ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

СБОРКА В МАШИНОСТРОЕНИИ, ПРИБОРОСТРОЕНИИ

ЖУРНАЛ ВЫХОДИТ ПРИ СОДЕЙСТВИИ МЕЖДУНАРОДНОГО СОЮЗА МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ

ЖУРНАЛ ВХОДИТ В ПЕРЕЧЕНЬ УТВЕРЖДЕННЫХ ВАК РФ ИЗДАНИЙ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИЙ ТРУДОВ СОИСКАТЕЛЕЙ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ

9 2015 (182)

СОДЕРЖАНИЕ

Сборочное оборудование и его элементы

Щеткин А.В. Предельные режимы движения шиберов при автоматизированной установке комплекта "уплотнение — сопрягаемая деталь" 3

Современные технологии сборки

Сорокин М.Н., Колтунов И.И., Сазонов Д.А. Метод перераспределения потока для решения задачи комплектования при селективной сборке изделий типа "подшипник" 7

Сборка с использованием клеев

Игнатов А.В. Проектирование устройств нанесения клеевых композиций для сборки изделий из алюминиевых сплавов 14

Обеспечение качества. Испытания. Контроль

Басинюк В.Л., Велигурский Г.А., Поплавская Л.А. Система двухпрофильного контроля зубчатых колес для повышения качества сборочных работ трансмиссий на основе эвольвентных зубчатых передач 23

Гаспаров Э.С., Денисенко А.Ф., Гаспарова Л.Б. Определение усилия предварительного натяга подшипниковых опор шлифовального шпинделя 26

Разоренов А.Г. Деградация электрической изоляции в слаботочных конструкциях электронных сборок 30

Руднева Л.Ю. Организация и подготовка производства сборки агрегатов и приборов методом групповой взаимозаменяемости 34

В помощь конструктору, технологу

Гусев В.Г., Наумов Г.М. Перспективные направления повышения уровня технологической подготовки производства высокоточных изделий на станках с ЧПУ 37

Микаева С.А., Микаева А.С., Трубиенко О.В. Сборка электронной пускорегулирующей аппаратуры 44

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.: 8 (499) 269-54-98. Факс 8 (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.

Председатель редакционного совета

Ф.М. МИТЕНКОВ, *академик РАН*

Редакционный совет

МОСКВА

А.С. ВАСИЛЬЕВ (главный редактор), д.т.н., проф.
А.А. ГУСЕВ, д.т.н., проф.
М.В. ВАРТАНОВ, д.т.н., проф.
И.Н. ЗИНИНА, к.т.н., доц.
Ю.Л. ИВАНОВ, д.т.н.
Ю.Г. КОЗЫРЕВ, к.т.н.
А.И. КУМЕНКО, д.т.н., проф.
А.В. МЕДАРЬ, д.т.н.
Е.А. МИКРИН, д.т.н., акад. РАН
В.В. ПОРОШИН, д.т.н., проф.
Б.В. ШАНДРОВ, к.т.н., проф.
А.А. ШАТИЛОВ, к.т.н., доц.
А.Г. ХОЛОДКОВА, к.т.н., проф.
Г.А. ЯРКОВ, инж.

Региональные редсоветы

БЕЛГОРОД

Н.А. ПЕЛИПЕНКО, д.т.н.

БРЯНСК

О.А. ГОРЛЕНКО, д.т.н., проф.

ВЛАДИВОСТОК

Ю.Н. КУЛЬЧИН, д.т.н., чл.-кор. РАН
А.А. СУПОНЯ, к.т.н.

ВОЛГОГРАД

В.Г. КАРАБАНЬ, к.т.н., доц.
М.Г. КРИСТАЛЬ, д.т.н., проф.
В.И. ЛЫСАК, д.т.н., проф., чл.-кор. РАН
В.М. ТРУХАНОВ, д.т.н., проф.

ИЖЕВСК

И.В. АБРАМОВ, д.т.н., проф.
В.Г. ОСЕТРОВ, д.т.н., проф.
Б.А. ЯКИМОВИЧ, д.т.н., проф.

КАЗАНЬ

Р.И. АДГАМОВ, д.т.н., проф.

КОВРОВ

Ю.З. ЖИТНИКОВ, д.т.н., проф.

КОЛОМНА

Ю.Д. АМИРОВ, д.т.н., проф.

КОМСОМОЛЬСК-НА-АМУРЕ

Б.Н. МАРЬИН, д.т.н.
А.М. ШПИЛЕВ, д.т.н., проф.

НАБЕРЕЖНЫЕ ЧЕЛНЫ

С.В. ДМИТРИЕВ, д.т.н.
Р.М. ХИСАМУТДИНОВ, к.т.н.

НИЖНИЙ НОВГОРОД

С.В. ГОЛУБЕВ, инж.

ОМСК

В.Н. КОСТЮКОВ, д.т.н.

ОРЕЛ

Ю.С. СТЕПАНОВ, д.т.н., проф.
Г.А. ХАРЛАМОВ, д.т.н., проф.

ОРЕНБУРГ

А.Н. ПОЛЯКОВ, д.т.н., проф.
А.И. СЕРДЮК, д.т.н., проф.
А.П. ФОТ, д.т.н., проф.

РЫБИНСК

В.Ф. БЕЗЪЯЗЫЧНЫЙ, д.т.н., проф.
В.В. НЕПОМИЛУЕВ, д.т.н., проф.
А.Н. СЕМЕНОВ, д.т.н., проф.

САМАРА

Ю.А. ВАШУКОВ, к.т.н., доц.
М.А. ЕВДОКИМОВ, д.п.н., проф.
В.А. НИКОЛАЕВ, к.т.н., проф.

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

В.Ф. КУЗЬМИН, к.т.н.
Е.В. ШАЛОБАЕВ, к.т.н., проф.

СЕВАСТОПОЛЬ

Е.Л. ПЕРВУХИНА, д.т.н., проф.

ТОЛЬЯТТИ

А.И. РЫЖКОВ, к.т.н.

ТУЛА

В.В. ПРЕЙС, д.т.н., проф.

ХАБАРОВСК

В.А. ЛАШКО, д.т.н., проф.
В.И. ШПОРТ, д.т.н., проф.

Беларусь

МИНСК

В.Л. БАСИНЮК, д.т.н.
М.Л. ХЕЙФЕЦ, д.т.н., проф.

ГОМЕЛЬ

В.Е. СТАРЖИНСКИЙ, д.т.н.

Украина

КИЕВ

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

ДОНЕЦК

А.Н. МИХАЙЛОВ, д.т.н., проф.

ПОЛЬША

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

Ответственные за подготовку и выпуск номера:

О.Г. КРАСИЛЬНИКОВА, 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.

© Издательство "Инновационное машиностроение", "Сборка в машиностроении, приборостроении", 2015

THE MONTHLY JOURNAL FOR SCIENTISTS AND MANUFACTURERS

ASSEMBLING IN MECHANICAL ENGINEERING AND INSTRUMENT-MAKING

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

THE JOURNAL IS AMONG THOSE APPROVED BY RF FOR DISSERTATION PUBLICATION

9 2015 (182)

CONTENTS

Production tools and machinery for assembly

Shchetkin A.V. Limiting behavior of gate's motion at automatic installation of kit packing-mating detail 3

Modern technologies in assembly

Sorokin M.N., Koltunov I.I., Sazonov D.A. Method of redistribution of a stream for the solution of a matching problem at selective assembly of "bearing" products 7

Assembly with use glue

Ignatov A.V. The design of the adhesive compositions for the assembly of products from aluminum alloys. 14

Quality assurance. Testing. Monitoring

Basiniuk V.L., Veligurski G.A., Poplavskaya L.A. Double-flank gear control system for improvement of quality of assembly works of transmissions on the basis of involute gears 23

Gasparov E.S., Denisenko A.F., Gasparova L.B. Determining preload bearings of the grinding spindle 26

Razorenov A.G. The degradation of electrical insulation in the low current construction of electronic assembly 30

Rudneva L.Yu. Organization and preparation of production assembly of aggregate and instruments of group interchangeability method 34

Industrial and design engineer's aid

Gusev V.G., Naumov G.M. Level heightening perspective directions of manufacture technological preparation of high-precision articles on numerical control machine tools 37

Mikaeva S.A., Mikaeva A.S., Trybienko O.V. Assembling the electronic ballast shall be of the device 44

Journal is distributed on subscription, whith can be issues 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.: 8 (499) 269-54-98. Fax: 8 (499) 269-48-97.
http://www. mashin.ru E-mail: sborka@machin.ru
The reference to the Assembling in Mechanical Engineering and Instrument-Making Journal during reprint of the materials is mandatory.
Advertisers are responsible for the content of their advertisements.

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.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

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

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

KAZAN
R.I. ADGAMOV

KOVROV
Yu.Z. ZHITNIKOV

KOLOMNA
Yu.D. AMIROV

KOMSOMOLSK-ON-AMUR
B.N. MARJIN
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
V.A. NIKOLAEV

ST.-PETERSBURG
V.F. KUZMIN
E.V. SHALOBAEV

SEVASTOPOL
E.L. PERVUKHINA

TOLIATI
A.I. RYZHKOV

TULA
A.I. PREYS

KHABAROVSK
V.A. LASHKO
V.I. SCHPORT

Belarus

MINSK
V.L. BASINJUK
M.L. KHEIFETZ

GOMEL
V.E. STARZHINSKI

Ukraine

KIEV
A.S. ZENKIN
V.A. MATVIENKO

DONETSK
A.N. MIKHAILOV

POLAND
P. LEBKOVSKI
E. LUNARSKII

Executive editors of current issue:
O.G. KRASILNIKOVA, I.M. GLIKMAN

The journal is registered by RF Ministry of Press, Tele-radio Broadcasting and Mass Communications Media. Registration certificate IE . 77-1747, February 25, 2000

© "Innovative Mashinostroenie" Publishers, "Assembling in Mechanical Engineering and Instrument-Making", 2015

УДК 65.011.56

А.В. Щеткин *(Завод имени В.А. Дегтярева, г. Ковров)*
E-mail: avshchetkin@mail.ru

Предельные режимы движения шиберов при автоматизированной установке комплекта "уплотнение — сопрягаемая деталь"

Описано автоматизированное устройство установки комплекта "уплотнение—сопрягаемая деталь" и обоснованы предельные режимы движения шибера, при которых уплотнение и деталь не изменяют своих положений на нем.

Automatic device of installation for "kit packing—mating detail" and limiting behavior of gate's motion, in which packing and detail don't change their position, are written.

Ключевые слова: автоматизированное устройство, уплотнение, деталь, шибер, предельные режимы движения.

Keywords: automation device, compaction, detail, gate, limiting behaviour of motion.

Для установки комплекта "уплотнение—сопрягаемая деталь" предлагается следующая конструкция (рис. 1).

Схема состоит из станины *1*, к которой крепятся питатель уплотнений *2* и питатель сопрягаемых деталей *26*.

В нижней части питателя уплотнений расположен шибер *16*, который шарнирно прикреплен к штоку *14* пневмоцилиндра *10*, которым приводится в движение.

Аналогично в нижней части питателя сопрягаемых деталей расположен шибер *23*, шарнирно прикрепленный к штоку *20* пневмоцилиндра *9*, которым приводится в движение. Через отверстия в станине *1* проходят направляющие *5*, на которых с возможностью перемещения расположены две плиты *7*, жестко связанные между собой. К станине штоком *13* прикреплен сдвоенный пневмоцилиндр *3*, *4*, шток последнего жестко крепится к верхней плите *7*. К этой плите снизу крепится пневмоцилиндр *8*, шток *25* с зазором проходит через отверстие нижней плиты *7* и жестко крепится к плите *11*. Через плиту *11* с зазорами проходят три подпружиненные направляющие *12*, жестко связанные со съемником *24*. Направляющие *12* оканчиваются удлиненными штифтами, которые при работе проходят через отверстия сопрягаемой детали и уплотнения, доориентируя их относительно друг друга. Узел *18* подается на позицию сборки шаговым конвейером *19*.

Устройство работает следующим образом.

В исходном положении устройство поднято над шаговым конвейером, а поршни пневмоцилиндра прижаты к задним стенкам. Узел *18* подается на позицию сборки. Подается команда на перемещение шиберов *16*, *23*. Штоки *14* и *20* перемещают шиберы, на которых расположены сопрягаемая деталь и уплотнение. Сдвоенный пневмоцилиндр *3*, *4* перемещает устройство установки детали и уплотнения вниз. Удлиненные штифты *12* проходят через отверстия сначала сопрягаемой детали, а затем уплотнения и входят либо в штифтовые, либо резьбовые отверстия на узле. Подается команда на удаление шиберов из-под съемника *24*, срабатывают пневмоцилиндры *9*, *10* и шиберы за счет прорезей на их поверхностях, через которые прошли штифты, удаляются из-под съемника *24*. Сопрягаемая деталь и уплотнение располагаются на штифтах.

Для исключения сбоев, когда деталь и уплотнение не переместятся вниз до узла по штифтам, срабатывает пневмоцилиндр *8*, который принудительно прижимает деталь и уплотнение к узлу. Подается команда отвода устройства от узла. Срабатывают пневмоцилиндры *8*, *3*, *4* и устройство отводится вверх от

sb915.indd 3 27.08.2015 9:38:42

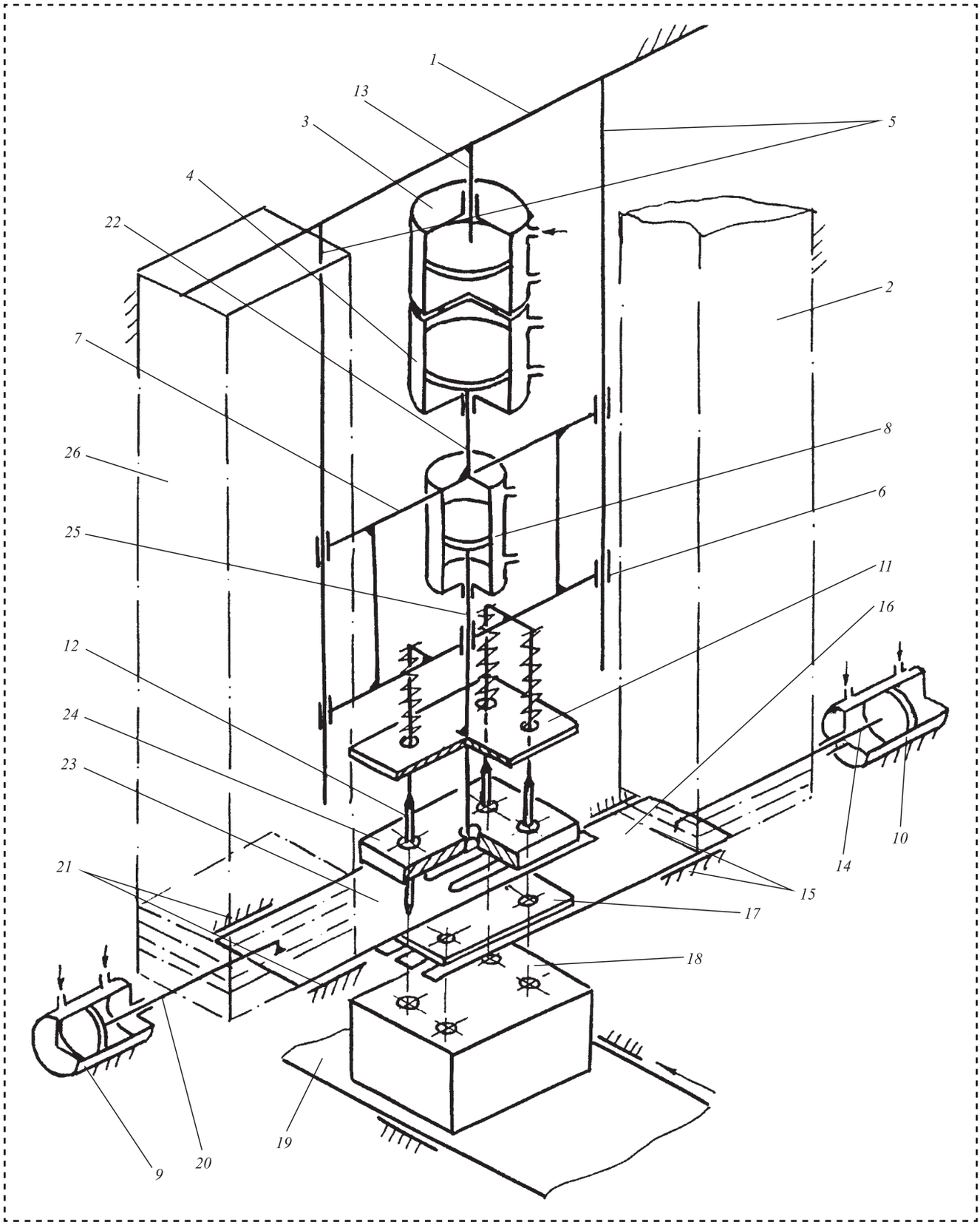


Рис. 1. Кинематическая схема устройства автоматизированной установки комплекта "уплотнение—сопрягаемая деталь"

sb915.indd 4 27.08.2015 9:38:42

собранного узла. Шаговый конвейер удаляет с позиции сборки собранный узел, а на его место подает новый. Процесс автоматизированной установки сопрягаемой детали и уплотнения на узел повторяется.

Для обеспечения предельной скорости работы устройства "уплотнение—сопрягаемая деталь" подается шибер [1—3].

В момент торможения шибера как деталь, так и уплотнение под действием сил инерции могут сместиться относительно требуемых положений, что приведет к невозможности осуществить их качественную установку на собираемый узел.

Обоснуем необходимые условия, при которых деталь и уплотнение не сдвинутся относительно требуемых положений.

Необходимое условие, исключающее смещение детали и уплотнения относительно требуемых положений, запишем в виде неравенства

$$F_{\text{тр}} > F_{\tau}^{\text{ин}}, \tag{1}$$

где $F_{\text{тр}}$ — сила трения;

$F_{\tau}^{\text{ин}}$ — сила инерции.

При горизонтальном положении шибера сила трения

$$F_{\text{тр}} = Nf = \sigma f, \tag{2}$$

где N — сила нормального давления;

σ — вес детали или уплотнения;

f — коэффициент трения.

Учитывая, что для торможения шибера в пневмоцилиндре установлена пружина, процесс торможения в первом приближении можно считать равнозамедленным.

Для равнозамедленного движения согласно [4] справедливы формулы

$$A = \frac{W_{\tau} t^2}{2}; \tag{3}$$

$$V = V_0 - W_{\tau} t, \tag{4}$$

где S — путь торможения, равный величине деформации пружин;

W_{τ} — тангенциальное ускорение;

t — время торможения;

V — конечная скорость движения;

V_0 — начальная скорость движения.

В конце движения скорость V шибера равна нулю. С учетом этого после преобразования выражений (3) и (4) получим

$$W_{\tau} = \frac{V_0^2}{2S}. \tag{5}$$

Сила инерции согласно [4] имеет вид

$$F_{\tau}^{\text{ин}} = mW_{\tau} = \frac{\sigma}{g} W_{\tau}, \tag{6}$$

где σ — вес уплотнения или детали;

g — ускорение свободного падения.

Подставим в выражение (1) выражения (2), (6), а в последнее — (5) и с учетом коэффициента запаса усилия k получим

$$\sigma f = k \frac{\sigma}{g} \frac{V_0^2}{2S}. \tag{7}$$

Отсюда предельная скорость движения шибера в момент начала торможения находится из выражения

$$V_0 < \sqrt{\frac{2Sgf}{k}}. \tag{8}$$

Найдем жесткость пружин для торможения шибера.

Воспользуемся принципом Даламбера [4]:

$$\begin{aligned} &\sum \bar{F}_j^e + \sum \bar{R}_j + \sum \bar{F}_j^{\text{ин}} = 0; \\ &\sum \bar{M}_j^e + \sum \bar{M}_j^R + \sum \bar{M}_j^{\text{ин}} = 0, \end{aligned} \tag{9}$$

где $\sum \bar{F}_j^e$ — векторная сумма внешних сил, действующих на систему;

$\sum \bar{M}_j^e$ — векторная сумма моментов внешних сил, действующих на систему;

$\sum \bar{R}_j$ — векторная сумма реакций связей;

$\sum \bar{M}_j^R$ — векторная сумма моментов реакций связей;

$\bar{F}_j^{\text{ин}}$ — векторная сумма сил инерции;

$\bar{M}_j^{\text{ин}}$ — векторная сумма моментов сил инерции.

Расчетная схема представлена на рис. 2.

Спроецируем силы на ось X:

$$\sum X_j = F_{\text{пц}} + F_{\tau}^{\text{ин}} - F_{\text{тр}} - F_{\text{пр}} = 0, \tag{10}$$

где $F_{\text{пц}}$ — сила пневмоцилиндра; $F_{\text{пр}}$ — сила пружины.

sb915.indd 5 27.08.2015 9:38:42

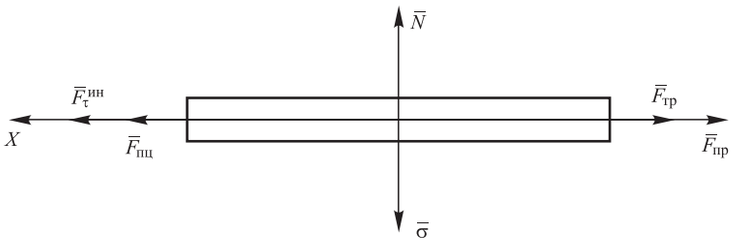


Рис. 2. Расчетная схема

Для надежного удержания шибера на позиции сборки достаточно, чтобы выполнялось неравенство

$$F_{пц} > F_{пр}. \quad (11)$$

С учетом коэффициента запаса силы k получим

$$F_{пц} = kF_{пр}. \quad (12)$$

Сила пневмоцилиндра имеет вид

$$F_{пц} = [P]\frac{\pi d_п^2}{4}, \quad (13)$$

где $[P]$ — давление сжатого воздуха в магистрали; $d_п$ — диаметр поршня.

Сила пружины определяется по формуле

$$F_{пр} = CS, \quad (14)$$

где C — жесткость пружины; S — величина деформации пружины (ход поршня).

С учетом выражений (2), (5), (6), (12), (14) выражение (10) примет вид

$$kCS + \frac{V_0^2\sigma}{2gS} - \sigma f - CS = 0. \quad (15)$$

Окончательно жесткость пружины пневмоцилиндра с учетом выражения (8) запишется в виде

$$C = \frac{\sigma f}{S(k-1)} - \frac{V_0^2\sigma}{2gS^2(k-1)}. \quad (16)$$

Таким образом, представлена кинематическая схема устройства автоматизированной установки комплекта "уплотнение—сопрягаемая деталь", обоснованы предельные режимы движения шиберов, при которых уплотнение и деталь не изменят своих положений на шиберах, что гарантирует надежную и качественную сборку.

Библиографический список

1. **Житников Ю.З., Симаков А.Л.** Автоматизация сборки изделий с резьбовыми соединениями: Учеб. пособие. Ч. 2. Ковров: Изд. КГТА, 1997. 156 с.

2. **Житников Ю.З., Симаков А.Л., Житников Б.Ю.** Устройства автоматизированной сборки изделий в машино- и приборостроении. Альбом схемных решений и конструкций. Ковров: КГТА, 2003. 148 с.

3. **Житников Ю.З.** и др. Устройства установки металлизированных прокладок // Сборка в машиностроении, приборостроении. 1993. № 3. С. 13—16.

