

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

9 2012
(146)

СОДЕРЖАНИЕ

Технологичность конструкции

Вартанов М.В., Осипов А.С., Безручкин В.В. Автоматизация расчета производственной технологичности крупногабаритных изделий машиностроения. 3

Сборочное оборудование и его элементы

Микаева С.А., Железникова О.Е., Сеницына Л.В. Оборудование для световых измерений. 7

Современные технологии сборки

Жарков Г.Е., Прилуцкий В.А. Саморегулирование положения подвижной детали при сборке. 11

Сорокин М.Н., Ануров Ю.Н. Алгоритм решения задачи комплектования при селективной сборке изделий типа "вал-втулка" по методу межгрупповой взаимозаменяемости. 15

Набатников Ю.Ф. Метод селективной сборки соединений деталей машин в условиях мелкосерийного производства. 19

Сборочно-сварочные работы. Пайка

Карабанов В.В., Бохоров И.О. Пайка стали и чугуна. 33

Обеспечение качества. Испытания. Контроль

Гоцеридзе Р.М. Определение остаточных силы тяжести или плавучести и момента дифферента поплавковых чувствительных элементов гироприборов. 45

Председатель редакционного совета
Ф.М. МИТЕНКОВ, академик РАН

Редакционный совет

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

Региональные редсоветы

БЕЛГОРОД	Г.А. ХАРЛАМОВ
Н.А. ПЕЛИПЕНКО	ОРЕНБУРГ
БРЯНСК	А.Н. ПОЛЯКОВ
О.А. ГОРЛЕНКО	А.И. СЕРДЮК
ВЛАДИВОСТОК	А.П. ФОТ
Ю.Н. КУЛЬЧИН	РЫБИНСК
А.А. СУПОНЯ	В.Ф. БЕЗЪЯЗЫЧНЫЙ
В.М. КОРНИЕНКО	В.В. НЕПОМИЛУЕВ
ВОЛГОГРАД	А.Н. СЕМЕНОВ
В.Г. КАРАБАНЬ	САМАРА
М.Г. КРИСТАЛЬ	М.А. ЕВДОКИМОВ
В.И. ЛЫСАК	Ю.А. ВАШУКОВ
В.М. ТРУХАНОВ	Г.А. КУЛАКОВ
ИЖЕВСК	В.А. НИКОЛАЕВ
И.В. АБРАМОВ	САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
Б.А. ЯКИМОВИЧ	В.Ф. КУЗЬМИН
В.Г. ОСЕТРОВ	Е.В. ШАЛОБАЕВ
КАЗАНЬ	ТОЛЬЯТТИ
Р.И. АДГАМОВ	А.И. РЫЖКОВ
КОВРОВ	ТУЛА
Ю.З. ЖИТНИКОВ	В.В. ПРЕЙС
КОЛОМНА	ХАБАРОВСК
Ю.Д. АМИРОВ	В.А. ЛАШКО
КОМСОМОЛЬСК-НА-АМУРЕ	Украина
Б.Н. МАРЬИН	КИЕВ
В.И. ШПОРТ	А.С. ЗЕНКИН
А.М. ШПИЛЕВ	В.А. МАТВИЕНКО
НАБЕРЕЖНЫЕ ЧЕЛНЫ	ДОНЕЦК
С.В. ДМИТРИЕВ	А.Н. МИХАЙЛОВ
Р.М. ХИСАМУТДИНОВ	СЕВАСТОПОЛЬ
НИЖНИЙ НОВГОРОД	Е.Л. ПЕРВУХИНА
С.В. ГОЛУБЕВ	Беларусь
ОМСК	МИНСК
В.Н. КОСТЮКОВ	В.Л. БАСИНЮК
ОРЕЛ	М.Л. ХЕЙФЕЦ
Ю.С. СТЕПАНОВ	ГОМЕЛЬ
	В.Е. СТАРЖИНСКИЙ

Ответственные за подготовку и выпуск номера:

Ю.А. ЧИЧОВ, И.М. ГЛИКМАН

Журнал распространяется по подписке, которую можно оформить в любом почтовом отделении (индексы по каталогу "Роспечать" – 79748, Объединенному каталогу "Пресса России" – 84967, каталогу "Почта России" – 60257) или непосредственно в издательстве
Тел.: (499) 268-38-42; тел./факс: 268-85-26. Факс: (499) 269-48-97.
E-mail: sborka@mashin.ru

Перепечатка, все виды копирования и воспроизведения материалов, публикуемых в журнале "Сборка в машиностроении, приборостроении", допускаются только с разрешения редакции и со ссылкой на источник информации.
За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель.

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

THE MONTHLY
NEWSMAGAZINE
FOR SCIENTISTS
AND MANUFACTURERS

ASSEMBLING



IN MECHANICAL ENGINEERING AND INSTRUMENT-MAKING

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

9 2012
(146)

CONTENTS

Manufacturability of a construction

Vartanov M.V., Osipov A.S., Bezruchkin V.V. Automation of procedures of estimation of operational adaptability to manufacture of large-sized products 3

Production tools and machinery for assembly

Mikaeva S.A., Zheleznikova O.E., Sinitsyna L.V. Equipment for the measurement of light 7

Modern technologies in assembly

Zharkov G.E., Prilutskiy V.A. Self-regulation the provision of a mobile detail at assembly 11

Sorokin M.N., Anurov Yu.N. The algorithm of the decision of a problem of acquisition is offered at selective assemblage of products of type "shaft-plug" on a method of intergroup interchangeability 15

Nabatnikov Yu.F. Selective assembly method of joints of machine parts at small-lot production 19

Assembly welding works. Soldering

Karabanov V.V., Bohorov I.O. The soldering, as auxiliary process 33

Quality assurance. Testing. Monitoring

Gotseridze R.M. The determination of residual weight or buoyancy and moment of different of float sensitive elements of gyroinstruments 45

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

Editors

MOSCOW

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

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

Regional editors

BELGOROD

N.A. PELIPENKO

BRIANSK

O.A. GORLENKO

VLADIVOSTOK

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

VOLGOGRAD

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

IZNEVSK

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

KAZAN

R.I. ADGAMOV

KOVROV

Yu.Z. ZHITNIKOV

KOLOMNA

Yu.D. AMIROV

KOMSOMOLSK-ON-AMUR

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

NABEREZHNYE CHELNY

S.V. DMITRIEV
R.M. KHISAMUTDINOV

NIZHNY NOVGOROD

S.V. GOLUBEV

OMSK

V.N. KOSTIUKOV

OREL

Yu.S. STEPANOV
G.A. KHARLAMOV

ORENBURG

A.N. POLYAKOV

A.I. SERDUK

A.P. FOT

RYBINSK

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

SAMARA

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

ST.-PETERSBURG

V.F. KUZMIN
E.V. SHALOBABEV

TULA

V.V. PREYS

TOLIATI

A.I. RYZHKOV

KHABAROVSK

V.A. LASHKO

Ukraine

KIEV

A.S. ZENKIN

V.A. MATVIENKO

DONETSK

A.N. MIKHAILOV

SEVASTOPOL

E.L. PERVUKHINA

Belarus

MINSK

V.L. BASINJUK

M.L. KHEIFETZ

GOMEL

V.E. STARZHINSKI

Executive editors of current issue:

Yu.A. CHICHOV, I.M. GLIKMAN

Journal is distributed on subscription, which can be issued in any post office (index on the catalogue of the "Rospechat" agency – 79748, the union catalogue "Pressa Rossii" – 84967, the catalogue "Pochta Rossii" – 60257) or directly in editorial of the journal.

Ph.: (499) 268-38-42; ph./fax: 268-85-26. Fax: (499) 269-48-97.

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

Labor Red Banner Order Public Corporation "Publishing House "Mashine Building" 107076, Moscow, Stromynsky per. 4

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

Advertisers are responsible for the content of their advertisements.

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

УДК 629.114.2.004.1

М.В. Вартанов, д-р техн. наук, профессор,
А.С. Осипов, инженер (МГМУ "МАМИ" – Университет машиностроения),
В.В. Безручкин, инженер (ФАО 25 ГосНИИ химотологии Минобороны РФ, г. Москва)
E-mail: osi1337@gmail.com

Автоматизация расчета производственной технологичности крупногабаритных изделий машиностроения

Рассмотрены подходы к обеспечению производственной технологичности крупногабаритных изделий на примере технических средств заправки военной техники. Приведено описание компьютерной программы расчета показателей производственной технологичности. Дан пример оценки трудоемкости изготовления изделий на этапе подготовки производства.

The approaches to ensure the maintainability of big items on the example of technical means of fueling vehicles. Set out strategies to ensure production ability of products in the process of product design. We describe a computer program for calculating indices manufacturability.

Ключевые слова: производственная технологичность, критерии оценки технологичности, процедура обеспечения технологичности, автоматизация расчета производственной технологичности.

Keywords: manufacturability evaluation criteria, procedure to ensure manufacturability, automated calculation of manufacturability.

Первым этапом технологической подготовки производства (ТПП) является обеспечение технологичности конструкции изделий (ТКИ), под которой понимают совокупность свойств изделия, определяющих приспособленность конструкции к достижению оптимальных затрат ресурсов при производстве и эксплуатации для заданных показателей качества, объема выпуска и условий выполнения работ. Технологичность выражает не функциональные свойства изделия, а его конструктивные особенности [1].

Виды технологичности по методу воздействия на конструкцию изделия выражают ее техническую сущность, т.е. те существенные черты конструкции изделия, воздействуя на которые разработчик разрешает противоречия между элементами технологического процесса и изделием. Технологическая рациональ-

ность и преемственность конструкции изделия – две грани одного и того же комплекса свойств, образующих ТКИ. Различие между ними состоит в том, что конструкцию изделия рассматривают в разных ракурсах.

Виды оценки технологичности конструкции изделия характеризуют метод сравнения конструктивных решений и обоснованность выбора варианта конструкции, технологии, эксплуатации и ремонта изделия и его составных частей. Различают качественную и количественную оценку технологичности конструкции изделия.

Качественная оценка является экспертной и характеризует технологичность конструкции изделия на основе обобщения опыта исполнителей. Однако экспертный метод сопровождается и количественными оценками. Наиболее сложной представляется оценка технологичности крупногабаритных изделий. Ранее авторами была разработана методика оценки производственной технологичности крупногабаритного изделия на основе сведения множества признаков изделий к конечному множеству категорий предметов производства [2]. Специфика задачи состояла в том, что трудоемкость изделия необходимо было оценить на этапе опытного образца, когда отсутствует технологическая документация.

В статье изложена методика автоматизированной оценки производственной технологичности топливозаправщика.

Признаки категорий предметов производства, приведенные в табл. 1, определяются экспертами – руководителями и исполнителями служб конструкторской и технологической подготовки производства. В данной статье составные части изделия разделяли на три категории сложности. Деление конструкции топливозаправщика на категории сложности проводили специалисты конструкторских служб завода-изготовителя.

На этапе разработки рабочей конструкторской документации может быть использован целый ряд мето-



Таблица 1

Признаки категорий предмета производства

Категория	Признаки категорий конструкции изделия и его составных частей
I	Отдельные составные части топливозаправщика с требованиями особо высокого качества, точности и надежности, для которых вероятность отказов, приводящих к критическим дефектам, должна быть ничтожно мала. Эти части имеют большую частоту обновления или конструктивных изменений. Конструкция таких частей подлежит полной обработке на технологичность на всех уровнях детализации изделия и всех стадиях и этапах разработки конструкторской документации. К данной категории относят детали, полностью механически обрабатываемые
II	Изделия и их составные части с требованиями высокого качества точности и надежности, отказ которых приводит к значительным дефектам. Эти части имеют среднюю частоту обновления или конструктивных изменений. Конструкция таких частей подлежит отработке на технологичность на большинстве стадий разработки конструкторской документации. К данной категории относят детали частично механически обрабатываемые, имеющие покрытие или изготавливаемые из коррозионно-стойкой стали
III	Составные части изделий, отказы которых приводят к малозначительным дефектам. Эти части имеют малую частоту обновления или конструктивных изменений. Конструкция таких деталей подлежит отработке на технологичность на стадии рабочей документации. Детали изготавливают методами сварки или штамповки

дов определения трудоемкости изделия, а именно методы [1]:

- учета масс;
- удельного нормирования;
- учета сложности;
- моделирования составных частей;
- моделирования трудоемкости на основе корреляционного и регрессионного анализов.

