью. Толщина покрытия зависит от режима нагрева. Например, при температуре пайки до  $800^\circ\text{C}$  с выдержкой до 3 мин толщина медного покрытия должна составлять не менее 60 мкм [20]. При соблюдении такой толщины покрытия допускаемые ударные нагрузки на паяное соединение увеличиваются более чем на порядок и достигают значений, характерных для соединения медных деталей. Нанесение медного барьерного покрытия на поверхность стали позволяет расширить область применения медно-фосфорных припоев.

В ИЭС им. Е.О. Патона разработана технология изготовления медно-фосфорных припоев (ПМФ7, ПМФС6-0,15, ПМФОЦр6-4-0,03 и др.) в виде пластичных прутков проволоки, ленты, фольги методом термогидроэкструзии [21]. Характерными особенностями таких припоев являются сверхмелкое зерно, высокая степень диспергирования фазовых выделений, гомогенность, отсутствие ликваций, высокая плотность металла. Такая структура припоев, прошедших термомеханическую обработку, повышает их прочность и текучесть в два раза, а уровень пластичности – в четыре раза. Механические свойства припоев и паяных соединений отличаются высокой стабильностью. Предел прочности соединений на срез превышает аналогичный показатель соединений, паяных серебряными припоями. Надежность паяных соединений из меди и ее сплавов обусловили широкую область применения припоя на предприятиях машиностроения и приборостроения.

Припой ПМФОЦр6-4-0,03 широко применяют взамен серебряных припоев при изготовлении медных трубопроводов холодильной техники, определяющими эксплуатационными характеристиками которых являются вибростойкость и коррозионная стойкость паяных швов.

Коррозионная стойкость нахлесточных паяных соединений, выполненных припоем ПМФОЦр6-4-0,03, находится на уровне соединений, изготовленных с применением серебряных припоев. Для более высокой гарантии защиты от коррозии при эксплуатации холодильной техники в жестких атмосферных условиях рекомендуется окраска паяных швов.

При виброиспытаниях соединений, паяных с применением припоя ПМФОЦр6-4-0,03, они выдерживают вдвое больше циклических нагрузок, чем соединения, паяные припоями ПСр-45, ПСр-29, что обусловлено более низкой температурой плавления бес-





серебряного припоя и меньшей степенью разупрочнения медных деталей [22].

В настоящее время в ЗАО "Аларм" разработана и освоена технология получения пластичных лент и проволоки из хрупких припоев, в частности из припоев П14, ПМФО6-4 и ПМФОЦр6-4-0,03, методом высокоскоростного затвердевания расплава. Микроструктуры припоев, полученные этим методом, не отличаются друг от друга. Они представляют собой квазиэвтектику и состоят из пересыщенного твердого раствора фосфора и меди с равномерно распределенными в нем дисперсными частицами фосфора и меди. Такая структура обуславливает повышенную пластичность продукции и возможность дальнейшей ее механической обработки. Проволока и лента указанных припоев выдерживает изгиб на  $180^\circ$  несколько раз.

Высокие структурная и химическая однородность, дисперсность структуры, низкое содержание оксидных пленок на поверхности припоев обеспечивают однородность и мелкозернистость паяного шва с меньшим количеством пор и других дефектов, что сказывается на механических характеристиках паяных соединений.

Заполнение глубоких и протяженных паяльных зазоров при пайке обеспечивают заэвтектические медно-фосфорные припои с интервалом плавления порядка  $40^\circ$ . Этим условиям отвечает припой ПМФС<sub>у</sub> 92-6-2 [23]. Введение в припой 2 % сурьмы приводит к смещению точки эвтектики с 8,25 до 7,5 % фосфора. При этом образуемая тройная эвтектика имеет температуру плавления  $702^\circ\text{C}$ . Благодаря этому припой, содержащий 8,2 % фосфора, является заэвтектическим с температурным интервалом плавления

При использовании данного припоя практически исключается пористость в швах.

Припои ПМФС6-0,15 и ПМФОЦр6-4-0,03 имеют сходные технологические и механические свойства [24]. Оба припоя имеют одинаковую прочность при срезе и характеризуется одинаковой растекаемостью по меди. Второй припой имеет более высокий уровень сопротивляемости разрыву. Оба припоя имеют невысокий уровень ударной вязкости. Поэтому приведенные припои не рекомендуют к применению для пайки изделий, эксплуатируемых при ударных и значительных вибрационных нагрузках.

Повышение этих и других свойств паяных соединений обеспечивается при использовании композитных припоев на основе медно-фосфорных припоев. В ИЭС им. Е.О. Патона разработан новый композиционный припой на основе припоя ПМФС6-0,15, который представляет собой смесь порошков данного припоя, являющегося матрицей, флюса ПВ209 и наполнителя – порошка меди марки ПМС-Н [25]. Матрица определяет активность смачивания припоем паяемого металла и монолитность шва, а тугоплавкий наполнитель определяет его физико-химические свойства. При определенном соотношении матрицы и наполнителя в припое достигается максимальная прочность и ударная вязкость паяного соединения. Из зависимостей, представленных на рис. 6, видно, что увеличение содержания наполнителя (меди) в композиционном припое до 15 % приводит к повышению прочности паяного соединения на 10...12 % и ударной вязкости на 20...30 %. Температура пайки стыковых соединений при этом составляет  $700...750^\circ\text{C}$ , усилие сжатия – 1,5...3,0 МПа. Повышению прочности соединения способствует мелкозернистость структуры шва.

Порошковый припой ПМФС6-0,15 может служить не только матрицей высокотемпературного композиционного припоя, но и применяться в качестве наполнителя в композиционных легкоплавких припоях на основе оловянно-свинцовых сплавов [26]. Припой применяют в виде пасты из смеси легкоплавкого оловянно-свинцового припоя, замешанных на водном растворе хлористого цинка. Дисперсность частиц припоя составляет 140 мкм. Температура пайки газопламенной горелкой составляет  $200...250^\circ\text{C}$ . Максимальные значения прочности и ударной вязкости паяного соеди-

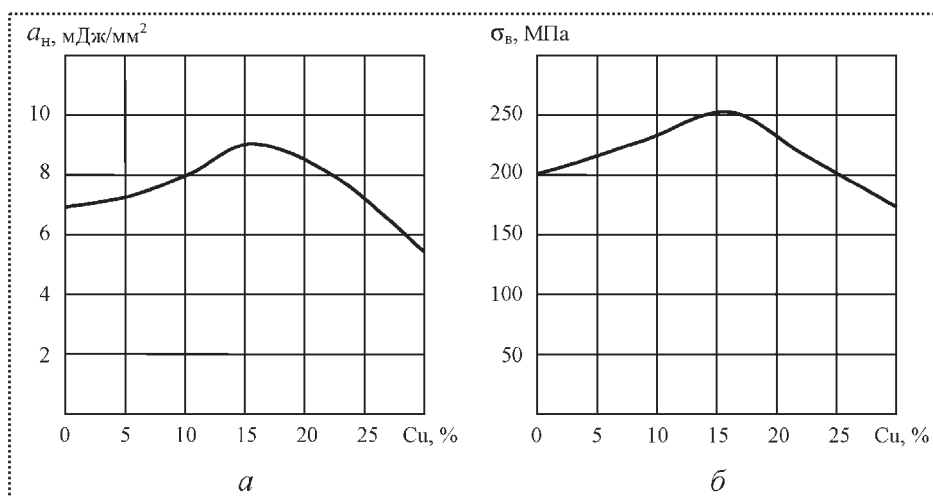


Рис. 6. Зависимость ударной вязкости  $a_n$  (а) и предела прочности  $\sigma_b$  (б) паяных соединений от состава припоя

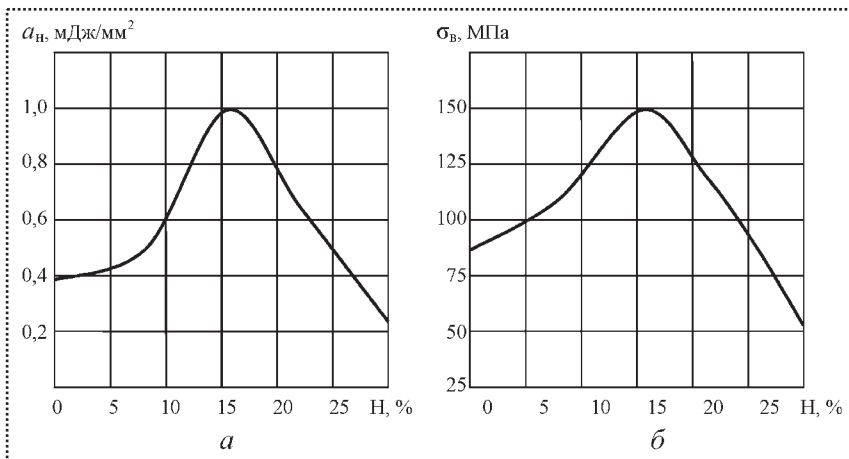


Рис. 7. Влияние содержания наполнителя (Н) в композитном припое на ударную вязкость  $a_n$  (а) и предел прочности  $\sigma_b$  паяного соединения

нения достигаются при содержании в припое 15 % наполнителя (рис. 7). При низкотемпературной пайке происходит некоторое растворение медной составляющей частиц наполнителя в расплаве оловянно-свинцовой матрицы. Нерастворенные частицы наполнителя равномерно распределяются в матрице, образуя множество дефектов в структуре шва, что способствует повышению сопротивления срезу.

В ИЭС им. Е.О. Патона определены широкие возможности такого композитного припоя, в котором матрицей служат оловянно-свинцовые припои ПОС 30, ПОС 40, ПОС 61 наполнителем ПМФС6-0,15. Такой припой можно использовать в широком интервале температур пайки – 200...850 °С [27].

Если при низкотемпературной пайке в интервале температур 230...260 °С введение в оловянно-свинцовый припой 12...20 % наполнителя (меди или медно-фосфорного припоя) вызывает повышение предела прочности медных соединений до 135 МПа, а ударной вязкости до 0,95 МДж/мм<sup>2</sup>, то при повышении температуры пайки от 300 до 700 °С отмечается резкое снижение показателей механических свойств медных соединений, что обусловлено образованием значительного количества хрупких интерметаллидов системы  $Cu_6Sn_5$  (до 400 °С) и  $Cu_3Sn$  (свыше 400 °С).

Дальнейшее повышение температуры пайки соединений меди до 800 °С вновь вызывает повышение предела прочности от 150 до 240 МПа, а ударной вязкости – от 2,7 до 8,0 МДж/мм<sup>2</sup> вследствие растворения интерметаллидов, устойчивых до 700 °С, и интенсивной диффузии меди в олово и олова в медь с образованием твердых растворов в виде дендритов на их основе с одновременным изменением структуры под воздействием модифицирующего влияния частиц фос-

фидов меди. Содержащиеся в расплаве свинец, фосфор и другие компоненты в результате сегрегации концентрируются по границам зерен и кристаллов.

При высокотемпературной пайке идет формирование мелкозернистой дендритной структуры на основе олова и меди. В процессе кристаллизации расплава свинец, не образующий твердых растворов с элементами припоя, в результате сегрегации выделяется на границах зерен и кристаллов. Избыток его имеет вид мелкодисперсных выделений по всему объему шва, что приводит к повышению выносливости соединения.

Композитные припои как при низкотемпературной, так и при высокотемпературной пайке обладают хорошей растекаемостью по поверхности меди и ее сплавам, их краевой угол смачивания близок к нулю, а их модифицирование поверхностно-активными элементами наполнителя снижает межфазную поверхностную энергию расплава.

Разработанные в ИЭС им. Е.О. Патона композитные припои на базе стандартных сплавов (припоев) систем олово–свинец и медь–фосфор применимы как для низкотемпературной, так и для высокотемпературной пайки меди и ее сплавов (латуни), а также стали и их различных сочетаний и обеспечивают высокие механические свойства соединений, являясь заменителями серебряных припоев. Применение композитных припоев позволяет осуществлять пайку изделий с большими паяльными зазорами, допускает быстрое охлаждение после пайки, обеспечивает возможность проведения ступенчатой и механизированной пайки.

Бронзы паяют с использованием тех же припоев и средств нагрева, что и латуни, но с учетом химического состава бронз. Перед пайкой латуней и бронз производят особенно тщательную обработку поверхности металла. Для высокотемпературной пайки бронз пригодны флюсы из буры, борного ангидрида, фторидов и фтороборатов, активизированные хлоридом цинка (менее 15 %). Подготовка к пайке бронз сводится к правильному определению необходимых флюсов и флюсующих сред, исходя из состава стойких оксидов, образуемых на поверхности бронз при пайке. Так при пайке алюминиевых и кремнистой бронз на их поверхности образуется оксидная пленка, трудноудаляемая с применением обычных флюсов. Бронзовые изделия перед пайкой необходимо обрабатывать во фтористо-водородной кислоте. При пайке оловянно-



но-свинцовыми припоями применяют активные флюсы с повышенным содержанием соляной кислоты. Рекомендуется предварительное флюсование поверхности алюминиевой бронзы смесью борной кислоты с хлористыми солями металлов. Для успешной высокотемпературной пайки этих бронз медно-цинковыми припоями во флюсы ПВ200, ПВ209, ПВ284 необходимо внести кремнефтористый натрий (10...20 %) или хлориды щелочных металлов.

Нагрев оловянистых бронз необходимо вести постепенно, из-за их склонности при высоких температурах к красноломкости.

Высокотемпературную пайку марганцовистых бронз осуществляют с использованием флюсов, в состав которых входят фторбораты и фториды щелочных металлов.

Бериллиевые бронзы паять значительно труднее, чем другие медные сплавы. Их пайку необходимо осуществлять немедленно после механической зачистки с использованием припоев на серебряной основе в сочетании с флюсами, в состав которых входят фтористые соли.

Медно-никелевые сплавы паяют аналогичными способами с применением ускоренного нагрева [15].

Наиболее широкое распространение в промышленности находит пайка меди и медных сплавов в печах, поскольку при этом обеспечивается равномерный нагрев паяемого изделия при, соответственно, равномерной деформации деталей, даже при больших габаритах изделий. При флюсовой печной пайке возможно получение негерметичных соединений, а остатки флюса являются источниками коррозии. Поэтому паяют медь и медные сплавы чаще всего в восстановительных или нейтральных газовых средах. Высокотемпературную пайку можно осуществлять в среде азота или аргона.

Высокотемпературную пайку в вакууме осуществляют при изготовлении ответственных медных изделий. Этот способ пайки достаточно экономичен, безопасен и проводится в вакуумных печах или контейнерах, загружаемых в обычные печи. Паяные швы, выполненные в условиях вакуума, отличаются чистотой исполнения, прочностью, надежной герметичностью и высокой коррозионной стойкостью.

Медь и медные сплавы (латунь, бронза) являются не только конструкционными материалами, но и могут выполнять роль припоев при пайке более тугоплавких металлов или являться их основой. Медь применяют при пайке стальных изделий, латунь — при пайке меди и стали. Бронзы также обладают свойствами припоя и хорошо взаимодействуют в расплавленном состоянии со сталью.

При заливке расплавом оловянной бронзы стального вкладыша при изготовлении подшипников

скольжения на границе контакта жидкого и твердого металлов происходит активное атомное взаимодействие разнородных металлов и протекает растворно-диффузионный процесс, формирующий паяное соединение. На границе взаимодействия металлов образуются ограниченные твердые растворы меди в железе и железа в меди, обладающие высокой пластичностью. При этом хрупкие интерметаллидные фазы не образуются, что обеспечивает образование соединений с высокими механическими и технологическими свойствами [28].

При заливке вкладыша расплавом бронзы одновременно протекают два совмещенных во времени процесса — формирование бронзового кольца и образование паяного соединения его со стальным вкладышем.

Бронзы имеют широкий температурный интервал плавления. Заливка вкладышей бронзой может производиться при различных температурах этого интервала. Однако если заливка происходит при температуре полного расплавления бронзы (1100 °С), то это приводит к росту зерна в стали и к проникновению бронзы по границам зерен в сталь, что может привести к образованию трещин. При такой высокой температуре заливку осуществляют только при изготовлении крупных биметаллических конструкций. Наиболее качественные соединения получают заливкой бронзой стальных деталей при температуре, несколько превышающей температуру солидуса бронзы. Образующаяся при таких температурах в объеме массы бронзы жидкая фаза вступает во взаимодействие со сталью, образуя биметаллическое паяное соединение.

При заливке подшипников в вакууме образующаяся легкоплавкая жидкая фаза бронзы хорошо смачивает сталь во всем температурном интервале плавления и затвердевания бронзы. Температурный интервал плавления алюминиевой бронзы БрОСН10-2-3 составляет 840...1020 °С. Максимальное растекание жидкой фазы бронзы достигается при температурах 840...860 °С. После изотермической выдержки в этом интервале температур образуется прочное и монолитное паяное соединение бронзы со сталью.

Процесс соединения бронзы со сталью несправедливо называется процессом сварки в твердо-жидком состоянии, ибо сварка предполагает расплавление соединяемого металла и перемешивание его расплава с расплавом присадочного металла. Способ пайки основан на растворно-диффузионном процессе между жидким и твердым металлами. Растворно-диффузионный процесс при заливке бронзы, находящейся в твердо-жидком состоянии, на сталь реализуется в узких приконтактных слоях соединяемых металлов (до 0,1 мм). Прочность соединения на разрыв составляет 265...284 МПа; разрушение происходит по бронзе.



Температура заливки большинства промышленных оловянно-свинцовых бронз составляет 850...900 °С, что совпадает с температурным режимом термообработки конструкционных сталей и позволяет процесс заливки совмещать с режимом закалки биметаллического изделия.