4. **Бутенин Н.В., Лунц Я.Л., Меркин Д.Р.** Курс теоретической механики. М.: Наука, 1979. 543 с.

sb915.indd 6 27.08.2015 9:38:42

УДК 621.717

М.Н. Сорокин, И.И. Колтунов, *д-ра техн. наук,*
Д.А. Сазонов *(Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ))*
E-mail: sorokin-mn@mail.ru

Метод перераспределения потока для решения задачи комплектования при селективной сборке изделий типа "подшипник"

Предложен метод перераспределения потока для решения задачи комплектования при селективной сборке изделий типа "подшипник". Метод основан на выборе путей комплектования, на которых происходит перераспределение потока, и реализован в виде пошаговой процедуры с конечным числом шагов.

The method of redistribution of a stream for the solution of a matching problem at selective assembly of "bearing" products is offered. The method is based on a choice of ways of matching on which there is a redistribution of a stream. The method is realized in the form of step-by-step procedure with final number of steps.

Ключевые слова: селективная сборка, задача комплектования, метод перераспределения потока, поток в сети.

Keywords: selective assembly, matching problem, method of redistribution of a stream, stream in a network.

Главной задачей при селективной сборке изделий типа "подшипник" является решение трехпараметрической задачи комплектования (далее — задачи комплектования).

Решение задачи комплектования при селективной сборке изделий типа "подшипник" зависит от способа реализации селективной сборки. Здесь предложен метод решения задачи комплектования, когда селективная сборка осуществляется последовательно, партиями, т. е. имеет место периодическая селективная сборка, или когда имеет место селективная сборка отдельной партии деталей.

В [1] дискретная задача комплектования представлена как задача целочисленного линейного программирования, или как задача определения максимального потока в транспортной сети комплектования. Однако в практических приложениях задачи комплектования имеют большую размерность, что делает практически невозможным применение универсальных методов.

Поэтому возникает необходимость разработки для решения данной задачи эвристических методов, которые обеспечивали бы полную собираемость изделий при условии минимального допуска на параметр сопряжения. В данной статье предлагается эвристический метод решения дискретной задачи комплектования. Задача комплектования рассматривается как транспортная задача [1, 2].

Задачу комплектования рассматривают в каноническом виде, когда уравнение сопряжения имеет линейный вид, а поля допусков сопрягаемых параметров и параметра сопряжения представлены в нормированном виде.

Введем необходимые обозначения и определения.

Поле допуска сопрягаемых параметров x_i определим как отрезок [−1, + 1], $i = \overline{1,3}$.

Разобьем отрезок [−1, + 1] на нечетное число селективных интервалов и обозначим их через индекс j_i, $j_i = \overline{-n, n}$.

Уравнение сопряжения для задачи комплектования запишем в номерах селективных интервалов $j_1 + j_2 + j_3 = j_R$ [3], где j_R — номер селективного интервала параметра сопряжения R.

Поле допуска на параметр сопряжения R определим в номерах селективных интервалов $k_1 \leqslant j_1 + j_2 + j_3 \leqslant k_2$, где значения k_1 и k_2 определяют минимальное и максимальное значения поля допуска на параметр сопряжения R.

sb915.indd 7 27.08.2015 9:38:42

Пусть $s(j_1, j_2, j_3)$ — путь комплектования в транспортной сети комплектования; $p(j_1, j_2, j_3)$ — количество сборочных комплектов на $s(j_1, j_2, j_3)$-м пути комплектования; $k_2 - k_1$ — допуск на параметр сопряжения R, выраженный в номерах селективных интервалов; $f_i(j_i)$ — функция распределения количества i-х деталей в j_i-й селективной группе.

Будем считать, что решением задачи комплектования является совокупность таких путей комплектования $s_q(j_1, j_2, j_3)$ и такое количество сборочных комплектов $p_q(j_1, j_2, j_3)$ на них, чтобы обеспечивалась полная собираемость изделий ($p_{\text{соб}} = 1$), а допуск на параметр сопряжения был бы минимальным — $q = \overline{1, N}$, где N — общее число путей комплектования, определяющих решение данной задачи (рис. 1).

Для решения задачи комплектования предложен *метод перераспределения потока.*

Решение задачи комплектования методом перераспределения потока состоит из двух этапов.

На первом этапе решаем двухпараметрическую задачу комплектования с функциями распределения $f_1(j_1)$ и $f_2(j_2)$ методом полного целенаправленного суммирования [4] (рис. 2). Уравнение сопряжения имеет вид

$$j_3 = j_1 + j_2.$$

Получаем полную собираемость деталей 1-го и 2-го видов. Решение этой задачи определяет пути комплектования $s_q(j_1, j_2)$ и количество сборочных комплектов на них $p_q(j_1, j_2)$, $q = \overline{1, N_1}$, где N_1 — число путей комплектования, определяющих решение данной задачи.

Если r — параметр сопряжения двухпараметрической задачи комплектования, то решение данной задачи определяет и поле допуска на параметр сопряжения r, выраженное в числовых индексах:

$$k_1^0 \leqslant j_r \leqslant k_2^0,$$

где значения k_1^0 и k_2^0 определяют минимальное и максимальное значения поля допуска на параметр сопряжения r.

Решение двухпараметрической задачи комплектования определяет функцию распре-

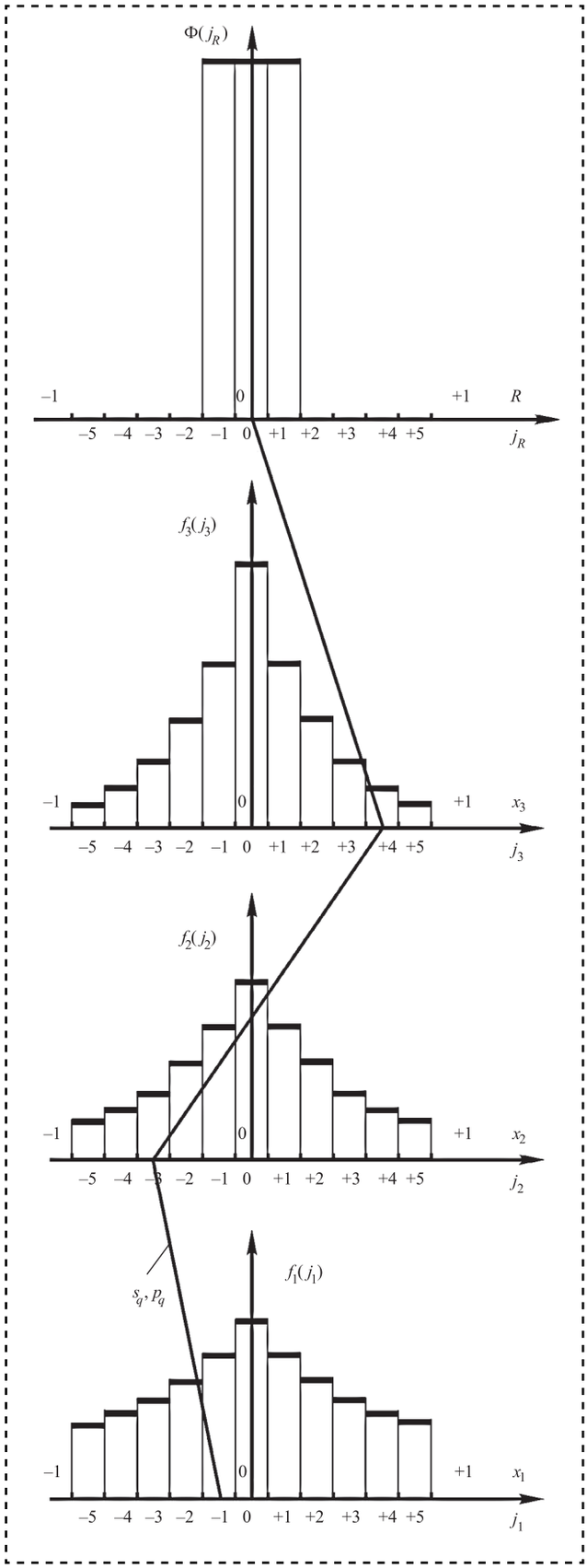


Рис. 1. Транспортная сеть для задачи комплектования

sb915.indd 8 27.08.2015 9:38:42

деления количества сборочных комплектов $f_3^0(j_3)$, состоящих из деталей 1-го и 2-го видов. Функция распределения $f_3^0(j_3)$ определена на поле допуска на параметр сопряжения *r*.

Придадим функции распределения $f_3^0(j_3)$ другой физический смысл. Будем рассматривать ее как функцию распределения виртуальных деталей 3-го вида. Тогда пути комплектования $s_q(j_1, j_2)$ можно продлить до числового индекса j_3 и определить как $s_q(j_1, j_2, j_3)$, а количество сборочных комплектов на этом пути комплектования будет

$$p_q(j_1, j_2, j_3) = p_q(j_1, j_2),$$

причем для значений индексов этих путей будет выполняться соотношение $j_1 + j_2 = j_3$, или $j_1 + j_2 - j_3 = 0$.

Индекс j_3 определяет и номер селективной группы виртуальных деталей 3-го вида.

Фактически в транспортной сети комплектования (см. рис. 2) мы имеем поток S_0 на путях комплектования $s_q(j_1, j_2, j_3)$ и количество $p_q(j_1, j_2, j_3)$ сборочных комплектов на них, для которых выполняются условие полной собираемости $p_{соб} = 1$ и условие $k_1^0 \leqslant j_3 \leqslant k_2^0$.

На втором этапе мы должны трансформировать поток S_0, построить новый поток S_p, т. е. изменить пути комплектования и количество сборочных комплектов на них таким образом, чтобы общее количество сборочных комплектов не изменилось: $p_{соб} = 1$, а для параметра сопряжения *R* выполнялось условие

$$k_1^p \leqslant j_R \leqslant k_2^p;\ k_2^p - k_1^p \to \min.$$

Изменения потока мы будем проводить методом перераспределения потока, используя пошаговую процедуру.

В результате применения пошаговой процедуры метода перераспределения потока получаем последовательность потоков $S_0, S_1, ..., S_l, ..., S_p$ и последовательность функций распределения $f_3^0(j_3),\ f_3^1(j_3),\ ...\ f_3^l(j_3),\ ...,\ f_3^p(j_3)$.

На *p*-м шаге процедура заканчивается, и условие

$$f_3^p(j_3) = f_3(j_3) \qquad (1)$$

либо выполняется, либо его невозможно выполнить.

Если условие (1) выполняется, то задача комплектования решена. В противном случае пошаговую процедуру необходимо повторить.

Величина δ_l определяет степень близости функций распределения $f_3^l(j_3)$ и $f_3(j_3)$:

$$\delta_l = \sum_{-n \leqslant j_3 \leqslant n} \left| f_3^l(j_3) - f_3(j_3) \right|. \qquad (2)$$

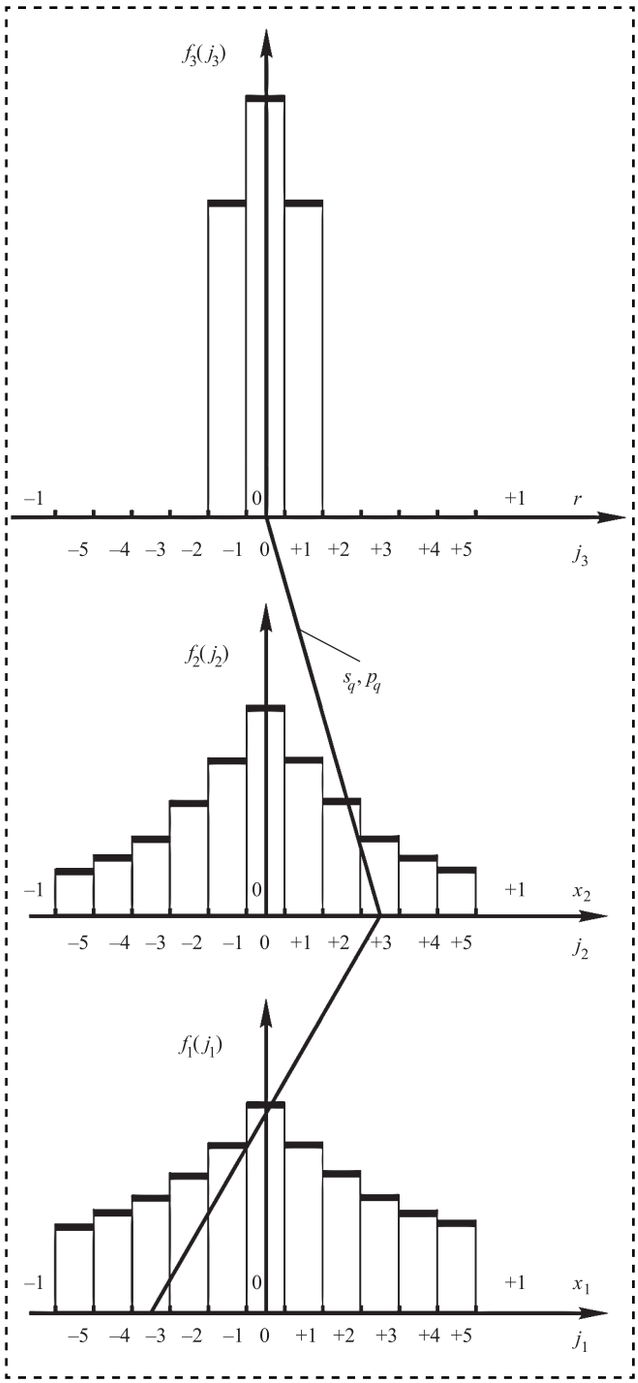


Рис. 2. Транспортная сеть для двухпараметрической задачи комплектования

sb915.indd 9 27.08.2015 9:38:42

Очевидно, если $\delta_p = 0$, то условие (1) выполняется.

Рассмотрим первый шаг процедуры перераспределения потока.

Основой метода перераспределения потока является выбор путей комплектования из решения двухпараметрической задачи комплектования, на которых и происходит перераспределение потока.

Выберем два базовых пути комплектования и количество сборочных комплектов на них:

$$s_1\left(j_1^1, j_2^1, j_3^1\right),\ \ p_1\left(j_1^1, j_2^1, j_3^1\right) = p_1; \tag{3}$$

$$s_2\left(j_1^2, j_2^2, j_3^2\right),\ \ p_2\left(j_1^2, j_2^2, j_3^2\right) = p_2. \tag{4}$$

Для этих путей комплектования должны выполняться условия

$$f_3^0\left(j_3^1\right) > f_3\left(j_3^1\right);$$
$$f_3^0\left(j_3^2\right) > f_3\left(j_3^2\right).$$

Образуем на выбранных путях комплектования (3), (4) два новых пути комплектования (рис. 3):

$$s_3\left(j_1^1, j_2^2, j_3^4\right); \tag{5}$$

$$s_4\left(j_1^2, j_2^1, j_3^3\right). \tag{6}$$

При выполнении пошаговой процедуры в первый раз для новых путей комплектования должно выполняться условие

$$j_1 + j_2 + j_3 = 0. \tag{7}$$

Кроме того, эти пути комплектования также должны удовлетворять условиям

$$j_3^3, j_3^4 \in [-n, n];$$
$$f_3^0\left(j_3^3\right) < f_3\left(j_3^3\right);$$
$$f_3^0\left(j_3^4\right) < f_3\left(j_3^4\right).$$

На путях комплектования (3), (4) выбираем некоторое количество сборочных комплектов

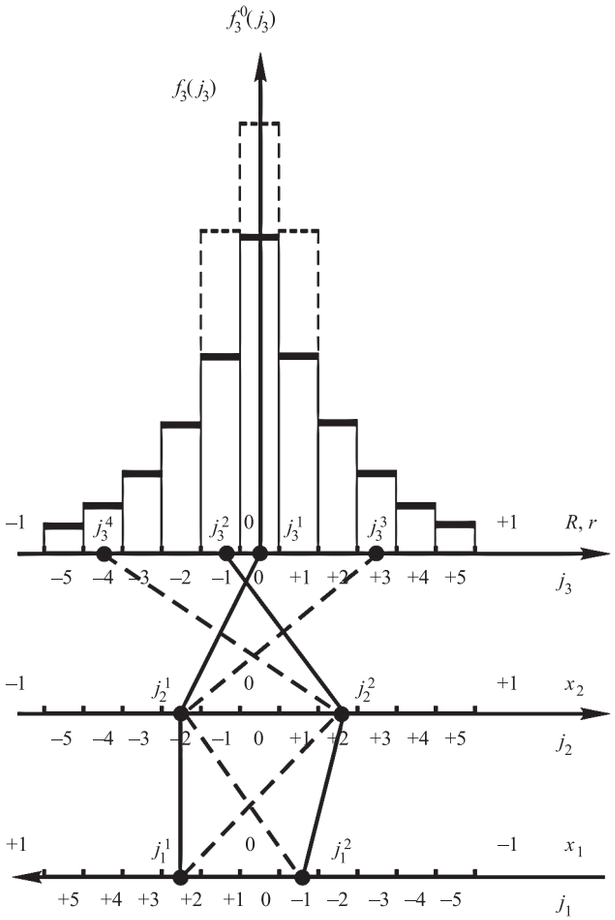


Рис. 3. Пути комплектования при перераспределении потока

(виртуальных деталей 3-го вида) p_0 и добавляем их на пути комплектования (5), (6). Тогда на базовых и новых путях комплектования количество сборочных комплектов определяется выражениями

$$s_1\left(j_1^1, j_2^1, j_3^1\right);\ \ p_1\left(j_1^1, j_2^1, j_3^1\right) - p_0;$$

$$s_2\left(j_1^2, j_2^2, j_3^2\right);\ \ p_2\left(j_1^2, j_2^2, j_3^2\right) - p_0;$$

$$s_3\left(j_1^1, j_2^2, j_3^4\right);\ \ p_3\left(j_1^1, j_2^2, j_3^4\right) = p_0;$$

$$s_4\left(j_1^2, j_2^1, j_3^3\right);\ \ p_4\left(j_1^2, j_2^1, j_3^3\right) = p_0.$$

При выборе величины p_0 должно выполняться условие

$$p_0 \leqslant \min\left\{p_1, p_2, f_3^0\left(j_3^1\right) - f_3\left(j_3^1\right), f_3^0\left(j_3^2\right) - f_3\left(j_3^2\right), f_3\left(j_3^3\right) - f_3^0\left(j_3^3\right), f_3\left(j_3^4\right) - f_3^0\left(j_3^4\right)\right\}.$$

sb915.indd 10 27.08.2015 9:38:42

Значения функции $f_3^0(j_3)$ изменятся: в точках j_3^1, j_3^2 уменьшатся на p_0, а в точках j_3^3, j_3^4 — увеличатся на величину p_0. Эту новую функцию обозначим $f_3^1(j_3)$.

Величина δ_1 примет вид

$$\delta_1 = \sum_{-n \leqslant j_3 \leqslant n} \left| f_3^1(j_3) - f_3(j_3) \right|.$$

Здесь описан первый шаг процедуры метода перераспределения потока.

Затем выполняются второй и последующие шаги процедуры метода перераспределения потока.

На l-м шаге выражение (2) примет вид

$$\delta_l = \sum_{-n \leqslant j_3 \leqslant n} \left| f_3^l(j_3) - f_3(j_3) \right|.$$

На p-м шаге придем к ситуации, когда условие (1) либо выполняется, либо его невозможно выполнить.

Если условие (1) выполняется, то необходимо заменить виртуальные детали 3-го вида на физические, и задача комплектования будет решена.

В результате выполнения этой пошаговой процедуры получим пути комплектования и количество сборочных комплектов на них, которые определяют решение задачи комплектования.

Если условие (1) не выполняется, то условие $j_1 + j_2 + j_3 = 0$ необходимо расширить, т. е.

$$-1 \leqslant j_1 + j_2 + j_3 \leqslant 1,$$

и пошаговую процедуру метода перераспределения потока повторить.

Каждый новый повтор пошаговой процедуры метода перераспределения потока связан с расширением условия (7).

Таблица 1

Исходные данные для задачи комплектования

j_1	−5	−4	−3	−2	−1	0	+1	+2	+3	+4	+5
$f_1(j_1)$	8	10	12	20	24	28	24	20	12	10	8
j_2	−5	−4	−3	−2	−1	0	+1	+2	+3	+4	+5
$f_2(j_2)$	6	8	14	18	26	32	26	18	14	8	6
j_3	−5	−4	−3	−2	−1	0	+1	+2	+3	+4	+5
$f_3(j_3)$	2	4	16	20	28	36	28	20	16	4	2

Таким образом, метод перераспределения потока на втором этапе может включать ряд пошаговых процедур.

Выбор путей комплектования, на которых на каждом шаге процедуры происходит перераспределение потока, зависит от опыта и интуиции разработчика алгоритма. На каждом шаге процедуры возможен выбор и более четырех путей комплектования, однако такой выбор усложняет алгоритм и должен быть обоснован.

Метод перераспределения потока может быть применен для решения задачи комплектования, когда необходимо обеспечить максимальное количество сборочных комплектов для определенного поля допуска на параметр сопряжения.

Рассмотрим применение метода перераспределения потока на конкретном примере.

В табл. 1 представлены функции распределения $f_i(j_i)$, т. е. количество i-х деталей в j_i-х селективных группах $\left(i = \overline{1,3};\ j_i = \overline{-5,5}\right)$. Общее количество деталей каждого вида равно 176.

В соответствии с этапом 1 в табл. 2 представлено решение двухпараметрической задачи

Таблица 2

Решение двухпараметрической задачи комплектования

q	$s_q(j_1, j_2)$	p_q	q	$s_q(j_1, j_2)$	p_q	q	$s_q(j_1, j_2)$	p_q
1	s_1(+5, −5)	6	8	s_8(+2, −1)	4	15	s_{15}(−2, +2)	16
2	s_2(+5, −4)	2	9	s_9(+1, −1)	22	16	s_{16}(−3, +2)	2
3	s_3(+4, −4)	6	10	s_{10}(+1, 0)	2	17	s_{17}(−3, +3)	10
4	s_4(+4, −3)	4	11	s_{11}(0, 0)	28	18	s_{18}(−4, +3)	4
5	s_5(+3, −3)	10	12	s_{12}(−1, 0)	2	19	s19(−4, +4)	6
6	s_6(+3, −2)	2	13	s_{13}(−1, +1)	22	20	s_{20}(−5, +4)	2
7	s_7(+2, −2)	16	14	s_{14}(−2, +1)	4	21	s_{21}(−5, +5)	6

sb915.indd 11 27.08.2015 9:38:42

комплектования с функциями распределения $f_1(j_1)$ и $f_2(j_2)$ методом полного целенаправленного суммирования, представлены пути комплектования $s_q(j_1, j_2)$ и количество сборочных комплектов $p_q(j_1, j_2)$ на них, $q = \overline{1,21}$.

По табл. 2 можно построить продленные пути комплектования и определить число сборочных комплектов на них:

$$s_q(j_1, j_2, j_3);\ \ p_q(j_1, j_2, j_3) = p_q(j_1, j_2).$$

В соответствии со вторым этапом метода перераспределения потока рассмотрим первый шаг определения путей комплектования для перераспределения потока.

Выбираем из множества путей комплектования, являющихся решением двухпараметрической задачи комплектования на первом этапе, два базовых пути комплектования и количество сборочных комплектов на них:

$$s_1(-5,+5,0);\ \ p_1(-5,+5,0) = 6;$$
$$s_{11}(0,0,0);\ \ p_1(0,0,0) = 28.$$

Образуем два новых пути комплектования и выберем на них количество сборочных комплектов, равное единице:

$$\tilde{s}_1(-5,0,+5);\ \ \tilde{p}_1(-5,0,+5) = 1;$$
$$\tilde{s}_2(0,+5,-5);\ \ \tilde{p}_2(0,+5,-5) = 1.$$

Тогда на базовых путях комплектования останется следующее количество сборочных комплектов:

$$s_1(-5,+5,0);\ \ p_1(-5,+5,0) = 5;$$
$$s_{11}(0,0,0);\ \ p_1(0,0,0) = 27.$$

Таким образом выполняется первый шаг метода перераспределения потока. Следующие шаги осуществляются аналогично. На каждом шаге для первой пошаговой процедуры метода перераспределения потока должно выполняться условие (7).