Выбор метода оценки на практике часто определяется наличием исходных данных для расчета. Эти обстоятельства стали основными при выборе метода учета сложности изделия.

Базовый показатель трудоемкости $T_{и}$ изготовления изделия рассчитывают по формуле

$$T_{и} = T_{а} K_{сл} K_{т}, \quad (1)$$

где $T_{а}$ – трудоемкость конструкции изделия-аналога;

$K_{сл}$ – коэффициент сложности, определяемый сравнением соответствующих технологических показателей;

$K_{т}$ – коэффициент снижения трудоемкости изготовления изделия.

Исходным пунктом обеспечения технологичности конструкции является системно-структурный анализ изделия как системы предметов производства. При анализе изделие делят на несколько иерархических уровней.

Так, структуру топливозаправщика представляют как систему предметов производства со следующими иерархическими уровнями:

- заправщик на стадии испытаний – нулевой уровень;
- системы и агрегаты заправщика на общей сборке – 1-й уровень;
- агрегаты и узлы заправщика на узловой сборке – 2-й уровень;
- детали и заготовки в литейном, кузнечном, заготовительном и механообрабатывающем производствах – 3-й уровень.

К предметам производства 3-го уровня относят: балки, валы, корпуса, зубчатые детали, пружины и т.д.

При экспертной оценке необходимо разнести сборочные единицы и детали по категориям сложности.

Для предметов первой категории рекомендована непрерывная отработка конструкторской документации на технологичность на всех этапах. Для второй – все этапы, кроме технологического задания и технологического предложения.

Для третьей категории отработку ведут периодически по этапам – рабочей документации, корректировки по испытаниям, изготовлению и в действующем производстве и неполную – по трем уровням детализации. По результатам группирования предметов по категориям определяется их процентное соотношение.

Оценка структуры крупногабаритного изделия может быть проведена по средней арифметической величине категории сложности:

$$\bar{K} = \sum m_i K_i / m_i = \sum K_i q_i, \quad (2)$$

где m_i – число предметов производства (сборочных единиц и деталей), отнесенных экспертами к i -й категории;

K_i – номер категории производства изделия и его составных частей.

Суммарная категория сложности изделия определяется среднеарифметической величиной по трем уровням:



Таблица 2

$$K_{\Sigma} = \frac{K_1 + K_2 + K_3}{3}. \quad (3)$$

В качестве коэффициента сложности в работе [2] предложено использовать соотношение между величинами категории сложности проектируемого изделия и аналога:

$$K_{\text{сл}} = \frac{K_{\Sigma}^{\text{н}}}{K_{\Sigma}^{\text{а}}}. \quad (4)$$

Такое решение представляется допустимым, тем более, если изделия (проектируемое и аналог) выпускает один производитель. При этом возможно сопоставление различных вариантов конструктивного исполнения изделий. Количественные показатели следует рассчитывать на основе учета определяющих групп факторов: конструкторских, технологических и производственных.

С учетом того, что трудоемкость изготовления изделия существенно зависит от типа производства и предполагаемой программы выпуска, искомая трудоемкость нового изделия может быть определена соотношением вида:

$$T_{\text{н}} = T_{\text{а}} \frac{K_{\Sigma}^{\text{н}}}{K_{\Sigma}^{\text{а}}} K_N K_M K_c, \quad (5)$$

где K_N – коэффициент приведения по программе выпуска;

K_M – коэффициент приведения по массе;

K_c – коэффициент снижения трудоемкости.

Для укрупненного определения трудоемкости изготовления изделия, когда в расчетной формуле используется отношение программ, рекомендуется определить K_N на основе сведений, приведенных в работе [1].

Зависимость, учитывающая влияние массы изделия, известна из практики машиностроения и определяется соотношением вида

$$K_M = \left(\frac{G_{\text{н}}}{G_{\text{а}}} \right)^{2/3}, \quad (6)$$

где $G_{\text{н}}$ – масса проектируемого изделия (без учета базового шасси);

$G_{\text{а}}$ – масса изделия-аналога (без учета базового шасси).

Рассмотрим пример расчета трудоемкости изготовления автомобильного топливозаправщика (АТЗ) на этапе подготовки производства. Исходные данные приведены в табл. 2.

Исходные данные для расчета производственной технологичности

Показатель	Модель	
	АТЗ-7-5557	АТЗ-10-4320
Трудоемкость изготовления, ч	...	7500
Категория сложности	1,83	1,9
Масса изделия (без учета шасси), т	16	19
Программа выпуска, шт.	30	10
Планируемый рост производительности труда, %	2	–
Период времени с начала проектирования до серийного производства, годы	3	–

Трудоемкость изготовления новой машины (АТЗ-7-5557) определяем по формуле (5) с учетом данных табл. 2:

$$T_{\text{н}} = 1182 \frac{1,83}{1,9} 0,88 \times 0,91 \times 0,98 = 893 \text{ ч}. \quad (7)$$

Таким образом, с использованием данной методики можно определять предполагаемую трудоемкость изготовления образца на этапе подготовки производства. В этот период еще отсутствует необходимая технологическая документация на изготовление, а следовательно, ее невозможно использовать. Определение трудоемкости в производстве непосредственно связано со стоимостью изготовления, что позволит контролировать производственные расходы изготовителя. Однако следует отметить, что изготовление опытного образца будет иметь несколько большую трудоемкость, так как подготовка к серийному производству еще не проведена.

Общий алгоритм расчета производственной технологичности приведен на рис. 1.



Рис. 1. Последовательность этапов расчета

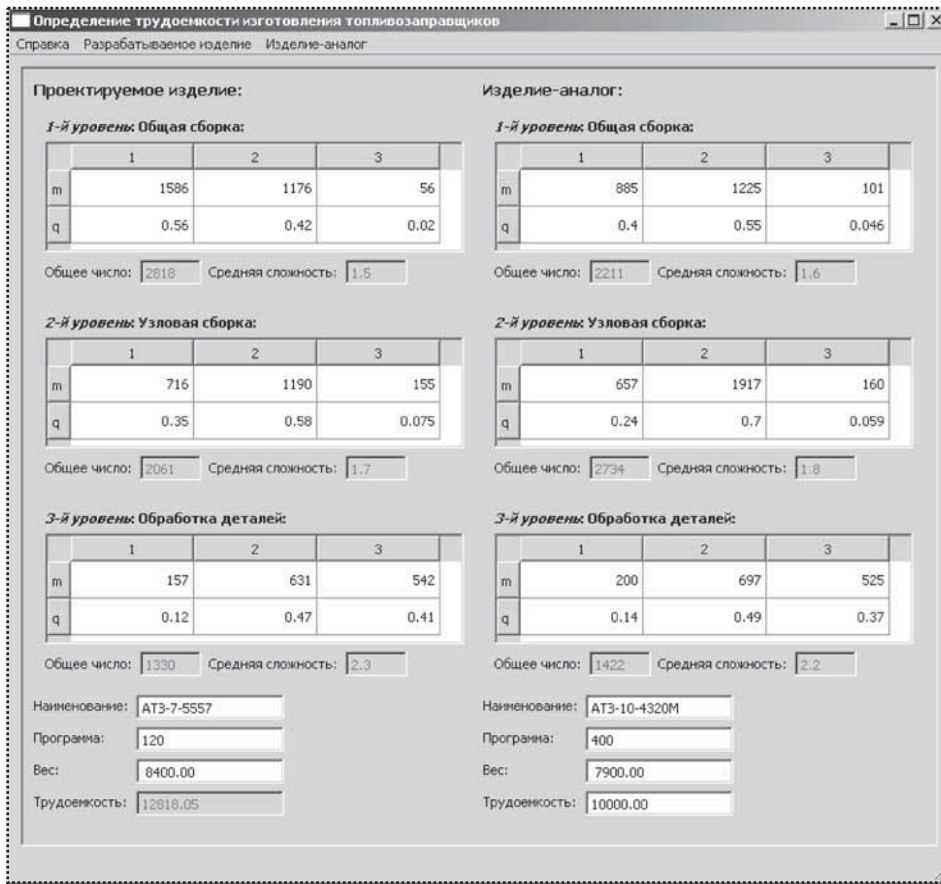


Рис. 2. Рабочее окно программы

В целях сокращения трудоемкости выполнения изложенных процедур и сокращения затрат времени была разработана программа для персонального компьютера.

Программа написана на языке программирования C++, в качестве графической библиотеки используется пакет Qt [4]. Главное окно программы показано на рис. 2. Алгоритм работы программы представлен в виде блок-схемы на рис. 3.

Разработанная программа позволяет проводить оценку трудоемкости изготовления крупногабаритных изделий на этапе конструкторско-технологической подготовки производства и сокращает трудоемкость проектных работ. Программа

позволяет выполнить сопоставление конструктивных решений при отработке изделия на технологичность. Практической основой проведения работы была необходимость оценки трудоемкости для определения цены изделия по государственному оборонному заказу.

Библиографический список

1. **Технологичность** конструкции изделия: справочник / Ю.Д. Амиров и др. 2-е изд. М.: Машиностроение, 1990. 783 с.
2. **Вартанов М.В., Безручкин В.В.** Методы оценки производственной технологичности конструкций топливозаправщиков на этапе подготовки производства. Сб. трудов 25 ГосНИИ МО РФ. Вып. 54. М. 2008. С. 464–472.
3. **Вартанов М.В.** Технологичность конструкций изделий: методы обеспечения и оценки. М.: МГТУ "МАМИ", 2011. 88 с.
4. **Бланшет Ж., Саммерфилд М.** Qt 4. Программирование GUI на C++. М.: КУДИЦ-Пресс, 2008. 718 с.

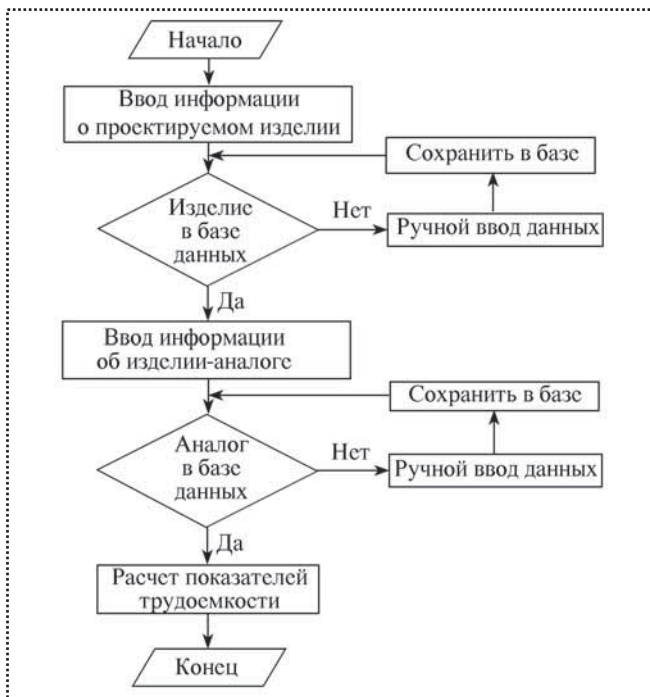


Рис. 3. Блок-схема программы

СБОРОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ЕГО ЭЛЕМЕНТЫ

УДК 535.24

С.А. Микаева, д-р техн. наук (Московский университет приборостроения и информатики),
О.Е. Железникова, Л.В. Сеницына, канд-ты техн. наук
(Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, г. Саранск)
E-mail: mikaeva@pechkin.npo.lit.ru

Оборудование для световых измерений

Описана новая установка на основе интегрирующей сферы OL IS-7600 и спектрорадиометра OL 770. Эта установка уникальна тем, что позволяет с высокой точностью измерять не только световой поток источников света и световых приборов, но и целый комплекс световых, радиометрических и колориметрических характеристик. Использование данной установки дает возможность существенно усовершенствовать традиционные методики в направлении точности, скорости выполнения и наглядности представления результатов измерений.

We describe a new installation based on the integrating sphere OL IS-7600 and spectroradiometer OL 770. Installing unique in that it allows you to accurately measure not only the luminous flux of light sources and lighting devices, but also a range of light, radiometric and colorimetric characteristics. This setting allows you to significantly improve the traditional methods in the direction of accuracy, speed, performance and visual presentation of the results of measurements.

Ключевые слова: интегрирующая сфера, спектрорадиометр, световой поток, точность световых измерений, спектральное распределение излучения, диаграмма цветности, коррелированная цветовая температура, общий индекс цветопередачи, эталонная лампа, вспомогательная лампа.