#### Библиографический список

1. **Осинцев Е.О.** Металловедение и термическая обработка меди и сплавов на ее основе. М., 1994.
2. **Никитский А.М.** Исследование технологических паяльных свойств хлоридов легкоплавких металлов // Сб. докладов Междунар. науч.-практ. конф. "Пайка—2005". Тольятти, 2005.
3. **Герасимов Е.А.** Разработка флюсов для низкотемпературной пайки меди и ее сплавов: дис. ... канд. техн. наук. Нижний Новгород, 2004.
4. **Температурные** области активности спиртовых и водных флюсов при пайке металлов оловянно-свинцовыми припоями / В.Р. Бойко и др. М.: МДНТН, 1967.
5. **Хлудов С.А.** Флюс для низкотемпературной пайки меди // Сварочное производство. 1992. № 1.
6. **Пайка металлов:** справочник / Под ред. И.Е. Петрунина. М.: Машиностроение, 2003.
7. **Лисицкий Б.С., Жиликов В.П.** Влияние легирующих добавок на свойства припоя на основе олова // Сварочное производство. 1982. № 5.
8. **Акимов В.И., Лашко С.В.** Активированные газовые среды с сухим паром для пайки меди и сплавов // Сварочное производство. 1985. № 6.
9. **Исследование** легкоплавкого композиционного припоя / Т.Х. Чормонов и др. Киев, 1983.
10. **Повышение** теплопрочности припоя ПОС 61 / Б.Н. Перевезенцев и др. // Сварочное производство. 2002. № 8.
11. **Фэн Лэй.** Исследование технологического процесса пайки безсвинцовым припоем с целью повышения надежности электронной аппаратуры: дис. ... канд. техн. наук. М., 2008.
12. **Проблемы** при применении базовых припоев в электронной промышленности / М. Новаттник и др. // Сб. докладов Междунар. науч.-практ. конф. "Пайка—2005". Тольятти, 2005.
13. **Перевезенцев Б.Н., Курамаев М.Н.** Безсвинцовые припои на основе олова // Сб. докладов Междунар. науч.-практ. конф. "Пайка—2005". Тольятти, 2005.
14. **Перевезенцев Б.Н., Курамаев М.Н.** Структура и свойства припоев системы с микролегированием // Сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. "Пайка—2008". Тольятти, 2008.
15. **Петрунин И.Е., Полякова В.М.** О механизме флюсования // Сб. докл. науч.-практ. конф. "Пайка в промышленности". М., 1967.
16. **Федоров В.Н.** Механические свойства двойных медно-фосфорных припоев // Сварочное производство. 1982. № 8.
17. **Бондарчук О.П.** Некоторые технологические свойства припоя ПМФС6-0,15 // Автоматическая сварка. 1983. № 4.
18. **Бондарчук О.П.** Исследование и разработка бессеребрянного высокотемпературного припоя и технологии пайки латуни: дис. ... канд.техн.наук. Киев, 1980.
19. **Свойства** соединений из меди и медных сплавов паяных припоем ПМФОЦр6-4-0,03 / И.И. Ильина и др. // Сварочное производство. 1983. № 1.
20. **Куфайкин А.Я.** Пайка меди со сталью медно-фосфорным припоем с применением медного барьерного покрытия // Автоматическая сварка. 1987. № 6.
21. **Пластичные** материалы на основе системы медь—фосфор / М.П. Прянишников и др. // Сб. докладов Междунар. науч.-практ. конф. "Новые достижения в области пайки". Киев: ИЭС им. Е.О. Патона, 1981.
22. **Исследование** соединений М3 и латуни Л63, паяных припоями ПМФОЦр6-4-0,03 и ПМФС6-0,15 на удар и ударный изгиб / В.А. Веселов и др. // Сварочное производство. 1982. № 5.
23. **Таволжанский С.А., Панов И.Н.** Влияние припоев системы медь—фосфор с сурьмой на структуру и технологические свойства медных сплавов // Сварочное производство. 2012. № 8.
24. **Пайка** меди М3 и латуни Л63 припоем ПМФОЦр6-4-0,03 / В.А. Веселов и др. // Сварочное производство. 1982. № 7.
25. **Бессеребрянный** среднеплавкий композиционный припой для пайки меди / Т.Х. Чормонов и др. // Автоматическая сварка. 1989. № 10.
26. **Легкоплавкий** композиционный припой на основе сплавов медь—фосфор, олово—свинец / Т.Х. Чормонов и др. // Автоматическая сварка. 1989. № 11.
27. **Аракелян С.Н.** Разработка композиционных припоев для пайки меди, ее сплавов и разнородных материалов: дис. ... канд. техн. наук. Киев, 1990.
28. **Малевский Ю.Б., Несмих В.С.** Сварка давлением бронзы со сталью. М.: Металлургия, 1981.

# ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА. ИСПЫТАНИЯ. КОНТРОЛЬ

УДК 004.32.2+004.04

Ю.В. Доронина, канд. техн. наук, доцент, В.Я. Копп, д-р техн. наук, профессор  
(Севастопольский национальный технический университет, Украина)  
E-mail: juvado@rambler.ru

## Построение и развитие системы контроля качества изделий сборочного производства

Рассмотрены принципы построения и совершенствования мониторинговой системы контроля качества изделий сборочного производства на основе итерационно-иерархической структуры с целью повышения эффективности их совершенствования.

Principles of construction and perfection of system the monitoring quality of adjustment production wares are examined on the basis of iteratively-hierarchical structure with the purpose of increase efficiency of their perfection.

**Ключевые слова:** сборочное производство, управление качеством, совершенствование систем, построение систем, реинжиниринг.

**Keywords:** frame-clamping production, quality management, perfection of the systems, construction of the systems, reengineering.

### Введение

Особенностью большинства современных автоматизированных сборочных систем (АСС) является многочисленность сборочных компонентов, входящих в состав производимой продукции, для доставки которых в технологическую зону требуется организовать большое число сходящихся материальных потоков, интенсивность каждого из которых зависит от

интенсивностей остальных. В таких условиях существенно увеличивается неопределенность функционирования сборочной системы в целом. Задача обеспечения ее надежности и, как следствие, — повышения качества изделий, — становятся в связи с этим чрезвычайно важными.

Система управления качеством в масштабе предприятия [1, 2] согласно международному стандарту по терминологии ИСО 8402–94 определяется по двум аспектам, изображенным на рис. 1.

Критерии качества по этапам изготовления сборочного соединения показаны на рис. 2. В стандарте ИСО 8402–94 говорится, что контроль — это деятельность, включающая проведение измерений, экспертизы, испытания или оценки одной или нескольких характеристик объекта и сравнение полученных результатов с установленными требованиями для определения, достигнуто ли соответствие по каждой из этих характеристик.

Таким образом, построение системы контроля качества изделий сборочного производства (СКК СП) является важным этапом комплекса работ по повышению эффективности сборочного производства в целом.

Целью статьи является представление метода построения СКК СП с возможностью дальнейшей эффективной реализации реинжиниринговых процедур для этой системы.

### Метод совершенствования системы контроля качества изделий

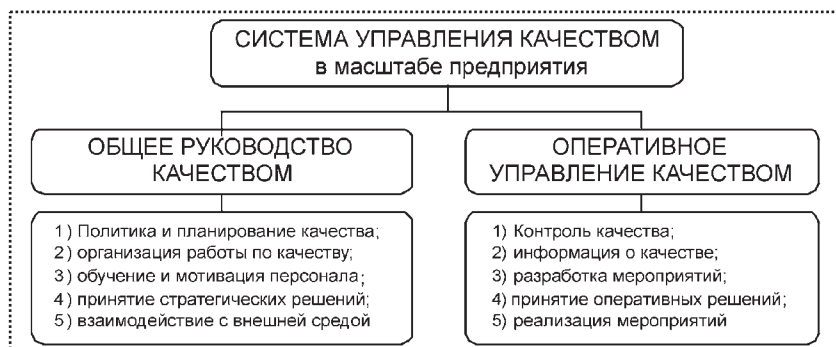


Рис. 1. Аспекты системы управления качеством в масштабе предприятия

При принятии решения о совершенствовании (развитии) сложной информационной системы необходима комплексная методология, связанная с возможностью гибкого реагирования на возникающие требования к этой системе в процессе ее функционирования. Важнейшим методом революционного совершенствования системы СКК СП является реинжиниринг. Под **реинжинирингом** информационной системы, в отличие от постепенного (эволюционного) совершенствования, понимаются интенсивные, рево-

<b>Проверяемые параметры, детали, процессы</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Конструкция сборочного соединения</li> <li>• Материалы</li> <li>• Заготовки деталей</li> <li>• Технологичность конструкций</li> <li>• Свойства рабочих поверхностей</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Технологическое оборудование</li> <li>• Режимы обработки</li> <li>• Отделочная обработка</li> <li>• Комплексная обработка деталей соединения</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Технологический процесс сборки</li> <li>• Сборочное оборудование</li> <li>• Технологическая наследственность</li> </ul>
<b>Этап</b>	Конструкционный	Изготовление деталей соединения	Сборка соединения
<b>Анализируемая категория</b>	Качество проектирования	Качество деталей	Качество сборки

Рис. 2. Содержание контроля формирования сборочного соединения

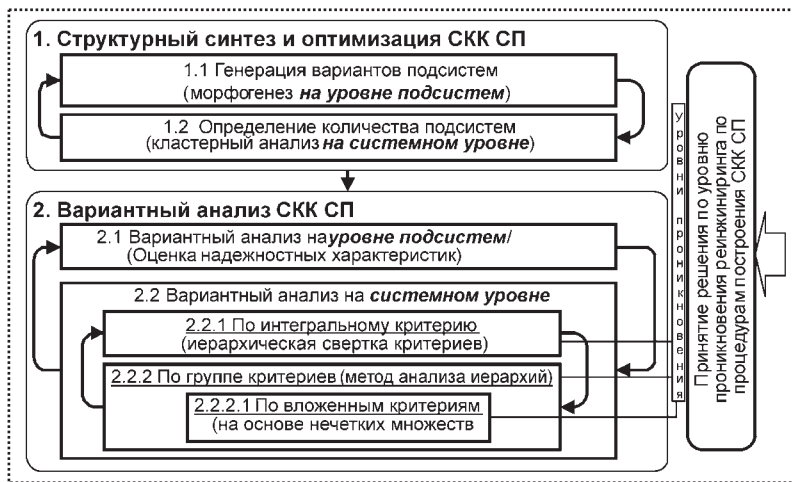


Рис. 3. Общая схема построения и совершенствования СКК СП

люционные процедуры совершенствования, вплоть до перепроектирования ее структуры. При этом важной проблемой является определение времени начала реинжиниринга и уровень проникновения по этапам

построения этой системы. На рис. 3 приведена общая схема построения и совершенствования СКК СП с функцией принятия решения по уровню соотношения реинжиниринговой процедуры с определенным этапом построения. Схема построения с возможностью дальнейшей эффективной реализации реинжиниринговых процедур имеет итеративную структуру с наличием множества точек входа по этапам проектирования и построения системы [3].

При постоянном потоке требований по совершенствованию СКК СП представляется необходимым осуществлять согласование и специфицирование требований, соотносить предполагаемый уровень проникновения процедур совершенствования с их классификацией, что позволит предварительно оценить целесообразность выбора требуемой процедуры построения СКК СП на горизонтальном и вертикальном уровнях.

### Определение параметров реинжиниринга СКК СП и выбор глубины (уровня) реинжиниринговых процедур

Для выбора глубины (уровня) проникновения реинжиниринговых процедур используют как количественные, так и качественные оценки. Важным фактором, определяющим глубину проникновения реинжиниринга, является коэффициент проникновения  $r$ , который связан с возможным уровнем автоматизации элемента системы в частности или системы в целом. Классификация уровней реинжиниринговых процедур изображена на рис. 4.



Рис. 4. Уровни реинжиниринга по глубине и факторам проникновения



Исходя из того, как соотносится поступившее требование с одной из классификационных групп, делают заключение о типе реализации реинжиниринговых процедур: от модификации структуры системы в целом до реализации требований к системе на уровне операций или на уровне прикладного программного обеспечения.

Адаптированная технология построения мониторинговой системы контроля качества сборочного производства с целью дальнейшего реинжиниринга во время функционирования представлена на рис. 5. Особенностью метода является возможность итеративного совершенствования на каждом уровне построения в частности и жизненного цикла системы в целом, включая обеспечение требования по реинжинирингу системы.

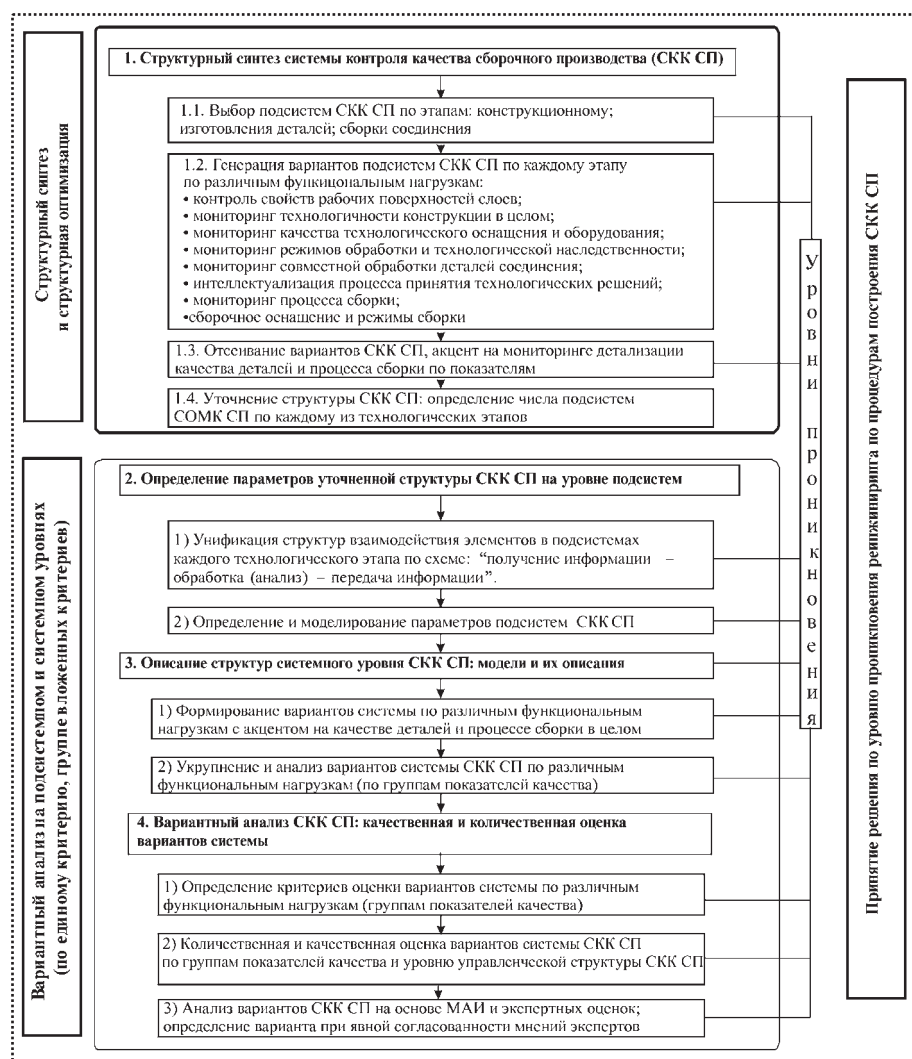


Рис. 5. Адаптированная информационная технология построения системы оперативного управления мониторингом качества сборочного производства

### Определение времени начала реинжиниринга для СКК СП

На основе предложенного в работе [3] метода оценки оптимального времени начала реинжиниринговых процедур для СКК СП рассмотрим следующий пример. Пусть изменение показателя эффективности системы во времени –  $E(t)$  представимо в виде:

$$E(t) = \begin{cases} Eh, & \text{при } t < t_m, \\ Eh \cdot e^{-k(t-t_m)}, & \text{при } t_m \leq t < t_r, \\ Eh \cdot r, & \text{при } t > t_r, \end{cases} \quad (1)$$

где  $Eh$  – значение интегрального показателя эффективности (ИПФ) системы на момент окончания разработки;

$k$  – коэффициент, отражающий темп морального старения;

$t_m$  – время начала морального старения;

$t_r$  – время начала реинжиниринга системы.

Изменение  $k$  обусловлено интенсивностью постоянного совершенствования системы. На рис. 6 показано изменение показателя эффективности системы. На первом отрезке  $E(t) = \text{const}$ , это тот период функционирования системы, когда эффективность системы мало отклоняется (или слабо падает) от значения показателя эффективности системы на момент окончания ее разработки и внедрения в производство. На отрезке  $t \geq t_m$  показатель эффективности падает и определяется в общем случае как  $Eh \cdot e^{-k(t-t_m)}$ . Третий отрезок соответствует периоду реинжиниринга  $Er$ , который характеризует повышение ИПФ в процентах по отношению к исходной эффективности системы  $Eh$  ( $r$  – коэффициент эффективности реинжиниринга, ограниченный возможным уровнем автоматизации системы).

Теоретический диапазон гибкости реинжиниринга  $R_\Delta$  оценивается как площадь треугольника  $S_{\Delta ABC}$ :

$$R_\Delta = S_{\Delta ABC} = \frac{1}{2}(Eh - E^*)(t_r^* - t_m).$$

Для случая представления эксплуатационных расходов  $C_{\text{экс}}(t)$  линейной зависимостью  $C_{\text{экс}}(t) = C_1 [1 + \alpha(t-1)]$  экономически оптимальный срок эксплуатации системы  $t_{\text{opt}} = t_r^*$  определяется как

$$\frac{\alpha C_1}{C_0} = \frac{\ln^2(1+q)}{\sqrt{1+q} t_{\text{opt}} \ln(1+q) + e^{-t_{\text{opt}} \ln(1+q)}},$$

где  $\alpha$  – регулярный прирост эксплуатационных расходов;

$C_1$  – стоимость эксплуатации системы;

$C_0$  – приведенные к началу эксплуатации расходы на разработку, производство, установку системы;

$q$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, с помощью которого производится приведение разновременных затрат ( $q > 0$ ) [4].

При линейном возрастании эксплуатационных расходов

$$t_r^* = \sqrt{\frac{2C_0}{\alpha C_1}}, \quad (2)$$

поэтому окончательно получим

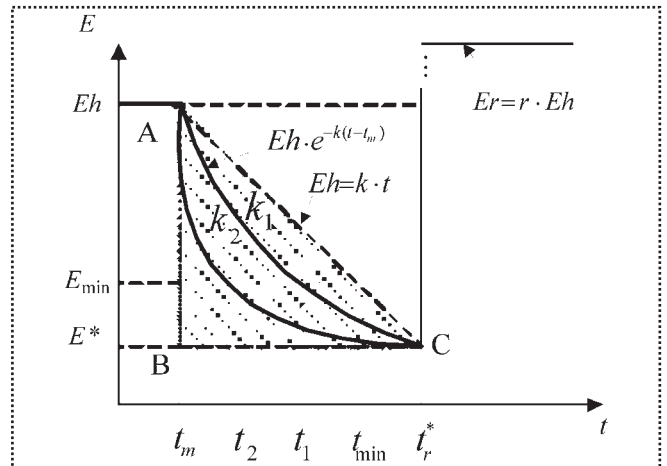
$$R_{\Delta} = S_{\Delta ABC} = \frac{1}{2} (Eh - E^*) \left( \sqrt{\frac{2C_0}{\alpha C_1}} - t_m \right), \quad (3)$$

где  $E^*$  – предельное значение ИПФ системы, ниже которого ее функционирование не имеет эффекта.