На каждом последующем шаге выбираются следующие базовые пути, создаются два новых пути комплектования, происходит перераспределение потока. Наполняются селективные группы, которые определяют функцию распределения $f_3^l(j_3)$. Результат проведения ряда последовательных шагов представлен в табл. 3.

Для рассмотренного примера условие (1) выполнено. Для получения решения модельно-

Таблица 3

Решение задачи комплектования

q	$s_q(j_1, j_2, j_3)$	p_q	q	$s_q(j_1, j_2, j_3)$	p_q	q	$s_q(j_1, j_2, j_3)$	p_q
1	$s_1(-5, 0, +5)$	1	16	$s_{16}(+4, -4, +3)$	5	31	$s_{31}(+2, -1, -1)$	6
2	$s_2(0, +5, -5)$	1	17	$s_{17}(-4, +2, +2)$	1	32	$s_{32}(+1, -2, +1)$	6
3	$s_3(+5, 0, -5)$	1	18	$s_{18}(-2, +4, -2)$	1	33	$s_{33}(+2, -2, 0)$	5
4	$s_4(0, -5, +5)$	1	19	$s_{19}(+4, -2, -2)$	1	34	$s_{34}(-2, +2, 0)$	5
5	$s_5(-5, +1, +4)$	2	20	$s_{20}(+2, -4, +2)$	1	35	$s_{35}(0, 0, 0)$	26
6	$s_6(-1, +5, -4)$	2	21	$s_{21}(-1, +3, -2)$	9	36	$s_{36}(+5, -4, -1)$	2
7	$s_7(+5, -1, -4)$	2	22	$s_{22}(-3, +1, +2)$	9	37	$s_{37}(+4, -3, -1)$	4
8	$s_8(+1, -5, +4)$	2	23	$s_{23}(+1, -2, +2)$	9	38	$s_{38}(+3, -2, -1)$	2
9	$s_9(-5, +2, +3)$	3	24	$s_{24}(+3, -1, -2)$	9	39	$s_{39}(+2, -1, -1)$	4
10	$s_{10}(-2, +5, -3)$	3	25	$s_{25}(-3, +2, +1)$	1	40	$s_{40}(+1, 0, -1)$	2
11	$s_{11}(+5, -2, -3)$	3	26	$s_{26}(-2, +3, -1)$	1	41	$s_{41}(-1, 0, +1)$	2
12	$s_{12}(+2, -5, +3)$	3	27	$s_{27}(+3, -2, -1)$	1	42	$s_{42}(-2, +1, +1)$	4
13	$s_{13}(-4, +1, +3)$	5	28	$s_{28}(+2, -3, +1)$	1	43	$s_{43}(-3, +2, +1)$	2
14	$s_{14}(-1, +4, -3)$	5	29	$s_{29}(-2, +1, +1)$	6	44	$s_{44}(-4, +3, +1)$	4
15	$s_{15}(+4, -1, -3)$	5	30	$s_{30}(-1, +2, -1)$	6	45	$s_{45}(-5, +4, +1)$	2

sb915.indd 12 27.08.2015 9:38:42

го примера потребовалась одна пошаговая процедура. Общее число сборочных комплектов равно 176, число путей комплектования — 45.

Совокупность путей комплектования $\tilde{s}_q(j_1, j_2, j_3)$ и количества сборочных комплектов на них $\tilde{p}_q(j_1, j_2, j_3)$, $q = \overline{1,45}$ в табл. 3 определит решение задачи комплектования.

Следует заметить, что метод перераспределения потока рассмотрен для случая, когда функции распределения $f_i(j_i)$ являются симметричными. В противном случае условие (7) должно быть изменено.

Нельзя с вероятностью, равной единице, утверждать, что предложенный алгоритм определяет точное решение задачи комплектования. Однако практически подтверждается, что для достаточно широкого класса симметричных функций распределения $f_i(j_i)$ обеспечивается полная собираемость при выполнении условия (7).

Метод перераспределения потока представляет собой конечную пошаговую процедуру, которая повторяется до тех пор, пока не будет удовлетворено условие (1). Каждый повтор пошаговой процедуры связан с расширением условия (7).

В результате получаем полную собираемость изделий и минимальное значение допуска на параметр сопряжения, выраженный в числовых индексах.

Выводы

1. Предложен метод перераспределения потока для решения задачи комплектования при селективной сборке изделий типа "подшипник".

2. Метод перераспределения потока основан на выборе путей комплектования, на которых происходит перераспределение потока.

3. Метод перераспределения потока является конечной и пошаговой процедурой.

4. Приведен конкретный пример, на котором продемонстрировано применение метода перераспределения потока.

Библиографический список

1. **Сорокин М.Н., Колтунов И.И., Сазонов Д.А., Урманова Д.И.** Математическая постановка задачи комплектования при селективной сборке изделий типа "подшипник" // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2014. № 3. С. 40—43.

2. **Форд Л.П., Фалкерсон Д.П.** Потоки в сетях. М.: Мир, 1966. 276 с.

3. **Сазонов Д.А.** Структура множества путей комплектования при селективной сборке изделий типа "подшипник" // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2014. № 11. С. 34—38.

4. **Сорокин М.Н., Ануров Ю.Н.** Анализ собираемости изделий типа "вал-втулка" при селективной сборке // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2012. № 1. С. 23—26.

ООО "Издательство "Инновационное машиностроение" продолжает подписку на журнал

"СБОРКА В МАШИНОСТРОЕНИИ, ПРИБОРОСТРОЕНИИ"

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

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

107076, г. Москва, Колодезный пер., д. 2а, стр. 2
Тел.: 8 (495) 785-60-69
E-mail: realiz@mashin.ru, www.mashin.ru

sb915.indd 13 27.08.2015 9:38:42

УДК 621.792

А.В. Игнатов, *канд. техн. наук*
(Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана)
E-mail: avlig@yandex.ru

Проектирование устройств нанесения клеевых композиций для сборки изделий из алюминиевых сплавов

Рассматриваются особенности сборки клеевых соединений из деталей, выполненных из алюминиевых сплавов. Представленная методика проектирования автоматизированного устройства нанесения и дозирования клеевых составов в сборочном производстве является универсальной и охватывает все применяемые в машиностроении клеевые составы.

The article discusses the cusp of adhesive joints of parts made of aluminum alloys. A method is proposed to design an automated device for applying and dosing adhesives. Analyzes the characteristics of the adhesive joint, resulting in a developed design schemes with different performance of the considered devices. The method of design of the automated device for applying and dosing of adhesives in the Assembly of products is universal and covers all used in mechanical engineering adhesives.

Ключевые слова: технологический процесс, клеевое соединение, качество сборки, этапы проектирования, автоматизация нанесения, вязкость, клей, схемы нанесения, схемы дозирования.

Keywords: process, adhesive bonding, the build quality, design stages, automation application, viscosity, adhesive, circuit application, the dosing scheme.

Алюминий — один из немногих материалов, открытие и применение которых послужило ощутимым толчком к развитию научной и практической мысли. Сейчас уже невозможно себе представить эволюционный процесс без технического применения алюминиевых сплавов. Поскольку алюминий обладает рядом уникальных эксплуатационных характеристик, то для использования этого материала потребовалась разработка оригинальных технологических процессов сборки и обработки. Опыт применения традиционных методов адгезионной сборки металлических соединений, таких, как сварка, пайка и склеивание, в этом случае оказался малоэффективен.

Для создания качественных соединений потребовалось развивать новые научные и практические подходы, и процесс этот еще не закончен.

Значительные изменения претерпели технологические операции клеевой сборки алюминиевых деталей. Особенностью такой сборки являются процессы, происходящие в поверхностных слоях субстрата. На поверхности алюминиевых деталей стабильно образуется твердая оксидная пленка. Поэтому адгезивные связи в клеевом шве формируются не с активной поверхностью металла, а с оксидной пленкой. При этом связи эти не прочные и быстро разрушаются под воздействием внешней нагрузки.

Если при склеивании основных конструкционных металлов принято рассматривать клеевой шов, состоящий из пяти граничных зон — основной металл первой детали; пограничный слой клей-металл; клей; пограничный слой клей-металл; основной металл второй детали, — то при склеивании алюминиевых сплавов, без специальной подготовки поверхности, рассматривают клеевой шов из семи зон. В этом случае к рассмотренным граничным зонам добавляются зоны, связанные с оксидной пленкой (рис. 1).

Долгое время большое внимание уделялось вопросам разрушения оксидной пленки для создания прочных и устойчивых к старению клеевых соединений. Значительные успехи в данной области сформировались, главным образом, по двум направлениям:

подготовка поверхности;

создание новой гаммы клеевых композиций.

Новые технологические процессы подготовки поверхности под склеивание позволили получить стабильное качество соединений, особенно при использовании комбинированной механической и специальной химической обработки поверхности.

sb915.indd 14 27.08.2015 9:38:42

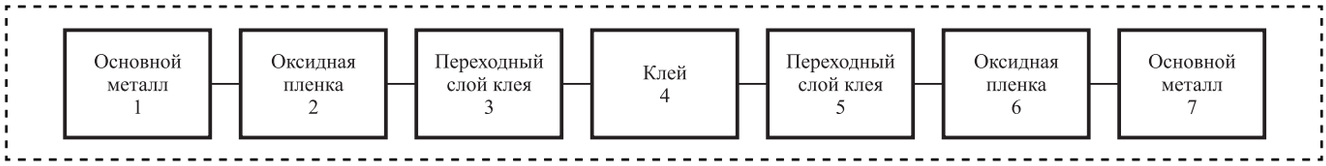


Рис. 1. Клеевой шов при сборке изделий из алюминиевых сплавов

В зависимости от эксплуатационных и экономических требований к изделию в качестве химической подготовки рекомендуют хроматирование, фосфатирование, частичное анодирование. Хорошие результаты достигаются в случае применения травления поверхности кислотами или щелочами. Ряд производителей предлагают двухкомпонентные кислотные грунтовки, а также порошковую окраску на полиэфирной, эпоксидной и полиуретановой основах.

Большинство методов требуют особой подготовки производства, специального обучения персонала, строгих мер техники безопасности. При реализации описанных методов подготовки поверхности в условиях серийного производства необходимо выделение специально оборудованного сборочного поста. Все перечисленные меры негативно сказываются на трудоемкости и себестоимости производства изделий с клееными алюминиевыми соединениями.

В связи с этим особой привлекательностью на практике пользуются клеевые составы, специально разработанные для склеивания алюминиевых сплавов. Эти клеи отличаются разнообразием химической основы, вязкости, компонентности, а также неоднородностью состава. Следует отметить, что в такие клеи часто включаются кислотные и щелочные составляющие, что требует особых мер предосторожности при работе с ними.

При большом внимании к поиску новых методов подготовки поверхности для нанесения, а также к разработке клеевых составов (КС) сам процесс нанесения клеев отнесен на второй план. В то же время использование подобных клеев особенно в серийном производстве связано с решением многих вопросов, от которых напрямую зависит качество изделия.

Технологический этап нанесения и дозирования КС активно влияет на экономическую и эксплуатационную составляющие проектирования клеевого соединения в изделии (рис. 2). Конкурентоспособность изделия напрямую зависит от себестоимости его сборки. Сложность устройства, а следовательно, планируемые капиталовложения в разрабатываемое производство определяются типом производства. При увеличении серийности экономически оправданы более сложные системы.

Стоимость устройств нанесения может колебаться в зависимости от выбранной схемы устройства, точности и производительности комплектующих агрегатов и механизмов. Эксплуатация соединения определяется качеством сборки. На этапе нанесения КС необходимо обеспечить сплошность его нанесения (от этого зависит отсутствие непроклеенных участков).

Важной характеристикой качества выполнения соединения является наличие (отсутствие) воздушных пузырей в клеевом шве, а также

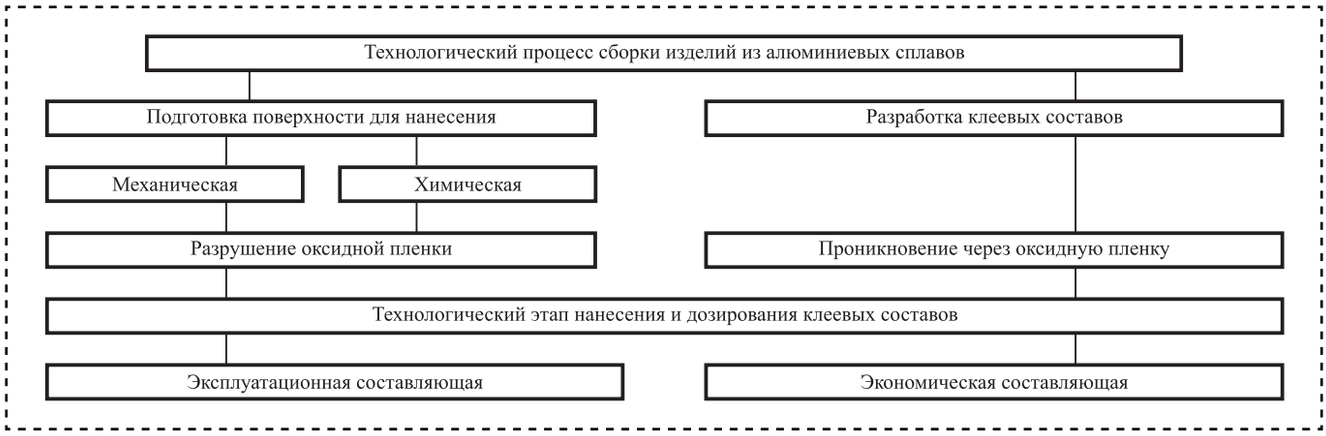


Рис. 2. Развитие технологий клеевой сборки изделий из алюминиевых сплавов

sb915.indd 15 27.08.2015 9:38:42

различных инородных тел, которые являются концентраторами напряжений. От концентраторов напряжений свое развитие получают трещины в клеевом шве, что резко сокращает долговечность соединения и изделия в целом.

На этапе нанесения КС решаются вопросы точности соединения. От выполнения расчетных размеров клеевого соединения зависит метод обеспечения точности изделия. Необходимо обеспечить заполнение микронеровностей поверхности детали клеевым составом.

Качественное заполнение микронеровностей приводит к увеличению площади контакта, прочности соединения, сокращает количество и величину концентраторов напряжений. Правильно подобранная технология нанесения КС позволяет создать капиллярное напряжение в клеевом шве, способствующее торможению развития трещины. Технологические приемы сборки КС позволяют увеличить прочностные характеристики конструкции, ее долговечность, повысить герметичность клеевого соединения.

Нанесение и дозирование клеевых композиций в технологическом процессе сборки существенно влияет на качество сборки изделия. Последовательность выполнения этого процесса, его трудоемкость и себестоимость будут зависеть от используемых автоматизированных устройств нанесения и дозирования. Их выбор зависит от конструктивных особенностей соединения, физико-механических параметров и химической природы отверждения КС.

Методика проектирования устройства нанесения и дозирования КС включает:

анализ технологического цикла сборки изделия, на основе которого вырабатываются технологические и технические требования к проектируемому устройству дозирования;

собственно проектирование системы дозирования с требуемыми техническими параметрами.

Анализ цикла сборки состоит из рассматриваемых далее последовательно выполняемых этапов, в которых рассматриваются особенности клеевого соединения, делается вывод о предпочтении различных конструктивных решений и производительности рассматриваемых устройств, составляется техническое задание на разработку системы дозирования.

Первый этап — анализ характеристики производства и уровня требуемой автоматизации процесса нанесения и дозирования.

Тип производства и заданное качество соединения определяют уровень требуемой автоматизации процесса. Обычно различают ручное, механизированное, автоматизированное и автоматическое нанесение.

Метод ручного нанесения применяется в экспериментальном, единичном и мелкосерийном производствах. Для нанесения КС в ручном режиме используют кисти, шпатели, ракли, стержни, ножницы, сита (для сыпучих клеев) и т. п. В этом случае нанесение осуществляет непосредственно рабочий, задействованный в процессе сборки клеевого соединения.

При механизации процесса используются простейшие приспособления, позволяющие повысить качество сборки и упростить выполнение сборочных переходов, например ручные дозаторы, пневматические устройства подачи высоковязких составов, устройства подачи в труднодоступные места и т. п.

Автоматизация нанесения КС применяется в тех случаях, когда необходимо выполнение хотя бы одного из следующих требований:

высокая производительность;

применение опасных для здоровья человека клеев или их компонентов;

обеспечение высокого качества клеевого соединения, которое нельзя обеспечить ручным нанесением.

Различают автоматизированное и автоматическое нанесение. При автоматизированном нанесении человек привлекается к управлению процессом, а при автоматическом устройство нанесения и дозирования работает в автономном режиме по заданной программе. Проектирование системы автоматизированного дозирования (САД) — сложная творческая задача.

Под характеристикой производства во многом понимается и его оснащенность. Анализируется возможность применения конструктивных исполнений автоматизированных устройств нанесения и дозирования КС. Важно наличие централизованной пневматической магистрали, стабильного электроснабжения и т. п. Особое внимание уделяется квалификации персонала.

На этом этапе выбираются тип привода, уровень автоматизации устройства, его производительность, точность и степень защищенности.

Второй этап — анализ вида КС.

Существуют два основных вида КС — термореактивные и термопластичные.

Термореактивные КС выпускаются в жидком и пастообразном состояниях. При отверждении

sb915.indd 16 27.08.2015 9:38:42

они переходят в необратимое нерастворимое и неплавкое состояние, их невозможно применять повторно. При разборке соединение с термореактивным клеем разрушается.

Термопластичные КС выпускаются только в твердом состоянии и представляют собой упругий материал различного цвета, лишенный способности прилипать к поверхности. Такой материал приобретает свойства клея с высокой вязкостью после разогрева до жидкого состояния, а при его остывании образуется клеевой шов. При необходимости разборки соединения его нагревают, после чего клей вновь будет пригоден для применения.

На данном этапе решается вопрос о необходимости наличия системы подогрева КС в емкости хранения и на всем пути транспортирования к месту сборки. Такая система накладывает определенные требования на всю конструкцию автоматизированного устройства нанесения и дозирования КС, от нее требуется обеспечение стабильного поддержания заданной температуры.

Третий этап — анализ жизнеспособности КС.

Жизнеспособность — это время, в течение которого КС обеспечивает свои адгезивные и когезивные свойства при сборке соединения.

Все сборочные работы с КС рекомендуется провести в течение срока его жизнеспособности, что гарантирует обеспечение его эксплуатационных характеристик при соблюдении технологии и условий сборки. Применение КС по истечении срока жизнеспособности приводит к снижению прочностных характеристик клеевого соединения вплоть до его полной потери.

Жизнеспособность КС отсчитывается с начала создания тех условий, при которых запускается механизм его отверждения. Для каждого КС характерна своя жизнеспособность. Она определяется химической природой состава, механизмом его отверждения и окружающими условиями, которые способны ускорить или замедлить процесс отверждения. Поэтому при проектировании автоматизированного устройства нанесения и дозирования КС должны учитываться жизнеспособность КС и обеспечиваться условия, при которых отверждение КС невозможно в процессе эксплуатации дозирующего устройства. Если в процессе эксплуатации все же возможно наступление условий отверждения КС, то такое устройство должно дополняться системой блокировки подачи КС на позицию сборки и очистки гидросистемы устройства.

Как правило, жизнеспособность КС является известным параметром, поэтому система блокировки и очистки может включаться в работу по сигналу реле времени, которое срабатывает при истечении срока жизнеспособности.

На данном этапе решается вопрос о необходимости наличия системы очистки и ее конструкции.

Четвертый этап — анализ химической природы отверждения КС.

Классифицируя КС, применяемые при машиностроении, по химической природе отверждения, можно выделить пять групп:

- КС, которые отверждаются при отсутствии кислорода воздуха. К ним относятся, например, анаэробные составы и некоторые акриловые клеи. Такие клеи применяются в малых зазорах, когда к склеиваемым деталям прикладывается контактное давление, позволяющее вытеснить воздух из клеевого шва. При необходимости применения таких составов в зазорах более 0,2 мм прибегают к увеличению их вязкости. У акриловых и анаэробных составов реакцию отверждения значительно ускоряет непосредственный контакт с металлами, особенно с металлами активной группы, к которым относятся медь и ее сплавы, кобальт, марганец, никель, железо.

При проектировании устройств нанесения и дозирования КС для этой (первой) группы отверждения нужно обеспечить его постоянный контакт с кислородом воздуха. Необходимо также избегать длинных траекторий транспортирования по замкнутым трубопроводам, исключить контакт с металлами (особенно активной группы), стараться использовать открытые емкости для хранения дозируемого состава, обеспечив присутствие кислорода воздуха. Рекомендуемый материал трубопровода — полиэтилен с толщиной стенок не более 2 мм.

Несоблюдение этих требований может привести к раннему отверждению, образованию затвердевших клеевых пробок в транспортной системе, прерывистой подаче состава;

- КС, отверждение которых происходит благодаря контакту с влагой воздуха. К ним относятся, например, цианакрилатные составы и некоторые полиуретановые. Применение таких составов требует некоторой выдержки после нанесения для запуска процесса отверждения. Особенно это важно при соединении деталей с большой площадью нанесения. От-

sb915.indd 17 27.08.2015 9:38:42

сутствие открытой выдержки в этом случае может привести к тому, что клей отвердеет лишь по периферии соединения и прочность такого соединения будет значительно отличаться от расчетной.

При проектировании устройств нанесения и дозирования для этой (второй) группы отверждения необходимо предложить замкнутую систему транспортирования КС, которая обеспечит ее изоляцию от контакта с влагой даже в воздушной смеси. В случае применения сжатого воздуха в таких устройствах необходимо предусмотреть систему его предварительной осушки. Не должны использоваться пористые материалы, герметичный трубопровод должен быть без изломов.

Несоблюдение этих требований может привести к раннему отверждению, образованию затвердевших клеевых пробок в транспортной системе;

- КС, отверждение которых происходит после испарения или принудительного высушивания входящей в их состав дисперсионной среды, например летучих растворителей, спиртов или воды. К ним относятся некоторые каучуксодержащие и полиуретановые клеи, клеи на основе латексов, поливинилацетата, поливинилового спирта, канифоли, а также некоторые составы на основе фенолоформальдегидных олигомеров и элементоорганических соединений. Для качественного применения таких составов требуется открытая выдержка. В ряде случаев прибегают к применению повышенной температуры для инициации процесса испарения, что ускоряет отверждение.

При проектировании устройств нанесения и дозирования для этой (третьей) группы отверждения следует избегать применения пористых материалов, способствующих испарению летучих составляющих. Транспортная система должна быть замкнутой, что уменьшит вероятность преждевременного отверждения из-за испарения дисперсионной среды. В устройствах нанесения и дозирования на всем пути транспортирования к месту сборки не должно быть свободных объемов и открытых полостей, следует избегать также турбулентного и прерывистого движения КС. Как правило, все элементы устройства должны быть выполнены из материалов, стойких к растворителям, а в отдельных случаях — в пожаробезопасном исполнении.

Несоблюдение этих требований приводит к раннему отверждению, значительному повышению вязкости и образованию затвердевших клеевых пробок в транспортной системе;

- КС, отверждение которых происходит под воздействием ультрафиолетового облучения. В машиностроении наибольшее распространение получили акриловые составы УФ-облучения. Применение таких клеев требует выполнения одной из деталей соединения из материала, пропускающего УФ-лучи. После сборки соединения происходит его облучение, что позволяет обеспечить прочностные характеристики в короткие сроки. Для облучения используются специальные лампы, которые подбираются по требуемой интенсивности и стоимости.