Keywords: integrating sphere, spectroradiometer, luminous flux, accuracy of optical measurements, spectral distribution of the radiation diagram of the color, correlated color temperature, general color rendering index, reference lamp, auxiliary lamp.

В рамках реализации Программы развития ФГБОУ ВПО "Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева" существенно обновилась и пополнилась материально-техническая база лабораторий университета, в том числе и светотехнического факультета. Для активного развития и стимулирования научно-инновационной деятельности созданы и оснащены современным исследовательским оборудованием новые лаборатории, научно-образовательные центры (НОЦ) и центры коллективного пользования (ЦКП).

Начиная с 2010 г. на светотехническом факультете проводится формирование материально-технической базы ЦКП "Светотехническая метрология", для чего было приобретено уникальное научное оборудование. Цель создания ЦКП – предоставление научным коллективам ФГБОУ ВПО "МГУ им. Н.П. Огарева" и другим научным организациям возможностей проведения светотехнических исследований на высоком научном уровне с помощью современного оборудования, отвечающего мировым стандартам по техническим и эксплуатационным характеристикам приборного парка, для решения приоритетных научных задач.

Одна из лабораторий ЦКП – "Светотехнические исследования и светодиодная светотехника" – позволяет проводить широкий спектр световых и спектральных измерений, как для источников света (ИС), так и для световых приборов (СП) различных типов и назначений.

Актуальность нового комплекса исследовательского оборудования связана, прежде всего, с расширением применения новых светодиодных ИС и световых приборов на их основе и, как следствие, необходимостью измерения их характеристик.

В настоящее время ЦКП "Светотехническая метрология" располагает уникальным оборудованием для измерения светового потока на основе интегрирующей сферы (фотометрического шара) и многоканального спектрорадиометра OL 770 компании Gooch&Housego (США).

Как известно, световой поток ИС и СП можно определять либо по известному распределению силы света методом расчета, либо методом измерения с помощью фотометрического шара – шара Ульбрихта (Ulbricht).

Первый метод основан на возможности измерения силы света ИС I_i в большом числе n заранее выбранных направлений, расчете световых потоков $\Delta\Phi_i$ внутри достаточно малых телесных углов $\Delta\Omega_i$ и суммировании этих световых потоков. Причем сумма телесных углов $\Delta\Omega_i = 4\pi$. Данный способ достаточно трудоемкий. Кроме того, работа должна проводиться в темной комнате. Поэтому в большинстве случаев более удобным оказывается измерение светового потока методом сопоставления освещенностей

исследуемого ИС и ИС с известным световым потоком.

Теория интегрирующей сферы. Согласно теории фотометрического шара, световой поток, рассеиваемый его внутренней поверхностью, распределяется по ней идеально равномерно. Если коэффициент отражения ρ одинаков по всей поверхности, то источник со световым потоком Φ , помещенный в центр сферы, создаст во всех ее точках за счет многократных отражений одинаковую освещенность $E_{\text{сум}}$, определяемую по формуле

$$E_{\text{сум}} = E_{\text{пр}} + \frac{\rho}{1 - \rho} \frac{\Phi}{4\pi r^2}, \quad (1)$$

где $E_{\text{пр}}$ – освещенность, которую ИС создает в данной точке при непосредственном падении света на внутреннюю поверхность сферы радиусом r .

Из выражения (1) следует, что освещенность, создаваемая многократными отражениями, одинакова в любой точке и прямо пропорциональна полному световому потоку ИС.

Если с помощью малого непрозрачного экрана, помещенного внутрь сферы, защитить какую-нибудь точку сферы от прямого света ИС, то освещенность E такой точки будет прямо пропорциональна потоку ИС:

$$E = \frac{\rho}{1 - \rho} \frac{\Phi}{4\pi r^2} = a\Phi, \quad (2)$$

где a – коэффициент пропорциональности, зависящий только от свойств сферы.

Поэтому, если испытуемый ИС с неизвестным световым потоком Φ заменить внутри сферы на образцовый источник с известным световым потоком Φ_0 , то освещенность в точке будет равна

$$E_0 = a\Phi_0. \quad (3)$$

Из формул (2) и (3) получаем

$$\Phi = \frac{E}{E_0} \Phi_0. \quad (4)$$

Как следует из теории шара, светорассеивающие свойства поверхности интегрирующей сферы имеют первостепенное значение. Прежде всего, коэффициент отражения поверхности во всех точках должен быть один и тот же. Кроме того, поверхность должна рассеивать падающее излучение в соответствии с законом Ламберта. От соблюдения этих условий будет зависеть точность проводимых измерений светового потока.

Технические характеристики и конструкция интегрирующей сферы. В нашем случае интегрирующая сфера OL IS-7600 используется со спектрометрическим OL 770 (рис. 1). Диаметр сферы составляет 190,5 см.

Интегрирующая сфера конструктивно состоит из двух отдельных полушарий, двух портов выхода, дополнительного порта ИС и внутреннего крепления патрона ИС. Оба полушария легко разъезжаются друг от друга для облегчения установки, замены ИС или частей крепежа. Сфера может вместить в себя ИС размером 152,4 см в длину при максимальном значении светового потока 200 000 лм.

Выходное отверстие сферы OL IS-7600 имеет внутренний экран диаметром 20,3 см, который затеняет фотометрическое отверстие со светорассеивающим стеклом от попадания прямых лучей. Его расположение просчитано таким образом, чтобы способствовать повышению точности световых измерений. Второй экран диаметром 15,25 см препятствует попаданию излучения от вспомогательного источника на измеряемую или калибровочную лампу и фотометрическое отверстие. Вертикальная сквозная труба предназначена для подключения ИС к источнику пи-

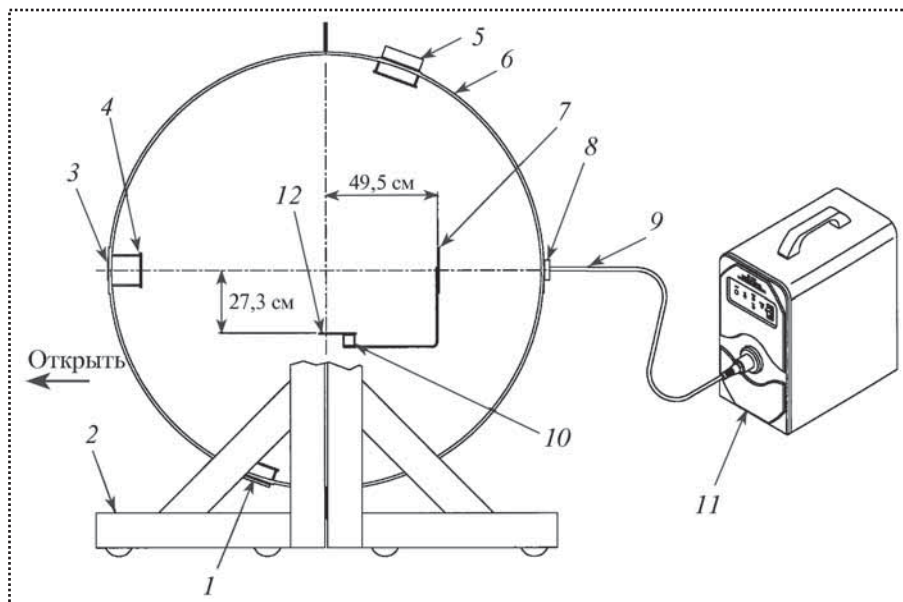


Рис. 1. Схема установки для световых измерений:

1 – входной фильтр; 2 – опорная рама на роликах; 3 – дополнительный разъем; 4 – экран диаметром 15,25 см; 5 – вытяжной вентилятор; 6 – интегрирующая сфера OL IS-7600; 7 – экран диаметром 20,3 см; 8 – выходной разъем; 9 – сигнальный волоконно-оптический зонд; 10 – труба для вывода проводов; 11 – многоканальный спектрометрический прибор OL 770; 12 – плата-удлинитель лампового патрона



тания. Сфера устанавливается на прочную опорную раму 2 с роликами.

Внутренняя поверхность и экраны каждого полушария покрыты высококачественным светоотражающим материалом на основе сульфата бария – оптолоном 2ТМ. Зависимость спектрального коэффициента отражения покрытия сферы от длины волны излучения приведена на рис. 2. Использование опалового рассеивателя, входящего в комплект, определяет эффективный диапазон длин волн измеряемого излучения – 350...1100 нм. В комплекте с интегрирующей сферой идут калибровочный и вспомогательный ИС. Последний предназначен для учета и определения влияния на результат измерений различных приспособлений, находящихся в сфере.

Основные технические характеристики сферы

Материал сферы	Алюминий
Материал рам крепления полушарий . . .	Алюминий
Внутренний диаметр сферы	75" (190,5 см)
Материал покрытия сферы	Оптолон 2 ТМ
Коэффициент отражения в видимой области	98,6 %
Диапазон длин волн, нм.	350...1100
Вспомогательная лампа, Вт.	150, тип DZE
Максимальная длина измеряемого ИС . .	60" (152,4 см)
Габаритные размеры, см	200×216×234
Примерная масса, кг.	640 (290)

Внутри сферы находится плата-удлинитель для крепежей ИС. Важным преимуществом сферы OL IS-7600 является универсальная крепежная система OL ISA-UB. Эта дополнительная универсальная базовая система позволяет устанавливать различные виды крепежей.

Если световой поток ИС превышает динамический диапазон системы измерения, то для его уменьшения можно использовать одну из трех входящих в комплект поставки апертурных диафрагм диаметрами 0,5; 1,5 и 3,0 мм. Причем сначала устанавливается первая, самая большая диафрагма (3,0 мм) и проверяется работа, а затем, если уровень сигнала будет все еще слишком высоким, устанавливается диафрагма меньшего размера, пока не будет получен нужный уровень сигнала.

Рассматриваемая установка уникальна тем, что позволяет измерять не только световой поток ИС и СП, но и целый комплекс световых, радиометрических и колориметрических характеристик.

Измерительная система. В качестве системы "приемник излучения – регистрирующий прибор" используется многоканальный спектро радиометр OL 770. Он включает в себя спектрограф, термоэлектрически охлаждаемый сенсор ПЗС* матрицы, внутреннюю

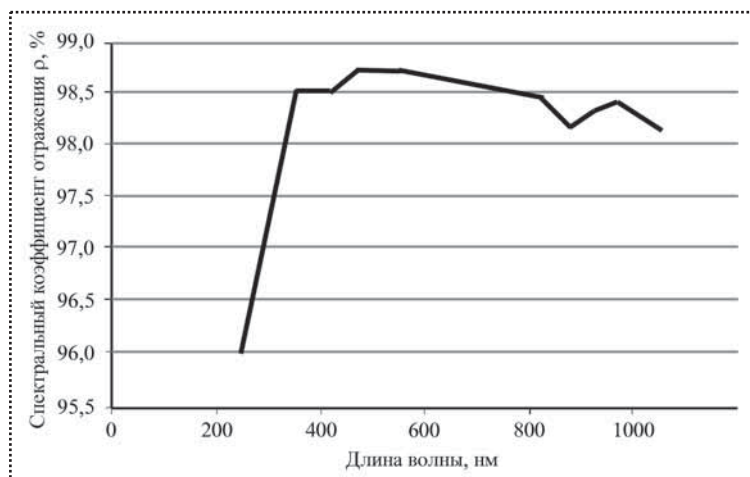


Рис. 2. Спектральный коэффициент отражения покрытия сферы OL IS-7600 от длины волны излучения

эталонную лампу, источник питания и электронные схемы управления в удобном портативном корпусе.

Излучение от интегрирующей сферы поступает в спектро радиометр OL 770 через оптоволоконный зонд длиной 1 м и диаметром 3 мм и вход во внутренний спектрограф.

Основные характеристики спектрографа OL 770 VIS/NIR

Длина волны, нм.	380...1100
Точность длины волны, нм.	±1,0
Оптическая полоса пропускной способности (с минимальным отверстием 100 мкм), мм	5,0
Спектральное разрешение, мм.	0,75
Диафрагма, мкм	100
Оптическое фокусное расстояние, мкм . .	140
Оптическая диафрагма	$f/2$

Серьезным достоинством спектро радиометра OL 770 является наличие внутренней эталонной лампы (OL 700-20-X), которая позволяет пользователю быстро провести калибровку системы и поддерживать ее точность.