Физически величина  $S_{\Delta ABC}$  представляет собой количественно определенную гибкость реинжиниринга, т.е. возможность варьирования характеристик эффективности системы на основе вложения умственных, материальных и технических средств.

Верхняя часть треугольника, определяющего теоретический диапазон гибкости, ограничена экспонентой и определяет фактический диапазон гибкости (на рис. 6 – заштрихованная часть). Время начала реинжиниринга в общем случае определяется при условии, что  $E_{\text{min}} \geq E^*$ . В этом диапазоне снижения ИПФ по графику на рис. 6 отмечается точка пересечения текущего ИПФ  $E_i$  и экспоненты с соответствующим  $k_i$ , определяя целесообразное время начала реинжиниринга  $t_r$ . Для сложной системы с четким структурным дифференцированием уместно оценивать  $E_{\text{min}}$  для каждой структурной единицы.

Анализ графика, представленного на рис. 6, показывает, что при отсутствии постоянного совершенствования темп морального старения интенсивно снижает ИПФ системы, причем время начала реинжиниринга должно быть сдвинуто на более ранний период, и напротив, при постоянном совершенствовании коэффициент  $k$  снижается (экспонента спрямляется), и



**Рис. 6. Схема реализации модели совершенствования системы:**  $k_1, k_2$  – коэффициенты, отражающие темп морального старения системы, так как получены две экспоненты при подстановке во второе уравнение системы (1);  $t_1, t_2$  – соответствующие значения времени начала интенсивного совершенствования системы при определенном ИПФ  $E_{\text{min}}$ ;  $E_{\text{min}}$  – минимальный допустимый уровень показателя эффективности системы (определяется конкретными типами СКК СП);  $t_{\text{min}}$  – время начала интенсивного совершенствования системы при данном  $E_{\text{min}}$ ;  $t_r^*$  – предельно возможное время начала реинжиниринга, при котором ИПФ системы предельно минимален ( $E^*$ )

при выполнении условия  $E_{\text{min}} \geq E^*$  при том же коэффициенте роста повышает  $E_r$  по отношению  $Eh$ .

Анализ выражения (2) показывает, что при стоимости эксплуатационных расходов  $C_1$ , равной  $C_0$ , и при приросте этих расходов на величину  $\alpha$  время  $t_r^*$  значительно меньше, чем при условии, когда  $C_1 \ll C_0$ . Следовательно, рациональное вложение средств на совершенствование целесообразно в рамках постоянного совершенствования, когда затраты на этот вид деятельности сопоставимы или мало отличны от стоимости эксплуатации системы.

Коэффициент совершенствования системы для предельного времени начала реинжиниринга системы оценивается как  $Eh \cdot e^{-k(\Delta t)} \rightarrow Eh + k \cdot \Delta t$ , при  $t_m \leq t < t_r$ , т.е. из уравнения прямой получим:

$$k_0 = \frac{E^* - Eh}{t_r^*} = (E_{\text{min}} - Eh) / \sqrt{\frac{2C_0}{\alpha C_1}}. \quad (4)$$

Для  $t_m = 1,5$  года (время устаревания версий программного обеспечения ПО)  $Eh = 0,9$ ;  $E^* = 0,5$ ;  $C_0 / C_1 = 10$ ;  $\alpha = 5 \rightarrow t_r^* = 2$  года;  $k_0 = -0,2$ . В таблице приведены расчеты предельного времени начала реинжиниринга при тех же исходных данных в зависимости от эксплуатационных расходов  $\alpha$ .





### Расчеты предельного времени начала реинжиниринга

$\alpha$	$k_0$	$t_r^*$ , год	$R_\Delta$ , ИПФ · год
0,5	-0,063	6,3 (75 мес.)	1265
1,0	-0,089	4,5 (54 мес.)	894
5,0	-0,200	2,0 (24 мес.)	400
10,0	-0,230	1,7 (20 мес.)	282
50,0	-0,630	0,63 (7,5 мес.)	126

### Заключение

На основе анализа структуры и задач сборочного производства показана адаптированная информационная технология построения и развития мониторинговой системы контроля качества изделий сборочного производства, представлен метод определения интенсивности постоянного совершенствования СКК СП, дана количественная оценка диапазона гибкости (диапазона времени начала и уровня проникновения) реинжиниринга. При интенсивном росте эксплуатационных расходов

значительно сокращается время на эволюционное совершенствование системы и требуется более раннее начало реинжиниринга.

В дальнейшем на основе экспериментальных данных о статистике требований по совершенствованию СКК СП предполагается классифицировать возможные требования по предполагаемому времени их реализации, что позволит получить спецификацию предварительных оценок возможных ситуаций при развитии СКК СП.

### Библиографический список

1. Копп В.Я., Обжерин Ю.Е., Песчанский А.И. Моделирование автоматизированных линий. Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2006. 240 с.
2. Копп В.Я., Обжерин Ю.Е., Песчанский А.И., Чуб О.П. Моделирование перенастраиваемых автоматизированных производственных систем. Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2007. 232 с.
3. Доронина Ю.В. Реинжиниринг мониторинговых информационных систем циклического типа // Східно-європейський журнал передових технологій. Харків. 2012. № 1/2 (55). С. 12–14.
4. Киселев О.И., Остапенко С.Н. Метод определения предельно допустимых временных параметров жизненного цикла РЭС // Радиотехника. 1997. № 5. С. 64–67.

УДК 658.562

В.Н. Бойкачёв, В.В. Хоменко, канд-ты техн. наук  
(Научно-технический инновационный центр "ТЕХКОМ", Москва)  
E-mail: Techcom.space@gmail.com

## Разработка основных принципов интегрированного управления качеством конструкторско-технологических решений на всех стадиях жизненного цикла радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов

Дано обоснование понятия интегрированного управления качеством и разработаны его основные принципы на примере базовых конструкторско-технологических решений радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов.

Integrated quality management substantiation is submitted. And its basic principles are developed using basic design and technological solutions of spacecraft electronic equipment.

**Ключевые слова:** конструкторско-технологические решения, радиоэлектронная аппаратура, основные принципы интегрированного управления качеством.

**Keywords:** engineering and design solutions, avionics, outline quality data control.

Под *интегрированным управлением качеством* конструкторско-технологических решений (КТР) подразумевается постоянно действующая комплексная сис-

тема принятия решений по качеству с одновременным рассмотрением их конструкторских и технологических аспектов, включая базовые технологические процессы производства. Такой подход создает инновационную среду, в которой принимаются прогрессивные КТР. Для отечественного космического приборостроения данный подход очень важен ввиду высоких темпов научно-технического прогресса в мировой микроэлектронике и отставания в этой области отечественной космической промышленности.

Все многообразие вариантов принятия прогрессивных КТР в процессе менеджмента качества, направленных на создание и производство изделий более высокого качества, сведем к следующим случаям.

1. Создание новой (модернизированной) конструкции прибора на основе отработанной технологии производства. В качестве примера приведем работы, выполненные АНО "НТИЦ "ТЕХКОМ" по созданию радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) для космиче-



ского аппарата (КА) "Фобос-Грунт". За относительно короткий период времени для данного КА было поставлено 150 приборов 42 типов, из которых 22 типа прибора – в летном исполнении, включая бортовую цифровую вычислительную машину (БЦВМ), блок управления остронаправленной антенной мирового уровня, два блока управления роботами-манипуляторами и другие приборы. Выполнение такого большого объема работ стало возможным благодаря наличию хорошо отработанных базовых технологий производства и высокого уровня унификации и стандартизации КТР.

2. Создание новой конструкции прибора на основе применения и освоения принципиально новой технологии производства. Так, в ОАО "РКС" был создан навигационный электронный модуль системы "ГЛОНАСС" – "Геос-3". В производстве данного модуля объединены передовые технологии "Система на кристалле" на основе ядра ARM7 и "Система в корпусе". Благодаря внедрению данных технологий было создано изделие мирового уровня качества [1].

3. Перевод имеющихся схмотехнических и частично конструктивных решений РЭА на новые технологии производства, например, технологии с применением кремниевых многокристальных модулей на подложке. При этом происходит повышение качества как конструктивных, так и технологических решений.

Другим примером подобного рода является внедрение высокоэффективной технологии производства рельефных печатных плат. Во многом благодаря этой технологии аппаратура, выпускаемая АНО "НТИЦ "ТЕХКОМ", имеет рекордно низкие в России габаритно-массовые характеристики, так как она позволяет повысить плотность монтажа электрорадиоизделий (ЭРИ).

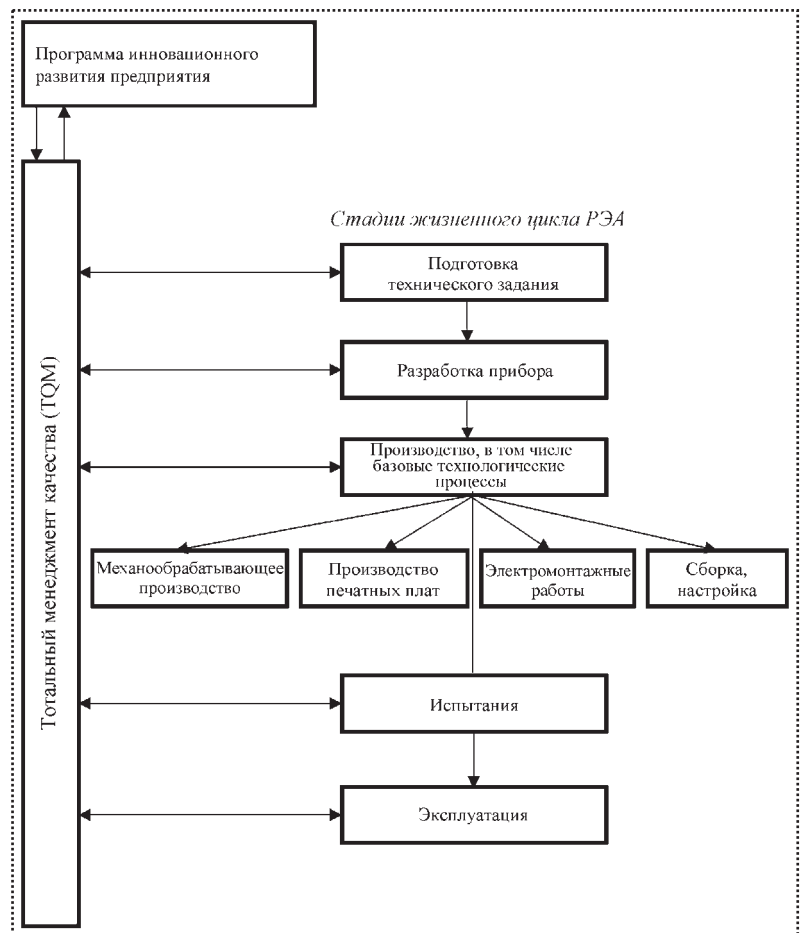
4. Внесение в изготавливаемый прибор незначительных изменений, например, связанных со снятием с производства отдельных ЭРИ, которые не приводят к существенному повышению качества изделий. Пример такого подхода – БЦВМ "Бисер-6" и др. С точки зрения принципов управления качеством продукции на всех стадиях жизненного цикла (total quality management – TQM) данный пример является отрицательным, так как указанное изделие выпускается уже ряд лет и морально устарело. В ходе его производства устаревала не только конструкция, но и технологии, менялись кадры, которые рано или поздно могут утратить опыт создания новых

прогрессивных конструкций и технологий производства РЭА.

Из указанных примеров следует, что в современном космическом приборостроении принципы TQM, т.е. интегрированного управления качеством продукции, при создании и внедрении прогрессивных КТР должны дифференцироваться и детализироваться под задачи, решаемые в конкретных случаях конструкторскими и технологическими подразделениями предприятия. Наиболее общими из них являются следующие.

**1. Принцип интегрированного подхода.** Решения в области управления качеством продукции принимают и реализуют параллельно на всех стадиях жизненного цикла изделий, а на стадии производства – по всем базовым технологиям производства РЭА на основе системного подхода – п. 3.2.3 стандарта ИСО 9000:2005, что указано на рисунке.

В отличие от действующего порядка [2], в настоящей работе в стадии жизненного цикла, охватываемые интегрированным управлением качеством кон-



Принцип интегрированного подхода к менеджменту качества РЭА



структурско-технологических решений, включена стадия подготовки технического задания [3].

**2. Принцип создания инновационной среды.** В США, Японии, технически развитых странах Европы, включая "космические державы", инновационная среда является естественной средой, в которой работают компании, создающие и производящие высокотехнологичную продукцию. При этом инновационный подход поддерживается высоким уровнем конкуренции на национальном и мировом рынках космических услуг. В космической промышленности России такая среда в силу ряда причин пока не сформирована. Одной из главных причин сложившегося положения является отсутствие конкуренции, так как предприятия этой отрасли со времени ее основания работают в основном на средства государственного бюджета.

В целях создания инновационной среды предприятия должны активно развивать инновационную деятельность. *Инновационная деятельность* – вид деятельности, связанный с трансформацией идей (обычно результатов научных исследований и разработок либо иных научно-технических достижений) в технологически новые или усовершенствованные продукты или услуги, внедренные на рынке, в новые или усовершенствованные технологические процессы или способы производства (передачи) услуг, использованные в практической деятельности. Инновационная деятельность предполагает целый комплекс научных, технологических, организационных, финансовых и коммерческих мероприятий, которые в совокупности приводят к инновациям, включая создание и производство продукции нового качества.

Инструментом планирования инноваций является программа инновационного развития (ПИР). Порядок разработки ПИР и требования по ее содержанию впервые были сформулированы в "Рекомендациях по разработке программ инновационного развития акционерных обществ с государственным участием, государственных корпораций и федеральных государственных унитарных предприятий", утвержденных решением Правительственной комиссии по высоким технологиям и инновациям от 03.08.2010.

**3. Принцип поддержки инновационной среды по схеме "прогноз—программа—план".** Данный принцип показал высокую эффективность в плановой экономике. В настоящее время он начал возрождаться в виде разрабатываемой программы развития космической деятельности России до 2030 г., а также началом (с 2011 г.) формирования на ряде предприятий с государственным участием программ инновационного развития. Этот подход отражен в п. 3.2.9 стандарта ИСО 9000:2005 (планирование качества).

**4. Принцип опережающего развития технологии производства.** Когда новая технология производства РЭА разработана, конструкторам значительно проще создавать изделия высокого качества со значительно улучшенными функциональными характеристиками. Более того, этот принцип при наиболее полной его реализации позволяет свести в перспективе все многообразие возможных случаев принятия новых КТР к случаю № 1, который, как видно из приведенного ранее примера, позволяет наиболее эффективно (по срокам, затратам, себестоимости, производительности труда) решать задачи создания новых, конкурентоспособных изделий космического приборостроения.

**5. Принцип эффективности конструкторско-технологических решений.** Эффективность КТР оценивается системой технико-экономических показателей (ТЭП), которая включает технические показатели качества РЭА, такие как функциональные свойства аппаратуры, надежность и т.д., а также экономические (потребность в капитальных вложениях, себестоимость изготовления прибора и др.).

Внедрение новых технологий в производство электронных приборов часто требует больших затрат, что не всегда оправданно. К так называемым затратным технологиям создания и производства РЭА относятся и технологии с использованием кремниевых кристалльных модулей. Поэтому перед принятием решений о качестве КТР необходимо провести их тщательный технико-экономический анализ. Так, например, создание упомянутого ранее модуля "Геос-3" потребовало больших затрат на подготовку и отработку производства. Однако в условиях его массового производства затраты должны окупиться.

Данный пример иллюстрирует применение одного из основополагающих принципов менеджмента качества (принципа эффективности), указанного в стандарте ИСО 9000: 2005 (п. 3.2.15).

#### Библиографический список

1. Урличич Ю.М. Для покорения космоса необходимы передовые технологии // Наука и технологии в промышленности. 2012. № 1. С. 66–70.
2. Методические указания по внедрению технологий инновационной поддержки создания бортовой радиоэлектронной аппаратуры ракетно-космической техники на всех стадиях жизненного цикла. РД 134-0184–2010. М., 2010.
3. Бойкачев В.Н., Хоменко В.В. Управление качеством на стадии разработки технического задания на создание бортовой радиоэлектронной аппаратуры космического аппарата // Информатизация и связь. 2012. № 7. С. 54–56.

УДК 621.717

**М.Н. Сорокин**, д-р техн. наук, профессор, **Ю.Н. Ануров**, инженер  
(Московский государственный вечерний металлургический институт)  
E-mail: ayn2001@mail.ru

## Выбор полей допусков сопрягаемых параметров при селективной сборке изделий типа "вал-втулка"

*Разработаны основные принципы выбора полей допусков сопрягаемых параметров при селективной сборке изделий типа "вал-втулка" по методу межгрупповой взаимозаменяемости. В качестве критерия при выборе полей допусков сопрягаемых параметров выбрано минимальное значение допуска на параметр сопряжения. Рассмотрен ряд модельных примеров.*

*Main principles of a choice of fields of admissions of interfaced parameters are developed at selective assemblage of products of type "shaft-plug" on a method of intergroup interchangeability. As criterion at a choice of fields of admissions of interfaced parameters the minimum value of the admission on interface parameter is chosen. A number of modeling examples is considered.*

**Ключевые слова:** селективная сборка, задача комплектования, сопрягаемый параметр, параметр сопряжения, метод межгрупповой взаимозаменяемости, допуск на параметр сопряжения, поле допуска параметра сопряжения, моделирование задачи комплектования.

**Keywords:** selective assembling, acquisition problem, interfaced parameter, interface parameter, method of intergroup interchangeability, admission on interface parameter, tolerance zone of parameter of interface, modeling of a problem of acquisition.

Селективную сборку применяют для получения высокоточных сопряжений в изделиях. Высокая точность сопряжений при селективной сборке изделий обеспечивается при выполнении следующих условий:

- реализация селективной сборки изделий должна выполняться по методу межгрупповой взаимозаменяемости [3, 4];
- задача комплектования при селективной сборке изделий должна быть представлена как задача Монжа–Канторовича с индикаторной функцией стоимости [3, 4];
- длина селективных интервалов должна быть минимальной [5, 6, 8];

- для решения задачи комплектования должен быть применен метод целенаправленного суммирования [7];

- критерием выбора полей допусков сопрягаемых параметров должно быть минимальное значение допуска на параметр сопряжения;

- технологический процесс получения сопрягаемых параметров должен быть точным и стабильным.

Если первые четыре условия были рассмотрены в работах [3–8], то в данной статье рассмотрены основные принципы выбора полей допусков сопрягаемых параметров при реализации селективной сборки изделий типа "вал-втулка" по методу межгрупповой взаимозаменяемости.