Проектирование устройств нанесения и дозирования для этой (четвертой) группы отверждения во многом схоже с первой группой. Особенность в данном случае состоит в том, что материалы, используемые при изготовлении устройств, не должны пропускать ультрафиолетовые лучи. Необходимо также исключить контакт с металлами (особенно активной группы).

Несоблюдение этих требований приводит к раннему отверждению, образованию плотных клеевых пробок в транспортной системе, прерывистой подаче состава;

- КС, отверждение которых происходит в присутствии различных веществ, запускающих химические реакции. Как правило, это двухкомпонентные составы и процесс отверждения в этом случае начинается после смешения компонентов. К ним относятся эпоксидные и полиэфирные композиции, клеи на основе карбамидоальдегидных олигомеров, а также некоторые композиции на основе каучуков, фенолоформальдегидных олигомеров, элементоорганических соединений, полиуретанов и полиэфиров. При использовании рассматриваемых КС особое внимание уделяется соблюдению пропорций компонентов. Жизнеспособность приготовленных перемешанных составов крайне ограничена, что накладывает свои временны́е требования к процессу нанесения.

Из-за ограниченной жизнеспособности рассматриваемых композиций различные компоненты рекомендуется транспортировать отдельно, а перемешивание их производить непосредственно перед применением. Благодаря такой природе отверждения отдельные компоненты довольно инертны и их транспортирование не вызывает особых сложностей.

В ряде случаев компоненты могут содержать горючие и агрессивные составляющие,

sb915.indd 18 27.08.2015 9:38:42

что накладывает ограничение на применяемый в устройстве материал. Однако для таких композиций характерно большое количество составляющих для каждого компонента. Причем некоторые из них находятся в твердом нерастворенном состоянии. При транспортировании таких компонентов необходимо предусматривать наличие закрытого трубопровода без изломов и с постоянным сечением, а также стабильную скорость подачи.

Несоблюдение этих требований приводит к расслоению композиции, снижению адгезии, образованию пузырей, которые являются концентраторами напряжений в клеевом шве.

На четвертом этапе определяется принципиальная схема устройства нанесения и дозирования, а также материалы, из которых рекомендуется изготавливать для нее детали.

Пятый этап — анализ структурного состава КС.

По структурному составу КС можно классифицировать на гомогенные и гетерогенные.

Гомогенные КС (от греч. *homós* — равный, одинаковый, составная часть сложных слов, означающая равенство, однородность) — составы, однородные по плотности и химической структуре по всему объему.

Гетерогенные КС (от греч. *héteros* — иной, другой, составная часть сложных слов, означающая разнородность) — составы, содержащие зоны различной плотности, допускающие взвеси из твердых фаз, фиксируемых визуально.

КС одной и той же химической природы в зависимости от рецептуры, назначенной эксплуатационными функциями, могут быть как гомогенным, так и гетерогенными.

Наибольшую сложность при проектировании устройств нанесения и дозирования представляют гетерогенные составы. Они не предназначены для долгого хранения, так как более тяжелые составляющие начинают оседать, что меняет общую структуру. Это сказывается на прочностных характеристиках соединения. Если предусматривается долгое хранение состава в устройстве, то необходимо предусмотреть перемешивающие устройства, устанавливаемые в расходных емкостях.

При проектировании устройств нанесения и дозирования для гетерогенных КС необходимо исключить резкие перегибы транспортной системы, задавать плавную скорость подачи без пульсаций потока, обеспечить постоянство сечения трубопровода и ламинарное течение по нему.

Несоблюдение этих требований может привести к расслоению КС, снижению адгезии и потере эксплуатационных характеристик.

На этом этапе выбирается вид привода, траектория трубопровода к месту сборки и система подачи КС.

Шестой этап — анализ вязкости КС.

Вязкость колеблется в широких пределах от текучих составов до твердых тел разной формы. Поэтому при проектировании САД принято говорить о жидких, пастообразных и твердых КС.

Твердые КС всегда расплавляют перед применением до состояния вязкотекучей жидкости. Температура расплавления зависит от рецептуры клея.

Пастообразные КС транспортируют в состоянии поставки или обеспечивают принудительный разогрев. Разогрев применяют в том случае, если необходимо уменьшить вязкость состава. Температура разогрева регламентируется его физико-химическими свойствами. Она не должна вызывать выкипание составляющих.

При транспортировании высоковязких КС, как правило, ужесточаются требования к жесткости конструкции.

Жидкие составы всегда транспортируют в состоянии их поставки.

На этом этапе определяются диаметр трубопровода, мощность привода, необходимость принудительного подогрева состава, жесткость конструкции.

Седьмой этап — выбор требуемых режимов подачи КС.

Различают три режима работы дозирующих устройств, применяемых в машиностроении — капельный, струйный, распыления.

Выбор режима зависит от конструкции клеевого соединения, при этом учитываются площадь и траектория нанесения КС. В основном эти факторы влияют на рабочие органы устройства нанесения — выходные сопла, насадки и форсунки.

Выбор КС иногда предопределяет режим работы дозирующего устройства. Так, цианакрилатные клеи наносят в капельном режиме, а каучуковые и полиуретановые — в струйном. Однако тип КС не является в данном случае определяющим фактором. Наоборот, на выбор КС влияют те же факторы, что и на выбор режима работы. Поэтому КС широкого применения могут наноситься в разных режимах. Режим работы назначается в технологическом процессе сборки.

sb915.indd 19 27.08.2015 9:38:43

На этом этапе определяется конструкция выходного рабочего органа устройства нанесения, уточняются технические характеристики узлов привода.

Восьмой этап — расчет требуемой дозы КС, которая подается в позицию сборки.

Под дозой понимают фиксированный объем КС, непрерывно подаваемый на позицию сборки и необходимый для выполнения одного соединения. Количественно доза определяется конструкцией соединения и технологией ее выполнения. Качественные характеристики и ответственность соединения диктуют требуемую точность дозирования, т. е. размер колебания дозы в пределах одной сборочной партии сборочных единиц.

От точности дозирования зависит расход КС, что оказывает определенное влияние на себестоимость сборочной операции. Точность дозирования также влияет на внешний вид соединения, наличие наплывов и подтеков вытесненных из клеевого шва. Для качественных соединений в этом случае предусматривают дополнительную операцию очистки, что увеличивает трудоемкость и себестоимость сборочного процесса.

На данном этапе определяют конструктивные элементы устройства управления нанесением, отвечающие за точность дозирования, а также габаритные размеры и конфигурацию выходного сопла.

Девятый этап — анализ количества компонентов в КС.

В машиностроении используют, как правило, одно- и двухкомпонентные КС, но бывает и большее количество компонентов.

Наибольшую сложность вызывают многокомпонентные КС. Главное преимущество многокомпонентных КС — длительный срок хранения в несмешанном состоянии.

Многокомпонентность характерна для термореактивных КС. Термопластичные КС являются, как правило, однокомпонентными в условиях поставки.

В случае использования многокомпонентных термореактивных КС в устройство нанесения должна быть включена система смешения компонентов.

Как указывалось выше, из-за ограниченной жизнеспособности компонентов их смешивание рекомендуется проводить непосредственно перед применением в объемных или весовых частях в соответствии с заданной технологическим регламентом рецептурой.

Работа систем смешения обычно регламентируется по временному показателю. Для каждой многокомпонентной композиции характерно свое время перемешивания компонентов, зависящее от их вязкости и составляющих. От качества перемешивания зависят эксплуатационные характеристики соединения. До поступления компонентов в систему смешивания для каждого компонента КС проектируется устройство транспортирования в соответствии с перечисленными выше этапами.

Системы смешивания КС можно классифицировать на пассивные и активные.

Пассивные системы смешивания обеспечивают смешивание компонентов за счет энергии, заданной при транспортировании к месту сборки. Смешивание происходит за счет взаимного проникновения компонентов без помощи устройств, требующих дополнительных энергозатрат.

Преимуществом пассивных смесительных узлов являются их низкая себестоимость, малое время подготовки к работе, простота обслуживания, отсутствие требований очистки. При выходе из строя к таким конструкциям применим метод полной взаимозаменяемости.

Активные системы смешивания обеспечивают принудительное перемешивание компонентов, используя собственный привод. Такие системы позволяют задавать собственные режимы смешения для применяемой композиции, например время, частоту вращения перемешивающих лопаток и т. п.

Активные системы смешивания обладают большей стоимостью, требуют определенной подготовки к работе и периодического обслуживания. Однако они обеспечивают стабильное качество смешения компонентов, что важно при использовании высоковязких композиций или композиций, где компоненты имеют разное агрегатное состояние.

На данном этапе выбирают класс и конструкцию системы смешивания компонентов.

Десятый этап — анализ типа клеевого соединения и его характеристик.

В настоящее время применяется большое разнообразие клеевых соединений — цилиндрические, внахлест, тавровые, точечные, плоскостные и т. д. Эти соединения могут иметь различную пространственную конфигурацию и различную геометрию клеевого шва.

sb915.indd 20 27.08.2015 9:38:43

Анализируя эти параметры, рассчитывают конструкцию узлов перемещения рабочих органов устройства дозирования КС.

При анализе конструктивных особенностей соединения определяются площадь покрытия детали клеевым составом, ее пространственная конфигурация, требуемая траектория.

На этом этапе проектируют устройство перемещения рабочего органа для нанесения КС или детали относительно него, уточняют конструкцию рабочего органа и режимы его перемещения.

Одиннадцатый этап — анализ конструкции устройства нанесения и дозирования КС на технологичность, разработка технического задания на проектирование автоматизированного устройства нанесения и дозирования КС.

Применение рассматриваемой методики позволяет учесть технические возможности производства и требования к автоматизации технологического процесса сборки клеевых соединений. На рис. 3, 4 представлены схемы устройства нанесения и дозирования двухкомпонентного КС, разработанные по предлагаемой методике. На рис. 3 представлена система автоматизированного нанесения и дозирования, а на рис. 4 — автоматическая.

Автоматизированная схема требует контроля со стороны человека за выполнением технологических переходов сборки клеевого соединения.

Автоматическая схема позволяет проводить сборочные работы без участия человека. Разработанный комплекс устройств контролирует весь процесс нанесения и дозирования КС — от момента поступления сигнала о включении системы до очистки системы после окончания полного цикла работы.

Предлагаемая методика проектирования устройства нанесения и дозирования КС позволяет учесть все особенности технологического процесса сборки клеевого соединения, эксплуатационные характеристики изделия и свойства клея.

Представленные разработки выполнены в рамках исследований, поддержанных грантом РФФИ.

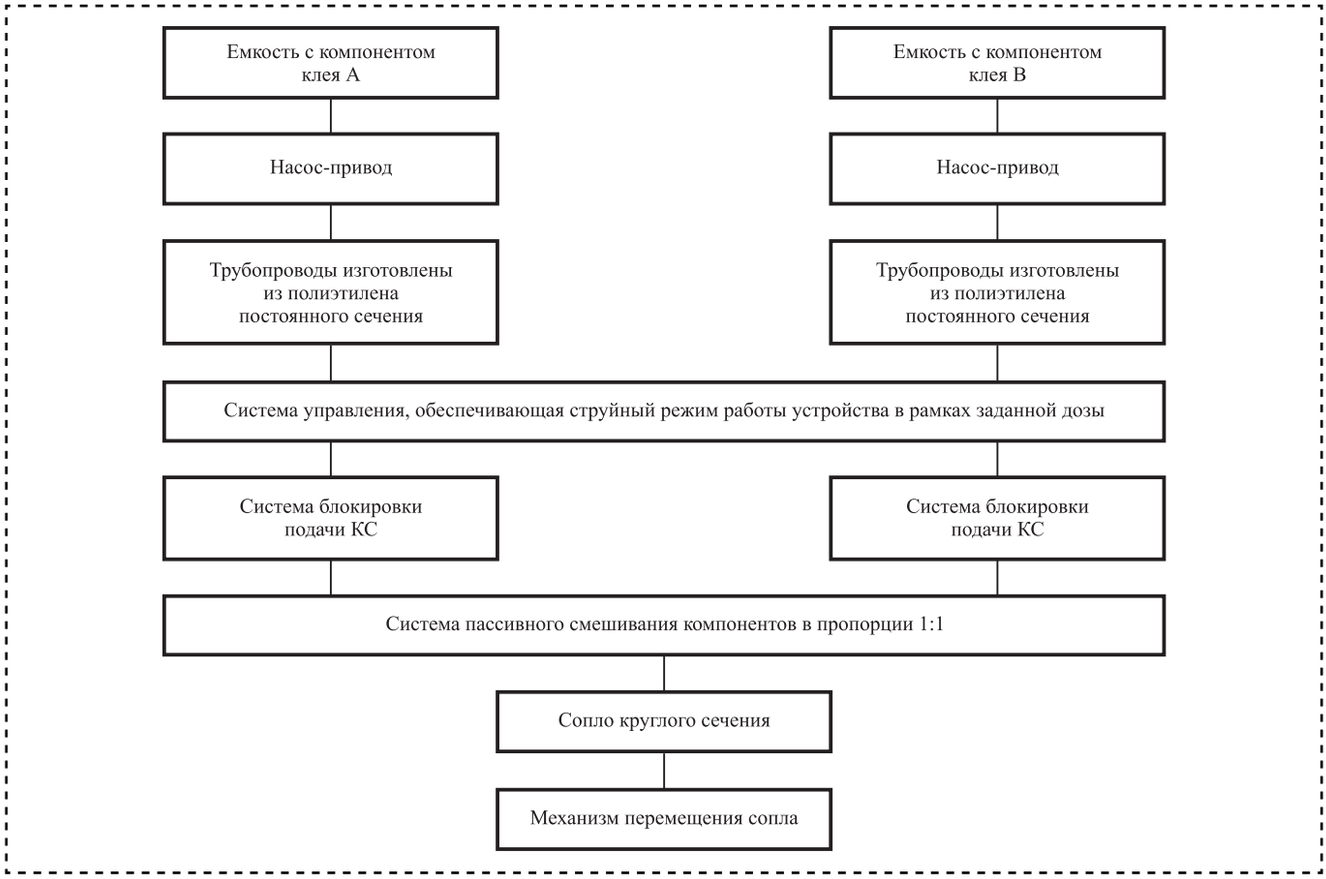


Рис. 3. Схема автоматизированной системы дозирования и нанесения

sb915.indd 21 27.08.2015 9:38:43

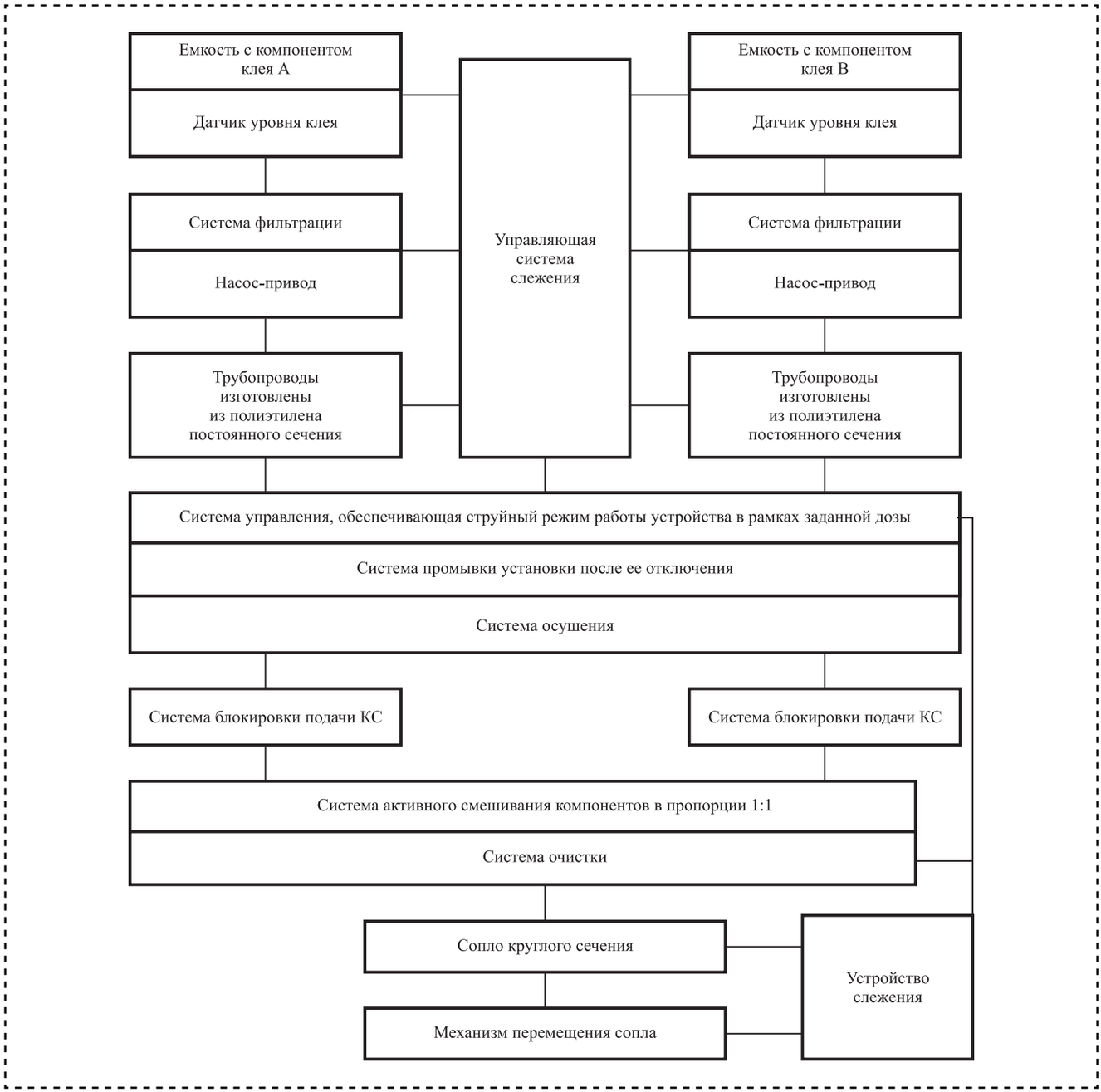


Рис. 4. Схема автоматической системы дозирования и нанесения

Библиографический список

1. **Безменов В.С., Игнатов А.В.** Методика проектирования автоматизированных устройств нанесения и дозирования клеевых составов для сборочных производств с клеевыми соединениями // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2013 № 7. С. 23—32.

2. **Безменов В.С., Игнатов А.В.** Типовые системы автоматизированного дозирования однокомпонентных термореактивных клеевых составов для сборочных производств с клеевыми соединениями // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2013 № 6. С. 3—14.

3. **Игнатов А.В., Комшин А.С, Потапов К.Г., Масленникова Е.В**. Особенности измерительного контроля сборки клеевых соединений электрорезистивными и электроемкостными методами // Энциклопедический справочник с Приложением "Комментарии к стандартам, ТУ, сертификатам". 2014. № 6. С. 13—18.

sb915.indd 22 27.08.2015 9:38:43

УДК 621.833

В.Л. Басинюк, *д-р техн. наук,* **Г.А. Велигурский,** *д-р техн. наук*
(Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск),
Л.А. Поплавская, *канд. физ.-мат. наук (Белорусский государственный университет, г. Минск)*
E-mail: vladbas@mail.ru

Система двухпрофильного контроля зубчатых колес для повышения качества сборочных работ трансмиссий на основе эвольвентных зубчатых передач

Приведены результаты исследований по автоматизации контроля и записи параметров зубчатых колес при их двухпрофильном контроле с помощью модифицированных традиционных промышленных межцентромеров, что при минимальных затратах позволяет обеспечить качественно новый уровень оценки кинематических параметров эвольвентных зубчатых колес и последующей их сборки в трансмиссии в условиях крупносерийного производства.

Results of the analysis in the field of automation of control and record of parameters of the gears at their double-flank control by means of the modified customary industrial variable-center-distance gear-rolling testers that allows to provide at the minimized expenses whole new level of estimate of kinematic parameters of involute gears and the subsequent their assembly in transmissions in the conditions of a large-volume production are given.

Ключевые слова: межцентромер, автоматизация, вибрации, шум, зубчатые колеса, кинематические параметры, контроль, сборка.

Keywords: variable-center-distance gear-rolling tester, automation, vibrations, noise, gears, kinematic parameters, control, assembly.

Введение

Несмотря на интенсивное развитие программно-управляемых электроприводов с широким диапазоном регулирования угловых скоростей вращения, трансмиссии на основе традиционных эвольвентных зубчатых колес до настоящего времени и в обозримом будущем в отечественной и зарубежной практике были и остаются одним из основных элементов мобильной техники. Это обусловлено в основном тремя факторами: развитым методическим обеспечением их расчета и конструирования, чрезвычайно высоким уровнем технологического обеспечения и пока недостижимой другими видами приводов относительно невысокой стоимостью.

Вместе с тем в настоящее время по мере роста нагруженности и скоростей вращения к традиционным требованиям добавились и постоянно растут требования к вибрации и шуму, генерируемым трансмиссиями на основе зубчатых колес. При этом последние в условиях серийного производства во многом определяются достоверностью и информативностью определения точности их изготовления по кинематическим параметрам до осуществления сборочных работ.

Созданию средств автоматизированного контроля кинематической точности изготовления зубчатых колес (ЗК) в условиях серийного производства посвящено много исследований и разработок [1—4]. Однако в современных условиях решение этого вопроса связано со значительными финансовыми затратами и существенным усложнением вопросов технологического контроля.

Основной задачей исследований являлась разработка автоматизированных средств контроля и записи измерительного межосевого расстояния ЗК в условиях крупносерийного производства. В качестве станка для установки автоматизированных средств контроля измерительного межосевого расстояния предполагается использовать традиционные цеховые межцентромеры.

Методический подход

В основу методического подхода к созданию автоматизированных средств контроля и записи измеряемого межосевого расстояния положено рассмотрение двух вариантов двухпрофильного контроля параметров зубчатых колес:

контроль и запись параметров ЗК с помощью малогабаритного электронного блока, устанавливаемого на стандартизованный межцентромер и обеспечивающего автоматизированную обработку параметров (рис. 1 на стр. 3 обложки);

контроль с использованием датчиков линейного и углового перемещений, связанных с персональным компьютером (рис. 2 на стр. 3 обложки).

sb915.indd 23 27.08.2015 9:38:43

Результаты исследований

В обоих случаях принцип действия системы контроля заключается в измерении и записи измерительного межцентрового расстояния зубчатых колес при двухпрофильном зацеплении и обкатке рабочего (изготовленного) зубчатого колеса с измерительным ЗК (мастер-шестерней).

Первый вариант системы контроля предназначен для замены применяемого в настоящее время на промышленных межцентромерах стрелочного индикатора электронным блоком. При этом электронный блок за один оборот измеряемого колеса позволяет измерить текущее значение колебания межцентрового расстояния ЗК, верхнее и нижнее предельные отклонения измеряемого межцентрового расстояния (ИМР). Он графически отображает колебания ИМР с плюсом или минусом в зависимости от заданного межосевого расстояния (линейка с делениями и бегающей полоской), а также номер измеряемого колеса или какую-то другую информацию об испытываемом объекте (всего 16 разрядов).

После одного оборота измеряемого колеса на жидкокристаллическом (ЖК) индикаторе электронного блока высвечивается следующая информация:

максимальные значения верхнего и нижнего предельных отклонений ИМР (вторая строка сверху);

суммарные значения верхнего и нижнего предельных отклонений ИМР (третья строка сверху);

перечисленные выше значения переменной ИМР в любой текущий момент остановки зубчатого колеса или за один его оборот.

На лицевой стороне блока расположены три кнопки управления и ЖК-индикатор, на котором высвечиваются параметры ИМР.