Для применяемой в конфигурации со спектро радиометром OL 770 интегрирующей сферы используется стандарт калибровки Национального института стандартов и технологий США. Внутренняя вспомогательная лампа также проходит точную систему калибровки. Благодаря этому описываемый многоканальный спектро радиометр может выполнять точные измерения спектральных (спектральная плотность потока излучения, спектральная плотность светового

* ПЗС – сокр. от "Прибор с зарядовой связью". (Прим. ред.)



потока, пиковая, доминирующая, центроидная длины волн), фотометрических (световой поток, яркость), радиометрических (энергетическая яркость, облученность) и колориметрических (координаты цветности в системах XYZ и $U'V'W'$, чистота цвета, коррелированная цветовая температура, специальные и общий индекс цветопередачи) характеристик исследуемых ИС и СП.

Прикладное программное обеспечение, разработанное для использования с системой OL 770, позволяет осуществлять:

- вывод на дисплей данных, их регистрацию и хранение;
- вывод данных в Word и Excel;
- представление графики в реальном режиме времени;
- переход курсора к пику/минимуму;
- аккумуляцию графиков для изучения;
- представление диаграмм цветности в системах XYZ (1931), $U'V'W'$ (1960, 1976).

Рассмотренная установка на основе интегрирующей сферы OL IS-7600 и спектрорадиометра OL 770 для проведения фотометрических и колориметрических измерений отвечает самым высоким требованиям, предъявляемым к их точности.

В процессе эксплуатации измерительный комплекс необходимо правильно обслуживать и регулярно калибровать. Как показала практика проведения фотометрических измерений для различных ИС, в том числе и светоизлучающих диодов, использование данной установки позволило существенно усовершенствовать традиционные методики в направлении точности, скорости выполнения и наглядности представления результатов измерений.

Погрешность фотометрических данных составляет $\pm 5\%$, воспроизводимость фотометрических данных – $\pm 2\%$, погрешность определения координат цветности – 0,002, воспроизводимость координат цветности – 0,0005, воспроизводимость измерения коррелированной цветовой температуры – координат цветности – ± 20 К (при 2856 К).



СПРАВОЧНИК СЛЕСАРЯ-МОНТАЖНИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ.

Серия справочников для рабочих

В.И. Голованов, П.П. Алексеенко, В.А. Калугин и др.

2010. – 640 с. ISBN 978-5-94275-528-7

Цена 1300 р.

Изложены основы строительно-монтажного производства, система обеспечения безопасности при выполнении монтажных работ. Даны основы и практические рекомендации по эффективной деятельности монтажных предприятий и организаций в современных рыночных отношениях. Главное внимание обращено на вопросы технологической подготовки производства, методы осуществления основных монтажных работ, приемы выполнения слесарных, сборочных и вспомогательных работ и обеспечение их безопасного производства. Приведены сведения о составе и технологической структуре процессов и операций, выполняемых при монтаже оборудования промышленных предприятий. Представлены характеристики точности, технические характеристики инструмента, машин и приспособлений, используемых монтажниками. Рассмотрены вопросы испытания и ввода оборудования в эксплуатацию, а также организации оплаты труда в монтажных организациях.

По сравнению со вторым изданием содержание справочника значительно видоизменено, а объем увеличен. Введены новые главы: “Основы строительно-монтажного производства”, “Обеспечение безопасности при производстве строительно-монтажных работ”, “Нормирование и оплата труда монтажников”. Приведены новые виды инструментов и приспособлений и их характеристики. Дополнены отдельные главы и внесены изменения в технологию и процессы монтажа оборудования. Обновлена система стандартов и внесены соответствующие изменения в справочник.

Справочник предназначен для слесарей-монтажников промышленного и технологического оборудования, рабочих смежных специальностей, учащихся специальных учебных заведений, техникумов и колледжей.

Приобрести книгу по цене издателя можно, прислав заявку в отдел продаж, маркетинга и рекламы:
по почте: 107076, г. Москва, Стромьинский пер., 4; по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru
Дополнительную информацию можно получить по телефонам: (499) 269-66-00, 269-52-98 и на сайте WWW.MASHIN.RU

УДК 621.757.06:778.19

Г.Е. Жарков, инженер, В.А. Прилуцкий, д-р техн. наук
(Самарский государственный технический университет)
E-mail: tms@samgtu.ru

Саморегулирование положения подвижной детали при сборке

Описан новый метод автоматической сборки искусственным смещением центра тяжести. Рассмотрены различные фазы взаимного положения собираемых деталей. Показана позитивная роль новой схемы распределения сил и моментов.

Describes a new method of automatic build artificial offset center of gravity. Review the different phases of mutual position of the assembled components. Shows the positive role of the new scheme of distribution of forces and moments.

Ключевые слова: автоматическая сборка, смещение центра тяжести, фаза сопряжения, саморегулирование, маятник.

Keywords: automatic assembly, displacement of a gravity center, phase of a relative position, selfregulate, pendulum.

Известные методы автоматической сборки можно разделить на две группы. Первая – сборка на неподвижных базах, вторая – сборка при подвижном базировании деталей. Сборка на неподвижных базах предполагает высокую точность установки сопрягаемых деталей за счет предварительной их ориентации. Это удорожает сборочную операцию и эффективно лишь для некоторых случаев. Поэтому преимущественно используют автоматическую сборку при подвижном базировании деталей. При этом устройства делят на три основных типа:

- 1) самоцентрирующиеся по сопрягаемым поверхностям [4, 6];
- 2) использующие метод поиска или сканирования без контроля положения собираемых деталей [3, 8];
- 3) с контролем положения собираемых деталей и соответствующей компенсацией погрешностей [1, с. 93, рис. 42 и 43].

В первом случае не исключается заклинивание деталей при перекосе их осей. Недостаток метода сканирования состоит в вероятностном характере поиска до совпадения собираемых деталей. Устройства третьего типа (с обратной связью по согласованию)

требуют сложного аппаратного обеспечения для замера действительной погрешности, возникающей в процессе сопряжения, и преобразования ее в компенсирующее движение исполнительного механизма.

Важно заметить, что большинство существующих методов сборки "идут сверху", т.е. захватывая, например, вал и сообщая ему сборочное усилие, сборочные устройства с необходимостью создают заклинивающий перекосяк – так называемое "закусывание". Этот заклинивающий момент воспроизводят во время всего процесса сопряжения и нейтрализуют несколькими методами: вибрацией (сканированием) [3]; вращающейся трубкой, которая обеспечивает скольжение по кромкам [4]; заставляют сканировать вал вращающимся вихрем [5].

В работе [7] предложена альтернативная возможность ведения процесса сопряжения, заключающаяся в искусственном смещении центра тяжести подвижной детали.

На сборочной позиции (рис. 1) ориентатор 4 с помощью захвата (например, цангового) присоединяют к валу 1, образуя новую квазидеталь или комплект, центр тяжести G которого будет располагаться ниже втулки 2, расположенной на столе 3. Далее комплексу сообщают свободные саморегулируемые перемещения.

Характерны следующие фазы положения комплекта (рис. 2).

Фаза I – комплект опускается для контакта в т. А по торцу втулки; далее он ведет себя, как физический маятник, поворачиваясь под действием момента M_1 .

Фаза II – комплект-маятник, качаясь относительно т. А, а затем точек контакта кромок собираемых деталей, поворачивается в главной плоскости сборки до контакта цилиндрической поверхности с кромкой отверстия в точке С; главная плоскость сборки – это вертикальная плоскость посередине между точками B_1 и B_2 (на рисунке не показана), которой принадлежит ось маятника и отверстия.

Фаза III – маятник вновь, под действием момента M_3 , поворачивается в сторону уменьшения перекосяка

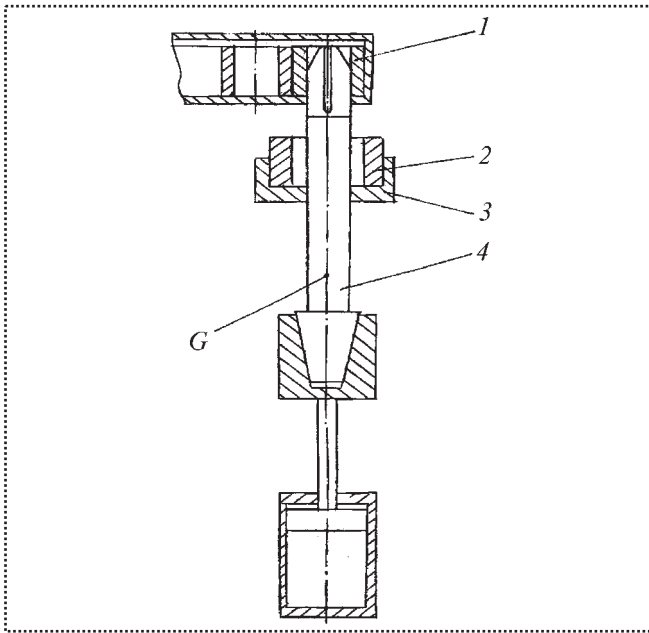


Рис. 1. Схема сборки с помощью смещения центра тяжести детали

осей, перевода процесс сопряжения к двухточечной (т. Д, К) фазе.

Автоколебания направляют компенсирующий момент в каждой фазе сборки в сторону расклинивания собираемых деталей, что устраняет заклинивание – основную причину отказов.

Компенсация погрешностей, возникающих в процессе сборки, происходит без их замера – в режиме

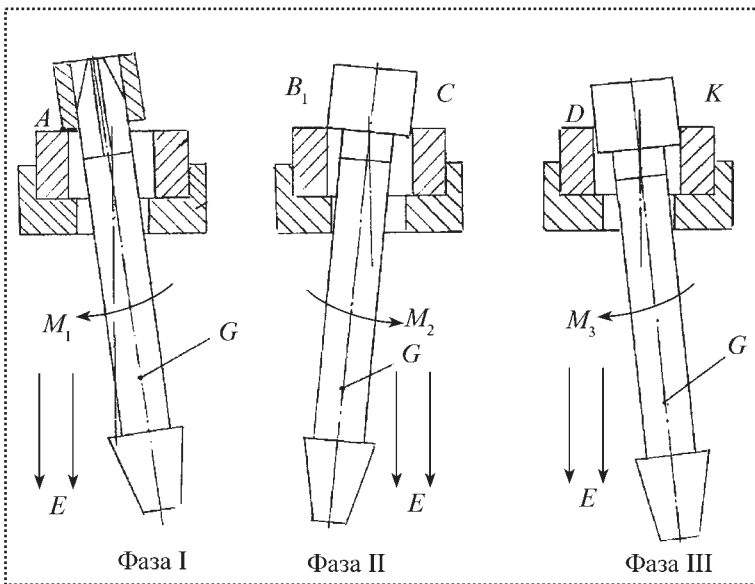


Рис. 2. Схема фаз саморегулирующих положений подвижной детали искусственным смещением центра тяжести (E – напряженность гравитационного или иного поля)

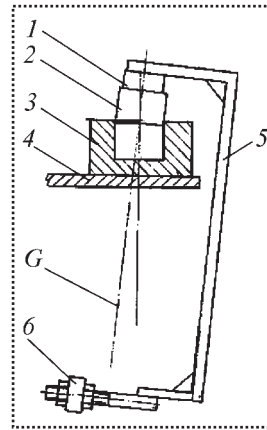


Рис. 3. Сборочная головка с коленчатым ориентатором

саморегулирования, так как компенсирующий момент, образующийся под действием силы тяжести комплекта-маятника, направлен в сторону их уменьшения. Масса и длина присоединяемого ориентатора и, соответственно, комплекта-маятника обеспечивают получение любых величин расклинивающего момента и периода колебаний.

Новый способ удачно комбинируется с вибрационными, вихревыми способами, наложением ультразвуковых колебаний, так как ориентатор может быть выполнен с соответствующими конфигурацией и свойствами, придающими ему сканирующие движения потоками воздуха или электромагнитными полями. Это не всегда удается передать через деталь, но можно выполнить через комплект-маятник. Впервые способ сборки с искусственным смещением центра тяжести был внедрен на Волжском автозаводе в составе робототехнического комплекса по сборке сердечника реле стартера [2].

При необходимости захвата вала 2 сверху применяется устройство (рис. 3) [7], состоящее из магнитного захвата 1, коленчатого ориентатора 5, балансира 6, элемента транспортного устройства 4.

Процесс саморегулирования положения подвижной детали при искусственном смещении ее центра тяжести G для наиболее распространенного случая, когда и вал, и отверстие имеют фаски, показан на рис. 4.