Для выбора полей допусков сопрягаемых параметров необходимо проводить расчеты для каждого конкретного случая реализации селективной сборки изделий типа "вал-втулка".

Введем необходимые обозначения и определения. Значения сопрягаемых параметров и параметра сопряжения будем рассматривать в относительной системе полей допусков.

Пусть:

$x_i$  – сопрягаемый параметр детали (вала и втулки),  $i = 1, 2$ . В дальнейшем индекс  $i$  принимает только эти два значения;

$\delta x_i$  – поле допуска сопрягаемого параметра  $x_i$ ;

$\Delta x_i$  – допуск на сопрягаемый параметр  $x_i$ ;

$\xi_j$  – случайная величина, принимающая значение сопрягаемого параметра  $x_i$  на поле допуска  $\delta x_i$ ;

$f_i(x_i)$  – функция распределения плотности вероятностей случайной величины  $\xi_i$ , принимающей значения сопрягаемого параметра  $x_i$ ;

$N(\mu_i, \sigma_i^2 / [-a, +a])$  – нормальная усеченная случайная величина, которая определена и нормирована на отрезке  $[-a, +a]$ ;

$ED / [-b, +b]$  – равномерно распределенная случайная величина, которая определена на отрезке  $[-b, +b]$ ;

$P_{\text{соб}}$  – собираемость изделий при решении задачи комплектования;

$R$  – параметр сопряжения  $R = x_1 - x_2$ ;



$\eta$  – случайная величина, принимающая значения параметра сопряжения  $R$  на поле допуска  $\delta R$ ;

$\Phi(R)$  – функция распределения плотности вероятностей случайной величины  $\eta$ , принимающая значения сопрягаемого параметра  $R$ ;

$\Delta R$  – допуск на параметр сопряжения,  $\Delta R = R_2 - R_1$ , где  $R_1$  и  $R_2$  – минимальное и максимальное значения параметра сопряжения  $R$ ;

$\delta R$  – поле допуска параметра сопряжения  $R$ ,  $\delta R = [R_1, R_2]$ ;

$\delta R_k$  – минимальное значение поля допуска  $\delta R$  параметра сопряжения  $R$ , при котором обеспечивается полная собираемость изделий, т.е.  $P_{\text{собр}} = 1$ ;

$\Delta R_k$  – минимальное значение допуска  $\Delta R$  на параметр сопряжения  $R$ , при котором обеспечивается полная собираемость изделий, т.е.  $P_{\text{собр}} = 1$ .

В части определения максимального числа сборочных комплектов задача комплектования при селективной сборке изделий по методу межгрупповой взаимозаменяемости является задачей Монжа–Канторовича с индикаторной функцией стоимости. Однако при решении задачи комплектования возникает необходимость определения случайной величины  $\eta$ , значениями которой являются значения параметра сопряжения  $R$ . Поэтому необходимо определить поле допуска  $\delta R$  параметра сопряжения  $R$ , т.е. отрезок  $\delta R = [R_1, R_2]$ , и функцию распределения  $\Phi(R)$  параметра сопряжения  $R$ .

Для нахождения функции распределения  $\Phi(R)$  параметра сопряжения  $R$  при решении задачи комплектования поступим следующим образом (рис. 1). Считаем, что исходные данные  $\delta x_i$  и  $f_i(x_i)$  для задачи комплектования известны. Для решения задачи комплектования применим метод полного целенаправ-

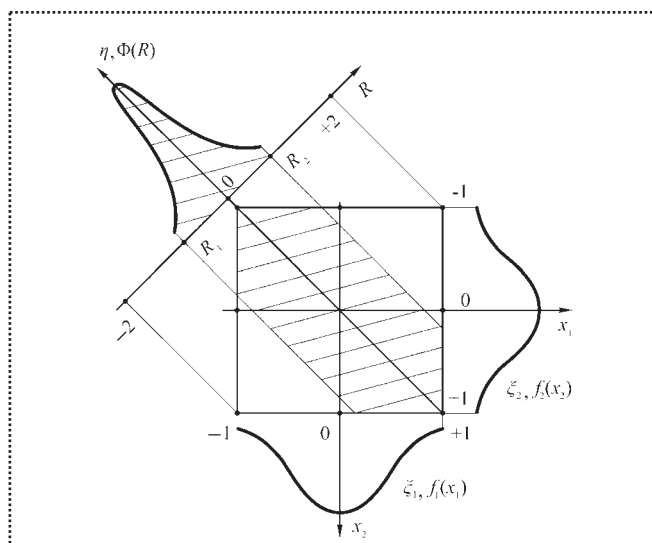


Рис. 1. Схема построения случайной величины  $\eta$

ленного суммирования [7]. Данный метод обеспечивает полную собираемость изделий,  $P_{\text{собр}} = 1$ . Решением дискретной задачи комплектования является совокупность возможных путей комплектования и относительное число сборочных комплектов на них [5]. Каждый возможный путь комплектования определяет одно из дискретных значений случайной величины  $\eta$ . Если мы просуммируем относительное число сборочных комплектов на возможных путях комплектования, являющихся решениями задачи комплектования и определяющих одно из дискретных значений случайной величины  $\eta$ , то получим вероятность, с которой случайная величина  $\eta$  принимает это значение. Таким образом, мы построим функцию распределения  $\Phi(R)$  и поле допуска  $\delta R = [R_1, R_2]$  параметра сопряжения  $R$ .

В теории точности и функциональной взаимозаменяемости существуют *прямая задача* – задача определения полей допусков параметров сопряжения, и *обратная задача* – задача определения полей допусков сопрягаемых параметров.

При селективной сборке изделий по методу межгрупповой взаимозаменяемости прямой задачей для изделий типа "вал-втулка" является задача определения поля допуска  $\delta R$  параметра сопряжения  $R$ , если известны поля допусков  $\delta x_i$ , функции распределения  $f_i(x_i)$  сопрягаемых параметров  $x_i$  и обеспечивается условие полной собираемости изделий,  $P_{\text{собр}} = 1$ .

При решении прямой задачи – задачи определения поля допуска  $\delta R$  параметра сопряжения  $R$  методом полной взаимозаменяемости, не требуется знания функций распределения  $f_i(x_i)$ . В этом случае полная собираемость изделий обеспечивается автоматически. Прямая задача при селективной сборке изделий по методу межгрупповой взаимозаменяемости является задачей комплектования. Исходными данными для задачи комплектования являются величины  $\delta x_i$ ,  $f_i(x_i)$ , а решением задачи комплектования – величины  $\Phi(R)$ ,  $\Delta R$ ,  $\delta R$  и  $P_{\text{собр}}$ .

Прямая задача при селективной сборке, т.е. задача комплектования, обладает некоторыми свойствами. Рассмотрим эти свойства.

При рассмотрении свойств задачи комплектования будем применять метод полного целенаправленного суммирования. Интервал дискретизации при этом будет равен 0,01. Длину селективного интервала выберем равным 0,01.

**Свойство 1.** При применении метода полного целенаправленного суммирования для решения задачи комплектования обеспечивается полная собираемость изделий,  $P_{\text{собр}} = 1$ . Данное свойство было сформулировано в работе [7].

**Свойство 2.** При применении метода полного целенаправленного суммирования для решения задачи



комплектования обеспечивается не только полная собираемость изделий,  $P_{\text{соб}} = 1$ , но и допуск  $\Delta R$  на параметр сопряжения  $R$ , при котором обеспечивается полная собираемость, будет минимальным, т.е.  $\Delta R = \Delta R_k$ .

Доказательство свойств 1 и 2 вытекает из сути метода полного целенаправленного суммирования.

**Свойство 3.** Если функции распределения  $f_i(x_i)$  сопрягаемых параметров  $x_i$  являются симметричными относительно оси ординат, то функция распределения  $\Phi(R)$  параметра сопряжения  $R$ , полученная в результате решения задачи комплектования, также будет симметричной относительно оси ординат. Поле допуска  $\delta R$  параметра сопряжения  $R$  будет симметрично относительно начала координат.

Рассмотрим модельный пример 1.

Исходными данными для задачи комплектования являются случайные величины:

$$\xi_1 \sim N(\mu_1, \sigma_1^2) / [-1, +1], \quad \mu_1 = 0, \quad 6\sigma_1 = 2;$$

$$\xi_2 \sim N(\mu_2, \sigma_2^2) / [-1, +1], \quad \mu_2 = 0, \quad 6\sigma_2 = 2,4.$$

Решением задачи комплектования будут полученные значения функции распределения  $\Phi(R)$  в зависимости от значения параметра сопряжения  $R$  для симметричных случайных величин  $\xi_1$  и  $\xi_2$ :

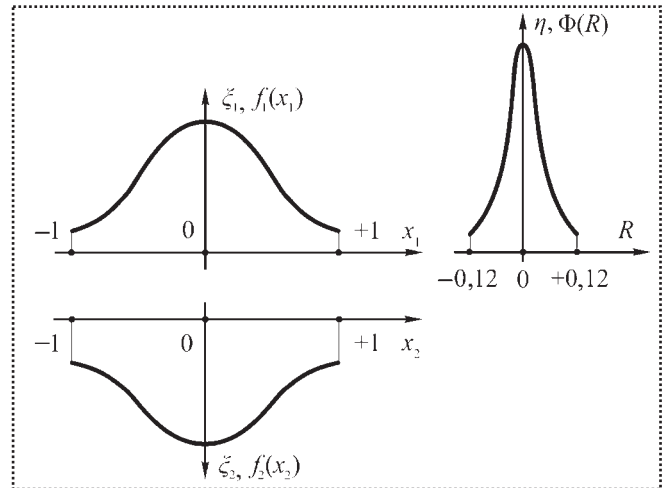


Рис. 2. Изменение функции распределения  $\Phi(R)$  в зависимости от параметра сопряжения  $R$  для симметричных случайных величин  $\xi_1$  и  $\xi_2$

Анализ результатов, представленных в модельном примере 2, показывает, чем "ближе" функции распределения  $f_i(x_i)$  сопрягаемых параметров  $x_i$  друг к другу, тем меньше допуск  $\Delta R_k$  на параметр сопряжения  $R$ .

Рассмотрим модельный пример 3.

$R$ . . . . .	-0,12	-0,10	-0,08	-0,04	-0,02	0	0,02	0,04	0,08	0,10	0,12
$\Phi(R)$ . . . . .	0,002	0,052	0,069	0,106	0,121	0,126	0,121	0,106	0,069	0,052	0,002

Изменение функции распределения  $\Phi(R)$  в зависимости от параметра сопряжения  $R$  представлено на рис. 2.

Данные моделирования подтверждают свойство 3. Рассмотрим модельный пример 2.

Исходными данными для задачи комплектования являются случайные величины:

$$\xi_1 \sim N(\mu_1, \sigma_1^2) / [-1, +1], \quad \mu_1 = 0, \quad 6\sigma_1 = 2;$$

$$\xi_2 \sim N(\mu_2, \sigma_2^2) / [-1, +1], \quad \mu_2 = 0, \quad 6\sigma_2 = 2b.$$

Решением задачи комплектования являются значения поля допуска  $\delta R$  параметра сопряжения  $R$  в зависимости от значения параметра  $b$  случайной величины  $\xi_2$ :

$6\sigma_2 = 2b$ . . . . .	2,0	2,4	3,0	4,0	5,0
$\delta R_k$ . . . . .	[0,0]	[-0,14, +0,14]	[-0,22, +0,22]	[-0,30, +0,30]	[-0,36, +0,36]

Изменение допуска  $\Delta R_k$  в зависимости от параметра  $b$  случайной величины  $\xi_2$  представлено на рис. 3.

Исходными данными для задачи комплектования являются случайные величины:

$$\xi_1 \sim N(0, \sigma_1^2) / [-a, +a], \quad 6\sigma_1 = 2a;$$

$$\xi_2 \sim ED / [-a, +a].$$

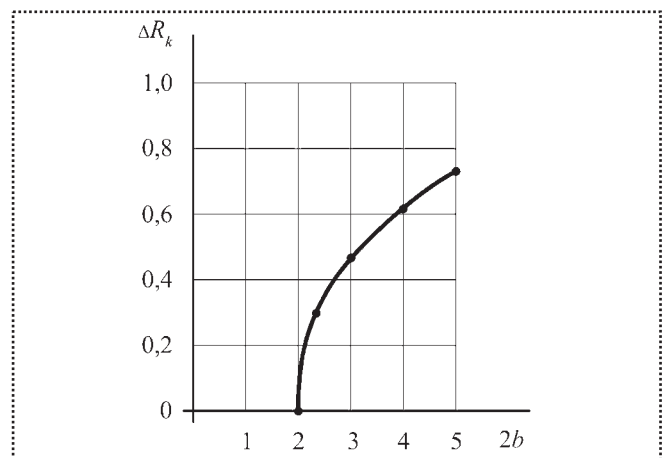


Рис. 3. Изменение допуска  $\Delta R_k$  в зависимости от параметра  $b$  случайной величины  $\xi_2$

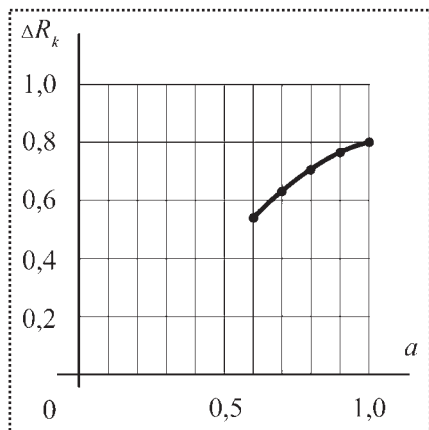


Рис. 4. Изменение допуска  $\Delta R_k$  в зависимости от параметра  $a$  симметричных случайных величин  $\xi_1$  и  $\xi_2$

Решением задачи комплектования являются значения допуска  $R_k$  на параметр сопряжения  $R$  в зависимости от интервала определения случайных величин  $\xi_1$  и  $\xi_2$ :

$[-a, +a]$ . . . . .	$[-1, +1]$	$[-0,9, +0,9]$	$[-0,8, +0,8]$	$[-0,7, +0,7]$	$[-0,6, +0,6]$
$\Delta R_k$ . . . . .	0,80	0,76	0,68	0,60	0,52

Эта зависимость представлена на рис. 4.

Анализ представленных в данном примере результатов показывает, что чем меньше область определения случайных величин  $\xi_1$  и  $\xi_2$ , тем меньше допуск  $\Delta R_k$  на параметр сопряжения  $R$ .

Свойство 3 может быть доказано, исходя из сути метода полного целенаправленного суммирования.

**Свойство 4.** Если функции распределения  $f_i(x_i)$  сопрягаемых параметров  $x_i$  являются несимметричными относительно оси ординат, то и функция распределения  $\Phi(R)$  параметра сопряжения  $R$ , полученная в результате решения задачи комплектования, является несимметричной относительно оси ординат, а поле допуска  $\delta R$  параметра сопряжения  $R$  также не является симметричным относительно начала координат.

Рассмотрим модельный пример 4.

Исходными данными для задачи комплектования являются случайные величины:

$$\xi_1 \sim N(0,3, \sigma_1^2) / [-1, +1], \quad 6\sigma_1 = 2;$$

$$\xi_2 \sim N(-0,3, \sigma_2^2) / [-1, +1], \quad 6\sigma_2 = 2.$$

Решением задачи комплектования будут рассчитанные значения функции распределения  $\Phi(R)$  в зависимости от параметра сопряжения  $R$  для несимметричных случайных величин  $\xi_1$  и  $\xi_2$ :

$R$ . . . . .	0,00	0,20	0,40	0,50	0,54	0,56	0,58	0,60
$\Phi(R)$ . . . . .	0,000030	0,00020	0,00150	0,01030	0,03460	0,08950	0,52460	0,29410

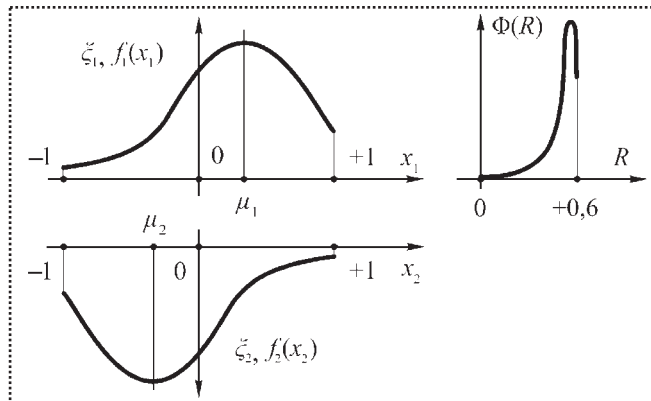


Рис. 5. Изменение функции распределения  $\Phi(R)$  в зависимости от параметра сопряжения  $R$  для несимметричных случайных величин  $\xi_1$  и  $\xi_2$

Зависимость функции распределения  $\Phi(R)$  от параметра сопряжения  $R$  для  $\mu_1 = 0,3$  и  $\mu_2 = -0,3$  представлена на рис. 5.

Данные моделирования подтверждают свойство 4. Рассмотрим модельный пример 5.

Исходными данными для задачи комплектования являются случайные величины:

$$\xi_1 \sim N(\mu_1, \sigma_1^2) / [-1, +1], \quad 6\sigma_1 = 2;$$

$$\xi_2 \sim ED / [-1, +1].$$

Решением задачи комплектования будут рассчитанные значения поля допуска  $\delta R_k$  в зависимости от параметра  $\mu_1$  случайной величины  $\xi_1$ :

$\mu_1$ . . . . .	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$\delta R_k$ . . . . .	$[-0,40, +0,40]$	$[-0,32, +0,50]$	$[-0,22, +0,60]$	$[-0,14, +0,70]$	$[-0,08, +0,80]$	$[-0,04, +0,90]$

Эта зависимость представлена на рис. 6.

Анализ результатов модельного примера 5 показывает, что несимметричность функций распределения оказывает большее влияние на смещение поля допуска  $\delta R$  параметра сопряжения  $R$ , чем на саму величину поля допуска  $\delta R$  параметра сопряжения  $R$ .

**Свойство 5.** Смещение поля допуска  $\delta x_2$  сопрягаемого параметра  $x_2$  относительно поля допуска  $\delta x_1$  сопрягаемого параметра  $x_1$  на величину  $\delta$  при решении задачи комплектования приводит только к смещению поля допуска  $\delta R$  сопрягаемого параметра  $R$  на такую же величину  $\delta$ . При смещении не изменяется ни собираемость изделий  $P_{\text{соб}}$ , ни поле допуска  $\delta R$  сопрягаемого параметра  $R$ , ни функция распределения  $\Phi(R)$ .