Справа от блока находится шток, который точно так же, как и в стрелочном индикаторе, прикрепляет электронный блок к промышленному межцентромеру и упирается в подпятник межцентромера. Перемещение штока позволяет с высокой точностью проводить измерение отклонения измеряемой шестерни от измерительной, т. е. с высокой точностью происходит измерение отклонения фактического межцентрового расстояния от расчетного.

Подвижный шток электронного блока связан с датчиком Холла, аналоговый сигнал с которого поступает на усилитель, далее на 13-разрядный АЦП, на микроконтроллер типа ATMEGA 644, затем на соответствующий преобразователь и ЖК-индикатор электронного блока. Разрешающая способность системы составляет 0,5 мкм. Это позволяет в любой текущий момент времени контролировать, измерять и записывать на дисплее электронного блока параметры зубчатых колес 5...10 степеней точности в условиях крупносерийного производства.

На лицевой панели электронного блока находятся: справа — кнопка "Вкл" — включение электронного блока; слева внизу — кнопка "Настр" — основная кнопка управления, с помощью которой устанавливается режим работы электронного блока, настройка нижнего и верхнего значений ИМР, установка нулевого значения ИМР; слева вверху — кнопка "Выкл" — кнопка выключения электронного блока, а также кнопка перехода электронного блока из вспомогательного режима в рабочий.

Электронный блок имеет два режима работы: вспомогательный и рабочий. Во вспомогательном режиме осуществляются все подготовительные операции, включая установку min и max допускаемого значения ИМР, установку нуля, относительно которого происходит измерение всех контролируемых параметров зубчатого колеса и его номер. В рабочем режиме осуществляется процесс измерения и контроля параметров зубчатого колеса относительно ИМР.

Второй вариант ИМР представляет собой систему измерения и контроля параметров ЗК, состоящую из персонального компьютера, датчика линейного и углового перемещений, а также промышленного межцентромера.

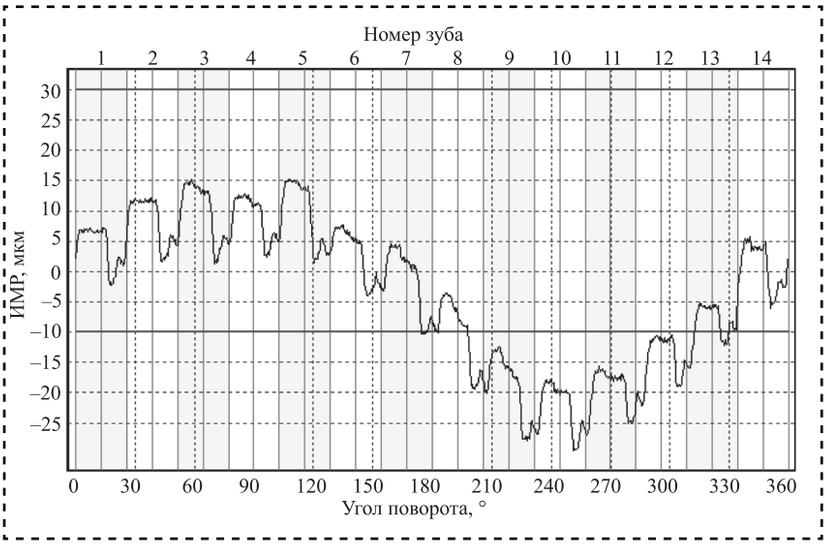


Рис. 3. Отображение максимальных и минимальных отклонений ИМР

sb915.indd 24 27.08.2015 9:38:43

Параметры	Обозначение	Измерение, мкм	Допуск, мкм	Решение о годности
Колебание ИМР за оборот зубчатого колеса	F''_{ir}	44,8	60,0	Годен
Максимальное колебание ИМР на одном зубе	f''_{ir}	15,8	10,0	Не годен
Верхнее предельное отклонение ИМР	$+E_{a''s}$	15,2	30,0	Годен
Нижнее предельное отклонение ИМР	$-E_{a''i}$	–29,6	–10,0	Не годен

Номер зуба, на котором максимальное колебание ИМР	8
Номер зуба, на котором наибольшее верхнее отклонение ИМР	5
Номер зуба, на котором наибольшее нижнее отклонение ИМР	10

Номер зуба	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
f''_{ir}, мкм	9,5	10,6	14,0	10,5	13,8	11,7	15,0	15,8	15,6	11,9	11,4	11,7	11,5	11,8

Рис. 4. Результаты измерений

В этом случае кроме измерения и контроля перечисленных в первом варианте параметров ЗК можно визуализировать регистрируемые результаты двухпрофильного контроля каждого зуба за один оборот ЗК. При этом на экране монитора персонального компьютера высвечивается номер зуба, на котором отображаются максимальные и минимальные отклонения ИМР (рис. 3).

Результаты измерений показаны на рис. 4.

Заключение

Предложенные варианты измерения ИМР при относительно невысокой стоимости (особенно это относится к первому варианту) и простоте применения позволяют значительно повысить качество контроля параметров ЗК и целенаправленно осуществлять отбор (при необходимости — селективный) зубчатых колес с требуемым комплексом наиболее важных кинематических параметров на завершающей операции сборки трансмиссии, обеспечив гарантированный уровень наиболее сложно контролируемых в цеховых условиях параметров, оказывающих определяющее влияние на вибрации и шум.

Значительный интерес представляет первый вариант измерения и контроля ИМР, при реализации которого индикаторная измерительная головка может быть заменена на электронные блоки с записью и сохранением данных об основных параметрах ИМР непосредственно в цеховых условиях при серийном производстве зубчатых колес.

Библиографический список

1. **Сурков И.В., Сурков М.В.** Современные средства контроля линейно-угловых параметров зубчатых колес // Оборудование и инструмент. Металлообработка. № 4. 2007. С. 54—55.

2. **Локтев Д.А.** Современные методы контроля качества цилиндрических зубчатых колес // Оборудование и инструмент для профессионалов. Металлообработка. № 4. 2009. С. 6—11.

3. **Попов И.Г., Шабалин Ю.А.** Контроль точности зубчатых колес: Методические указания к лабораторной работе. Самара: Самарский гос. аэрокосмический ун-т им. С.П. Королева. 2008. 21 с.

4. **Фельдман В.Д.** Некоторые особенности диагностирования технического состояния машин и механизмов с использованием приборов кинематического контроля (кинематомеров) // ООО "Кинематика" [Электрон. ресурс]. 2009. URL: http://oookin.ru/osob_diag.html (дата доступа 05.05.2015).

sb915.indd 25 27.08.2015 9:38:43

УДК 621.9.08

Э.С. Гаспаров, А.Ф. Денисенко, *д-р техн. наук,* **Л.Б. Гаспарова,** *канд. пед. наук*
(Самарский государственный технический университет)
E-mail: gasparova@mail.ru

Определение усилия предварительного натяга подшипниковых опор шлифовального шпинделя

Рассмотрена методика определения усилия предварительного натяга подшипниковых опор шлифовального шпинделя путем оценки параметров сигнала виброускорения методом биспектрального анализа. Разработан экспериментальный стенд для определения виброакустического параметра, характеризующего установленное усилие предварительного натяга. Экспериментальным путем получены временны́е реализации сигналов виброускорения и обработаны в программной среде LabView с использованием стандартных готовых процедур для получения функций модуля биспектра и бикогерентности.

The article deals with the definition of determining preload bearings of the grinding spindle by evaluating the parameters of the signal of acceleration by bispectral analysis. Developed experimental testbed to determine vibro-acoustic parameters, characterizing the magnitude of the preload force. Experimentally obtained signals of acceleration and processed in the software environment LabView.

Ключевые слова: биспектральный анализ, шлифовальный шпиндель, подшипниковые опоры, датчик виброускорения, предварительный натяг, амплитудно-частотная характеристика.

Keywords: bispectral analysis, grinding spindle, bearings, acceleration sensor, preload, the amplitude-frequency characteristic.

Выбор оптимального усилия предварительного натяга и его практическое осуществление являются одной из самых сложных проблем конструирования и производства таких роторных систем, как шпиндельные узлы металлорежущих станков.

В работе [1] подробно рассмотрено влияние предварительного натяга подшипниковых опор на процессы, протекающие в системе, выходные параметры и работоспособность роторной системы. В результате можно резюмировать следующее:

с увеличением усилия предварительного натяга жесткость роторных систем увеличивается. При этом существует граничное значение усилия предварительного натяга, дальнейшее увеличение которого не дает заметного увеличения жесткости;

влияние зазора (натяга) на тепловыделение в опорах не может быть охарактеризовано однозначно. Для роликовых подшипников увеличение усилия предварительного натяга влияет на момент трения и, соответственно, на тепловыделение в опорах. У радиальных подшипников характер подобной зависимости более сложный. Предварительный натяг до определенного значения способствует уменьшению потерь на трение за счет устранения трения верчения и гашения смещения тел качения за счет центробежных сил. Далее с увеличением усилия предварительного натяга увеличивается трение и, значит, тепловыделение в опорах;

зависимость между усилием предварительного натяга и долговечностью опор не может быть оценена без учета воздействия внешней нагрузки. Чем больше нагрузка, тем при большем усилии предварительного натяга достигается наибольшая долговечность. При усилиях, превышающих оптимальные по долговечности, ресурс и надежность резко снижаются;

с повышением точности подшипников допустимое по условиям нагрева и долговечности усилие предварительного натяга увеличивается. При этом для обеспечения заданной жесткости в более точных подшипниках нужно меньшее усилие, чем в менее точных подшипниках;

sb915.indd 26 27.08.2015 9:38:43

существуют оптимальные значения усилия предварительного натяга, превышение которых влечет за собой ухудшение точностной или параметрической надежности.

Из приведенных качественных характеристик зависимости работоспособности шпиндельного узла от усилия предварительного натяга следует, что значение усилия предварительного натяга может быть установлено лишь как компромисс между противоположными тенденциями.

Выбор усилия предварительного натяга осложняется еще и тем, что конструктор назначает монтажное значение усилия предварительного натяга (это значение, которое устанавливается при монтаже и регулировании опор шпинделя).

Усилие предварительного натяга непосредственно влияет на упругую характеристику опоры, тем самым влияя на динамические характеристики колебательных процессов, протекающих в узле, и его параметрическую надежность.

Проблемы обеспечения и повышения параметрической надежности шпиндельных узлов могут решаться путем автоматического регулирования параметров оборудования, например реализацией автоматической системы управления зазорами-натягами. Это направление имеет практически неограниченные возможности особенно с ростом производительности вычислительной техники и средств управления, так как одновременно с задачей управления функционированием машины система управления контролирует ряд выходных параметров.

Первостепенной задачей автоматического управления является проблема распознавания образов технического состояния управляемого объекта, которая, в свою очередь, существенно зависит от результатов поиска системы диагностических признаков, хорошо описывающих свойства объекта диагностирования и обладающих достаточной помехозащищенностью.

Наиболее надежным способом определения системы диагностических признаков изменения усилия предварительного натяга опор шпиндельного узла является эксперимент.

В этих целях была разработана экспериментальная установка (рис. 1). В качестве объекта исследования использовался высокоскоростной шлифовальный мотор-шпиндель.

Шпиндельный узел был жестко закреплен на массивном чугунном столе. В его передней и задней опорах установлены одиночные радиально-упорные подшипники 76101Е. В качестве источника напряжения питания мотора-шпинделя использовался преобразователь частоты, с высокой точностью обеспечивающий заданную частоту вращения шпинделя на всем интервале исследуемых значений усилия предварительного натяга.

Используемая информационно-измерительная система состоит из датчика виброускорения, датчика силы, датчика температуры (термопары), контроллера и программного обеспечения. Датчик виброускорения был закреплен на корпусе (у передней опоры ротора). Температурный датчик измерял непосредственно температуру наружного кольца подшипника качения передней опоры.

Для измерения и контроля усилия предварительного натяга в конструкцию мотора-шпинделя были внесены изменения — установлен датчик силы между регулировочным

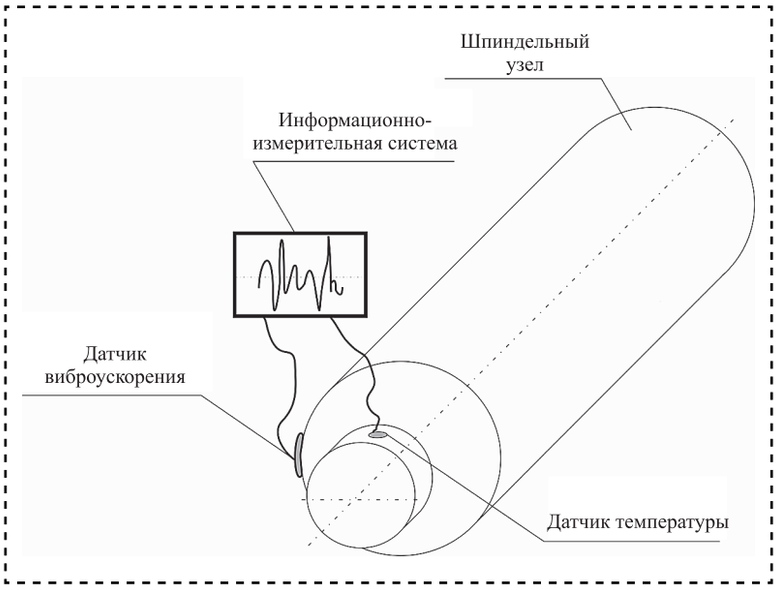


Рис. 1. Экспериментальный стенд

sb915.indd 27 27.08.2015 9:38:43

винтом и пружиной предварительного натяга (рис. 2).

Эксперимент проводился следующим образом. После 15 мин непрерывной работы на частоте вращения 60 000 об./мин регулировочным винтом устанавливали усилие предварительного натяга и в течение 5 с записывали сигналы виброускорения с акселерометра, датчиков силы и температуры. Датчик температуры позволял контролировать и поддерживать температуру наружного кольца около 30...35 °С путем изменения расхода воды для охлаждения статора.

Таким образом, были получены временны́е реализации сигнала виброускорения для пяти значений усилия предварительного натяга: 0, 17, 31, 45 и 65 Н. Данные на радиально-упорные шариковые подшипники 76101E отсутствуют в широком доступе, поэтому значения усилия предварительного натяга были выбраны из рабочего диапазона значений предварительного натяга аналогичных по типоразмеру и быстроходности подшипников фирмы FAG.

В работе М.Д. Генкина и А.Г. Соколовой "Виброакустическая диагностика машин и механизмов" подчеркнуто, что при дискретном характере колебаний биспектр является высокочувствительной характеристикой изменения параметров технического состояния роторных механизмов.

Метод биспектрального анализа, возможно из-за расчетных сложностей, не получил такого широкого распространения, как спектральный анализ мощности и взаимные спектры.

Биспектр $F(\omega_1, \omega_2)$ является наиболее легко реализуемой многомерной характеристикой колебательного процесса [2]. Биспектр — это преобразование Фурье от двумерной функции автокорреляции:

$$F(\omega_1, \omega_2) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int B(\tau_1, \tau_2) e^{-i(\omega_1\tau_1 + \omega_2\tau_2)} d\tau_1 d\tau_2;$$

$$B(\tau_1, \tau_2) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) f(t+\tau_1) f(t+\tau_2)\, dt.$$

Выражение $B(\tau_1, \tau_2)$ есть двумерная функция автокорреляции сигнала $f(t)$, а частоты ω_1 и ω_2 лежат в октанте $0 \leqslant \omega_1 \leqslant \infty$, $0 \leqslant \omega \leqslant \omega_2$. Биспектр можно также записать в виде

$$F(\omega_1, \omega_2) = F(\omega_1) F(\omega_2) F^*(\omega_1 + \omega_2).$$

Наиболее чувствительной к фазовым соотношениям является функция бикогерентности

$$Bic(\omega_1, \omega_2) = \frac{F(\omega_1, \omega_2)}{\sqrt{F(\omega_1) F(\omega_2) F^*(\omega_1 + \omega_2)}} = \exp\left[i(\varphi_1 + \varphi_2 - \varphi_3)\right].$$

Как видно из этого выражения, бикогерентность — это биспектр, нормированный на квадратный корень произведения мощностей шума тех спектральных компонент, статистическую зависимость между которыми он описывает.

Выражение $\varphi_1 + \varphi_2 - \varphi_3$ называется бифазой.

Полученные временные реализации сигналов виброускорения были обработаны в программной среде *LabView* с использованием стандартных готовых процедур для получения функций модуля биспектра и бикогерентности. Результаты преобразования для пяти значений предварительного натяга приведены на рис. 3 на стр. 2, 3 обложки в виде двумерных спектрограмм.

Амплитудные значения коэффициентов биспектра приведены в ло-

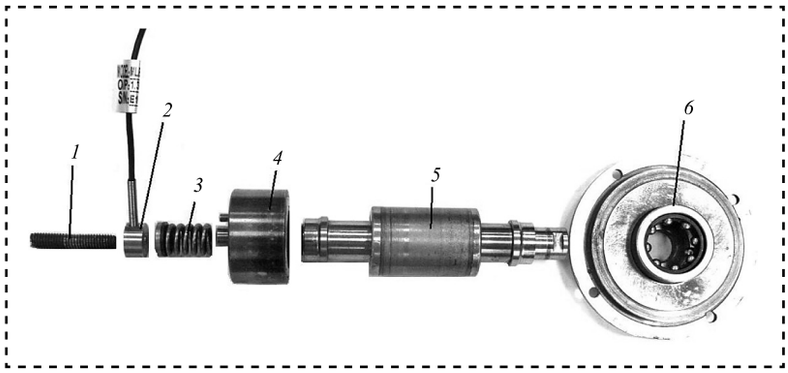


Рис. 2. Схема последовательного расположения элементов измененной конструкции мотор-шпинделя:

1 — регулировочный винт усилия предварительного натяга; *2* — датчик силы; *3* — пружина предварительного натяга; *4* — задняя (плавающая) опора; *5* — шпиндель; *6* — передняя опора

sb915.indd 28 27.08.2015 9:38:43

гарифмическом масштабе в цветовой шкале. Значения частотных осей приведены в частотных бинах, где один частотный бин равен 100,196 Гц.

Для лучшей визуализации амплитудных значений равного уровня для всех значений усилия предварительного натяга верхняя граница амплитудного динамического диапазона функций биспектрального преобразования и бикогерентности установлена на одинаковом значении — 40 дБ и 0,6 соответственно.

Как видно из рис. 3 (см. стр. 2, 3 обложки), коэффициенты биспектра и бикогерентности симметричны относительно диагонали $f_1 = f_2$.

На рис. 3, *б—г* можно увидеть наличие сложных модулированных колебаний, энергия которых сосредоточена в районе значений 10 и 20 кГц.

Достаточно хорошо видно различие в биспектральных преобразованиях при наличии или отсутствии предварительного натяга на рис. 3, *а*, *б*. Дальнейшее увеличение усилия предварительного натяга ведет к неоднозначному изменению амплитудных коэффициентов биспектра, которые возрастают до значения усилия предварительного натяга, равного 45 Н, и убывают при дальнейшем возрастании усилия предварительного натяга (рис. 3, *д*). Это затрудняет определение усилия предварительного натяга и требует углубленного анализа коэффициентов биспектра.

Визуальный анализ коэффициентов функции бикогерентности показывает, что функция бикогерентности ведет себя достаточно однозначно в области средних и нижних частот. В качестве диагностического признака в данном случае может служить, например, сумма коэффициентов функции бикогерентности выделенного участка или площадь выбранного участка, ограниченного линиями равного уровня.

Из приведенных на рис. 3 графиков бикогерентности (см. стр. 2, 3 обложки) видно, что участки частот амплитуды коэффициентов которых наиболее сильно реагируют на изменения усилия предварительного натяга, идентичны полосам собственных частот, рассматриваемых в [2].

При сравнении биспектрального и спектрального анализов можно увидеть, что в случае бездефектных подшипников, когда не проявляется дискретный характер колебаний сигнала виброускорения, в задачах поиска функциональных зависимостей амплитудных значений функций биспектра от усилия предварительного натяга преимущество биспектрального анализа не столь очевидно по сравнению с поиском диагностических признаков и критериев определения усилия предварительного натяга методом спектрального анализа [3].

Большие вычислительные ресурсы, необходимые для биспектрального преобразования, делают обычный спектральный анализ более предпочтительным в практическом применении.

Таким образом, модуль биспектрального преобразования при изменении усилия предварительного натяга ведет себя неоднозначно, что затрудняет его использование в решении поиска диагностических признаков и требует более детального анализа коэффициентов биспектра на применимость в качестве системы диагностических признаков. Биспектр может быть использован в качестве пороговой оценки наличия или отсутствия предварительного натяга. Функция бикогерентности более применима как система диагностических признаков для определения усилия предварительного натяга и предпочтительна в случае зашумленности полезного сигнала.

Библиографический список

1. **Шестернинов А.В.** Конструирование шпиндельных узлов металлорежущих станков: учеб. пособие. Ульяновск: Изд. УлГТУ, 2006. 96 с.

2. **Барков А.В., Баркова Н.А.** Вибрационная диагностика машин и оборудования. Анализ вибрации. СПб.: Изд. СПбГМТУ, 2004. 156 с.

3. **Гаспаров Э.С., Денисенко А.Ф., Гаспарова Л.Б.** Методика определения усилия предварительного натяга подшипниковых опор шпиндельного узла // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. 2014. № 2 (42). С. 94—98.

sb915.indd 29 27.08.2015 9:38:43

УДК 621.039.333.4

А.Г. Разоренов *(Научно-исследовательский институт инновационных технологий, г. Москва)*
E-mail: AlexOst1991a@mail.ru

Деградация электрической изоляции в слаботочных конструкциях электронных сборок

Условия эксплуатации электронной аппаратуры специального назначения (аппаратура морского базирования, авиационная и т. п.) отличаются экстремальностью внешних воздействий и низким уровнем напряжения питания. Распространенной причиной деградации электроизоляционных конструкций является электрохимический процесс разрушения. Этот процесс протекает в поверхностной пленке конденсата или влаги, заполняющей участок изоляции между проводниками, и завершается образованием металлических мостиков, т. е. коротким замыканием. При достаточной мощности источников питания эти мостики перегорают, обжигая и науглероживая поверхность диэлектрических оснований, что может приводить к возгоранию аппаратуры.

Это относительно новое явление характерно именно для слаботочной аппаратуры.

Conditions of operation of electronic equipment for special applications (naval equipment, aviation etc.) are distinguished by the extremity of external influences and to low voltage supply. A common cause of degradation of the insulating structures is the electrochemical process of destruction. This process occurs in the surface film of condensation or moisture that fills the area of insulation between conductors, and ends with the formation of metal bridges, i.e. a short circuit. With sufficient power supplies these bridges fuse, burning and coking surface of dielectric substrates, which can result in a risk of fire equipment.

This is a relatively new phenomenon, typical for low current equipment.

Ключевые слова: электрическая изоляция, электрохимическая миграция, дендриты, электрохимический пробой изоляции.

Keywords: electrical isolation, electrochemical migration, dendrites, the electrochemical breakdown of insulation.

В реальных условиях эксплуатации даже при полной стерильности поверхности электроизоляционных конструкций конденсированная пленка влаги содержит растворенные газы: двуокись углерода, двуокись серы, сероводород и аммиак. Образующиеся угольная, серная и другие кислоты в сотни и даже тысячи раз увеличивают электропроводность воды. Кроме того, вода на свету частично диссоциирует, поэтому она всегда является электролитом, т. е. средой для электрохимических процессов [1].

Одновременное присутствие в изоляционном зазоре влаги, растворимых загрязнений и электрического напряжения создает условия для протекания электролиза, являющегося основой электрохимического процесса отказа изоляции.