Очевидно, что возможная погрешность $\omega_{с.п}$ на сборочной позиции может достигать суммы размеров обеих фасок

$$\omega_{с.п} = C_1 + C_2.$$

В фазе I происходит контакт деталей фасками в т. А. Комплект (вал + технологическая оправа) скользит по фаске втулки, одновременно

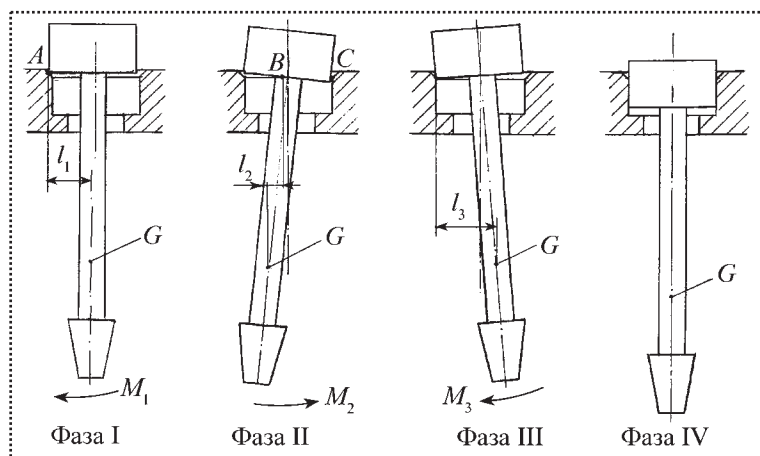


Рис. 4. Фазы положений вала при сборке смещением его центра тяжести

поворачиваясь вокруг т. А под действием момента $M_1 = Pl_1$, где P – сила тяжести комплекта, $P = mg$; l_1 – плечо относительно точки контакта (она же точка поворота).

Если за время скольжения комплект, как физический маятник, повернется на угол

$$\gamma < \gamma_0 = \frac{\arccos d}{D},$$

где d – диаметр вала; D – диаметр отверстия, то процесс сопряжения перейдет к окончательной фазе IV. В случае поворота комплекта на угол

$$\gamma > \gamma_0 = \frac{\arccos d}{D},$$

он окажется в фазе II. Соприкоснувшись точками В (B_1 и B_2 – на рисунке не показаны), комплект по инерции, поворачиваясь относительно них иным моментом $M_2 = Pl_2$, оторвет т. А от контакта с фаской.

В следующей четверти маха (которая начнется после ограничения точкой С) комплект вновь встанет на т. А (практически ниже) и продолжит скольжение (фаза III), завершая процесс сопряжения в фазе IV. Далее ориентатор снимается с вала, захватывая новый вал, начинается сборка следующего соединения.

Для оценки и сравнения времени скольжения t и периода колебания T комплекта как физического маятника рассматривают укрупненную схему сил, действующих на комплект (рис. 5).

Вал 2 диаметром d соединен с ориентатором 1 в комплект так, что центр тяжести находится в т. G и смещен ниже втулки 3 диаметром D . Фаски вала и от-

верстия принимают равными 45° . Комплект скользит под этим углом на расстояние $S = \frac{C}{\sin 45^\circ}$.

Уравнение равноускоренного движения

$$S = v_0 t + \frac{at^2}{2}.$$

При $v_0 = 0$ $S = \frac{at^2}{2}$, время скольжения

$$t = \sqrt{\frac{2S}{a}}.$$

Ускорение a определяется суммой всех сил, действующих на комплект, при этом

$$a = \frac{F - F_{тр}}{m},$$

где F – составляющая силы тяжести;

$F_{тр}$ – сила трения.

Из треугольников векторов сил

$$F = mg \sin 45^\circ, \quad F_{тр} = P_N f_{кр},$$

где $f_{кр}$ – коэффициент трения вала по втулке;

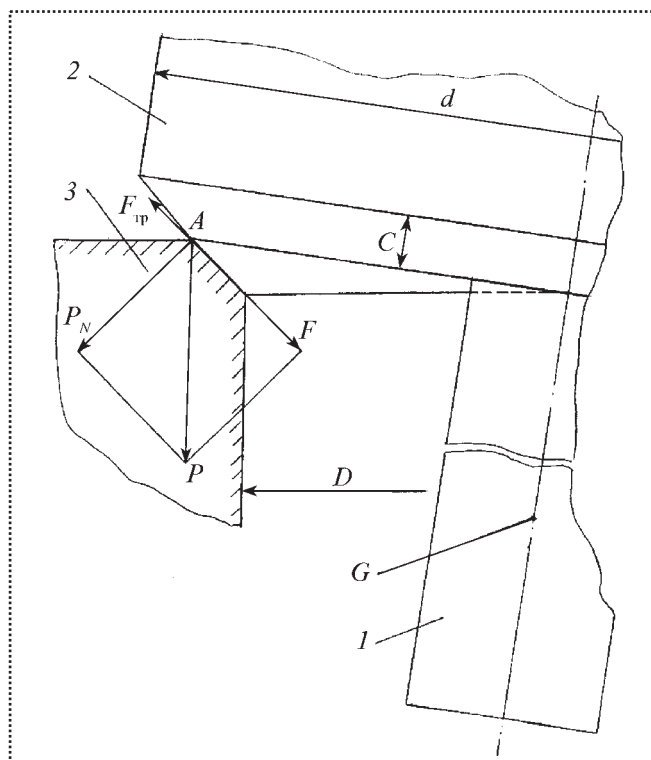


Рис. 5. Схема перемещения комплекта маятника



m – масса комплекта;

P_N – нормальная реакция от силы тяжести,

$$P_N = P \sin 45^\circ = mg \sin 45^\circ.$$

Тогда

$$a = \frac{mg \sin 45^\circ - mg \sin 45^\circ f_{\text{тр}}}{m}$$

или $a = (1 - f_{\text{тр}})g \sin 45^\circ$.

Принимая $f_{\text{тр}} = 0,15$, получают

$$a = (1 - 0,15)g \frac{\sqrt{2}}{2} \approx 0,6 g.$$

Тогда путь скольжения по фаскам ($c = 1,5$ мм)

$$S = \frac{2c}{\sin 45^\circ} = \frac{4c}{\sqrt{2}} = \frac{4 \cdot 1,5}{1,4} \approx 4 \text{ мм} = 0,4 \cdot 10^{-2} \text{ м}.$$

Период качания комплекта как физического маятника

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}.$$

Конструктивно принимают $L = 20$ см = 0,2 м.
Получают период

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{0,2}{9,8}} \approx 6,28 \cdot 0,14 = 0,9 \text{ с},$$

а четверть периода $1/4 T = 0,23$ с.

Отсюда следует, что маятник на гладких поверхностях фасок не успевает отклониться на $1/4$ амплитуды.

Картина, близкая к рассмотренной на рис. 3, будет наблюдаться при повышенной шероховатости фасок других геометрических погрешностей, наличии заусенцев и загрязненности, а также у материалов с более высоким коэффициентом трения.

Выводы

1. В известных способах сборки подвижных цилиндрических соединений не исключается появление заклинивающего эффекта, так как этому способствует момент сил, приложенных сверху.

2. Повышается надежность работы технологической системы сборочных автоматов, так как с применением нового способа сборки исключается возникновение заклинивающего момента.

3. Открываются возможности создания новых технологий и сборочных автоматов благодаря использованию метода искусственного смещения центра тяжести подвижной сопрягаемой детали.

Библиографический список

1. Яхимович В.А. Ориентирующие механизмы сборочных автоматов. М.: Машиностроение, 1975. 165 с.
2. Жарков Г.Е. Работотехнический комплекс для сборки сердечника реле стартера // Экспресс информация. 1983. № 16. С. 14–23.
3. А.с. 155724 (СССР). МКИ В23Р. Б.И. 1963. 13. Способ соединения деталей.
4. А.с. 427826 (СССР). МКИ В23Р19/04. Б.И. 1975. 18. Способ сборки деталей.
5. А.с. 379362 (СССР). МКИ В23Р19/04. Б.И. 1973. 20. Способ сборки деталей.
6. А.с. 889371 (СССР). МКИ В23Р19/04. Б.И. 1981. 46. Устройство для сборки деталей.
7. А.с. 988521 (СССР). МКИ Р23Р19/04. Б.И. 1983. 2. Устройство для сборки деталей (его варианты).
8. А.с. 1248796 (СССР). МКИ В25J15/00. Б.И. 1986. 29. Схват промышленного робота.

УДК 621.717

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

Алгоритм решения задачи комплектования при селективной сборке изделий типа "вал-втулка" по методу межгрупповой взаимозаменяемости

Предложен алгоритм решения задачи комплектования при селективной сборке изделий типа "вал-втулка" по методу межгрупповой взаимозаменяемости. Алгоритм решения задачи комплектования назван методом целенаправленного суммирования. Метод является точным и прост для программной реализации.

The algorithm of the decision of a problem of acquisition is offered at selective assemblage of products of type "shaft-plug" on a method of intergroup interchangeability. The algorithm of the decision of a problem of acquisition is named by a method of purposeful summation. The method is exact and is simple for program realization.

Ключевые слова: селективная сборка, селективный интервал, задача комплектования, сопрягаемый параметр, параметр сопряжения, метод межгрупповой взаимозаменяемости, полная собираемость изделий, метод целенаправленного суммирования.

Keywords: selective assembly, selective interval, acquisition problem, the interfaced parameter, interface parameter, method of intergroup interchangeability, full collecting of products, full collecting of products, method of purposeful summation.

Ключевым вопросом при реализации селективной сборки в машиностроении и приборостроении является решение задачи комплектования. В данной статье предложен точный метод решения задачи комплектования при селективной сборке изделий типа "вал-втулка" по методу межгрупповой взаимозаменяемости.

Введем необходимые определения и обозначения в относительной системе полей допусков (рис. 1). Пусть:

x_i – сопрягаемые параметры втулки и вала, $i = \overline{1, 2}$.

В дальнейшем индекс i принимает только эти два значения;

δx_i – поле допуска сопрягаемого параметра x_i , $\delta x_i = [-1, +1]$;

Δx_i – допуск на сопрягаемый параметр x_i , $\Delta x_i = 2$;

$f_i(x_i)$ – функция распределения плотности вероятности сопрягаемого параметра x_i (определена на поле допуска δx_i);

n – число селективных интервалов, на которое разбит отрезок $[-1, +1]$. Для простоты изложения считаем, что n – четное число;

δ – длина селективного интервала поля допуска δx_i сопрягаемого параметра x_i , $\delta = \frac{2}{n}$;

$x_{i j_i}$ – значение сопрягаемого параметра x_i в точках деления отрезка $[-1, +1]$ на селективные интервалы, $j_i = \overline{1, n}$. Индекс j_i определяет номер селективного интервала i -й детали и возрастает от 1 до n на отрезке $[-1, +1]$;

$p_{i j_i}$ – относительное число i -х деталей в j_i -й селективной группе:

$$p_{i j_i} = \int_{x_{i j_i - 1}}^{x_{i j_i}} f_i(x_i) dx_i;$$

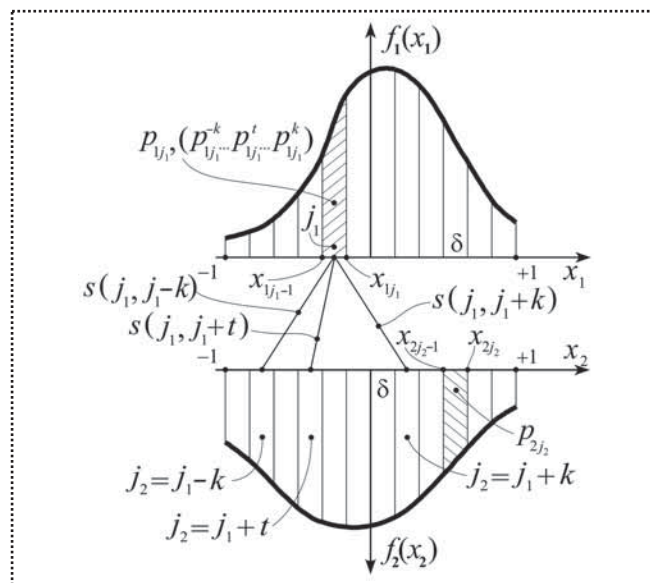


Рис. 1. Функция распределения плотности вероятности сопрягаемого параметра



R – параметр сопряжения, $R = x_1 - x_2$.