Доказательство данного свойства вытекает из сути ме-

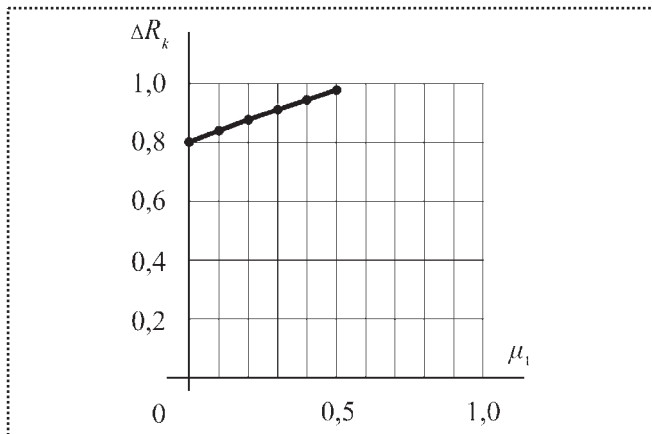


Рис. 6. Изменение  $\Delta R_k$  в зависимости от величины  $\mu_1$  случайной величины  $\xi_1$

тогда полного целенаправленного суммирования.

На рис. 2 дан пример, когда смещения  $\delta x_2$  относительно  $\delta x_1$  нет, т.е.  $\delta=0$ , а на рис. 7 показано такое смещение  $\delta$ , т.е.  $\delta \neq 0$ .

Свойство 5 справедливо и при реализации селективной сборки по методу групповой взаимозаменяемости [2].

**Свойство 6.** Минимальное значение допуска  $\Delta R_k$  на параметр сопряжения  $R$  достигается при неравных полях допусков  $\delta x_1 \neq \delta x_2$  сопрягаемых параметров  $x_1$  и  $x_2$ .

Рассмотрим, как влияют положение поле допуска  $\delta x_i$ , величина допуска  $\Delta x_i$  и функции распределения  $f_i(x_i)$  сопрягаемых параметров  $x_i$  на величину поля допуска  $\delta R$  параметра сопряжения  $R$  при решении задачи комплектования.

Рассмотрим модельный пример 6.

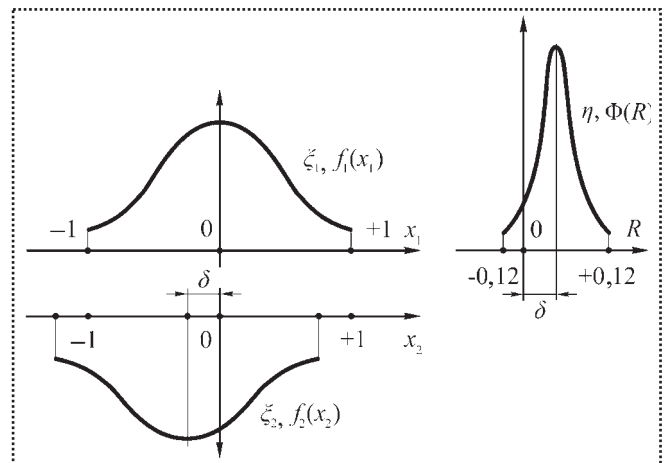


Рис. 7. Смещение функции распределения  $\Phi(R)$  в зависимости от параметра  $\delta$

Исходными данными для задачи комплектования являются случайные величины:

$$\xi_1 \sim N(0, \sigma_1^2) / [-a, +a], \quad 6\sigma_1 = 2a;$$

$$\xi_2 \sim ED / [-b, +b].$$

В таблице представлено решение задачи комплектования – значения поля допуска  $\delta R_k$  параметра сопряжения  $R$ , полученные при решении задачи комплектования для случайных величин  $\xi_1$  и  $\xi_2$  с параметрами  $a$  и  $b$ .

Проведем анализ результатов, представленных в таблице.

Если мы зафиксируем поле допуска  $\delta x_2$  сопрягаемого параметра  $x_2$ , например,  $\delta x_2 = [-0,7, +0,7]$ , то минимальное значение допуска  $\Delta R_k$  на параметр сопряжения  $R$  достигается при значении поля допуска  $\delta x_1$  сопрягаемого параметра  $x_1$ , равного  $\delta x_1 = [0,9,$

Значение поля допуска  $\delta R$  в зависимости от случайных величин  $\xi_1$  и  $\xi_2$

$\xi_2$	$\xi_1$				
	$[-1,0, +1,0]$	$[-0,9, +0,9]$	$[-0,8, +0,8]$	$[-0,7, +0,7]$	$[-0,6, +0,6]$
$[-1,0, +1,0]$	$[-0,40, +0,40]$	$[-0,46, +0,46]$	$[-0,50, +0,50]$	$[-0,56, +0,56]$	$[-0,60, +0,60]$
$[-0,9, +0,9]$	$[-0,32, +0,32]$	$[-0,38, +0,38]$	$[-0,42, +0,42]$	$[-0,46, +0,46]$	$[-0,52, +0,52]$
$[-0,8, +0,8]$	$[-0,26, +0,26]$	$[-0,30, +0,30]$	$[-0,34, +0,34]$	$[-0,38, +0,38]$	$[-0,44, +0,44]$
$[-0,7, +0,7]$	$[-0,32, +0,32]$	$[-0,24, +0,24]$	$[-0,26, +0,26]$	$[-0,30, +0,30]$	$[-0,34, +0,34]$
$[-0,6, +0,6]$	$[-0,42, +0,42]$	$[-0,32, +0,32]$	$[-0,22, +0,22]$	$[-0,22, +0,22]$	$[-0,26, +0,26]$
$[-0,5, +0,5]$	$[-0,52, +0,52]$	$[-0,42, +0,42]$	$[-0,32, +0,32]$	$[-0,22, +0,22]$	$[-0,18, +0,18]$
$[-0,4, +0,4]$	$[-0,62, +0,62]$	$[-0,52, +0,52]$	$[-0,42, +0,42]$	$[-0,32, +0,32]$	$[-0,22, +0,22]$



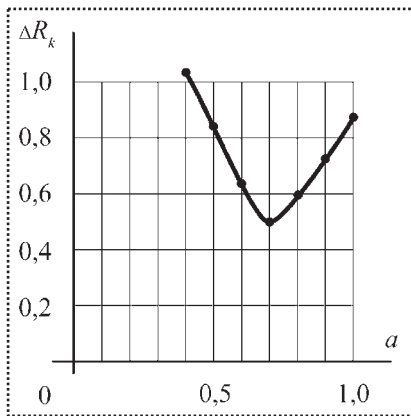


Рис. 8. Изменение допуска  $\Delta R_k$  в зависимости от параметра  $a$  случайной величины  $\xi_2$  при фиксированной случайной величине  $\xi_1$ ,  $\delta x_1 = [-0,9, +0,9]$

$+0,9]$ , т.е. при неравных полях допусков сопрягаемых параметров.

Если мы зафиксируем поле допуска  $\delta x_1$  сопрягаемого параметра  $x_1$ , например,  $\delta x_1 = [-0,9, +0,9]$ , то минимальное значение допуска  $\Delta R_k$  на параметр сопряжения  $R$  достигается при значении поля допуска  $\delta x_2$  сопрягаемого параметра  $x_2$ , равного  $\delta x_2 = [-0,7, +0,7]$ , т.е. при неравных полях допусков сопрягаемых параметров.

Изменение допуска  $\Delta R_k$  параметра сопряжения  $R$  в зависимости от поля допуска  $\delta x_2$  сопрягаемого параметра  $x_2$  при фиксированном значении поля допуска  $\delta x_1$  ( $\delta x_1 = [-0,9, +0,9]$ ) сопрягаемого параметра  $x_1$  представлено на рис. 8.

Изменение допуска  $\Delta R_k$  параметра сопряжения  $R$  в зависимости от поля допуска  $\delta x_1$  сопрягаемого параметра  $x_1$  при фиксированном значении поля допуска  $\delta x_2$  ( $\delta x_2 = [-0,7, +0,7]$ ) сопрягаемого параметра  $x_2$  представлено на рис. 9.

Если при применении метода групповой взаимозависимости [2] необходимым условием собираемости изделий было равенство полей допусков сопрягаемых параметров, т.е.  $\delta x_1 = \delta x_2$ , то при применении метода межгрупповой взаимозаменяемости условием получения минимального допуска  $\Delta R_k$  на параметр сопряжения  $R$  при условии полной собираемости является равенство полей допусков сопрягаемых параметров.

Условие выбора неравных полей допусков сопрягаемых параметров для получения минимального зна-

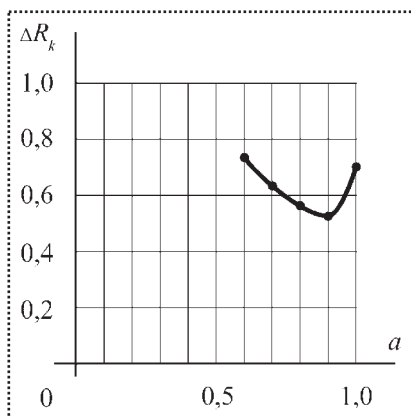


Рис. 9. Изменение допуска  $\Delta R_k$  в зависимости от параметра  $a$  случайной величины  $\xi_1$  при фиксированной случайной величине  $\xi_2$ ,  $\delta x_2 = [-0,7, +0,7]$

чения допуска на параметр сопряжения  $R$  распространяется и на случаи, когда функции распределения  $f_i(x_i)$  сопрягаемых параметров  $x_i$  являются несимметричными.

Вся сложность разработки технологии селективной сборки заключается в том, что чаще всего функции распределения  $f_i(x_i)$  заданы технологическим процессом получения сопрягаемых параметров.

Если возникает возможность формирования функции распределения какого-либо сопрягаемого параметра, то это формирование должно преследовать цель получения минимального значения допуска  $\Delta R_k$  сопрягаемого параметра  $R$ .

Рассмотрим постановку обратной задачи – задачи определения поля допуска  $\delta R$  сопрягаемого параметра  $R$  при реализации селективной сборки изделий по методу межгрупповой взаимозаменяемости.

Пусть требуется при селективной сборке изделий обеспечить допуск  $\Delta R_T$  на параметр сопряжения  $R$ .

Для этого необходимо определить поля допусков  $\delta x_i$  сопрягаемых параметров  $x_i$ , функции распределения  $f_i(x_i)$  сопрягаемых параметров  $x_i$ , которые при решении задачи комплектования обеспечивали бы требуемое поле допуска  $\delta R_T$  параметра сопряжения  $R$  и полную собираемость изделий.

В теоретическом плане обратная задача при реализации селективной сборки изделий имеет бесконечное множество решений.

Однако при практической реализации селективной сборки решение обратной задачи существенно зависит от технологического процесса получения сопрягаемых параметров, а именно от точности и стабильности технологического процесса получения сопрягаемых параметров  $x_i$ .

Под точностью и стабильностью технологического процесса получения сопрягаемых параметров  $x_i$  понимается следующее:

- допуск  $\Delta t_i$ , в пределах которого находятся значения сопрягаемого параметра  $x_i$ , должен не изменяться и быть минимальным;
- положение поля допуска  $\delta t_i$ , в пределах которого находятся значения сопрягаемого параметра  $x_i$ , не должно изменяться на размерной оси сопрягаемого параметра  $x_i$ ;
- функция распределения  $t_i(x_i)$  сопрягаемого параметра  $x_i$ , полученная технологическим процессом, не должна изменяться.

Предположим, что имеем технологический процесс с параметрами  $\delta t_i, t_i(x_i)$ . Тогда принимаем:  $\delta x_i = \delta t_i, f_i(x_i) = t_i(x_i)$ . Для исходных данных  $\delta x_i, f_i(x_i)$  решаем задачу комплектования и определяем значение допуска  $\Delta R_k$  на параметр сопряжения  $R$ .

Если  $\Delta R_k \leq \Delta R_T$ , то применение селективной сборки обеспечивает требуемую точность параметра со-



пряжения  $R$ , а если  $\Delta R_k > \Delta R_T$ , то требуемый допуск  $\Delta R_T$  параметра сопряжения  $R$  не обеспечивается.

При реализации селективной сборки изделий часто оказывается, что точность получения сопрягаемых параметров  $x_i$  различна, т.е.  $\Delta x_1 \neq \Delta x_2$ .

В результате полученный допуск  $\Delta R_k$  на параметр сопряжения  $R$ , полученный при решении задачи комплектования с исходными данными  $\delta x_i, f_i(x_i)$ , может не удовлетворять техническому требованию  $\Delta R_T$  на параметр сопряжения  $R$ , т.е.  $\Delta R_k > \Delta R_T$ .

В этом случае можно предложить следующий способ повышения точности допуска  $\Delta R_k$  на параметр сопряжения  $R$ , если  $\Delta x_1 > \Delta x_2$ .

Общую партию деталей с сопрягаемым параметром  $x_2$  необходимо разбить на некоторое число групп с определенным числом деталей в каждой группе. Сопрягаемый параметр  $x_2$  детали в каждой группе должен принадлежать полю допуска  $\delta x_2$ , расположенному в определенном месте размерной оси  $x_2$ , что технологический процесс получения сопрягаемого параметра  $x_2$  позволяет сделать.

Затем детали в группах необходимо объединить в общую партию. Тогда для этой партии деталей мы получим новое поле допуска  $\tilde{\delta}x_2$  сопрягаемого параметра  $x_2$  и новую функцию распределения  $\tilde{f}_2(x_2)$ .

Решая задачу комплектования для данной партии деталей с исходными данными  $\delta x_1, \tilde{\delta}x_2, f_1(x_1)$  и  $\tilde{f}_2(x_2)$ , получим значение допуска  $\Delta R_k$  на параметр сопряжения  $R$ .

В связи с этим возникает задача оптимального формирования поля допуска  $\tilde{\delta}x_2$  сопрягаемого параметра  $x_2$  и функции распределения  $\tilde{f}_2(x_2)$ , которая заключается в следующем.

Необходимо разделить партию деталей с сопрягаемым параметром  $x_2$  на такое число групп, выбрать в каждой группе такое число деталей и определить положение поля допуска  $\tilde{\delta}x_2$  на размерной оси сопрягаемого параметра  $x_2$  для каждой выделенной группы таким образом, чтобы при объединении этих групп снова в общую партию деталей решением задачи комплектования с исходными данными  $\delta x_1, \tilde{\delta}x_2, f_1(x_1)$  и  $\tilde{f}_2(x_2)$  было бы минимальное значение допуска  $\Delta R_k$  на параметр сопряжения  $R$ .

Рассмотренный метод формирования поля допуска  $\tilde{\delta}x_2$  и функции распределения  $\tilde{f}_2(x_2)$  определяет управляемую селективную сборку, что является темой самостоятельного исследования.

При решении обратной задачи при селективной сборке методом межгрупповой взаимозаменяемости необходимо принимать во внимание свойства 3–6 задачи комплектования.

## Выводы

1. Для задачи комплектования при селективной сборке изделий построена случайная величина  $\eta$ , принимающая значения параметра сопряжения  $R$  на поле допуска  $\delta R$ .

2. Величина допуска  $\Delta R_k$  на параметр сопряжения  $R$ , полученная при решении задачи комплектования методом полного целенаправленного суммирования, является минимальной для исходных данных  $\delta x_i, f_i(x_i)$ .

3. Если функции распределения  $f_i(x_i)$  сопрягаемых параметров  $x_i$  являются симметричными относительно оси ординат, то и функция распределения  $\Phi(R)$  случайной величины  $\eta$ , значениями которой являются значения параметра сопряжения  $R$ , является также симметричной относительно оси ординат. Симметричным относительно начала координат является и поле допуска  $\delta R$  параметра сопряжения  $R$ .

4. Если функции распределения  $f_i(x_i)$  сопрягаемых параметров  $x_i$  являются несимметричными относительно оси ординат, то и функция распределения  $\Phi(R)$  является несимметричной относительно оси ординат, а поле допуска  $\delta R$  параметра сопряжения  $R$  является несимметричным относительно начала координат.

5. Минимальное значение поля допуска  $\delta R_k$  параметра сопряжения  $R$  обеспечивается при неравных полях допусков  $\delta x_1 \neq \delta x_2$  сопрягаемых параметров  $x_i$ .

6. Величина допуска  $\Delta R_k$  на параметр сопряжения  $R$  при решении обратной задачи для селективной сборки существенным образом определяется технологическим процессом получения сопрягаемых параметров  $x_i$ .

## Библиографический список

1. Канторович Л.В. О перемещении масс / Доклады АН СССР. 1942. Т. 37. № 7–8. С. 227–229.
2. Бонч-Осмоловский М.А. Селективная сборка. М.: Машиностроение, 1974. 142 с.
3. Сорокин М.Н. Многомерная многопараметрическая задача комплектования. В сб.: Вопросы кибернетики. Методы и алгоритмы анализа больших систем. М.: Научный совет по комплексной проблеме "Кибернетика" АН СССР, 1988. С. 127–137.
4. Сорокин М.Н., Ануров Ю.Н. Формализация метода межгрупповой взаимозаменяемости при реализации селективной сборки изделий // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2011. № 8. С. 75–82.
5. Сорокин М.Н., Ануров Ю.Н. Анализ собираемости изделий типа "вал–втулка" при селективной сборке // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2012. № 1. С. 23–26.
6. Сорокин М.Н., Ануров Ю.Н. Определение вероятности получения бракованных сопряжений при селективной сборке изделий типа "вал–втулка" по действительным значениям сопрягаемых параметров // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2012. № 5. С. 31–35.
7. Сорокин М.Н., Ануров Ю.Н. Алгоритм решения задачи комплектования при селективной сборке изделий типа "вал–втулка" по методу межгрупповой взаимозаменяемости // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2012. № 9. С. 15–18.
8. Сорокин М.Н., Ануров Ю.Н. Определение вероятности получения бракованных сопряжений при селективной сборке изделий типа "вал–втулка" при выборе селективных интервалов // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2013. № 1. С. 29–33.