В результате электролиза проводник-анод растворяется, отдавая воде положительно заряженные ионы металла, которые, направляясь к проводнику-катоду, восстанавливаются на нем до металлического состояния, образуя в изоляционном зазоре проводящие перемычки дендритоподобной структуры. В результате этих процессов за несколько минут в водной среде могут образоваться нитевидные проводящие дорожки толщиной 2...20 мкм и длиной до 12 мм (рис. 1). Сопротивление таких дорожек может доходить до 1 Ом.

Схема электрохимического процесса отказа изоляции

Быстрый процесс прорастания металлической перемычки через зазор стимулируют три фактора:

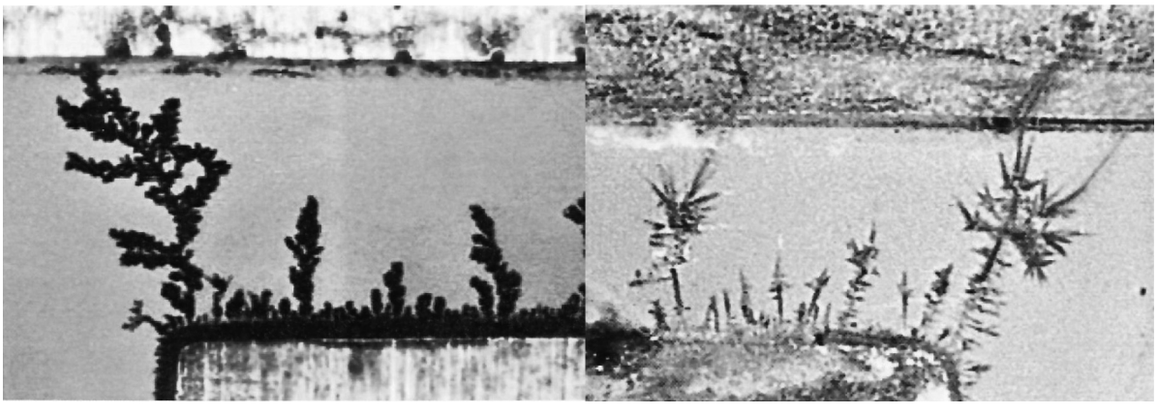
градиент концентрации раствора у фронта кристаллизации;

разогрев раствора в этой области (плотность тока здесь достигает 1 А/мм^2, а выделяемая близ вершины растущего образования плотность мощности составляет 10 Вт/мм^3);

импульс, передаваемый водной среде движущейся вершиной дендрита (рис. 2).

Растущий дендрит, как насос, выкачивает ионы металла из электролита, цилиндрическая

sb915.indd 30 27.08.2015 9:38:43



а *б*

Рис. 1. Дендриты, выросшие из меди (*а*) и олова (*б*) в результате электрохимических процессов в пленке влаги при напряжении, равном 2 В

область которого примерно в пять раз больше диаметра дендрита. Причем на субмикронном расстоянии от поверхности растущего дендрита концентрация раствора падает почти до нуля, и именно на этот слой приходится почти все падение напряжения электрохимической цепи. В этом случае пространство между проводниками как бы пронизывается разрозненными иглами, вытягивающимися в направлении доставки питающей среды. В дальнейшем дендрит растет по градиенту концентрации с такой скоростью, с какой к нему успевают поступать ионы металла от анода.

Процесс развития единичных ответвлений в дендрит связан с обеднением концентрации в направлении роста дендрита, приводящим к росту зародышей на боковых гранях металлических образований в сторону большего градиента концентраций. В результате кристаллы начинают ветвиться, образуя древоподобную структуру (дендрит), как показано на рис. 2.

Скорость образования проводящих перемычек определяется материалом проводников, относительной влажностью среды, смачиваемостью, водо- и влагостойкостью изоляции, напряжением. Если изоляционный зазор загрязнен водорастворимыми или слаборастворимыми примесями, часть ионов металла, не достигнув катода, восстанавливается анионами диссоциированных примесей до металлического состояния, образуя беспорядочное заполнение зазора металлом.

При напряжении более 25 В растущие проводящие перемычки разрушаются мощными газовыделениями на электродах, при этом изо-

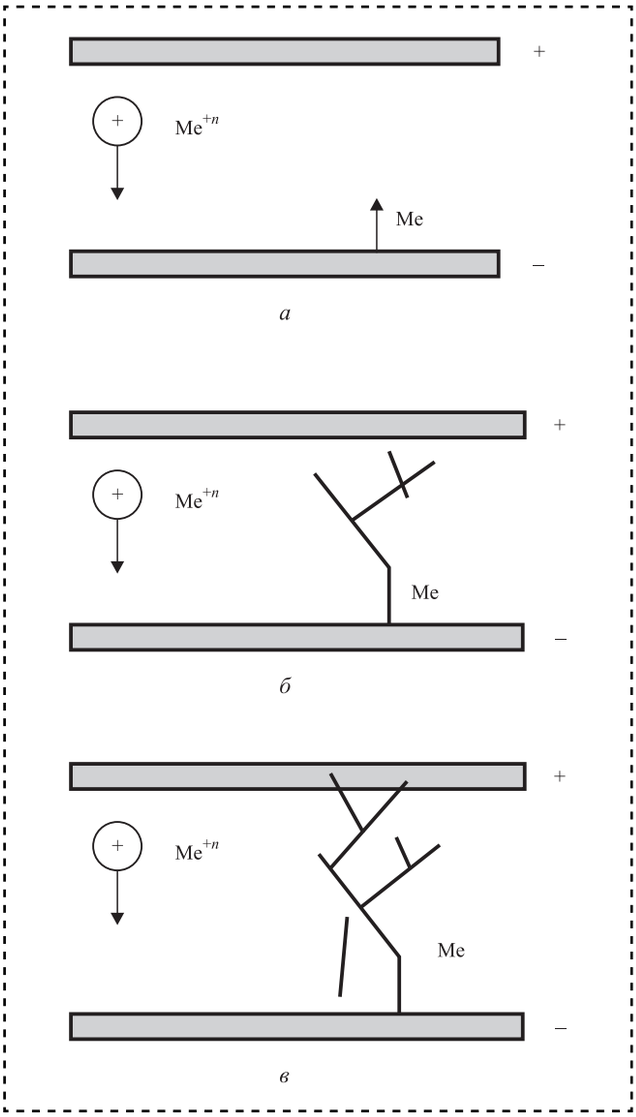


Рис. 2. Схема процесса образования дендритов:
а — начало процесса; *б* — промежуточное состояние; *в* — окончание процесса

sb915.indd 31 27.08.2015 9:38:43

ляционный промежуток заполняется высокодисперсным металлическим порошком.

В общем случае последовательность формирования токопроводящих мостиков электрохимического происхождения состоит из следующих стадий:

электрохимическое растворение анодного проводника;

перенос ионов в среду, заполняющую электроизоляционный зазор (электрохимическая миграция, диффузия, конвекция);

электрохимическое восстановление ионов на проводнике-катоде.

Для меди, например, характер катодных процессов проявляется следующим образом:

ровные поверхностные отложения — при напряжении менее 0,2 В;

рыхлые приповерхностные отложения — в диапазоне от 0,2 до 0,5 В;

дендритные отложения, завершающиеся образованием мостика — при напряжении более 0,5 В.

Критическое напряжение смещения, при котором процесс отказа развивается наиболее уверенно, находится в диапазоне 0,6...0,8 В. При напряжениях более 24 В процессу образования мостиков предшествует обильное газовыделение на проводниках-электродах и испарение пленки влаги за счет джоулевой теплоты. Поэтому для больших рабочих напряжений этот вид отказа не характерен [2].

При переменном напряжении отказ изоляции электрохимического происхождения хотя и затруднен, но процесс протекает и в этом случае. Это явление можно объяснить, если учесть наличие вентильного эффекта при электролизе ряда металлов, в том числе серебра, меди, никеля и др.

Вентильный эффект возникает, когда катодная и анодная поляризации неодинаковы, и поэтому сопротивления на границе фаз металл—электролит при прохождении электрического тока в прямом и обратном направлениях будут различны.

Имитация электрохимического процесса отказа

На практике отказ из-за нарушения изоляции наиболее быстро возникает при относительной влажности среды более 95 %. Поэтому

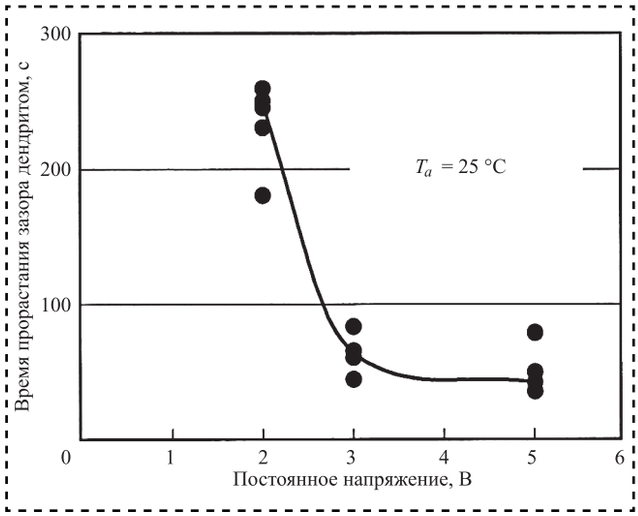


Рис. 3. Зависимость времени прорастания дендритов от приложенного напряжения

для аппаратуры, предназначенной для работы в условиях повышенной влажности, необходимо принимать специальные меры по обеспечению влагоустойчивости.

Условия образования проводящей перемычки можно имитировать смачиванием каплей дистиллированной воды изоляционного промежутка между печатными проводниками при подаче на них напряжения 3...5 В. Время прорастания изоляционных промежутков существенно зависит от напряжения (рис. 3).

Имитация условий возникновения отказов печатных плат из-за электрохимических процессов убеждает, что они возможны при использовании любых металлических покрытий (см. рис. 1). Однако наибольшую предрасположенность к отказам такого рода имеют серебро и медь с малым электрохимическим потенциалом, наименьшую — золото и палладий с большим электрохимическим потенциалом. Пассивация поверхности печатных проводников существенно снижает интенсивность электрохимического процесса.

Имитация условий отказа изоляции убеждает в возможности их образования при использовании любых материалов проводников и покрытий, применяемых в технике межсоединений современных электронных устройств. Однако склонность разных металлов к отказам такого типа проявляется в следующем ряду:

серебро → молибден → свинец → сплав олово-свинец → медь → никель → → палладий → золото.

sb915.indd 32 27.08.2015 9:38:43

Способность металлов к образованию дендритов

Металлы, проявляющие склонность к образованию дендритов		Металлы, требующие дополнительных условий для образования дендритов
в чистых средах	в ионогенных средах	
Висмут	Золото	Алюминий
Кадмий	Индий	Сурьма
Медь	Палладий	Хром
Свинец	Платина	Железо
Серебро		Никель
Олово		Родий
Цинк		Тантал
		Ванадий
		Титан

Специально проведенные исследования позволили создать классификацию металлов (см. таблицу) по способности к образованию мостиков электрохимического происхождения (дендритов).

Если металл пассивируется нерастворимым слоем окисла, сульфида и т. п., интенсивность электрохимических процессов отказа будет меньше, так как пассивация замедляет или совсем прекращает передачу зарядов на поверхностях анодных и катодных проводников. В любом случае для предупреждения и устранения отказов такого рода следует всегда обращать большое внимание на чистоту поверхностей электроизоляционных конструкций.

Заключение

Низкий уровень напряжений, характерный для современной электронной аппаратуры, провоцирует новый вид разрушения электроизоляционных конструкций — электрохимический пробой. Этому способствуют экстремальные условия эксплуатации слаботочной аппаратуры специального назначения, подвергающейся воздействию росы-инея, тропической влажности, термоциклам, способствующим выпадению конденсата. В поверхностной пленке влаги развиваются электрохимические процессы образования металлических мостиков дендритной структуры, завершающихся короткими замыканиями и возгоранием аппаратуры.

Библиографический список

1. **Kinner Phil.** How to increase end-product lifetime and reliability // European Magazine for Production and Test in the Electronics Industry. 2015. № 04. С. 17—19.

2. **Бекишев А.А., Медведев А.М., Сержантов А.М.** Надежность электроизоляционных конструкций на основе композиционных диэлектриков // Производство электроники: технологии, оборудование, материалы. 2009. № 1. С. 33—39.

Внимание!

В журнале № 2 за 2015 г. в статье И.О. Борохова и В.В. Карабанова "Пайка крупных массивных конструкций" в рисунке № 12 допущена ошибка.

Правильный рисунок

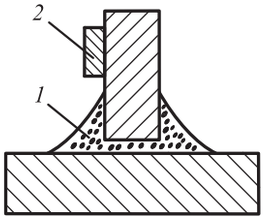


Рис. 12. Схема пайки соединения с предварительным формированием галтели:
1 — паяный шов; *2* — припой

sb915.indd 33 27.08.2015 9:38:43

УДК 621.9

Л.Ю. Руднева, *канд. техн. наук*
(Московский государственный Университет приборостроения и информатики)
E-mail: rudnewal@list.ru

Организация и подготовка производства сборки агрегатов и приборов методом групповой взаимозаменяемости

Рассмотрены вопросы обеспечения точности соединений при сборке методом групповой взаимозаменяемости.

The issues of ensuring accuracy of assemble machine parts of group interchangeability method is considered.

Ключевые слова: сборка, технология, взаимозаменяемость.

Keywords: assembly, technology, interchangeability.

Сборка методом групповой взаимозаменяемости (СМГВ) основана на предварительной сортировке партий, входящих в соединение групп деталей, на группы в пределах фактических производственных допусков ΔA_i и последующей сборке соединения из деталей соответствующих групп с этими допусками.

В связи с особенностями проведения сборки агрегатов и приборов методом групповой взаимозаменяемости требуется увеличение объема работ по организации производства [1—3].

Сборочное производство приобретает ряд новых функций. Для их наглядного определения перечислим этапы внедрения СМГВ, начиная с расчета параметров и заканчивая выходом годных качественных изделий (см. рисунок) [4]. Для проведения СМГВ необходимо выполнить девять основных этапов организационно-подготовительных расчетных и технических работ [1].

В целях обеспечения заданной точности при условии неприменимости метода взаимозаменяемости исходным условием для расчета являются допуски ΔA_i на механическую обработку (этап 2) сопрягаемых размеров. После определения ΔA_i, зная число звеньев q соединения, рассчитывают допуск ΔS замыкающего звена параметра S, достижимый при методе взаимозаменяемости. Параметр S агрегатов или приборов с соответствующим качеством должен находиться в пределах заданной точности δS.

Соотношение ΔS и δS определяет необходимое число групп n сортировки.

Групповой допуск рассчитывается в следующем порядке:

$$\Delta A_i \to \overset{q\downarrow}{\Delta S} \to \underset{\Delta S\uparrow}{n_i} \to \delta A_i. \qquad (1)$$

Для выбора целесообразного метода сборки расчет начинают с установления необходимых величин δA_i. Затем, варьируя число групп n_i, определяют наиболее экономичные допуски обработки:

$$\overset{\delta S\searrow}{q\nearrow}\delta A_i \to n_i \to \Delta A_i. \qquad (2)$$

На третьем этапе составляют уравнение комплектования вида

$$\sum_1^p \delta A_i n_i - \sum_1^l \delta B_j n_j = 0, \qquad (3)$$

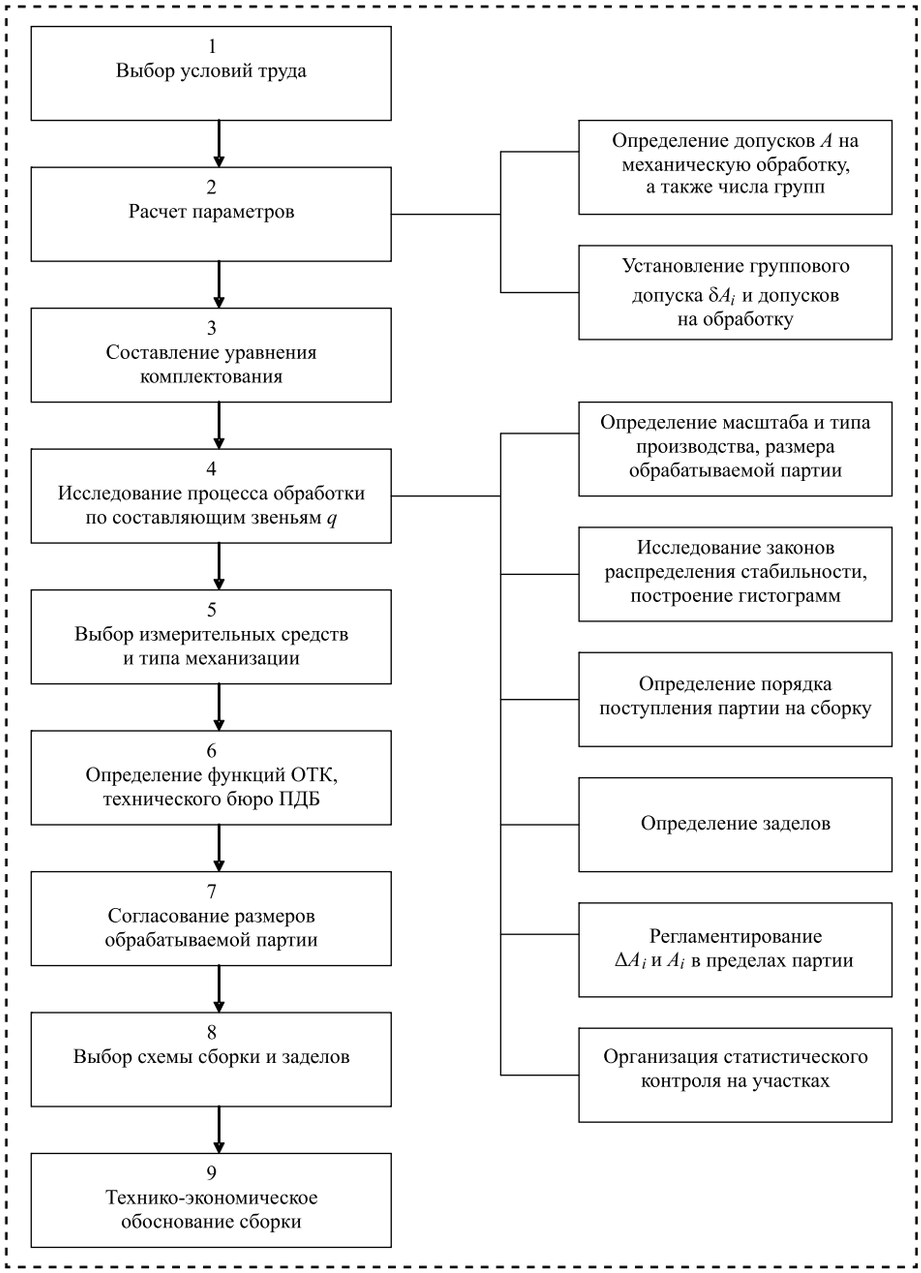
где δA_i — допуск суммы средних размеров всех p увеличивающихся звеньев цепи;

δB_j — допуск суммы средних размеров всех l уменьшающихся звеньев цепи.

Уравнение (3) называют уравнением комплектования в номерах групп составляющих звеньев, так как они дают связь номеров групп деталей, которые при сборке их в соединение обеспечивают заданную точность [2].

Затем последовательно (этап 4) определяют масштаб и тип производства, исследуют законы распределения $A_{i\text{ф}}$ и строят гистограммы распределения, определяют число групп, устанавливают порядок поступления на сборку, определяют заделы, организуют статистический контроль.

sb915.indd 34 27.08.2015 9:38:43



Организационно-технические этапы СМГВ

Размеры партий, поступающих на сборку в соответствии с типом производства в обрабатывающих и сборочных цехах и необходимым размером комплектовочной или транспортной партии, определяют по формуле, предложенной А.И. Карповым:

$$n_{сб} = \frac{n_{обр}\tau\omega_j\left(1-\omega_j\right)}{n_{обр}\varepsilon^2 + \tau^2\omega_j\left(1-\omega_j\right)},$$

где τ — отношение заданного предела отношений ε к среднеквадратичной ошибке распределения δA;

$n_{сб}$ — размер партий, поступающих на сборку;

$n_{обр}$ — размер партий, поступающих на обработку.

Из анализа этого уравнения следует, что чем большую точность соответствия распределений в $n_{сб}$ и $n_{обр}$ необходимо получить, тем большим должен быть объем $n_{сб}$ по отношению к объему $n_{обр}$.

Соответственно, чем больше объем обрабатываемой партии, тем меньший объем $n_{сб}$ (по отношению к $n_{обр}$) необходим для обеспечения той же точности распределения ε.

В дальнейшем выбирают схему сборки, заделы (этап 7) и приводят технико-экономическое обоснование применения СМГВ.

Имеются два принципиально различных организационных решения СМГВ:

измерение и сортировка деталей по контрольному параметру осуществляются непосредственно в механообрабатывающем цехе;

измерение, сортировка и комплектование деталей осуществляются в сборочном цехе непосредственно перед сборкой.

При сортировке деталей в обрабатывающем цехе трудно обеспечить количественное соответствие поступающих на сборку различных сортировочных групп. В этом случае пришлось бы выдавать программу обрабатывающему цеху не только общую, но и в процентах по группам. Сборочный цех должен был бы нести ответственность за комплектность.

sb915.indd 35 27.08.2015 9:38:43

Такая схема эффективна при массовом и крупносерийном производстве.

Можно организовать систему заказов нужных для сборки сортировочных групп деталей в обрабатывающем цехе, а в сборочном цехе — участок для доработки деталей, образующих задел несоответствия. Тогда эти детали должны обрабатываться не с допусками ΔA_i и ΔB_i, а с групповыми допусками δA_i и δB_i.

Центр рассеивания фактических величин $A_{i\text{ф}}$ и $B_{i\text{ф}}$ для полей допусков ΔA и ΔB при наладке оборудования на участке доработки смещается в сторону заказываемого размера. Это приводит к появлению новых заделов несоответствия партий, которые выходят за заданные пределы поля допуска в результате смещения центра рассеивания.

При сортировке и комплектовании деталей в сборочном цехе целесообразно создать участок комплектации, выполняющий следующие функции:

измерение поступающих деталей;

сортировка однотипных деталей;

комплектование и выявление несобираемых остатков — заделов несоответствия;

математическая проверка соответствия законов распределения, фактически получаемых в обработочных партиях;

корректировка размеров обработочных партий в зависимости от размеров заделов.

Такая организационно-техническая система более рациональна.

Таким образом, СМГВ требует выполнения подразделениями сборочного цеха определенных дополнительных функций.

Технологические бюро должны осуществлять следующее:

- проводить расчет параметров СМГВ;
- исследовать условия обработки деталей;
- вести статистический контроль на обрабатывающих участках;
- разрабатывать мероприятия по стабилизации полей допусков обрабатываемых деталей;
- определять заделы;
- выбирать высокоточные стабильные измерительные средства;
- организовывать контроль и сортировку деталей по соответствующим параметрам.

Оперативное планирование должно учитывать согласование размеров обрабатывающих партий деталей и партий, поступающих на сборку, проводить расчет заделов и корректировку обрабатывающих партий деталей.

Чем больше число составляющих звеньев размерной цепи соединения, тем больше объем работ по технической подготовке производства. При этом затраты на подготовку и организацию производства окупаются выпуском высококачественной продукции [2].

В случаях сборки агрегатов и приборов из деталей, выполненных из токсичных материалов, организация СМГВ является практически единственным способом обеспечения качества продукции. Кроме того, доработка таких деталей требует соблюдения специальных требований санитарии и гигиены.

Требования гигиены включают дорогостоящие мероприятия по очистке и фильтрации воздуха, созданию очистных сооружений, обеспечению удаления отходов производства и др. Следовательно, затраты на подготовку и организацию СМГВ будут экономически целесообразными и оправданными [3].