При селективной сборке должно выполняться требование

$$-\frac{\Delta R}{2} \leq R \leq \frac{\Delta R}{2}, \quad (1)$$

где ΔR – допуск на параметр сопряжения R .

Обычно для комплектования деталей при селективной сборке длину селективного интервала δ выбирают кратной допуску Δx_i на сопрягаемый параметр x_i , а величину 2δ – кратной допуску ΔR на параметр сопряжения R .

Пусть:

\tilde{S} – множество возможных путей комплектования;

S – множество допустимых путей комплектования;

$s(j_1, j_2)$ – допустимый путь комплектования, $s(j_1, j_2) \in S$;

$p(j_1, j_2)$ – число сборочных комплектов на допустимом пути комплектования $s(j_1, j_2)$;

\bar{S} – множество допустимых путей комплектования, которое определяет решение задачи комплектования;

$\bar{s}(j_1, j_2)$ – допустимый путь комплектования из множества \bar{s} , $\bar{s}(j_1, j_2) \in \bar{S}$;

$\bar{p}(j_1, j_2)$ – число сборочных комплектов на допустимом пути комплектования $\bar{s}(j_1, j_2)$;

$S_{i j_i}$ – множество допустимых путей комплектования, проходящих через j_i -й селективный интервал i -й детали.

При выбранных ограничениях на значения величин δ и ΔR максимальное число допустимых путей комплектования, проходящих через селективный интервал,

$$m = \frac{\Delta R - \delta}{\delta},$$

где m – нечетное число. При этом величина m может быть представлена как $m = 2k + 1$. Тогда требование (1) на параметр сопряжения ΔR может быть записано в виде

$$|j_1 - j_2| \leq k. \quad (2)$$

Суть задачи комплектования заключается в том, чтобы на множестве допустимых путей комплектования S выбрать такие допустимые пути комплектования $s(j_1, j_2)$ и такое число сборочных комплектов на них $\bar{p}(j_1, j_2)$, чтобы общее число сборочных комплектов $p_{сб}$ было максимальным:

$$p_{сб} = \sum_{\bar{s}(j_1, j_2) \in \bar{S}} \bar{p}(j_1, j_2) = \max. \quad (3)$$

Эта совокупность $\{\bar{s}(j_1, j_2), \bar{p}(j_1, j_2)\}$, $\bar{s}(j_1, j_2) \in \bar{S}$ и определяет решение задачи комплектования.

В математическом плане задача комплектования при селективной сборке изделий типа "вал–штулка" по методу межгрупповой взаимозаменяемости [1] представлена как задача Монжа–Канторовича с индикаторной функцией стоимости при длине селективного интервала, стремящейся к нулю, т.е. $\delta \rightarrow 0$.

Если рассматривать длину селективного интервала не равной нулю, т.е. $\delta \neq 0$, то в дискретном случае задача Монжа–Канторовича с индикаторной функцией стоимости является либо задачей линейного программирования, либо задачей определения максимального потока в транспортной сети комплектования.

Математическая постановка задачи комплектования как задачи линейного программирования [1] имеет вид:

$$\sum_{s(j_1, j_2) \in S} p(j_1, j_2) \rightarrow \max$$

при условии

$$\sum_{s(j_1, j_2) \in S_{i j_i}} p(j_1, j_2) \leq p_{i j_i}.$$

Нахождение решения задачи комплектования как задачи линейного программирования существенно осложняется еще и тем, что задача комплектования является целочисленной (в практических приложениях) и большой размерности. Задачу комплектования преследует "проклятие размерности". Так, если для селективной сборки изделий типа "вал–штулка" мы выберем $\delta = 0,01$, $\Delta R = 0,6$, то число ограничений будет равно 400, а число переменных – 11 282.

Если находить решение задачи комплектования как транспортной, как задачи определения максимального потока в транспортной сети комплектования, построенной на базе двудольного графа (рис. 2), то эффективных методов решения данной задачи также не будет.

Метод Форда–Фалкерсона для определения максимального потока в транспортной сети комплекто-

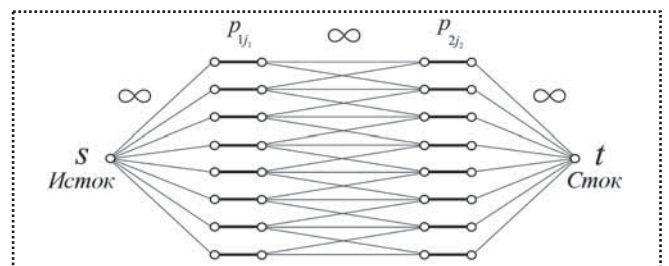


Рис. 2. Транспортная сеть комплектования



вания указывает только принципиальный путь решения данной задачи, а конкретных алгоритмов не дает.

Учитывая особенности задачи Монжа—Канторовича с индикаторной функцией стоимости, авторами был разработан алгоритм решения задачи комплектования при селективной сборке изделий типа "вал—втулка" по методу межгрупповой взаимозаменяемости.

Рассмотрим данный алгоритм (см. рис. 1).

Основой предлагаемого алгоритма нахождения решения задачи комплектования является определенная последовательность выбора допустимых путей комплектования и выбора на них определенного числа сборочных комплектов.

Для простоты изложения алгоритма решения задачи комплектования примем $n > m$. Тогда будет существовать селективный интервал j_1 , через который пройдет m допустимых путей комплектования. Пусть совокупность $s(j_1, j_1 + t)$, $t = -k, +k$ определяет множество допустимых путей комплектования, проходящих через j_1 -й селективный интервал. На каждом из допустимых путей комплектования выполняется условие (2).

Возьмем первый допустимый путь комплектования $s(j_1, j_1 - k)$. На нем выберем максимальное число сборочных комплектов

$$p(j_1, j_1 - k) = \min\{p_{1j_1}, p_{2j_1-k}\}.$$

Пусть

$$p(j_1, j_1 - k) = p_{2j_1-k}.$$

Тогда в j_1 -й селективной группе останется число деталей $p_{1j_1}^{-k}$, т.е.

$$p_{1j_1}^{-k} = p_{1j_1} - p_{2j_1-k}.$$

Возьмем второй (по порядку) допустимый путь комплектования $s(j_1, j_1 - k + 1)$.

На нем выберем максимальное число сборочных комплектов

$$p(j_1, j_1 - k + 1) = \min\{p_{1j_1}^{-k}, p_{2j_1-k+1}\}.$$

Пусть

$$p(j_1, j_1 - k + 1) = p_{2j_1-k+1}.$$

Тогда в j_1 -й селективной группе останется $p_{1j_1}^{-k+1}$ деталей, т.е.

$$p_{1j_1}^{-k+1} = p_{1j_1}^{-k} - p_{2j_1-k+1}.$$

Берем произвольный допустимый путь комплектования $s(1, j_1 + t)$. На нем выберем максимальное число сборочных комплектов

$$p(j_1, j_1 + t) = \min\{p_{1j_1}^{t-1}, p_{2j_1+t}\}.$$

Пусть

$$p(j_1, j_1 + t) = p_{2j_1+t}.$$

Тогда в j_1 -й селективной группе останется $p_{1j_1}^t$ число деталей, т.е.

$$p_{1j_1}^t = p_{1j_1}^{t-1} - p_{2j_1+t}.$$

Данную процедуру продолжим до последнего допустимого пути комплектования $s(j_1, j_1 + k)$, принадлежащего множеству S_{1j_1} .

На допустимом пути комплектования $s(j_1, j_1 + k)$ выберем максимальное число сборочных комплектов

$$p(j_1, j_1 + k) = \min\{p_{1j_1}^{k-1}, p_{2j_1+k}\}.$$

Пусть

$$p(j_1, j_1 + k) = p_{2j_1+k}.$$

Тогда в $j_1 + k$ селективной группе останется $p_{1j_1}^k$ деталей:

$$p_{1j_1}^k = p_{1j_1}^{k-1} - p_{2j_1+k}.$$

В процессе выполнения данной процедуры получим совокупность допустимых путей комплектования и определенное число сборочных комплектов на них.

В процессе выполнения данной процедуры могут возникнуть следующие ситуации.

Если в какой-либо селективной группе с номером $j_2 = j_1 + t$ нет деталей, т.е. $p_{2j_1+t} = 0$, то данный допустимый путь комплектования не рассматриваем.

Если на каком-то шаге процедуры окажется, что в j_1 -й селективной группе уже нет деталей или при переборе всех допустимых путей комплектования в j_1 -й селективной группе осталось некоторое число деталей, т.е. $p_{1j_1}^k \neq 0$, то необходимо переходить к следующей селективной группе с номером $j_1 + 1$.

Если мы применяем указанную процедуру к селективной группе с номером $j_1 = 1$, а затем последовательно к следующим селективным группам, включая последнюю селективную группу с номером $j_1 = n$, то получим совокупность допустимых путей комплектования и число сборочных комплектов на них

$$\{\bar{s}(j_1, j_2), \bar{p}(j_1, j_2)\}, \bar{s}(j_1, j_2) \in \bar{S},$$



которые и определяют решение задачи комплектования. Это и есть алгоритм решения задачи комплектования.

Авторами данный алгоритм для решения задачи комплектования назван *методом целенаправленного суммирования*.

Отметим следующие особенности данного метода.

Данный метод дает точное решение задачи комплектования (доказательство этого утверждения в статье не приводится).

Если данный метод применить для нахождения решения задачи комплектования не на множестве допустимых путей комплектования S , а на множестве возможных путей комплектования \tilde{S} , то мы всегда получим полную собираемость изделий. При этом данный алгоритм определит и допуск ΔR на параметр сопряжения R , при котором обеспечивается полная собираемость изделий. Назовем этот допуск критическим и обозначим его $\Delta R_{кр}$. Если мы увеличим допуск ΔR на параметр сопряжения R , т.е. $\Delta R > \Delta R_{кр}$, то решение задачи комплектования для случая $\Delta R > \Delta R_{кр}$ будет таким же, как и решение задачи комплектования для случая $\Delta R = \Delta R_{кр}$.

Основными положениями, реализация которых дает возможность эффективно применять селективную сборку в машиностроении и приборостроении, являются:

- применение метода межгрупповой взаимозаменяемости для реализации селективной сборки;
- представление задачи комплектования как задачи Монжа–Канторовича с индикаторной функцией стоимости [1];
- применение метода целенаправленного суммирования для решения задачи комплектования;
- выбор полей допусков сопрягаемых параметров;
- выбор минимальных по длине селективных интервалов, что обеспечивает максимальную собирае-

мость изделий и минимальную вероятность получения бракованных сопряжений [2, 3].

При выполнении этих условий селективная сборка обеспечит устойчивую полную собираемость изделий как при массовом, так и при мелкосерийном производствах изделий.

Выводы

1. Для решения задачи комплектования при селективной сборке изделий типа "вал–втулка" по методу межгрупповой взаимозаменяемости предложен метод, основанный на определенном порядке выбора допустимых путей комплектования и определенного числа сборочных комплектов на них. Этот метод назван методом целенаправленного суммирования.

2. Предложенный метод решения задачи комплектования является точным, простым, его программная реализация не вызывает трудностей.

3. Предложенный метод решения задачи комплектования дает возможность эффективного практического применения селективной сборки по методу межгрупповой взаимозаменяемости.

Библиографический список

1. Сорокин М.Н., Ануров Ю.Н. Формализация метода межгрупповой взаимозаменяемости при реализации селективной сборки изделий // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2011. № 8. С. 75–82.
2. Сорокин М.Н., Ануров Ю.Н. Анализ собираемости изделий типа "вал–втулка" при селективной сборке // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2012. № 1. С. 23–26.
3. Сорокин М.Н., Ануров Ю.Н. Определение вероятности получения бракованных сопряжений при селективной сборке изделий типа "вал–втулка" по действительным значениям сопрягаемых параметров // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2012. № 5. С. 31–35.



УДК 621–2.002.2; 621.81.002.2

Ю.Ф. Набатников, канд. техн. наук, профессор
(Московский государственный горный университет)
E-mail: kaftmr@msmu.ru

Метод селективной сборки соединений деталей машин в условиях мелкосерийного производства

Рассмотрены вопросы обеспечения точности соединений деталей машин методом межгрупповой взаимозаменяемости. Метод позволяет проводить сборку соединений в условиях мелкосерийного производства при вероятности образования незавершенного производства равной или близкой к нулю.