УДК 621.977+621.3.088

**В.И. Чижиков**, канд. техн. наук, доцент

(Московский государственный университет приборостроения и информатики)

E-mail: vichizhikov@gmail.com

## Проектирование упругого кинематического соединения манипулятора с нелинейной характеристикой восстанавливающей силы при неопределённой закономерности внешнего воздействия

*Рассмотрено решение задачи управления конструкцией, в узлах которой размещены управляемые упругие кинематические соединения. Оценка времени деформации кинематического соединения проведена на основе решения задачи о брахистохроне. Предложен метод нейросетевого управления конструкцией.*

*The decision of management task is examined a construction in the knots of that is accommodate the guided resilient kinematics connections. The estimation of time of deformation of kinematics connection is conducted on the basis of decision of brachistochrone problem. The method of neural network management is offered by a construction.*

**Ключевые слова:** упругое кинематическое соединение, брахистохрона, нейросеть.

**Keywords:** elastic kinematic connection, brachistochrone, neural networks.

Рассмотрим упругое кинематическое соединение бесшарнирного манипулятора, инвариантного к изменению параметров и режимов движения. С позиций эволюции техники переход конструкций на уровень управляемости, в том числе в автоматическом режиме, следует рассматривать как определенный закономерный, более совершенный этап их развития. Одним из направлений, позволивших решить проблему надежности и высокой производительности механизмов стержневой конструкции, работающих в жидких и газообразных средах в высоком вакууме, является полное исключение внешнего трения за счет использования при их проектировании *принципа управляемой упругой деформации*. И хотя не все технические решения могут быть реализованы на основе этого принципа, но во многих случаях, например, при создании различных координатных устройств – быстродействующих ваку-

умных манипуляторов (в том числе точного позиционирования), систем транспортирования с дискретным и непрерывным режимами работы, предлагаемое направление является наиболее оптимальным по техническим и экономическим показателям. Элементарной базой механизмов являются герметичные приводные элементы различной конфигурации, выполняющие функцию упругого кинематического соединения жестких стержней (звеньев), которое деформируется избыточным давлением, создаваемым в их внутренней полости сжатым воздухом или рабочей жидкостью, подаваемой под давлением. Степень подвижности предлагаемых устройств, которые в общем случае могут состоять из одного звена, определяется числом упругих кинематических соединений и топологией их размещения в механической конструкции.

Определение управляемой конструкции как системы в литературе, известной автору, не применялось. В частности в терминологии АН СССР [1] управляемые конструкции не трактуются как системы. Трактовка управляемой конструкции как системы имеет принципиальное значение в теории и практике этой проблемы. Отсутствие системного определения управляемой конструкции приводит к представлению ее как состоящей из двух частей:

- пассивной – собственно конструкции;
- активной (динамической) – устройства активного управления.

Оптимизация управления конструкцией приводит к парадоксальному факту оптимизации каждой части отдельно. Ряд авторов [2] справедливо показывают, что необходимо оптимизировать обе части совместно.

Математическая модель упругого кинематического соединения кроме механических упругих характеристик включает характеристику термодинамического состояния газа [3]. Это состояние нестабильно вследствие изменения температуры при дросселировании газа. Так как управляемая механическая система при выполнении технологического процесса находится в неустановившемся режиме, то упомянутые



температурные изменения приводят к отклонению от точности выполнения операций.

Рассмотрим функционирование системы "управляемый объект – управляющий модуль" с энергетической точки зрения. При заданном избыточном давлении приводные элементы меняют геометрию конструкции по закону, которым определяется деформация оболочки [4]. При смещении захватного устройства от номинального положения при внешнем силовом или кинематическом возмущении в упругой связи происходит перемещение ее подвижных точек. Компенсация перемещений в упругой связи может быть обеспечена дополнительным избыточным давлением в полости пружины, величина которого определяется из анализа деформированного состояния конструкции.

Если привести массовые и силовые характеристики, действующие на жесткую недеформируемую часть звена, к подвижной точке упругого элемента, то при совершении движущими силами и силами сопротивления соответствующей работы на перемещениях, допускаемых их кинематическими связями, проходящий процесс можно оценить моделью катящегося тела, например цилиндра, по наклонной поверхности, с сопротивлением качению. При решении задачи принимаем, что зависимость  $f(\lambda)$  – это восстанавливающая сила с неопределенной закономерностью внешнего воздействия, которое определяет профиль скатывания.

По траектории и величине перемещения точки приведения, с которой в каждый момент времени контактирует катящийся цилиндр, можно определить параметры упругой связи. Таким образом, если упругую связь между звеньями обеспечить пружинами Бурдона, Нагаткина или сильфоном, то упомянутая физическая модель будет адекватна процессу, происходящему в упругой связи.

упругих сил по перемещению подвижной точки упругой связи [5]. Но это перемещение происходит за конечный отрезок времени и для каждого перемещения это время должно быть минимальным.

Скатывание цилиндра приводит к уменьшению потенциальной энергии положения и возрастанию внутренней потенциальной энергии кинематического соединения. Так как скатывание происходит с изменением скорости цилиндра, то меняется и значение его кинетической энергии от нулевого до величины, определяемой текущей скоростью. Необходимо отметить, что длина траектории скатывания не равна величине перемещения подвижной части упругого кинематического соединения. В такой постановке задачи особый интерес приобретает обеспечение кратчайшего во времени перемещения катящегося под действием гравитации тела между двумя точками, расположенными в разных уровнях на заданном расстоянии.

С математической точки зрения такая задача имеет родство с известной вариационной задачей о брахистохроне [5], но отличается от классической постановки рассмотрением движения тел качения, учетом сопротивлений движению и построением профилей поверхности качения, обеспечивающих движение катящихся тел с заданной длительностью по времени.

В статье [5] определено минимальное время перемещения цилиндра из исходной точки в конечную по найденному профилю. При получении функционала была рассмотрена работа внешних сил, равная сумме работ сил тяжести и сил сопротивления качению. Согласно принятой модели суммарная работа внешних сил уравнивается работой упругих сил, так как потенциальная энергия скатывающегося цилиндра переходит в потенциальную энергию упругих сил кинематического соединения. Но работа упругих сил происходит за определенное из решения задачи о брахистохроне время [5]

$$T_0 = \int dt = \int_{x_1}^{x_2} (1 + f'^2(x))^{-\frac{1}{2}} \left\{ C_1 \frac{mg}{m + \frac{I}{R^2}} \left[ \frac{2}{3} R (1 + f'^2(x))^{-3/2} - 2 \frac{a}{R} \int \frac{dx}{(1 + f'^2(x))^2} \right] \right\}^{\frac{1}{2}} dx, \quad (1)$$

Иными словами, в начальный момент времени имеем потенциальную энергию положения цилиндра, которая равна потенциальной энергии упругой деформации упругого кинематического соединения при смещении его подвижной точки на конечную величину  $\lambda_k$ . При этом работа силы тяжести, которая является приведенной характеристикой от внешнего возмущения на перемещении, определяемом значением потенциальной энергии положения, равна работе  $\lambda_k$

где  $T_0$  – время скатывания цилиндра по основанию на интервале  $x_1, x_2$ ;

$f(x)$  – профиль основания, далее с целью краткости обозначения профиль основания и его производные обозначены как  $u$  и  $u'$ ;

$C_1$  – постоянная интегрирования, определяемая из условия  $x = v_0$  при  $x_1 = x_2$ . Здесь  $v_0$  – конечная скорость цилиндра;



$m, I, R$  – приведенные к подвижной точке упругого элемента масса, момент инерции и радиус катящегося цилиндра соответственно;

$g$  – ускорение свободного падения;

$a_p$  – плечо скатывания цилиндра.

Необходимое условие обращения в минимум простейшего функционала (1) состоит в равенстве нулю его вариации, которое приводит к дифференциальному уравнению Эйлера, представленному в развернутой форме

$$F_y - F_{y'x} - F_{y'y'}y' - F_{y'y''}y'' = 0. \quad (2)$$

В уравнении (2) имеем следующие обозначения:

$$F_y = F'_y; \quad F_{y'x} = \frac{d}{dx}F'_{y'}; \quad F_{y'y'} = F''_{y'y'}; \quad F_{y'y''} = F''_{y'y''},$$

которые соответствуют производным от подынтегральной функции по соответствующим переменным.

Подынтегральная функция в уравнении (1) обозначена как

$$F = F(y') = (1 + y'^2)^{\frac{1}{2}} \left\{ C_1 + \frac{mg}{m + \frac{I}{R^2}} \left[ \frac{2}{3} R (1 + y'^2)^{\frac{3}{2}} - 2 \frac{a}{R} \int \frac{dx}{(1 + y'^2)^2} \right] \right\}^{\frac{1}{2}} dx.$$

Поскольку  $F_y = F_{y'x} = F_{y'y'} = 0$ , то в нашем случае уравнение (2) упрощается:

$$F_{y'y''} y'' = 0, \quad (3)$$

$$F_{y'y''} = 3A^{\frac{5}{2}} B^{\frac{1}{2}} y'^2 - A^{\frac{3}{2}} \left[ B^{\frac{1}{2}} + \frac{mg}{m + \frac{I}{R^2}} \left( RA^{\frac{5}{2}} y' + \frac{4a}{R} \int_{x_1}^{x_2} A^{-3} f' dx \right) B^{\frac{3}{2}} \right] +$$

$$+ \frac{1}{2} \frac{mg}{m + \frac{I}{R^2}} A^{\frac{3}{2}} B^{\frac{3}{2}} \left( -2RA^{\frac{5}{2}} y' + \frac{Ba}{R} \int_{x_1}^{x_2} A^{-3} y' dx \right) y' -$$

$$- \frac{1}{2} A^{\frac{1}{2}} \left\{ -\frac{3}{2} B^{\frac{5}{2}} \frac{mg}{m + \frac{I}{R^2}} \left[ -2A^{\frac{5}{2}} R y' + \frac{Ba}{R} \int_{x_1}^{x_2} y' A^{-3} dx \right] + \frac{mg}{m + \frac{I}{R^2}} B^{\frac{3}{2}} \left[ 10RA^{\frac{7}{2}} - 2RA^{\frac{5}{2}} - \frac{Ba}{R} \int_{x_1}^{x_2} (6A^{-4} y'^2 + A^{-3}) dx \right] \right\},$$

где

$$A = 1 + f'^2(x), \quad D = \frac{mg}{m + \frac{I}{R^2}},$$

$$B = C_1 + D \left[ \frac{2}{3} RA^{\frac{5}{2}} - \frac{2a}{R} \int_{x_1}^{x_2} A^{-2} dx \right].$$

Общая работа по раскрытию пружины определяется работой газа

$$A_r = \int_{V_0}^{V_k} p dV = \int_{f_0}^{f_k} p R_0 dF = A_d,$$

которая в нашем случае является работой движущих сил. В равенстве приняты обозначения параметров:  $p$  – давление газа в полости пружины;  $dV$  – элементарное изменение объема полости;  $R_0$  – длина главной центральной оси пружины Бурдона и  $dF$  – приращение ее площади поперечного сечения. При этом разность  $A_d - A_c = \Delta E$  дает приращение кинетической энергии, которая уравнивается потенциальной энергией упругого кинематического соединения. Рассмотрим общий случай, в котором учитывается нелинейная характеристика силы  $f(\lambda)$ , нагружающей упругое соединение.

Имеем выражение кинетической энергии скатывающегося цилиндра

$$E = \frac{1}{2} \left( m + \frac{I}{R^2} \right) v^2. \quad (4)$$

Выберем за начало отсчета времени мгновение нулевого отклонения упругой кинематической связи, когда перемещение  $\lambda = 0$  и скорость  $v = 0$ .

Тогда имеем

$$\int_0^{v_k} \left( m + \frac{I}{R^2} \right) v dv = \int_0^{\lambda_k} f(\lambda) d\lambda,$$



или

$$\frac{1}{2} \left( m + \frac{I}{R^2} \right) v^2 = \int_0^{\lambda_k} f(\lambda) d\lambda. \quad (5)$$

Это соотношение выражает закон сохранения энергии: в левой части стоит кинетическая энергия, накопленная в процессе раскрытия пружины из крайнего положения ( $\lambda=0$ ,  $v=0$ ) вследствие наполнения ее полости газом к текущему положению ( $\lambda=\lambda_k$ ,  $v=v_k$ ), а в правой части – потенциальная энергия, приобретенная в процессе того же движения. Следует учесть, что перемещение подвижной точки пружины  $\lambda = \lambda(x, y)$  [6] в упругой связи выражается через координаты системы  $XOY$ , связанной с катящимся цилиндром. Нелинейная величина  $f(\lambda)$  парирует возмущение на любом отрезке  $\lambda$ ,  $\lambda_k$ , следовательно, пределы интегрирования должны иметь упомянутые значения. Из выражения (5) находим

$$v = \frac{d\lambda}{dt} = \sqrt{\frac{2}{m + \frac{I}{R^2}} \int_0^{\lambda_k} f(\lambda) d\lambda}.$$

Интегрирование этого уравнения дает время  $T_{c0}$  как функцию перемещения  $\lambda$ :

$$T_{c0} = \sqrt{\frac{m + \frac{I}{R^2}}{2}} \int_0^{\lambda_k} \frac{d\lambda}{\sqrt{\int_0^{\lambda_k} f(\lambda) d\lambda}}. \quad (6)$$

Предположим, что  $T_{c0}$ , полученное в формуле (6), равно

$$T_0 = \int_{x_1}^{x_2} \frac{dx}{\sqrt{2K \int_{x_1}^{x_2} \frac{dx}{1+f'^2(x)}}} = \int_{x_1}^{x_2} F(y') dx, \quad (7)$$

которое является результатом решения задачи о брахистохроне [5]. В формуле (7) имеем следующее:  $y=f(x)$  – функция профиля криволинейного основания  $K = \frac{mga_p}{\left(m + \frac{I}{R^2}\right)R}$ . Здесь  $a_p$  – плечо скатывания

цилиндра,  $m, I, R$  – масса, момент инерции цилиндра и его радиус. Требуется подобрать такую характеристику  $f(\lambda)$ , которая способна парировать упомянутые

возмущения за время  $T_0$ . Остановимся на случае симметричной характеристики, описываемой законом

$$f(\lambda) = a\lambda^{2n-1}, \quad n=1, 2, \dots$$

Интегрируя последовательно, находим

$$\int_{\lambda}^{\lambda_k} f(\lambda) d\lambda = \frac{a\lambda^{2n}}{2n} \Big|_{\lambda}^{\lambda_k} = \frac{a}{2n} (\lambda_k^{2n} - \lambda^{2n});$$

$$\int_0^{\lambda_k} \frac{d\lambda}{\sqrt{\frac{a}{2n} (\lambda_k^{2n} - \lambda^{2n})}} = \sqrt{\frac{2n}{a}} \cdot \frac{1}{\lambda_k^{n-1}} \int_0^1 \frac{d\xi}{\sqrt{1-\xi^{2n}}},$$

здесь  $\xi = \frac{\lambda}{\lambda_k}$ ;

$$T_{c0} = \sqrt{\frac{m + \frac{I}{R^2}}{a}} \cdot \frac{1}{\lambda_k^{n-1}} \int_0^1 \frac{d\xi}{\sqrt{1-\xi^{2n}}}. \quad (8)$$

Отсюда видно, что только при  $n=1$  (линейная характеристика) время  $T_{c0} = T_0$  не зависит от амплитуды перемещения, а в остальных случаях существует связь между периодом перемещения и амплитудой.

Рассмотрим в качестве примера перемещение в упругом соединении с кубической характеристикой  $f(\lambda) = a\lambda^3$ , когда  $n=2$  и из выражения (8) находим

$$T_{c0} = \sqrt{\frac{2m + \frac{I}{R^2}}{a}} \cdot \frac{1}{\lambda_k} \int_0^1 \frac{d\xi}{\sqrt{1-\xi^4}}.$$

Входящий сюда эллиптический интеграл вычисляют с помощью таблиц функций, из которых находят, что интеграл равен  $\frac{1,8541}{\sqrt{2}}$ .

Следовательно,

$$T_{c0} = \frac{1}{\lambda_k} \sqrt{\frac{m + \frac{I}{R^2}}{a}} \cdot 1,8541.$$

Из последнего соотношения нетрудно определить коэффициент  $a$ , входящий в характеристику упругого кинематического соединения.

Для частоты получим

$$p = \frac{2\pi}{T_{c0}} = 3,3871 \lambda_k \sqrt{\frac{a}{m + \frac{J}{R^2}}}, \quad (9)$$



т.е. частота линейно увеличивается с ростом амплитуды перемещения.

Таким образом, получено точное решение для модели раскрытия упругого кинематического соединения, в которой минимальное время определено из решения задачи о брахистохроне качения цилиндра по поверхности с сопротивлением качению. Работа внешних сил и сил сопротивления, приведенных к цилиндру, парируется работой упругих сил кинематического соединения с характеристикой, которая может быть определена из выражений (8) и (9).

Для многомерной конструкции с несколькими упругими кинематическими соединениями при внешнем возмущающем воздействии время  $T_0$  остается тем же. Перемещение точки, к которой приложено внешнее возмущение в этом случае есть векторная сумма перемещений в базовой системе координат

$$\bar{\lambda}_k = \sum_{i=1}^n \bar{\lambda}_i,$$

где  $n$  – число упругих кинематических соединений в конструкции.

Упругие перемещения  $\lambda_i$  находят из обратной задачи кинематики о положении.

Конструкция находится под нагрузкой и необходимо обеспечить ее функционирование около положения статического равновесия; при этом за обобщенную координату в  $i$ -м упругом кинематическом соединении принимается отклонение

$$q_{ic} = \lambda_{i0} - \lambda_i.$$

Тогда уравнение функционирования объекта в рамках статики является условием механического равновесия

$$\frac{\partial E}{\partial q_{ic}} = 0, \quad (10)$$

где  $E$  – энергия объекта,  $E = E(\lambda, k)$ . Здесь  $\lambda$  – перемещение,  $k$  – некоторые подстраиваемые параметры;  $i$  – точки, в которых происходят перемещения.

При отклонениях, превышающих допустимые, вводится функционал оценки  $H(q_{ic})$ , который описывает отклонение действительных перемещений объекта от желаемых. Согласно нейросетевому подходу обучение объекта будет заключаться в минимизации данного функционала с помощью изменения подстраиваемых параметров. В нашем случае этим параметром является величина избыточного давления. Теперь задача управления объектом сводится к решению уравнения (10) при условии выполнения

минимизации функционала оценки  $H(q_{ic})$ . Эту несвободную вариационную задачу можно заменить эквивалентной свободной вариационной задачей, используя метод множителей Лагранжа:

$$L = H(q_{ic}) + \sum_i \psi_i \frac{\partial E}{\partial q_{ic}}, \quad (11)$$

где  $\psi_i$  – множители Лагранжа.