Библиографический список

1. **Венцлавский И.В., Руднева Л.Ю.** Сборка контактных групп электромеханических контактных механизмов по принципу равножесткости // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2003. № 5. С. 26—27.

2. **Венцлавский И.В., Руднева Л.Ю.** Повышение технического уровня сборки агрегатов путем типизации операций // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2003. № 4. С. 12—14.

3. **Руднева Л.Ю.** Особенности сборки методом групповой взаимозаменяемости. Материалы 13-й международ. науч.-практич. конференции. г. Киев (Свалява): 2013.

4. **Руднева Л.Ю.** Технология сборки высокоточных сложнопрофильных деталей с упругим элементом // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2014. № 4. С. 11—16.

sb915.indd 36 27.08.2015 9:38:43

УДК 621.9.06

В.Г. Гусев, *д-р техн. наук,* **Г.М. Наумов**
(Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых)
E-mail: prof_gusev@mail.ru, proenaumov@outlook.com

Перспективные направления повышения уровня технологической подготовки производства высокоточных изделий на станках с ЧПУ

Вскрыты причины низкого уровня технологической подготовки производства при использовании высокопроизводительного многофункционального оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ) и предложены пути повышения этого уровня путем применения программных комплексов технологической подготовки производства, трехмерной модели изделия с нанесенными аннотациями и др.

The low level reasons of a manufacture technological preparation are opened at using of a high-efficiency multipurpose equipment with numerical control and paths of level heightening by program complexes application of manufacture technological preparation a three-dimensional sample piece of an article with the plotted summaries and so on are offered.

Ключевые слова: технологическая подготовка производства, многофункциональный станок, числовое программное управление, высокоточное изделие, трехмерная модель, управляющая программа.

Keywords: manufacture technological preparation, multipurpose machine tool, numerical control, high-precision article, a three-dimensional sample piece, the steering program.

Отечественные машиностроительные и приборостроительные предприятия регулярно сталкиваются с решением задач, связанных с производством высокоточных изделий. При этом основными тенденциями развития техники и технологии являются уменьшение габаритных размеров конечного изделия, номенклатуры наукоемкой продукции и одновременное расширение ее функциональных возможностей.

Повышение эффективности производства изделий с высокими требованиями к точности и качеству основано на внедрении современного металлорежущего оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ), позволяющего проводить механическую обработку с одновременным управлением рабочими движениями исполнительных органов станка по нескольким осям и использованием зеркально расположенных шпиндельных узлов, значительно снижающих погрешности установки заготовок и вспомогательное время на выполнение технологических операций.

Основной задачей внедрения многофункционального оборудования с ЧПУ является уменьшение времени цикла обработки изделия, обусловленное в первую очередь сокращением сроков технологической подготовки производства, уменьшением количества технологических установок и переустановок, а также применением комплексной обработки на высоких режимах резания.

К сожалению, на многих отечественных предприятиях внедрение современного многофункционального оборудования с ЧПУ проводится обособленно от процесса совершенствования системы технологической подготовки производства. В результате в ряде случаев единственным эффектом от внедрения оборудования является незначительное сокращение времени на выполнение отдельных этапов обработки, что в сочетании с ростом затрат на техническое обслуживание дорогостоящих станков с ЧПУ и закупку специальных средств технологического оснащения (цанги, патроны, люнеты и др.) ставит под сомнение экономическую целесообразность использования данного оборудования.

sb915.indd 37 27.08.2015 9:38:43

Основными причинами низкой эффективности технологической подготовки производства на оборудовании с ЧПУ являются:

неполное использование при обработке имеющихся возможностей управления движениями исполнительных органов станка одновременно по нескольким осям координат;

применение устаревших подходов к проектированию технологического процесса механической обработки, не учитывающих технологические преимущества современного оборудования;

отсутствие исчерпывающих входных данных для проектирования технологического процесса и разработки управляющих программ [1—4].

Неполное использование возможностей управления движениями наблюдается в тех случаях, когда станки, способные перемещать исполнительные органы одновременно по четырем или пяти осям координат, эксплуатируются исключительно для позиционной обработки (2,5 оси, 2,5 + 2 ось, 3 + 1 ось, 3 + 2 оси, 3 + 1 + 1 ось). В основном это происходит вследствие недостаточной квалификации программистов ЧПУ или из-за недоиспользования возможностей системы, разрабатывающей управляющие программы (CAM-системы, постпроцессоры).

Применение устаревших подходов к проектированию технологического процесса связано с тем, что технологическая подготовка производства на ряде отечественных предприятий крайне консервативна и характеризуется устоявшимися методиками назначения режимов резания, выбора последовательности обработки, применяемых средств оснащения и др. В случае применения современного оборудования с ЧПУ мы имеем дело с постоянно изменяющимися требованиями к процессу обработки изделий высокой сложности. Реализация устаревших подходов может обернуться значительным снижением производительности вместо ожидаемого ее повышения.

Отсутствие исчерпывающих входных данных для проектирования технологического процесса и разработки управляющих программ объясняется тем, что при традиционном подходе к технологической подготовке производства основным источником исходной информации для инженера-технолога является конструкторский чертеж, трехмерная модель детали и справочные данные. В случае применения многофункционального оборудования с ЧПУ этих данных недостаточно ввиду необходимости учета специфических особенностей названного оборудования при определении последовательности выполнения технологических переходов, назначения режимов резания, нормирования операций и др.

Рассмотрим основные перспективные направления совершенствования процессов технологической подготовки производства в условиях применения высокопроизводительного многофункционального оборудования с ЧПУ. Следует отметить, что техническая реализация ряда направлений при условии применения определенных технологических и программных решений возможна уже в настоящее время.

Применение трехмерной модели изделия с нанесенными аннотациями (в англоязычной терминологии PMI — Product Manufacturing Information) позволяет решить задачу обеспечения входных данных, характеризующих геометрию и точность будущего изделия. Большинство современных систем автоматизированного проектирования (САПР) позволяют наносить аннотации на трехмерные модели в соответствии с ГОСТ 2.052—2006 "ЕСКД. Электронная модель изделия. Общие положения".

Основным конструкторским документом для инженера-технолога остается чертеж детали, подлежащей обработке, поскольку он содержит гораздо большую информацию о размерах, допусках и отклонениях, чем традиционная трехмерная модель. Трехмерные модели изделий активно применяются в процессе разработки управляющих программ в CAM- и CAD/CAM-системах.

Инженер-технолог использует оба источника информации для получения конечного результата — технологического процесса обработки и/или управляющей программы. Кроме того, данный подход имеет еще один существенный риск. Если на предприятии процесс конструкторской подготовки производства поставлен недостаточно качественно, то это может привести к расхождениям фактических размеров трехмерной модели и размеров, про-

sb915.indd 38 27.08.2015 9:38:44

ставленных на чертеже, что неминуемо приведет к ошибкам в ходе технологической подготовки производства и в дальнейшем — к браку при производстве изделия.

Применение аннотаций при оформлении трехмерной модели еще недавно считалось прерогативой отдельных конструкторов, специалистов по обеспечению качества и не находило активного применения в системе технологической подготовки производства. Ситуация кардинальным образом изменилась, когда в современных CAD/CAM-системах появилась возможность использования информации, содержащейся в PMI-аннотациях для моделирования механической обработки на станках с ЧПУ. У инженеров-технологов и программистов ЧПУ появился единый источник информации о размерах, допусках, отклонениях формы, качестве обработанного поверхностного слоя на всех этапах проектирования технологического процесса, таких как выбор заготовки, проектирование маршрута обработки, выбор режущих инструментов и иных средств оснащения, разработка управляющих программ для станков с ЧПУ и т. д.

Наибольшим функционалом по применению PMI в процессе подготовки производства обладает CAD/CAM/CAE-система NX (Siemens PLM Software, США). Данный программный комплекс позволяет реализовать весь цикл подготовки производства с применением PMI: концептуальное проектирование, трехмерное моделирование, применение аннотаций для оформления модели, специализированных правил обработки, учитывающих информацию PMI; функционирование постпроцессора и получение готовой управляющей программы. Иные системы верхнего уровня (Creo Parametric и CATIA) при достаточно обширных возможностях применения аннотаций для оформления модели не позволяют в полной мере применять данную информацию при проектировании процесса обработки в CAM-модулях.

Формирование процесса обработки на основе распознанной геометрии трехмерной модели в какой-то степени является развитием направления параметрического трехмерного моделирования при решении задач технологической подготовки производства. Заметим, что данное направление не является новым: методологические основы модульной технологии были заложены еще советской научной школой, созданной проф. Б.М. Базровым [5]. Актуальность практического применения модульной технологии значительно возросла при появлении на рынке систем трехмерного твердотельного моделирования.

Можно выделить два основных направления технологической подготовки производства и разработки управляющих программ для станков с ЧПУ:

распознавание произвольной геометрии в трехмерной модели без учета методики ее построения;

распознавание геометрии на основе применения пользовательских геометрических элементов.

Первое направление в наибольшей степени используется при обработке трехмерной графики в тех случаях, когда у технолога отсутствует информация о способе ее построения или нет прямой связи с конструктором модели. Несмотря на то, что данный подход применяется во многих современных CAM-системах, его реализация подразумевает использование достаточно мощного математического аппарата для анализа модели и выделения отдельных элементов по их топологическим признакам.

Таким образом, схожий функционал, декларируемый разработчиками CAM- и CAD/CAM-систем, может выдать на выходе совершенно различный результат. Если, например, распознавание отверстий (гладких и резьбовых) можно считать практически решенной задачей, то усложнение модели, геометрических построений и формы поверхности неминуемо приводит к расхождениям в конечном представлении распознанной геометрии.

Функционал распознавания геометрических элементов в трехмерной модели представлен в CAM-системах Esprit, Feature CAM, Master CAM, Edge CAM и ряде других. Основное преимущество данного подхода — сокращение времени, затрачиваемого программистом ЧПУ на определение геометрии.

Наряду с традиционными инструментами трехмерного моделирования (вытягивание, вращение, заметание и др.) большинство современных CAD- и CAD/CAM-систем предоставляют пользователям возможность создания собственных элементов для автоматиза-

sb915.indd 39 27.08.2015 9:38:44

ции построения типовой геометрии. Данный функционал в англоязычной терминологии называется UDF — User Defined Feature — элемент, определенный пользователем.

В качестве примера простейшего применения UDF можно назвать построение ступенчатых отверстий, а также типовой геометрии для различных видов изделий: радиальные канавки поршней двигателей внутреннего сгорания, крепежные бобышки пластиковых изделий и т. д.

Для решения задач технологической подготовки производства UDF обладают одним непревзойденным преимуществом — возможностью определения произвольных параметров элемента, в том числе напрямую влияющих на процесс производства.

Модульная технология проф. Б.М. Базрова — методологическая основа для использования UDF в качестве основного инструмента конструкторско-технологической подготовки производства. Задачей конструктора является проектирование нового изделия с использованием библиотеки пользовательских элементов. Далее в процессе технологической подготовки производства инженер-технолог и программист ЧПУ, используя модель, составленную из различных UDF, получают в свое распоряжение не только исчерпывающую геометрическую, но и обширную технологическую информацию.

Безусловно, данный подход гораздо более сложен в реализации, чем простое распознавание геометрии в трехмерной модели. Его применение подразумевает длительную подготовительную работу по созданию и наполнению библиотеки типовых элементов, определению основных и второстепенных параметров, а также реализацию механизмов применения данных параметров на этапе технологической подготовки производства.

К сожалению, в настоящее время отсутствует система, способная в комплексе решать задачи проектирования технологических процессов и разработки управляющих программ на основе применения пользовательских элементов.

Вместе с тем нельзя не отметить отечественные разработки: САПР ТП "Natta" (ООО "Тетнет консалтинг", Россия), АСТПП "Techcard" (ОДО "Интермех", Беларусь) и "Вертикаль" (ООО "АСКОН", Россия), в которых в той или иной мере реализованы механизмы выделения и использования типовых конструкторских элементов при решении задач проектирования технологического процесса обработки изделия.

В области разработки управляющих программ опять следует выделить систему NX (Siemens PLM Software, США), в которой наиболее развиты инструменты использования параметров UDF для формирования обработки в модуле CAM. Комплексное решение задач технологической подготовки производства с применением пользовательских элементов является, возможно, вопросом ближайшего будущего.

Использование базы знаний для технологического проектирования и обработки деталей на станках с ЧПУ также нельзя признать в качестве нового направления. Вопросы накопления, аккумулирования и повторного использования инженерных знаний решаются человечеством в течение нескольких сотен лет. Появление современных программно-аппаратных средств послужило мощным импульсом для развития и практического применения данного направления в условиях реального производства.

В общем случае база знаний представляет собой набор различных таблиц, формул, процедур, позволяющих инженерам автоматизировать работу при решении определенных задач. Однако в полной мере базы знаний проявляют себя при централизованном применении. В этом случае база знаний становится основным и единственным способом генерации инженерных решений.

Для иллюстрации изменений, происходящих на предприятии, приведем два варианта проектирования технологии: без базы и с использованием базы знаний.

При единстве входных данных для проектирования, отличии применяемых методик расчета, справочных материалов и профессионального уровня инженеров-технологов на выходе получаются различные результаты в виде решений № 1—№ 3 (рис. 1). Различия могут заключаться в наборе технологических операций, средствах оснащения, количестве вспомогательных переходов и пр.

sb915.indd 40 27.08.2015 9:38:44

Теперь посмотрим, как изменится ситуация в случае централизованного применения базы знаний при решении задач технологического проектирования (рис. 2). Обратим внимание на основные моменты:

база знаний является единственным источником генерации инженерных решений при технологической подготовке производства;

анализ результатов применения базы знаний проводит экспертная группа;

в экспертную группу входит коллектив из наиболее опытных инженеров, владеющих механизмами функционирования системы.

Единство входных данных и использование одинаковых баз знаний в процессе технологического проектирования практически гарантирует идентичность принимаемых технологических решений (одно и то же решение на выходе, см. рис. 2).

Если говорить о решении задачи повышения эффективности использования высокопроизводительного оборудования ЧПУ, то экспертная группа может определить основные принципы и ограничения применения того или иного оборудования для достижения максимального эффекта его использования [6].

Например, может быть определен порядок обработки высокоточных тонкостенных изделий (корпусов и оболочек) на токарно-фрезерных станках с ЧПУ с поддержкой мультиканальной обработки и одновременно с этим ограничена обработка на данном оборудовании простых изделий (болтов, винтов, элементарных валов), для которой можно применять менее функциональное оборудование.

Разработчики управляющих программ также могут применять базы знаний при обработке изделий со сложной геометрией, выборе высокопроизводительного режущего инструмента, расчете режимов резания труднообрабатываемых материалов (титан, нержавеющая сталь и др.).

Применение баз знаний резко повышает степень унификации применяемых технологических решений в процессах проектирования и разработки управляющих программ. Вместе с тем должный подход к внедрению баз знаний способен резко сократить, а возможно, и нивелировать отличие в квалификации инженерных кадров с различными уровнем подготовки и стажем работы.

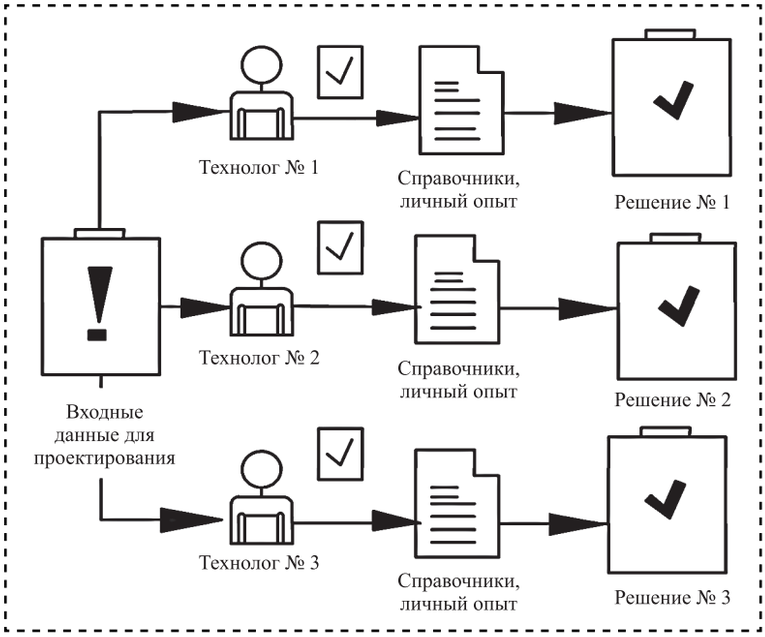


Рис. 1. Проектирование технологии без использования централизованной базы знаний

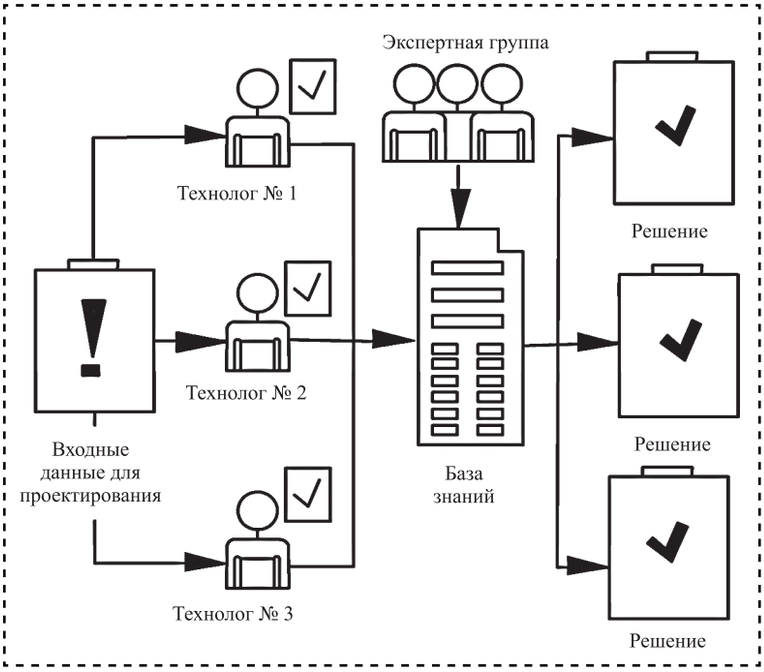


Рис. 2. Проектирование технологии с использованием централизованной базы знаний

sb915.indd 41 27.08.2015 9:38:44

В Интернете (camworks.com.modules/wireedm/, а также http://www.moldmakingtechnology.com/articles/knowledge-based CAD-CAM-separating-the-hype-from-true-machining-intelligence) рассмотрено применение различных подходов к использованию баз знаний в процессе разработки управляющих программ для станков с ЧПУ. Данная методика технологической подготовки в англоязычной терминологии получила название KBM (Knowledge-Based Machining).

Можно отдельно выделить CAM-системы Esprit, Edge CAM, Feature CAM и CAD/CAM-системы NX и CATIA, в которых присутствуют развитые инструменты создания и поддержки баз знаний. Внедрение баз знаний всегда несет важный организационный аспект — определение состава экспертной группы и наложение существенных ограничений на свободу действий остальных инженерных работников, что практически всегда требует привлечения административного ресурса.

Визуализация и верификация процесса обработки на рабочем месте инженера-технолога получили серьезный импульс для своего развития после начала активного использования многофункционального оборудования с ЧПУ, поддерживающего непрерывную обработку одновременно по различным осям и многоканальную обработку несколькими режущими инструментами. До этого отдельные системы визуализации процесса обработки широко не применялись.

Разработка управляющих программ для 2,5-осевой фрезерной обработки и/или простой токарной обработки не требует высокой квалификации программиста ЧПУ, а отладка программы успешно осуществляется непосредственно на станке.

По-иному обстоит дело с продвинутыми видами обработки. В частности, при проектировании мультиканальной обработки наиболее важным является четкое отслеживание синхронизации каналов обработки. При отсутствии синхронизации малейшая ошибка может вызвать несвоевременный вызов режущего инструмента, преждевременное врезание в заготовку, в результате чего неизбежен производственный брак или поломка инструментов и выход из строя отдельных узлов дорогостоящего станка с ЧПУ. В связи с этим этап визуализации и верификации обработки является более важным и ответственным, нежели собственно разработка управляющей программы.

В настоящий момент на рынке промышленного программного обеспечения (ПО) представлен не столь обширный выбор инструментов визуализации и верификации процесса обработки, как в случае с CAM-системами. Основными представителями данного класса ПО являются Vericut (CGTech, США), IMS Verify (IMS Software, США) и NC Manager (ООО "Интекс", Россия).

В последние годы вследствие расширения функциональных возможностей и усложнения металлорежущего оборудования с ЧПУ в процессе верификации обработки предъявляются повышенные требования к детализации применяемых трехмерных моделей узлов и деталей станка. Можно прогнозировать, что с повышением сложности процесса обработки эти требования достигнут своего предела. Для качественного мониторинга процесса обработки потребуется использование визуальной модели станка, максимально приближенной по геометрическим характеристикам к его реальному образцу.

Большое значение имеет применение программных комплексов технологической подготовки производства при непосредственной связи PC (Personal Computer) — рабочего места технолога-программиста со станком с ЧПУ. Все перечисленные выше методы повышения эффективности высокопроизводительного оборудования с ЧПУ применимы в той или иной мере к предприятиям с серийным типом производства, обладающим достаточно обширным парком станков с ЧПУ. Сложнее обстоит дело с мелкосерийным и единичным типами производства, при которых фирма выпускает высокоточную наукоемкую продукцию в единичных экземплярах. Как правило, подобные фирмы не обладают развитой системой подготовки производства, включающей весь цикл конструкторско-технологических мероприятий.

В этих условиях важны квалификация программиста ЧПУ и наличие программно-технических инструментов, позволяющих решать вопросы обработки высокоточных изделий в кратчайшие сроки. В качестве решений можно предложить единый комплекс "CAD/CAM-система — модель станка с ЧПУ — постпроцессор — визуализатор — связь со станком с ЧПУ", реализованный в виде PC — рабочего места технолога-программиста ЧПУ. Достоинством

sb915.indd 42 27.08.2015 9:38:44

данного подхода является максимальная адаптация под возможности конкретного оборудования.

Программист ЧПУ при работе с данным комплексом имеет возможность полного моделирования всего процесса обработки до момента передачи управляющей программы на станок с ЧПУ. Кроме того, прямая связь со станком обеспечивает возможность внесения коррекции в процесс обработки при отладке управляющей программы в кратчайшие сроки. При реализации функций обратной связи (получении информации о процессах, протекающих непосредственно при механической обработке) специалисты предприятия могут анализировать процесс обработки и вносить изменения в исходные данные в целях достижения максимального эффекта от применения многофункционального оборудования с ЧПУ.

Поставкой подобных комплексов в основном занимаются ведущие станкостроительные компании DMG Mori-Seiki, Mazak и др. Высокая стоимость предлагаемых услуг обусловлена необходимостью адаптации комплекса под конкретные условия работы. Вместе с тем грамотный подход к практическому применению комплексов будет способствовать их популяризации и увеличению спроса на рынке.

Повсеместное проникновение сети Интернет и доступность мобильных устройств к этой сети способствуют активному появлению веб-сервисов для обеспечения и поддержки различных процессов, в том числе технологической подготовки производства. В настоящий момент применение сети Интернет нельзя назвать основным направлением систем автоматизации подготовки производства и разработки управляющих программ, но очевидно, что роль Интернета в дальнейшем будет только возрастать.

Уже сейчас пользователям Интернета доступна в режиме реального времени информация о номенклатуре режущего инструмента ведущих производителей (например, Sandvik, Iscar, Dormer). Доступ к сети с рабочего места инженера-технолога может быть единственным средством обмена данными о процессе производства в случае удаления производственной площадки от инженерного центра.