In the article the issues of ensuring accuracy of joints of machine parts by means of intergroup interchangeability method is considered. This method allows effecting assembly of joints at conditions of lot-production having probability of unfinished goods equal or close to zero.

Ключевые слова: детали машин, соединение, точность, сборка, метод, взаимозаменяемость, группа.

Keywords: machine parts, joint, accuracy, assembly, method, interchangeability, group.

Производительность и стоимость обработки поверхностей деталей машин в значительной степени зависят от заданной точности. При повышении требований к качеству поверхностей трудоемкость обработки существенно возрастает. Так, трудоемкость обработки поверхности по 7-му качеству точности в два с половиной раза больше, чем по 9-му качеству. Наряду с ростом трудоемкости и стоимости обработки увеличиваются затраты на брак, которые при 7-м качестве могут достигать 20 % от общей стоимости обработки [1]. С другой стороны, многие отечественные машиностроительные заводы не располагают оборудованием, технологиями и кадрами, способными стабильно обеспечивать высокую точность сопрягаемых поверхностей.

Расширить поля допусков до экономически и технологически целесообразных величин, обеспечивая заданную точность в соединениях, позволяет метод групповой взаимозаменяемости (селективная сборка). Однако в работах известных ученых и специалистов в области технологии машиностроения и взаимозаменяемости (Б.С. Балакшин, И.М. Колесов, А.А. Маталин, Я.М. Радкевич, А.И. Якушев и др.) утверждается,

что основным недостатком метода групповой взаимозаменяемости является его зависимость от законов распределения отклонений размеров отверстий и валов. При использовании этого метода необходимо, чтобы эти законы были однотипными, с одинаковыми количественными параметрами и имели однонаправленную асимметрию при ее наличии. В противном случае при сборке неизбежно появляются некомплектные детали, которые формируют незавершенное производство. Это ограничивает область применения селективной сборки крупносерийным и массовым производствами.

В реальных условиях мелкосерийного производства законы распределения отклонений размеров валов и отверстий, как правило, несимметричны. При изготовлении валов центр группирования отклонений размеров обычно смещается в сторону исправимого брака, т.е. в сторону больших валов, а при изготовлении отверстий — в сторону меньших значений.

При сборке соединений методом групповой взаимозаменяемости разнонаправленная асимметрия значительно увеличивает число некомплектных деталей и соединений. Математическим моделированием сборки на ЭВМ установлено, что это число может составлять 3...70 % от общего числа соединений при повышении точности на один квалитет и 5...80 % при повышении точности на два квалитета (табл. 1). Такое число некомплектных деталей делает селективную сборку в условиях мелкосерийного производства нецелесообразной.

Необходимо отметить, что вид и количественные параметры законов распределений отклонений размеров отверстий и валов чрезвычайно трудно установить по результатам измерений. Из-за наличия погрешностей формы сопрягаемых поверхностей эти законы существенно отличаются друг от друга в различных сечениях деталей, как по типу, так и по количественным параметрам. Например, в одном сечении закон распределения отклонений размеров отверстий (валов) более близок к нормальному, в другом — к равномерному, а в третьем — к закону Симпсона.

Поэтому для организации селективной сборки в условиях мелкосерийного производства прежде всего необходимо уменьшить или исключить влияние

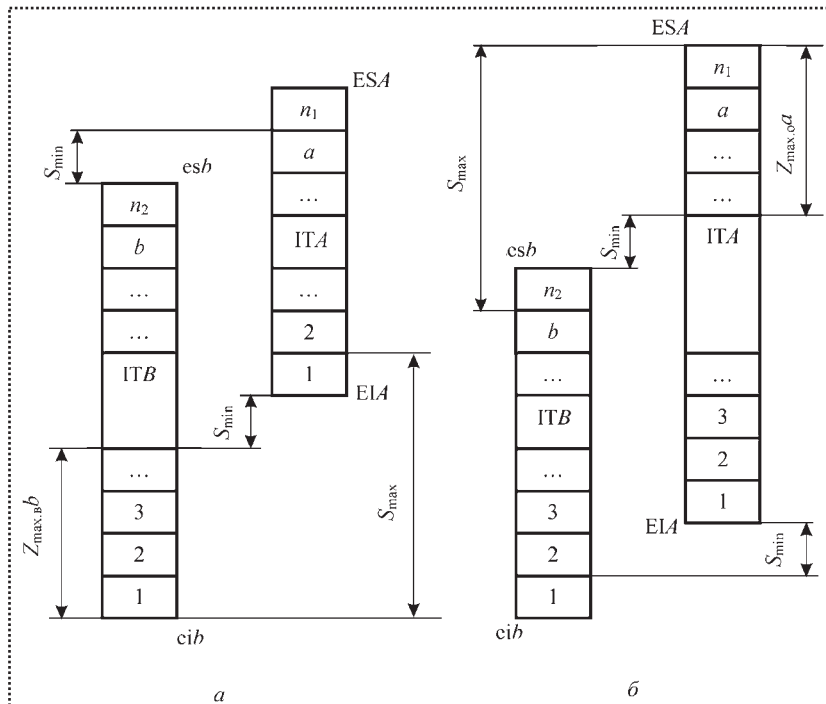
Число некомплектных соединений, в процентах от их общего числа при сборке методом групповой взаимозаменяемости

Коэффициент относительной асимметрии для закона распределения отклонений, размеров отверстия (α_0)	Коэффициент относительной асимметрии для закона распределения отклонений размеров вала (α_B)					
	0	+0,1	+0,2	+0,3	+0,4	+0,5
<i>Повышение точности соединений на один квалитет</i>						
-0,5	18	25	37	48	58	69
-0,4	17	24	35	47	58	68
-0,3	15	23	34	46	56	66
-0,2	12	20	30	42	52	63
-0,1	6	15	26	37	49	59
0	3	8	19	31	42	52
<i>Повышение точности соединений на два квалитета</i>						
-0,5	51	62	68	76	80	82
-0,4	43	54	62	68	72	75
-0,3	35	43	52	59	63	66
-0,2	24	37	41	48	52	55
-0,1	12	22	30	36	41	44
0	5	9	18	25	30	32

Примечание. Законы распределения отклонений размеров отверстий и валов близки к нормальному закону, общее число соединений – 200.

законов распределения отклонений размеров отверстий и валов на возникновение некомплектных деталей. Для этого должна быть решена задача по сборке

соединений при любых законах распределения отклонений размеров отверстий и валов и вероятности образования некомплектных деталей равной или близкой к нулю. Решение этой задачи рассматривается в настоящей статье.


Рис. 1. Общие схемы сборки соединений

Рассмотрим общий случай сборки соединений, при котором допуски отверстия и вала не равны друг другу $IT_A \neq IT_B$. Примем, что не равны друг другу групповые допуски ($a \neq b$) и числа размерных групп для отверстий и валов ($n_1 \neq n_2$), а нижнее предельное отклонение размеров отверстия равно EIA. Схему сборки рассмотрим на примере соединений с зазором.

Сборка соединений должна обеспечить зазоры S , значение которых не выходит за предельно допустимые ($S_{\min} \leq S \leq S_{\max}$). Рассмотрим два варианта. Пусть в первом варианте максимальный зазор S_{\max} формируется в 1-й размерной группе и минимальный S_{\min} – в n -й (рис. 1, а), а во втором варианте минимальный зазор формируется в 1-й группе и максимальный – в n -й



(рис. 1, б). Из схемы сборки для первого варианта следует:

$$S_{\max} = EIA + a - eib;$$

$$S_{\min} = (EIA + ITA - a) - (eib + ITB).$$

Вычитая из максимального зазора минимальный зазор и учитывая, что $ITS = S_{\max} - S_{\min}$, получим

$$ITS \geq 2a - ITA + ITB;$$

$$a \leq (ITS + ITA - ITB) / 2.$$

Так как величина $a > 0$, то $ITS > ITB - ITA$ и $ITA \leq ITB$. Таким образом, сборку по схеме, представленной на рис. 1, а, производят при допуске вала, большем или равным допуску отверстия. Кроме того, для обеспечения полной взаимозаменяемости между размерными группами валов и отверстий должно выполняться условие:

$$a + b = ITS.$$

Из схемы сборки следует, что значение нижнего предельного отклонения размеров вала eib определяют по формулам:

$$eib_{\max} = EIA - S_{\min} - a - (ITB - ITA) \text{ и}$$

$$eib_{\min} = EIA - S_{\max} + a.$$

Для варианта, при котором минимальный зазор формируется в 1-й размерной группе, а максимальный – в n -й (см. рис. 1, б):

$$ITS \geq 2b + ITA - ITB;$$

$$b \leq (ITS + ITB - ITA) / 2;$$

$$ITS > ITA - ITB > 0.$$

В этом случае $ITB \leq ITA$, и сборку по схеме, указанной на рис. 1, б, производят при допуске вала, который меньше или равен допуску отверстия. Значение нижнего предельного отклонения размеров вала eib для этого варианта определяют по формулам:

$$eib_{\max} = EIA - S_{\min} - b \text{ и}$$

$$eib_{\min} = EIA - S_{\max} + b + (ITA - ITB).$$

Таким образом, величина eib может назначаться из диапазона значений от eib_{\min} до eib_{\max} с шагом, равным групповому допуску a или b ($eib = eib_{\min} + a$; $eib = eib_{\min} + 2a$; $eib = eib_{\max}$). При этом каждому значению eib будет соответствовать своя схема комплектации отверстий валами. Необходимо отметить, что наименьшие зазоры в соединениях формируются при значениях eib , равных или близких к eib_{\max} .

Рассмотрим частные случаи. При $ITA = ITB$ сборка может быть проведена по схеме, указанной на

рис. 1, а, если $a < b$ и по схеме рис. 1, б, если $a > b$. При $ITA = ITB$ и $a = b$ сборка может проводиться как по схеме рис. 1, а, так и по схеме рис. 1, б. Если $a = ITA$ и $b = ITB$, то $n_1 = n_2 = 1$. При таких параметрах сборку проводят по методу полной взаимозаменяемости, так как выполняется условие $ITS = ITA + ITB$.

Величины групповых допусков удобно задавать в долях от допуска на зазор. Полагая $a = ITS / K_1$ и $b = ITS / K_2$, получим: $a + b = ITS / K_1 + ITS / K_2 \leq ITS$ или $K_1 + K_2 \leq K_1 K_2$. Данное неравенство соблюдается при $K_1 \geq 2$ и $K_2 \geq 2$. Из этого следует, что при селективной сборке значения групповых допусков не должны превышать половины допуска зазора, т.е. должны соблюдаться неравенства $a \leq ITS / 2$ и $b \leq ITS / 2$. Значения K_1 и K_2 следует принимать целыми из ряда: 2, 3, 4, ..., L .

Из условия полной взаимозаменяемости и рис. 1 следует:

$$Z_{\max \text{ в}} b + a = ITS \text{ и } Z_{\max \text{ о}} a + b = ITS,$$

где $Z_{\max \text{ в}}$ ($Z_{\max \text{ о}}$) – максимальное число размерных групп валов (отверстий), из которых может проводиться комплектация отверстий (валов) определенной размерной группы без образования брака в соединениях. Проведя подстановки и решив уравнения относительно Z_{\max} , получим:

$$Z_{\max \text{ в}} = K_2 (K_1 - 1) / K_1 \text{ и } Z_{\max \text{ о}} = K_1 (K_2 - 1) / K_2$$

при $K_1 \neq K_2$ и

$$Z_{\max \text{ в}} = Z_{\max \text{ о}} = K - 1$$

при $K_1 = K_2 = K$ (при $a = b = ITS / K$).

Из этих уравнений следует, что чем больше значения K_1 и K_2 , тем больше размерных групп валов (отверстий) участвуют в комплектации определенной размерной группы отверстий (валов). Это делает сборку менее зависимой от законов распределения отклонений размеров, что существенно уменьшает вероятность появления некомплектных деталей. Взаимозаменяемость, при которой определенная размерная группа отверстий (валов) комплектуется валами (отверстиями) из нескольких размерных групп без образования брака в соединениях, будем называть *межгрупповой*. Межгрупповая взаимозаменяемость создает предпосылки для существенного уменьшения числа некомплектных деталей, а при определенных параметрах сборки исключает саму возможность их появления. Таким образом, при селективной сборке возникает дилемма. Для упрощения организации сборки необходимо увеличивать групповые допуски, а для уменьшения вероятности появления некомплектных деталей и снижения затрат на обслуживание незавершенного производства их надо уменьшать. При проектировании технологических процес-



сов сборки эту сложную задачу необходимо решать по результатам физического или математического моделирования сборки. Очевидно, что для экономии материальных и финансовых затрат предпочтение следует отдать математическому моделированию на ЭВМ [2].