Рассмотрим случай, когда энергия объекта может модифицироваться при помощи системы управления. В этом случае мы имеем единую систему, в которую включена конструкция и система управления. При этом модифицированная система обладает энергией

$$\tilde{E} = E(q_{ic}) + \varepsilon H(q_{ic}). \quad (12)$$

Второе слагаемое в формуле (12) рассматривают как функционал оценки с коэффициентом  $\varepsilon$ , который выражает степень несоответствия поведения объекта, выраженную через энергию системы управления этим объектом. При  $\varepsilon = 0$  управление отсутствует. Рассматривая случай, когда  $\varepsilon$  мало и дифференцируя уравнение (9), получим

$$\frac{d}{d\varepsilon} \left( \frac{dE}{\partial q_{ic}} + \varepsilon \frac{\partial H}{\partial q_{ic}} \right) = 0. \quad (13)$$

После дифференцирования выражения (11) по варьируемому параметру, используя правила дифференцирования суперпозиции функций многих переменных и рассматривая  $q_{ic}$  как функции  $\varepsilon$ , имеем после сравнения полученных выражений с выражением (13)

$$\mu_i = \left. \frac{dq_{ic}}{d\varepsilon} \right|_{\varepsilon=0}. \quad (14)$$

Согласно формуле (14), если  $q_{ic}$  – некоторые смещения, то воздействуя на конструкцию, мы имеем возможность измерить множители Лагранжа как изменение смещений в некоторых точках. После чего соответственно изменить подстраиваемые параметры управления (сделать шаг обучения). В результате реагирования объекта на внешние воздействия функционал оценки изменится в сторону уменьшения. Иными словами, множители Лагранжа можно измерить с помощью датчиков, после чего изменение подстраиваемых параметров представляет собой простую процедуру.

### Вывод

На основе физической модели упругого кинематического соединения с использованием оболочки с незамкнутым контуром получена математическая модель, позволяющая определить упругие характеристики соединения. Найдены характеристики позволяют парировать внешние возмущения. Модель можно распространить на многомерную конструкцию, встроенную в запястье антропоморфного робота, выполняющего операцию сопряжения деталей. При неопределенной закономерности внешнего воздействия целесообразно использовать нейросетевое управление, позволяющее открыть дополнительные свойства управляемого объекта и значительно упростить формирование управляющих воздействий.

### Библиографический список

1. Теория управления. Терминология / Под ред. Б.Г. Волка. Вып. 107. М.: Наука, 1988. 56 с.

2. Song T.T., Manolis G.R. Active structures // Structural engineering. 1987. Vol. 113. № 11. P. 2290–2301.

3. Чижигов В.И. Тормозное устройство на основе трубки Бурдона в следящем пневмоприводе // Промышленные АСУ и контроллеры. Математическое обеспечение АСУ. 2011. № 7. С. 30–36.

4. Андреева Л.Е. Упругие элементы приборов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1981. 392 с.

5. Чижигов В.И. Задача о брахистохроне для тел качения в определении формы главной центральной оси пружины Бурдона // Вестник МГУПИ. 2011. № 32. С. 40–51.

6. Чижигов В.И. Кинематика раскрытия пружины Бурдона // Промышленные АСУ и контроллеры. Математическое обеспечение АСУ. 2012. № 1. С. 20–26.

7. Чижигов В.И. Исследование ошибки положения и ее производных схвата манипулятора при его движении по аппроксимированной траектории // Вестник МГУПИ. 2005. № 2. С. 75–83.



## ООО "Издательство Машиностроение" продолжает подписку на журнал "СБОРКА В МАШИНОСТРОЕНИИ, ПРИБОРОСТРОЕНИИ"

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

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

107076, г. Москва, Стромьинский пер., д. 4,  
Тел.: (499) 269-66-00, 269-52-98,  
факс: (499) 269-48-97,  
e-mail: [realiz@mashin.ru](mailto:realiz@mashin.ru), [www.mashin.ru](http://www.mashin.ru)



## MITEX-2012

С 6 по 9 ноября 2012 г. на территории ЦВК "Экспоцентр" проходила международная специализированная выставка инструментов и оборудования, организованная ООО "Евроэкспо" (Россия) при поддержке Российской Ассоциации торговых компаний производителей электроинструмента и средств малой механизации, при содействии ЗАО "Экспоцентр". На выставке были представлены:

- инструменты и станки для обработки металлов, труб, пластмасс;
- слесарный и монтажный инструмент, применяемый в сборочном производстве;
- электрифицированный, гидравлический и пневматический инструмент;
- оборудование для резки различных материалов;
- технологии изготовления и восстановления инструмента;
- контрольно-измерительные и испытательные приборы и инструменты и т.п.

В выставке приняли участие около 500 компаний из 26 стран в том числе и из России. Экспозиционная площадь выставки 6500 м<sup>3</sup>.

Приведем краткое описание экспонатов, которые могут быть использованы в сборочном производстве, а также предложений предприятий-разработчиков.

**ОАО "Новосибирский инструментальный завод"** продемонстрировало на выставке наборы инструмента различного назначения.

*Набор "Электромонтажник" с изолированным инструментом* предназначен для выполнения слесарно-монтажных работ в действующих электроустановках напряжением до 1000 В переменного и 1500 В постоянного тока без отключения электроэнергии. Инструмент изготовлен из высококачественных сталей. В комплект набора входят:

- сменные головки с размером зева под ключ 10; 12; 14; 17; 19; 22 и 24 мм и присоединительным квадратом 12,5 мм (профиль зева головок исключает смятие граней гаек и обеспечивает работу с гайками, имеющими деформацию граней);
- удлинитель длиной 125 мм, позволяющий создать неразъемные соединения со сменной головкой;
- изогнутый ключ с присоединительным квадратом;
- Т-образный вороток;
- Т-образная отвертка 1×6,5 мм;
- Т-образная крестовая отвертка № 2.

Сменные головки в комплекте с принадлежностями позволяют производить затяжку резьбовых соеди-

нений. Т-образные отвертки используют для сборки-разборки резьбовых соединений М6...М16.

*Набор "Автомобилист"* состоит из 26 наименований инструмента и предназначен для выполнения различных слесарно-монтажных работ при работе и техническом обслуживании отечественного и зарубежного автотранспорта. Наличие в наборе кроме комплекта сменных головок и принадлежностей к ним, двухсторонних гаечных ключей, переставных плоскогубцев и комбинированной отвертки расширяет функциональное назначение набора. Инструмент изготовлен из хромистых сталей и прошел термическую обработку.

*Набор "Прогресс"* состоит из 15 наименований инструмента и предназначен для выполнения слесарно-монтажных и столярных работ. Инструмент изготовлен из качественной хромистой и углеродистой стали, прошел термическую обработку.

*Ключ с присоединительным квадратом 12,5 мм с шарниром* предназначен для ремонта и технического обслуживания отечественного и зарубежного автотранспорта. Наличие шарнирной головки и отверстия в рукоятке расширяет функциональные возможности ключа. Ключ позволяет увеличить угол поворота до 90° при закручивании гаек. Кроме того, при работе с ключом можно дополнительно использовать вороток диаметром до 9 мм. Допустимая нагрузка — 390 Н·м. Ключ изготовлен из хромистой стали с цинковым и никель-хромовым покрытиями.

*Головки торцовые свечные S16 и S21 оснащены магнитом*, который позволяет осуществлять захват и удержание свечей зажигания даже в труднодоступных местах. Магнит, выполненный из сплава ниодим-железо-бор, обеспечивает удержание свечи с усилием, превышающим силу тяжести свечи в 10 раз. Головки могут работать в диапазоне температур –50...+50 °С.

Инструмент удостоен почетных знаков качества XXI в.

**Компания "Энергомаш" (г. Москва)** предложила электро- и бензоинструмент. Приведем краткое описание только некоторых типов инструмента.

*Аккумуляторная дрель-шуруповерт мод. ДШ-3118П* имеет прочный корпус, электродвигатель японского производства, обеспечивающий высокий крутящий момент. Металлические шестерни тайваньского производства обеспечивают надежность при эксплуатации. Электронная система регулировки частоты вращения имеет двухскоростной редуктор с реверсом для завинчивания или вывинчивания шурупов и болтов, а также электронный тормоз для сложных работ по завинчиванию (чрезмерное затягивание шурупов ис-



Рис. 1. Перфоратор мод. ПЕ-2515М

ключено). Имеется блокировка клавиши включателя и ниша хранения биты. Никель-кадмиевая аккумуляторная батарея имеет емкость 1,7 А·ч, напряжение 18 В, максимальный крутящий момент 19,5 Н·м. Максимальный диаметр сверления: древесина 25 мм, сталь 13 мм. Время зарядки аккумулятора 1 ч. Масса дрели 2,1 кг.

Перфоратор мод. ПЕ-2515М (рис. 1) с патроном SDS-MAX имеет два режима работы: сверление с ударом и долбление. Защита от пыли осуществляется пылезащитным колпачком. Клавиша включателя имеет фиксированное положение. Дополнительная передняя рукоятка может поворачиваться на 360°. Антивибрационная задняя рукоятка существенно снижает вибрацию при работе перфоратора. Его мощность 1,5 кВт, питающее напряжение 230 В, частота вращения на холостом ходу 450 мин<sup>-1</sup> при числе ударов 2800 в мин, масса перфоратора 6,1 кг.

Торцовочная пила мод. ТО-5525Т (рис. 2) и настольный распиловочный станок расположены в одном корпусе. Пила применима при сложном комбинацион-

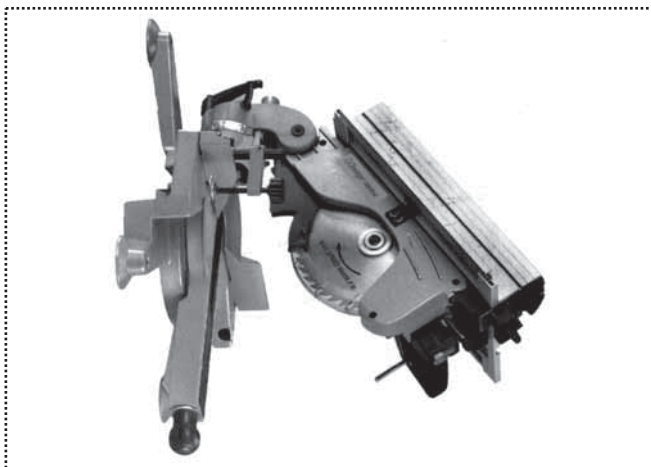


Рис. 2. Торцовочная пила мод. ТО-5525Т

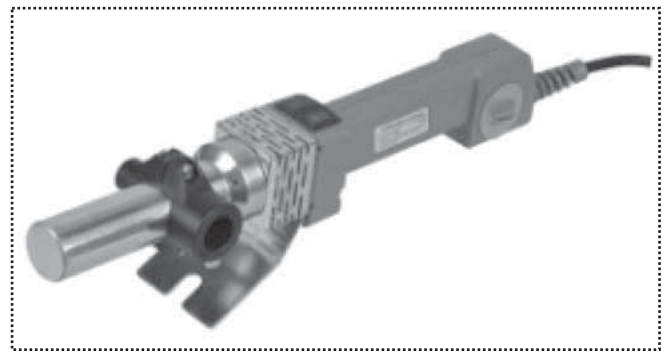


Рис. 3. Аппарат для сварки пластиковых труб СТ-72180

ном пилении под вертикальным и горизонтальным углами, благодаря наличию вращающегося стола и регулируемой головной части. Имеются системы пылеудаления, регулирования пропила и угла наклона. Мощность пилы 2 кВт, питающее напряжение 230 В. Частота вращения пильного диска 5000 мин<sup>-1</sup>. Диаметры: пильного диска – 255 мм; посадочного отверстия – 30 мм. Масса пилы 17,9 кг.

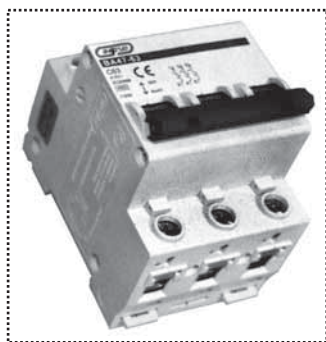
Аппарат для сварки пластиковых труб мод. СТ-72180 (рис. 3) представляет собой инструмент для контактной сварки труб диаметром 16; 20; 25 и 32 мм, изготовленных из полимерных материалов. Мощность аппарата 1,8 кВт, регулировка температуры плавления – от +5 до +300 °С. Сварочная поверхность имеет тефлоновое покрытие и тепловую защиту. Питающее напряжение аппарата 230 В, время его нагрева 3 мин. Он укомплектован сварочными переходниками. Длина сетевого шнура 2 м, масса аппарата 1,1 кг.

Компания "ЭТК Энергия" – российский производитель стабилизаторов напряжения и низковольтного электрооборудования – продемонстрировала на выставке новые образцы своей продукции.

Мощный электромеханический стабилизатор напряжения мод. SBW10 предназначен для поддержания в автоматическом режиме заданной величины выходного напряжения. Его номинальная мощность 10 кВт, сопротивление изоляции привода не менее 3 МОм, КПД не менее 98 %. Преимуществами стабилизатора являются высокая удельная энергоемкость, плавная бесступенчатая регулировка напряжения, отсутствие искажения формы выходного напряжения и выравнивание напряжения по фазам. Он работает при температуре окружающей среды 0...+40 °С и влажности не более 90 %. Помещение для установки не должно содержать агрессивных газов, паров, приводящих к коррозии металлов, абразивной пыли, а также взрывоопасных газов и аэрозолей. В месте уста-



**Рис. 4. Трехполюсный автоматический выключатель серии ВА47-63**



новки не допускаются вибрация и ударные воздействия.

*Автоматические выключатели серии ВА47-63* (рис. 4) предназначены для защиты электрических цепей от перегрузок и токов короткого замыкания с предельной коммутационной способностью в диапазоне 4500...6000 А. Автоматические выключатели собраны в неподдерживающих горение корпусах из термостойчивой и прочной пластмассы и имеют замки для монтажа. Выключатели снабжены двумя типами защиты: тепловой — для защиты от длительных токовых перегрузок, выполненной на биметаллической пластине, и электромагнитной — для защиты от токов короткого замыкания, выполненной на электромагнитной катушке. Токосцепитель выполнен из меди и имеет посеребрянные контакты. Дугогасительная камера, состоящая из девяти пластин, повышает коммутационную износостойкость. Надежный контакт с проводниками обеспечивают комбинированные зажимы из посеребрянной меди и анодированной стали. При работе в нормальном режиме автоматический выключатель пропускает электрический ток от самых минимальных значений до величин, соответствующих маркировке (в данном случае 63 А). В случае возникновения в цепи перегрузки или короткого замыкания срабатывает механизм защиты и автомат выключается. Тепловая защита работает следующим образом: ток, протекающий при длительной токовой перегрузке в защищаемой цепи, нагревает биметаллическую пластину, которая из-за различных коэффициентов теплового расширения изгибается и толкает рычаг механизма свободного расширения. Подвижный контакт отходит от неподвижного, автомат срабатывает, цепь разрывается. Питающее напряжение автомата 240 В, степень защиты IP20, время срабатывания при коротком замыкании 0,01 с. Диапазон рабочей температуры  $-45...+50$  °С.

*Автомат защиты двигателя мод. GV-1-M01* предназначен для управления электродвигателем и его защиты. Защита осуществляется комбинированным термомангнитным расцепителем, имеющим фиксированную уставку, равную максимальной токовой ус-

тавке теплового расцепителя. Тепловой расцепитель (защита от перегрузки) оснащен устройством компенсации изменений температуры окружающей среды. Расцепитель минимального напряжения отключает выключатель при аварийном снижении напряжения. Номинальный ток двигателя устанавливается на автоматическом выключателе электродвигателя регулировочным диском, смонтированным на передней панели автомата. Диапазон его рабочих температур —  $+5...+150$  °С.

*Наконечники штырьковые втулочные изолированные серии E* являются единственными специально разработанными наконечниками под опрессовку, которые заменяют обязательный процесс обслуживания многопроволочных медных проводов при монтаже различного электрооборудования. Втулочные наконечники состоят из медной луженой трубки, один конец которой развальцован для обеспечения ввода многожильного провода, и полиамидной изолирующей манжеты. Монтаж втулочного наконечника занимает несколько секунд. Предварительно зачищенная многопроволочная медная жила заводится внутрь втулки до упора (упор обеспечивается заходом провода в сужающийся раструб втулки до среза изоляции). Затем втулочная часть наконечника опрессовывается поверх втулки специальным инструментом. При опрессовке контактная часть многопроволочного провода и обжимающая его втулка образуют единую монолитную конструкцию, а изолирующая манжета перекрывает изоляцию провода. При необходимости опрессованная втулка может быть обрезана по длине на глубину захода в контактное гнездо электрооборудования. Например, сечение провода с наконечником мод. EO506 составляет 0,5 мм.

*Наконечники кольцевые изолированные серии RV* предназначены для оконцевания многожильных (гибких) медных проводов, их используют при монтаже электрических узлов, в которых предусмотрено контактное соединение на основе винтовой фиксации. Кольцевые наконечники используют для стационарных подключений к электрооборудованию.

**Промышленная группа "ВЕКПРОМ" (г. Москва)** предложила различный инструмент зарубежного производства, который может найти применение и в сборочном производстве.

*Сверлильная машина мод. "Витязь 110P" на магнитном основании* (рис. 5) имеет сбалансированную конструкцию и оснащена немецким двигателем мощностью 1,8 кВт с электронной регулировкой скорости, с возможностью выполнения отверстий до 110 мм и нарезания резьбы М3...М30. Машина оснащена усиленным шпинделем с дополнительным узлом поддержки и плавной регулировкой частоты вращения. Машина



Рис. 5. Сверлильная машина "Витязь-110Р"

работает корончатыми сверлами 12...110 мм. Посадочное гнездо шпинделя – конус Морзе 3. Рабочий ход машины 260 мм, частота вращения рабочего органа 42...620 мин<sup>-1</sup>. Прижимная сила магнита 30 кН, его размеры 230×100 мм. Питающее напряжение машины 230 В, число скоростей – 4. Габаритные размеры машины 365×190×725 мм, ее масса 28 кг.