В ближайшей перспективе появятся веб-сервисы, которые смогут помочь инженерам-технологам в подборе режущего инструмента, определении режимов резания и т. д. Прямое подключение системы ЧПУ к сети Интернет уже сейчас позволяет проводить удаленную диагностику и выявлять причины поломки оборудования, что особенно важно для современных многофункциональных станков с ЧПУ, техническое обслуживание которых во многом зависит от уровня сервиса производителя.

В перспективе с развитием технологий мобильной графики и усовершенствованием интерфейсов появятся мобильные системы для полноценного решения задач разработки управляющих программ и их передачи на станки с ЧПУ. В настоящий момент этому препятствует целый ряд объективных факторов: недостаточная производительность мобильных устройств, высокая детализация интерфейса CAM-систем, проблемы с обеспечением доступа в Интернет в производственных помещениях промышленных предприятий.

В данной статье перечислены лишь основные направления повышения эффективности использования многофункционального металлообрабатывающего оборудования с ЧПУ. Актуальность применения того или иного подхода должна определяться задачами конкретного предприятия, уровнем технической оснащенности и номенклатурой выпускаемой продукции. Безусловно, что эффективность применения дорогостоящего оборудования с ЧПУ будет со временем возрастать. Этому способствует ужесточение рыночной конкуренции, повышение требований к конечным изделиям, появление новых видов эффективного оборудования и программного обеспечения.

Библиографический список

1. **Морозов В.В., Гусев В.Г.** Программирование обработки деталей на обрабатывающих центрах: учеб. пособие. Владимир: Владимирский гос. ун-т, 2011. 366 с.
2. **Морозов В.В., Гусев В.Г.** Программирование обработки деталей на современных многофункциональных токарных станках с ЧПУ: учеб. пособие. Владимир: Владимирский гос. ун-т, 2009. 236 с.
3. **Морозов В.В., Гусев В.Г.** Программирование обработки деталей на современных фрезерных станках с ЧПУ: учеб. пособие. Владимир: Владимирский гос. ун-т, 2010. 246 с.
4. **Приспособления** для современных станков с ЧПУ: учеб. пособие / В.Г. Гусев и др. Владимир: Владимирский гос. ун-т, 2012. 202 с.
5. **Базров Б.М.** Модульная технология в машиностроении. М.: Машиностроение, 2001. 368 с.
6. **Наумов Г.М.** Применение экспертных систем в целях совершенствования комплекса технологической подготовки механообрабатывающего производства авиационных деталей и узлов // Вестник международной молодежной научной конференции "Гагаринские чтения XXXIX". 2013.

sb915.indd 43 27.08.2015 9:38:44

УДК 628.9

С.А. Микаева, *д-р техн. наук,* **А.С. Микаева,** *канд. экон. наук,* **О.В. Трубиенко,** *канд. техн. наук*
(Московский государственный университет информационных технологий, радиотехники и электроники)
E-mail: mikaeva@npo.lit.ru

Сборка электронной пускорегулирующей аппаратуры

Рассмотрена сборка электронного пускорегулирующего аппарата, предназначенного для плавного зажигания и обеспечения бесперебойного режима работы газоразрядных источников света. Представлены требования к работоспособности и электротехническим характеристикам электронного пускорегулирующего аппарата. Приведена структурная схема контроля функционирования и измерения параметров ЭПРА-Л~220-1×215-3302-185.

Considered the Assembly of the electronic ballast shall be of the device intended for smooth ignition and ensure uninterrupted operation mode of the gas-discharge light sources. Presents health requirements and electrical characteristics of the electronic ballast shall be of the device. The flow diagram of control operation and measurement of parameters of EPRA L~220-1×215-3302-185.

Ключевые слова: электронный пускорегулирующий аппарат, лампа, источник света, ультрафиолет, оборудование, параметры, требования.

Keywords: electronic ballast of the apparatus, lamp, light source, ultraviolet light, equipment, parameters, requirements.

Управляемый электронный пускорегулирующий аппарат (ЭПРА) предназначен для зажигания и обеспечения рабочего режима ультрафиолетовых амальгамных ртутных ламп низкого давления в ультрафиолетовом оборудовании [1—3].

Собранные и разработанные ЭПРА предназначены для работы в установках, применяемых для автотранспортных средств, вагонов метро, железнодорожных вагонов, производственных, общественных и жилых помещений. Они рассчитаны на работу в сетях переменного тока с номинальным напряжением 220 В с частотой 50 или 60 Гц. Регулирование рабочего тока лампы осуществляется с помощью контроллеров управления ЭПРА NF-K-001 или NF-K-002 [4—6].

Требования к электрическим параметрам и режимам работы ЭПРА-Л~220-1×215-3302-185 приведены ниже.

Электрические параметры и режимы работы ЭПРА

Ток потребления, $I_{пот}$, А	1,0
Пусковой ток, $I_{пуск}$, А	<16
Рабочий ток лампы, $I_р$, А	1,85 ± 0,05
Ток прогрева, $I_{пр}$, А	2,35...2,45
Ток подкала, $I_{под}$, А	0,5...0,7
Время прогрева $t_{пр}$, с	18...21

Сопротивление изоляции собранных ЭПРА должно быть не менее 50 МОм в холодном состоянии, 2 МОм — в нагретом состоянии, 5 МОм — во влажном состоянии при температуре +25 °С. Электрическая прочность изоляции должна быть не менее 1,5 кВ.

ЭПРА должны выдерживать работу на холостом ходу (без лампы) и подключение, отключение лампы без снятия напряжения. Они должны выдерживать работу на незажигающуюся лампу и отключаться после пяти—восьми попыток поджига лампы.

Аппараты должны выдерживать работу на лампу, обладающую выпрямляющим эффектом, и иметь защиту от магнитных влияний соседних ферромагнитных материалов, а также должны выдерживать режим короткого замыкания в лампе и на заземление. После воздействия номинального, минимального и максимального значений напряжения питания ЭПРА должны оставаться работоспособными и соответствовать значениям, приведенным ниже.

Значения напряжения работы ЭПРА

Номинальное значение напряжения питания $U_н$, В	220
Минимальное значение напряжения питания $U_{мин}$, В	180
Максимальное значение напряжения питания $U_{макс}$, В	253
Однократные импульсы напряжения питания U (В) длительностью не более:	
1 с	275
2 мс	290

Собранные ЭПРА могут иметь следующие дополнительные функциональные узлы и выходы:

выход для подключения внешнего светодиода индикации тока в лампе;

sb915.indd 44 27.08.2015 9:38:44

выход для подключения светодиода индикации подачи напряжения на ЭПРА;

выход для подключения светодиода индикации тока в лампе;

неполярный выход индикации тока в лампе;

источник питания постоянного тока, счетчик времени работы и числа включений лампы с выходом для подключения светодиода индикации времени работы лампы и числа включений.

Максимально допустимое напряжение, коммутируемое по выходу индикации состояния, $U_н1$, составляет не более 25 В, максимально допустимый ток, коммутируемый по выходу индикации состояния, $I_н1$, — не более 50 мА, напряжение на выходе индикации состояния при выключенной лампе, U_1, — не менее 24 В, напряжение на выходе индикации состояния при включенной лампе, U_0, — не более 1,5 В. Напряжение источника питания постоянного тока должно быть в диапазоне 17...20 В или 21...25 В при силе тока нагрузки, равной 0,8 А. Пороги отключения ЭПРА по току нагрузки источника питания должны быть следующие:

по минимальному току 80...150 мА:

по максимальному току 1000...1500 мА.

Сила тока на выходе для подключения внешнего светодиода индикации тока в лампе должна составлять 3...6 мА. Точность счетчика времени работы лампы определяется стабильностью частоты напряжения питающей сети. Уровень радиопомех от работы ЭПРА в составе установок должен соответствовать требованиям ГОСТ 29205—91. Режим работы ЭПРА — длительный. Уровень шума от работы ЭПРА должен быть особо низким по ГОСТ 16809—88.

Изготовленные из изоляционных материалов части собранного ЭПРА, несущие или соприкасающиеся с деталями, находящимися под напряжением, должны быть устойчивы к токам поверхностного разряда. Проверку требований к работоспособности и электротехническим характеристикам собранных ЭПРА проводят согласно табл. 1 по схеме, представленной на рисунке.

Проверку защиты от влияния соседних ферромагнитных материалов собранных ЭПРА проводят в режиме измерения рабочего тока в лампе при номинальном напряжении питания. После работы в течение 30 мин стальная пластина толщиной 1 мм, шириной и длиной больше, чем ширина, высота и длина испытуемого ЭПРА, последовательно прикладывается вплотную к каждой из сторон ЭПРА. ЭПРА считается выдержавшим испытание, если сила рабочего тока при прикладывании пластины изменяется не более чем на 2 %.

Измерение сопротивления изоляции ЭПРА в собранном виде проводят мегаомметром на напряжение 500 В. Напряжение прикладывают между закороченными сетевыми выводами ЭПРА и любым незащищенным участком корпуса ЭПРА или клеммой защитного заземления.

Проверку сопротивления и электрической прочности изоляции в нагретом состоянии проводят после трех часов работы ЭПРА при максимальном напряжении питания в течение времени не более 5 с после отключения ЭПРА от сети. Во время работы должна быть обеспечена температура корпуса ЭПРА, равная +70 °С.

Испытание на воздействие повышенного напряжения сети проводят по схемам согласно рисунку.

Повышенное напряжение, равное 290 В, прикладывают к ЭПРА в течение 2 с после включения лампы. Испытание проводят в режиме контроля функционирования.

Испытания ЭПРА на устойчивость при механических и климатических воздействиях проводят в обесточенном состоянии в трех взаимно перпендикулярных направлениях. ЭПРА жестко закрепляют при помощи приспособления на платформе вибростенда через крепежные отверстия болтами с плоскими и пружинными шайбами. Параметры режимов испытаний устанавливают в контрольной точке рядом с одной из точек крепления ЭПРА.

ЭПРА испытывают на вибропрочность согласно ГОСТ 20.57.406—81. Общая продолжительность воздействия вибрации составляет 8 ч. После испытаний не должно быть нарушений конструкции, а сила тока потребления должна соответствовать заданному значению.

Испытания на воздействие повышенной и пониженной рабочих температур среды проводят в обесточенном состоянии. ЭПРА выдерживают в камере тепла при температуре 45 °С в течение 2 ч. После чего без изъятия ЭПРА из камеры проводят их включение при номинальном напряжении питания. Далее температуру в камере повышают до 50 °С и выдерживают ЭПРА в камере во включенном состоянии при номинальном напряжении в течение 2 ч. При испытании температура корпуса ЭПРА не должна превышать 70 °С.

ЭПРА считаются выдержавшими испытания, если наблюдается устойчивое свечение лампы, а сила тока потребления после проведения испытаний соответствует заданному режиму работы ЭПРА.

Затем проводят испытание на воздействие пониженной рабочей температуры среды. ЭПРА

sb915.indd 45 27.08.2015 9:38:44

выдерживают в камере холода при температуре минус 25 °С в течение 2 ч. Затем без изъятия ЭПРА из камеры холода проводят их включение при номинальном напряжении питания. Далее температуру в камере понижают до минус 50 °С и еще раз выдерживают ЭПРА в течение 2 ч. После этого ЭПРА вынимают из камеры холода и проверяют силу тока потребления по истечении 2 ч.

ЭПРА считаются выдержавшими испытания, если сила тока потребления соответствует заданному значению.

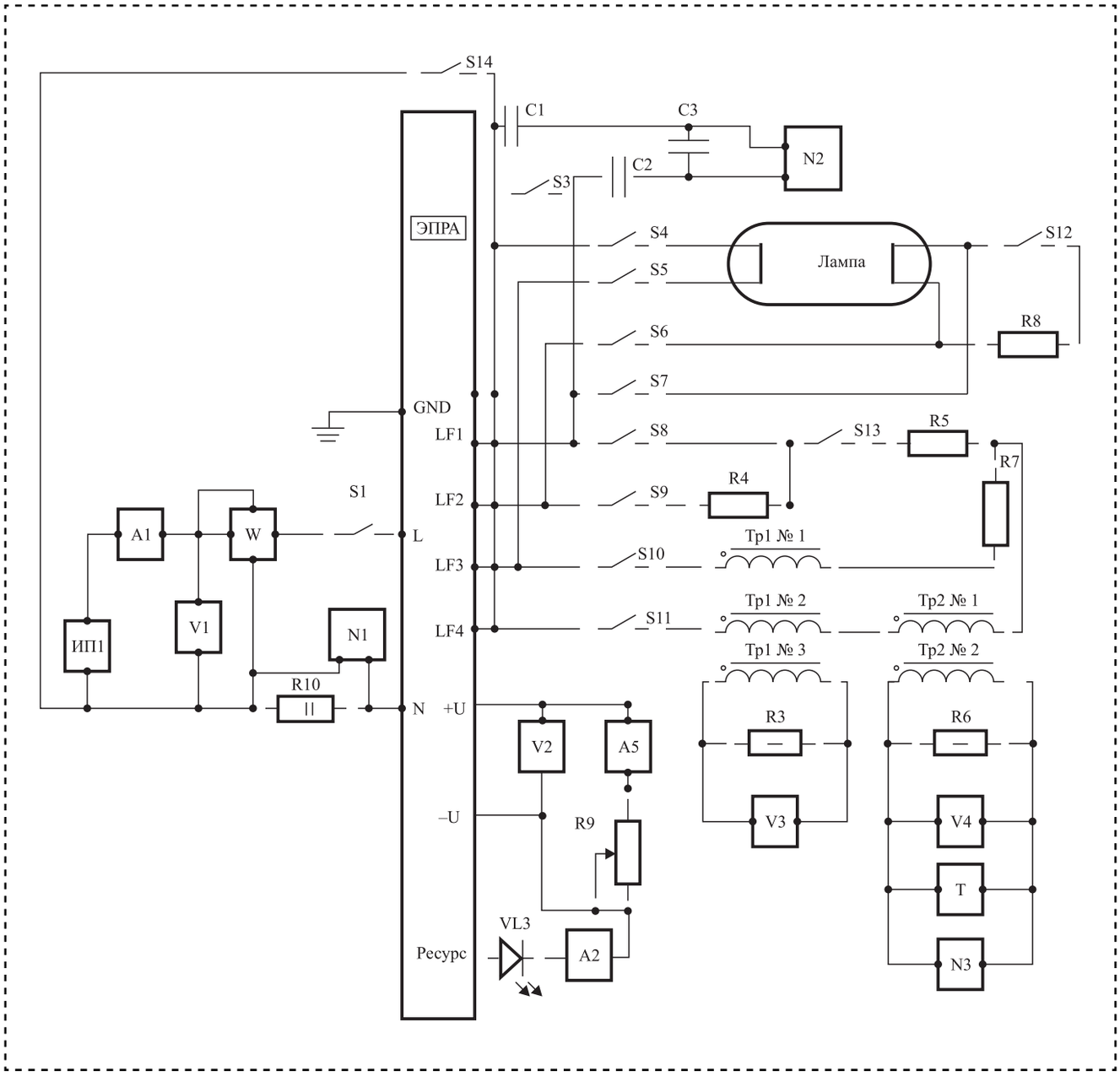
Испытание на воздействие повышенной влажности воздуха проводят в обесточенном

Таблица 1

Требования к работоспособности и электротехническим характеристикам собранных ЭПРА

Измеряемый параметр	Измерительный прибор	Условия измерения	Состояние выключателей					
			S1	S3	S4—S7	S8—S12	S13	S14
Ток потребления $I_{потр}$	A1	$U1$ = 220 В (условие 1)	1	—	—	+	+	—
Коэффициент мощности cosφ	V1, A1, W	$U1$ = 180, 220, 250 В, cosφ = W(V1 A1) (условие 1)	1	—	—	+	+	—
Рабочий ток лампы $I_р$	V3	$U1$ = 220 В (условие 1)	1	—	—	+	+	—
Ток подкала $I_{под}$	V4	$U1$ = 220В (условие 1)	1	—	—	+	+	—
Ток прогрева $I_{пр}$	V4	$U1$ = 220 В (условие 1)	1	—	—	+	-	—
Напряжение на выходе состояния $U1$	V2	$U1$ = 220 В (условие 1)	1 2	—	—	+	+	—
Время прогрева $t_{пр}$	T, V4	$U1$ = 220 В (условие 2)	1	—	—	+	—	—
Проверка работы на незажигающуюся лампу и измерение числа попыток поджига лампы	T, V4, N3	$U1$ = 220 В (условие 2)	1	—	—	+	—	—
Проверка работы при отсутствии лампы	A1	$U1$ = 220 В (условие 3)	1	—	—	—	—	—
Проверка работы при коротком замыкании в лампе	—	$U1$ = 220В (условие 4)	1	+	—	+	+	—
Проверка работы при коротком замыкании на заземление	—	$U1$ = 220 В (условие 4)	1	+	—	+	+	+
Напряжение источника питания $U_{ИП}$	V2, A5	$U1$ = 220 В (условие 1) $I5$ = 0,9 А ±10 % (устанавливается резистором R9)	1	—	—	+	+	—
Минимальная сила тока потребления от источника питания $I_{мин}$	A5	$U1$ = 220 В. Сила тока потребления плавно уменьшается с помощью резистора R9 до момента моргания светодиода VL3	1	—	—	+	+	—
Максимальная сила тока потребления от источника питания $I_{макс}$	A5	$U1$ = 220 В. Сила тока потребления плавно увеличивается резистором R9 до момента моргания светодиода VL3	1	—	—	+	+	—
Сила тока питания светодиодов $I_{св}$	A2, A3, A4	$U1$ = 220 В (условие 1)	1	—	—	+	+	—
Контроль функционирования	V3, V4	$U1$ = 220 В (условие 5)	1	—	+	—	+	—
Сила пускового тока $I_п$	N1	$U1$ = 250 (условие 7)	1	—	+	—	+	—
Напряжение поджига лампы $U_{подж}$	N2	$U1$ = 220 В (условие 8)	1	—	—	+	—	—

sb915.indd 46 27.08.2015 9:38:44



Структурная схема контроля функционирования и измерения параметров ЭПРА-Л~220-1×215-3302-185:
ИП1 — регулируемый источник напряжения питания (~50 Гц; U = 180...250 В, мощность тока более 600 Вт); A1, A2, A5 — амперметры переменного тока; V1 — вольтметр переменного тока для измерения подаваемого на ЭПРА напряжения; V2 — вольтметр постоянного тока; V3, V4 — вольтметры переменного тока; T — измеритель временных интервалов; N1, N2, N3 — измерители формы сигнала (осциллографы); W — ваттметр переменного тока; S1 — выключатель для подачи напряжения питания; S3 — выключатель для имитации короткого замыкания в лампе; S5...S12 — выключатели для подключения лампы, нагрузки или имитации отсутствия лампы; S13 — выключатель для создания режима незажигающейся лампы; S14 — выключатель для создания режима замыкания на заземление; C1 — конденсатор (емкость 470 пФ ± 1 %; мощность 1,6 кВ); C2 — конденсатор (0,01 мкФ ± 5 %; 630 В); C3 — конденсатор (0,047 мкФ ± 5 %; 160 В); VL3 — светодиод типа АЛ307Ю; R4, R7, R8 — резисторы, эквивалентные сопротивлению электродов лампы (табл. 2); мощность резистора не менее 20 Вт; R5 — резистор, эквивалентный сопротивлению лампы, мощностью не менее мощности лампы (допускается устанавливать конденсатор параллельно резистору для обеспечения эквивалентности лампы и резистора); R3, R6 — резисторы нагрузки трансформаторов тока, номиналом 50...52 Ом; R9 — переменный резистор нагрузки источника питания вентилятора номиналом 10...470 Ом); 50 Вт; R10 — резистор шунта (0,1 Ом ± 1 %; мощность 2 Вт); Тр1 (№ 1, № 2, № 3), Тр2 (№ 1, № 2) — трансформаторы тока; GND — заземление; LF1...LF4 — обозначения на плате ЭПРА

sb915.indd 47 27.08.2015 9:38:44

Таблица 2

Резисторы эквивалентные сопротивлению электродов лампы

Тип лампы	Эквивалентные сопротивления				Напряжение при поджиге лампы В
	R4, R7	Число ламп		R8	
		1	2		
АНЦ 215/95-П2	0,82	57	57	1,6	Не менее 700

состоянии. ЭПРА считают выдержавшим испытания, если после испытаний и выдержки не менее 2 ч в нормальных условиях ЭПРА функционирует, сила тока потребления соответствует заданным значениям и сопротивление изоляции составляет не менее 2 МОм.

Измерение теплового режима проводят при максимальном и минимальном напряжениях питания в камере с температурой 45°С. Камера должна обеспечивать необходимую температуру окружающей среды без обдува ЭПРА. ЭПРА должен быть нагружен на лампы согласно схеме подключения. Лампы могут размещаться вне камеры тепла.

ЭПРА считают выдержавшим испытания, если после выдержки в камере в течение 3 ч не была превышена максимальная температура корпуса.

Проверку аварийных режимов ЭПРА проводят, создавая аварийные режимы, в любой последовательности, но так, чтобы одновременно только один компонент создавал аварийный режим. При работе в аварийном режиме ЭПРА не должен загораться, плавиться и выделять горючие газы. При этом не должна ухудшаться защита от случайного прикосновения к токоведущим деталям.

Специальный алгоритм работы ЭПРА и адаптированный электродный узел позволяют достичь больших чисел включений лампы (не менее 5000 включений) без уменьшения ее ресурса, а также повышают помехозащищенность и стабильность работы других электроприборов.

Современный ЭПРА обеспечивает высокий (12 000...16 000 ч) срок службы ламп практически без ограничения числа циклов включения/выключения. Для решения задач энергосбережения применяется ЭПРА управляемого типа, который позволяет автоматически изменять мощность ламп в диапазоне 50...100 % в соответствии с изменением качества и расхода воды. Такая регулировка мощности обеспечивает необходимую дозу облучения при минимальном энергопотреблении и увеличивает срок службы ламп.

Библиографический список

1. **Сборка** многофункциональных световых приборов переменной цветности с использованием светодиодов / С.А. Микаева и др. // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2014. № 1. С. 3—9.
2. **Ашрятов А.А., Микаева С.А., Микаева А.С.** Приборы для контроля сборки компактных люминесцентных ламп // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2014. № 2. С. 23—26.
3. **Микаева С.А., Микаева А.С.** Автоматизированная сборка компактных люминесцентных ламп // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2014. № 2. С. 36—38.
4. **Микаева С.А., Микаева А.С.** Адаптивная модель сборки комплекта "люминесцентная лампа — импульсный электронный полупроводниковый пускорегулирующий аппарат" // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2014. № 5. С. 45—48.
5. **Микаева С.А., Микаева А.С.** Системы обеззараживания воды ультрафиолетовым излучением // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2014. № 7. С. 25—28.
6. **Микаева С.А., Микаева А.С., Железникова О.Е.** Системы обеззараживания ультрафиолетом // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2015. № 2. С. 44—48.

ООО "Издательство "Инновационное Машиностроение", 107076, Москва, Колодезный пер., 2а, стр. 2
Учредитель ООО "Издательство Машиностроение".
Адрес электронной почты издательства: **mashpubl@mashin.ru**;
редакции журнала: **sborka@mashin.ru, http://www.mashin.ru**
Телефон редакции журнала: 8 (499) 269-54-98, факс 8 (49925) 268-48-97.
Технический редактор *Патрушева Е.М.* Корректор *Сажина Л.И.*
Сдано в набор 16.07.2015. Подписано в печать 24.08.2015. Формат 60 × 88 1/8.
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 5,88. Свободная цена.
Оригинал-макет и электронная версия подготовлены в ООО "Адвансед солюшнз". Сайт: **www.aov.ru**
Отпечатано в ООО "Канцлер", 150008, г. Ярославль, ул. Клубная, д. 4, кв. 49.

sb915.indd 48 27.08.2015 9:38:44