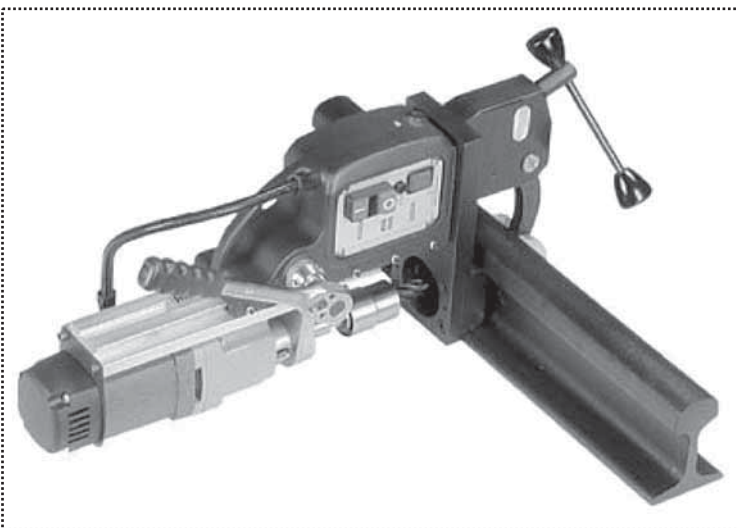


Рис. 6. Рельсосверлильная машина Rail MAB-900

*Приспособление для крепления на трубах* обеспечивает гибкий и быстрый зажим в любых условиях сверления. Поворотные призмы фиксируют на трубе зажимные цепи приспособления. Юстировка позиции сверления на трубе выполняется просто и безопасно. Такие приспособления позволяют значительно расширить применение станков на магнитном основании.

*Вакуумное крепление* применяют для крепления магнитных сверлильных станков на немагнитные поверхности или на поверхности, исключающие полное прилегание магнита. Крепление имеет высокопроизводительный вакуумный насос с циркуляционной смазкой, зажимную пластину с двумя присасывающимися поверхностями и внутренней зоной сверления.

*Рельсосверлильная машина мод. RAIL MAB900* (рис. 6) крепится на рельсе зажимным устройством с усилием прижима 12 кН и может быть укомплектована переходниками для всех отечественных типов рельс. Максимальный диаметр применяемого инструмента: кольцевой фрезы – 40 мм; спирального сверла – 16 мм; зенкера – 50 мм. Рабочий ход машины 125 мм, мощность двигателя 1,15 кВт. Частота вращения рабочего органа – до 450 мин<sup>-1</sup>, число скоростей – 2. Система охлаждения машины интегрированная, под давлением 0,2 МПа. Масса машины 16 кг.

*Кромкоскалывающий агрегат (фаскорез) мод. СНР-12G* (рис. 7) выполнен на колесной подставке, его можно использовать в обычном или перевернутом виде – для снятия фасок под сварку с нижней стороны стального листа. При необходимости агрегат можно снять с подставки и использовать в стационарном варианте. Автоматическая подача обеспечивает равномерную ширину фаски по всей длине. Скорость подачи агрегата соответствует частоте вращения фрезы (2,6 мин<sup>-1</sup>). Обработка производится скалыванием обрабатываемого материала фрезой, качество получаемой поверхности – грубое, но достаточное для сварки. При снятии фаски на крупногабаритной заготовке или стальном листе фаскорез СНР-12G регулируют по высоте и устанавливают на заготовку без помощи дополнительных приспособлений. Оператору лишь необходимо направить аппарат, а фаскорез на колесной подставке самостоятельно обрабатывает кромку от начала до конца детали. При обработке кромок на небольших заготовках детали подаются вручную. Толщина обрабатываемого листа – 6...30 мм, скорость снятия фасок – 2,6 м/мин при ширине фаски 12 мм и ее угле 22,5...45°, глубина снятия фаски (при угле обработки 45°) – 8,7 мм.



Рис. 7. Кромкоскалывающий агрегат мод. SHP-12G

Мощность привода фрезы 3 кВт, ее диаметр 93 мм. Масса агрегата с подставкой 110 кг.

Кромкорез мод. MF-760 (рис. 8) предназначен для обработки кромок листового материала и труб под сварку. Кромкорез может обрабатывать материалы из углеродистой и коррозионно-стойкой сталей и невязких цветных металлов. Он оборудован устройствами измерения угла снимаемой фаски и вылета фрезы с ручной подачей. Встроенная электромеханическая система обеспечивает стабильную работу электропривода и предохраняет электрические цепи от перегрузок. Для наружной обработки торцов труб диаметром от 160 мм имеется дополнительное приспособление, применяемое для каждого типа труб, в этом случае можно проводить фрезерование под прямым углом. Рабочий инструмент кромкореза – две дисковые фрезы с девятью четырехсторонними твердосплавными пластинами. По мере износа режущих кромок пластины поворачивают. Это можно сделать не снимая фрезы с агрегата. Ширина фаски при обработке до 21 мм, ее глубина до 15 мм, угол 15...60°. Питающее напряжение кромкореза 220 В. Частота вращения фрезы 2900 мин<sup>-1</sup>. Габаритные размеры кромкореза 250×250×370 мм, его масса 13 кг.

Ручная фаскосъемная машина мод. LKF450/2 (рис. 9) предназначена для обработки кромок листовых мате-



Рис. 8. Кромкорез мод. ME-760



Рис. 9. Фаскосъемная машина мод. LKF 450/2

риалов, а также внутренних кромок выполненных отверстий. Благодаря регулировке частоты вращения машину можно использовать для обработки конструкционных сталей, коррозионно-стойких сталей и цветных металлов. Размер фаски плавно регулируется в пределах 0...8 мм. Масса машины (4,7 кг) и малые габаритные размеры позволяют использовать ее для выполнения различных технических задач, в том числе и для сборочного производства.

Сварочный вращатель мод. NHTR-6000 (рис. 10) состоит из двух секций: приводной и неприводной. Приводная секция оснащена электродвигателем мощностью 100 Вт. Сварочное устройство имеет плавную регулировку частоты вращения. Роликовые опоры вращателя можно фиксировать в двух положениях для настройки на необходимый диаметр сварив-

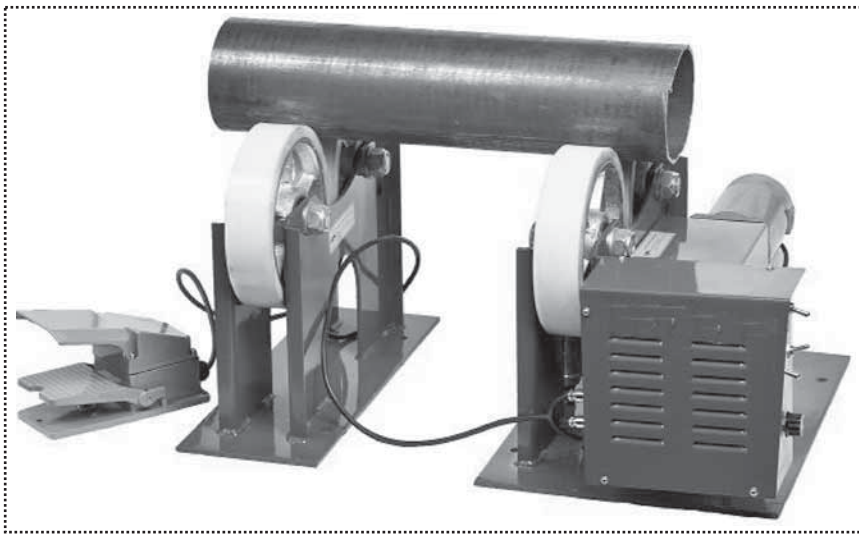


Рис. 10. Сварочный вращатель NHTR-6000

ваемого изделия. Для повышения сцепления с вращаемым изделием роликовые опоры покрыты слоем полиуретана. В комплект вращателя входит управляющая педаль и дистанционный пульт управления. Диаметр вращаемой обечайки 4000 мм, грузоподъемность 6 т. Габаритные размеры вращателя 1800×700×350 мм, масса 330 кг.

*Магнитные угольники (фиксаторы)* предназначены для точного выставления углов при сварочных работах и сборке стальных конструкций их используют также как элементы удержания при работе сварочного трактора. Такие приспособления дают возможность осуществлять процесс сварки одному рабочему, так как сборка и выставление элементов конструкции осуществляется не в процессе сварки, а перед ней. Угольники могут быть использованы также для крепления элементов в процессе резки, для предотвращения падения частей конструкции. Угольники изготовлены в двух исполнениях: со стандартными и с изменяемыми углами. Основа конструкции угольников – ребра, оснащенные постоянными магнитами. Большая магнитная сила обеспечивает надежное крепление деталей в процессе сборки и выполнения технологических процессов. После выполнения работ угольники легко отсоединяются от поверхностей. Габаритные размеры магнитного угольника М4500 составляют 450×140×35 мм, выставляемые углы – 45 и 90°, сила магнитного притяжения – 170 Н.

ГК "Свароч" предложил на российский рынок сварочное оборудование и генераторы, разработанные за рубежом.

*Сварочный аппарат мод. ARC205 (J96)* (рис. 11) на основе современной инверторной схемы предназначен для ручной дуговой сварки (ММА) и наплавки покры-

тием штучным электродом на постоянном токе изделий из низкоуглеродистой стали в производственных условиях. При подключении к аппарату вентильной TIG горелки и баллона с аргоном возможна аргонодуговая сварка. Аппарат прост в управлении, имеет КПД 85 %, низкий уровень потребления энергии, мобильность, стабильность горения дуги, низкий уровень напряжения холостого хода – 76 В, мощность 40 Вт, саморегулирование мощности дуги. Питающее напряжение аппарата 220 В ± 15 %, диапазон регулирования сварочного тока 10...186 и 10...180 А, диаметр электрода 1,6...4,0 мм, потребляемая мощность 8,2 кВт. Габаритные размеры аппарата 336×120×198 мм, его масса 5,8 кг. Аппарат рекомендован к

применению на монтажных объектах и при ремонтных работах.

*Профессиональный сварочный аппарат мод. ARC630 (R13)* создан на основе современной инверторной схемы и предназначен для дуговой сварки (ММА) и наплавки покрытым штучным электродом на постоянном токе изделий из низкоуглеродистой стали. Основа аппарата – инверторная технология с использованием мощных IGBT транзисторов с применением принципа широтно-импульсной модуляции (PWM). Аппарат надежен в работе и имеет низкий уровень шума. Напряжение его питающей сети 380 В ± 15 %, потребляемый ток 55 А, диаметр электрода 1,6...6,0 мм, потребляемая мощность 27 кВт, коэффициент мощности 0,93, степень защиты IP215. Габаритные размеры аппарата 670×335×633 мм, масса 53,2 кг.



Рис. 11. Сварочный аппарат мод. ARC205 (J96)



Рис. 12. Промышленный инверторный сварочный аппарат MIG2500 (J67)

Промышленный инверторный сварочный аппарат мод. MIG2500 (J67) (рис. 12) предназначен для механизированной сварки в среде защитного газа (MIG/MAG), с возможностью ручной дуговой сварки покрытыми электродами (MMA), а также полуавтоматической сварки порошковой проволокой (FCAW). Инвертор построен на базе IGBT транзисторов нового поколения. Такая технология позволяет получать максимальную мощность. Аппарат имеет функции: горячий старт, прогон проволоки, выходное напряжение 36 В для подогревателя редуктора, дожигание сварочной проволоки. Все это создает более комфортные условия работы. Инвертор изготовлен в моноблочном исполнении и имеет встроенный двухроликовый подающий механизм. Аппарат установлен на тележке с поворотными колесами и имеет площадку для установки стандартного баллона с газом. Передняя панель аппаратов выполнена с двумя цифровыми дисплеями, отображающими сварочные параметры. Возможность ручной дуговой сварки делает его более универсальным и удобным в применении. Электронная схема управления имеет устройство контроля сварочных характеристик, что обеспечивает стабильность горения дуги, низкий уровень разбрызгивания металла, хорошую форму шва и, как результат, — высокую эффективность сварки. Питательное напряжение аппарата 220 В, потребляемая мощность 8,3 кВт, диаметр электрода 1,5...5,0 мм, скорость проволоки 1,5...16,0 м/мин, диаметр сварочной проволоки 0,6; 0,8; 0,9; 1,0 мм, допустимая масса катушки 15 кг. Габаритные размеры аппарата 880×296×616 мм, его масса 47 кг.

Профессиональный инверторный аппарат мод. CUT160 (J47) предназначен для выполнения раскроя тонколистового металла. Аппарат построен на базе MOSFET транзисторов нового поколения по современной инверторной схеме. Такая технология позволяет получать максимальную мощность и длительное включение аппарата при его минимальных габаритных размерах и массе. Интерфейс аппарата отличается простотой подключения горелки (евроразъем) и удобством расположения панели управления с цифровым индикатором рабочих параметров. Аппарат неприхотлив в эксплуатации и не требует высокой квалификации оператора, оснащен устройством высокочастотного поджига дуги. Он предназначен для воздушно-плазменной резки всех типов сталей, а также меди, алюминия и сплавов. Плазменная резка значительно экономичнее, эффективнее и безопаснее по сравнению с газовой или другими технологиями термического раскроя. Для осуществления процесса не используются горючие газы и баллоны с кислородом, а только сжатый воздух под давлением. Это делает технологию резки металла взрывобезопасной. Питательное напряжение аппарата 380 В, потребляемая мощность 29 кВт, диапазон регулирования тока резки 30...160 А, способ возбуждения дуги — высокочастотный, объем подачи сжатого воздуха 0,8 м<sup>3</sup>/мин, объем ресивера компрессора 100 л, максимальная толщина разрезаемого материала 50 мм. Габаритные размеры аппарата 610×325×575 мм, его масса 50 кг.

Сварочный аппарат мод. MZ1000 (J58) (рис. 13) предназначен для быстрой сварки за один проход продолжительных швов длиной до нескольких метров и толщиной свариваемых кромок до 60 мм. Сварка осуществляется на постоянном токе силой 8 А стальной электродной проволокой диаметром 3...6 мм. Аппарат автоматической сварки производит сварку соединений встык с разделкой и без разделок кромок, угловых швов наклонным электродом, а также нахлесточных швов. Швы могут быть прямолинейными или кольцевыми. Автомат состоит из мощного инверторного источника питания и передвижной каретки (трактора), на которой установлен механизм подачи проволоки, тридцатикилограммовая кассета с проволокой, бункер со сварочным флюсом и блок управления автоматом. Трактор оснащен электродвигателем и редуктором. При автоматической сварке под флюсом автоматизированы все технологические операции:

- возбуждение и поддержание горения дуги;
- подача сварочной проволоки;
- перемещение проволоки вдоль свариваемых кромок с заданной скоростью;

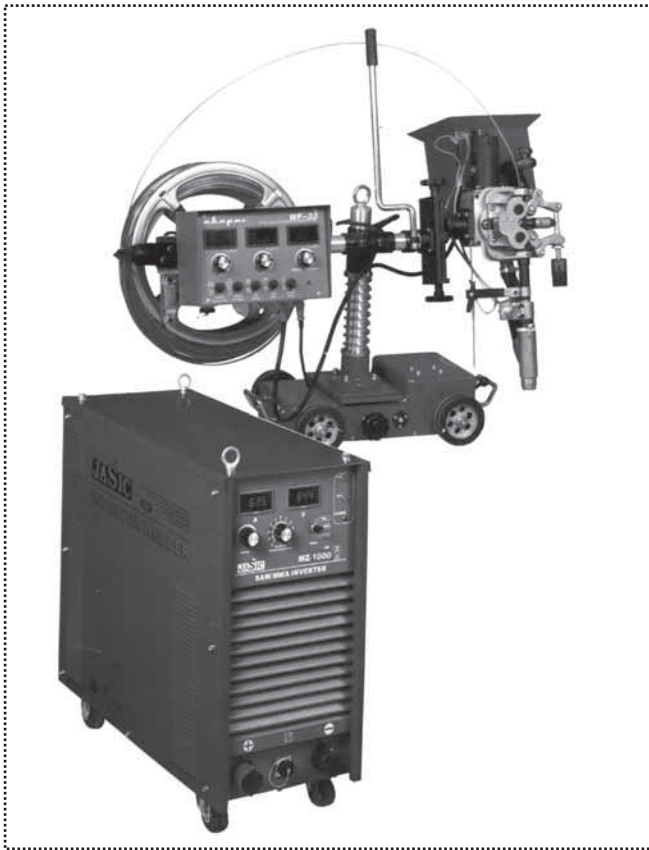


Рис. 13. Сварочный аппарат мод. MZ1000 (J58)

- защита дуги и сварочной ванны от действия воздуха (дуга горит под слоем флюса);
- прекращение сварки;
- заварка кратера в конце шва.

Сварной шов получается гладким и ровным вследствие равномерной подачи проволоки в автоматическом режиме и непрерывной скорости сварки. Использование больших сварочных токов (до 1000 А)

обеспечивает сплошной и грубый провар. Зона сварки защищена от воздействия воздуха слоем расплавленного флюса, что гарантирует отсутствие различных посторонних включений, образования пор и других внутренних дефектов. Питающее напряжение автомата 380 В, потребляемая мощность 52 кВт, скорость подачи проволоки 3,2...5,0 м/мин, скорость сварки 15...72 м/ч. Габаритные размеры автомата 865×450×820 мм, масса 103 кг.

Теплообменник мод. "Кулер 6Л" предназначен для охлаждения горелок, работающих на высоких значениях силы тока, средняя температура охлаждения не превышает 60 °С, что обеспечивает стабильную работу охлаждаемых устройств. Главное преимущество теплообменника – низкое энергопотребление с большинством горелок, защита от перепадов напряжения, обеспечение стабильного давления, коррозионная стойкость. Питающее напряжение теплообменника 220 В, потребляемая мощность 150 Вт. Его охлаждающая жидкость – дистиллированная вода, расход которой при охлаждении составляет 1,5...5,3 л/мин при давлении 0,5 МПа. Габаритные размеры теплообменника 415×220×380 мм, масса 18 кг.

Кроме того, на выставке "ГК Свароч" демонстрировал различное дополнительное оборудование: клеммы заземления, электродержатели, пульта управления, горелки, подающие механизмы, тележки для сварочных аппаратов, сварочные маски и т.п.

Выставку посетило большое число специалистов в том числе машиностроительных предприятий. В рамках проведения выставки была организована конференция для владельцев инструментальных компаний.

*Чл.-кор. Академии  
проблем качества*

**А.Н. Иванов**

ООО "Издательство **Машиностроение**", 107076, Москва, Стромьинский пер., 4  
Учредитель ООО "Издательство **Машиностроение**".

Адрес электронной почты издательства: [mashpubl@mashin.ru](mailto:mashpubl@mashin.ru);  
редакции журнала: [sborka@mashin.ru](mailto:sborka@mashin.ru), <http://www.mashin.ru>

Телефон редакции журнала: (499) 268-38-42; тел./факс (499) 268-85-26; факс 269-48-97.

Технический редактор *Жиркина С.А.* Корректоры *Сажина Л.И., Солюшкина Л.Е.*

Сдано в набор 21.01.13 г. Подписано в печать 22.02.13 г. Формат 60×88 1/8.

Бумага офсетная. Усл. печ. л. 5,88. Свободная цена.

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

Отпечатано в ООО "Белый ветер", 115407, г. Москва, Нагатинская наб., д. 54, пом. 4.