Рассмотрение поставленной задачи в общем виде показывает, что селективная сборка всегда многовариантна. Наиболее рациональный вариант сборки должен обеспечить:

- вероятность образования некомплектных деталей, равную или близкую к нулю, и тем самым отсутствие затрат на обслуживание незавершенного производства или их минимизацию;
- зазоры, близкие к минимально допустимому значению, что повышает ресурс соединений;
- стабильность значений групповых зазоров, что обеспечивает близкие по величине ресурсы соединений;
- наименьшее число размерных групп, что упрощает организацию сборки.

Порядок обоснования варианта сборки рассмотрим на численном примере. Пусть поверхность цилиндра (отверстие) с внутренним диаметром 200 мм выполнена с точностью по Н10, а наружная поверхность поршня (вал) — по 9-му качеству точности. В соединениях цилиндра с поршнем необходимо обеспечить зазоры S по 8-му качеству точности в пределах $S_{\min} = 50 \leq S \leq S_{\max} = 200$ мкм. Требуется определить параметры селективной сборки, обеспечивающие такую точность в соединениях. Групповые допуски должны быть не меньше $a \geq 40$ мкм и $b \geq 20$ мкм. Общее число соединений — 200 шт. Распределения отклонений размеров отверстий и валов близки к нормальным законам. Асимметрия законов распределения отклонений размеров отверстий и валов — разнонаправленная. Коэффициенты относительной асимметрии могут принимать значения $0 \leq \alpha \leq 0,3$ по абсолютной величине. Задачу решаем в следующем порядке.

1. По таблицам единой системы допусков и посадок для интервала номинальных размеров диаметра от 180 до 250 мм определяем допуск на размер отверстия $IT A = 195$ мкм, что соответствует 10-му качеству точности. Нижнее предельное отклонение размеров отверстия $EIA = 0$. Допуск на размер вала, изготовленного по 9-му качеству точности, $IT B = 115$ мкм, а допуск на зазор в соединении, собранном по 8-му качеству точности — $ITS = S_{\max} - S_{\min} = 200 - 50 = 150$ мкм.

2. Определяем предельное значение группового допуска для размеров вала:

$$b \leq (ITS + IT B - IT A) / 2 = (150 + 115 - 195) / 2 = 35 \text{ мкм.}$$

Значения групповых допусков, соответствующие условию задачи, можно принять: $b = 20$ мкм или $b = 30$ мкм. Тогда число размерных групп n_2 для вала равно:

$$n_2 = IT B / b = 115 / 20 \approx 6 \text{ при } b = 20 \text{ мкм или}$$
$$n_2 = IT B / b = 115 / 30 \approx 4 \text{ при } b = 30 \text{ мкм.}$$

Определяем нижние предельные отклонения размеров вала:

$$eib_{\max} = EIA - S_{\min} - b = 0 - 50 - 20 = -70 \text{ мкм;}$$
$$eib_{\min} = EIA - S_{\max} + b + (IT A - IT B) =$$
$$= 0 - 200 + 20 + (195 - 115) = -100 \text{ мкм при } b = 20 \text{ мкм;}$$
$$eib_{\max} = EIA - S_{\min} - b = 0 - 50 - 30 = -80 \text{ мкм;}$$
$$eib_{\min} = EIA - S_{\max} + b + (IT A - IT B) =$$
$$= 0 - 200 + 30 + (195 - 115) = -90 \text{ мкм при } b = 30 \text{ мкм.}$$

3. Значения групповых допусков для отклонений размеров отверстий, соответствующие условию задачи, можно принять равными: $a = 40$ мкм или $a = 50$ мкм с учетом, что $a \leq ITS / 2 = 150 / 2 = 75$ мкм. Тогда число размерных групп n_1 для деталей типа отверстий

$$n_1 = IT A / a = 195 / 40 \approx 5 \text{ при } a = 40 \text{ мкм или}$$
$$n_1 = IT A / a = 195 / 50 \approx 4 \text{ при } a = 50 \text{ мкм.}$$

4. Для полученных вариантов строим схемы сборки и определяем порядок комплектации отверстий валами (рис. 2).

Любой из вариантов схем сборки на рис. 2 обеспечивает зазоры в соединениях в пределах заданных допустимых значений $S_{\min} = 50 \leq S \leq S_{\max} = 200$ мкм. Нетрудно показать, что возможны и другие варианты сборки, если снять ограничения на групповые допуски, поставленные в условии задачи.

Из порядка комплектации следует, что отверстия определенной размерной группы могут комплектоваться валами из нескольких размерных групп без образования брака в соединениях. Исключением является лишь первая размерная группы отверстий, которую комплектуют валами только первой размерной группы. Кроме того, для вариантов 1 и 3 комплектация последней размерной группы отверстий также производится валами только из последней размерной группы. Комплектация отверстий валами достаточно проста. Сначала выбираются все валы из первой размерной группы затем — из второй и т.д.

Число некомплектных деталей резко возрастает, если центры группирования отклонений размеров смещены относительно середин полей допусков. Это типовая ситуация в условиях мелкосерийного производства. В этом случае число несобранных соедине-

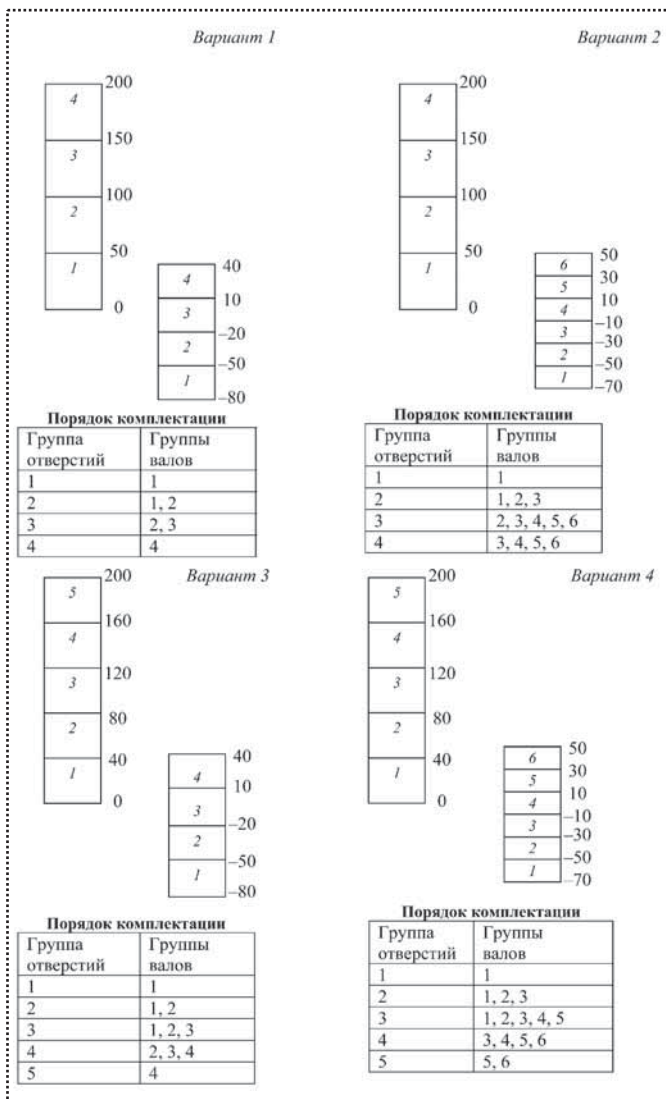


Рис. 2. Схемы сборки и порядок комплектации отверстий валами

ний существенно возрастает (табл. 2). Поэтому ни один из рассмотренных вариантов сборки не будет иметь практического применения из-за образования и накопления большого объема незавершенного производства. Нетрудно показать, что при сборке с параметрами $ITB > ITA$, $a \neq b$, $n_1 \neq n_2$ или $ITA = ITB$, $a \neq b$, $n_1 \neq n_2$ будут иметь место аналогичные результаты. Следует отметить, что во всех этих случаях формируются нестабильные по величине групповые зазоры (см. табл. 2). Поэтому селективная сборка с различными допусками на размеры отверстий и валов, различными групповыми допусками и с различным числом групп нецелесообразна.

Из теории селективной сборки известно, что стабильные по значению зазоры формируются в соединениях при равных допусках на размеры отверстий и валов и равных групповых допусках. Поэтому далее рассмотрим сборку с параметрами $ITA = ITB$, $a = b$, $n_1 = n_2$. В условиях рассматриваемого примера изменим допуск на размер вала, приняв его равным допуску на размер отверстия, т.е. $ITA = ITB = 195$ мкм и снимем ограничения на групповые допуски. Таким образом, точность сопрягаемых поверхностей соответствует 10-му качеству, а точность их соединений – 8-му качеству. Отметим, что по сравнению с 10-м качеством точность соединений увеличивается почти в 2,7 раза. Такое повышение точности соединений должно быть обеспечено сборкой.

Рассмотрим варианты сборки соединений с групповыми допусками $a = b = ITS / 2 = 150 / 2 = 75$ мкм; $a = b = ITS / 3 = 150 / 3 = 50$ мкм; $a = b = ITS / 5 = 150 / 5 = 30$ мкм. Порядок комплектации размерных групп отверстий валами для этих вариантов представлен в табл. 3, а результаты моделирования сборки на ЭВМ – в табл. 4.

Таблица 2

Результаты моделирования сборки соединений

Группа	Число деталей типа		Число некомплектных деталей	Групповой зазор, мкм	Число деталей типа		Число некомплектных деталей	Групповой зазор, мм
	"отверстие"	"вал"			"отверстие"	"вал"		
	$\alpha_0 = 0; \alpha_B = 0$				$\alpha_0 = -0,3; \alpha_B = +0,3$			
<i>Первый вариант (a = 50 мкм; b = 30 мкм; n₁ = n₂ = 4; ei b = 80 мкм)</i>								
1	13	14	–	90	54	1	–53	109
2	96	84	–11	110	109	37	–72	97
3	77	92	+15	131	35	107	+72	120
4	14	10	–4	149	2	55	+53	131
<i>Итого...</i>	200	200	15 (7,5 %)	120	200	200	125 (62,5 %)	109



Окончание табл. 2

Группа	Число деталей типа		Число некомплектных деталей	Групповой зазор, мкм	Число деталей типа		Число некомплектных деталей	Групповой зазор, мм
	"отверстие"	"вал"			"отверстие"	"вал"		
	$\alpha_o = 0; \alpha_b = 0$				$\alpha_o = -0,3; \alpha_b = +0,3$			
<i>Второй вариант (a = b = IT S / 3 = 50 мкм; n₁ = 4; n₂ = 6; ei b = -70 мкм)</i>								
1	17	6	-11	93	53	0	-53	-
2	83	30	-	107	110	3	-77	96
3	86	54	-	123	36	30	-	114
4	14	77	-	143	1	76	+40	133
5	-	28	+6	-	-	61	+60	-
6	-	5	+5	-	-	30	+30	-
<i>Итого...</i>	200	200	11 (5,5 %)	117	200	200	130 (65 %)	106
<i>Третий вариант (a = 40 мкм; b = 30 мкм; n₁ = 5; n₂ = 4; ei b = 80 мкм)</i>								
1	9	13	-	84	41	2	-39	82
2	46	76	-	101	89	39	-50	91
3	86	102	-	118	59	104	+36	100
4	50	9	-	146	9	55	+53	147
5	9	-	-	156	2	-	-	157
<i>Итого...</i>	200	200	-	103	200	200	89 (44,5 %)	101
<i>Четвертый вариант (a = 40 мкм; b = 20 мкм; n₁ = 5; n₂ = 6; ei b = -70 мкм)</i>								
1	11	1	-10	88	29	0	-29	-
2	51	28	-	91	93	5	-59	81
3	98	64	-	109	58	29	-	96
4	35	65	-	121	17	71	-	127
5	5	34	+2	156	3	68	+61	147
6	-	8	+8	-	-	27	+27	-
<i>Итого...</i>	200	200	10 (5,0 %)	107	200	200	88 (44 %)	113
Пр и м е ч а н и е. Законы распределения отклонений размеров отверстий и слов близки к нормальному закону.								

Таблица 3

Порядок комплектации размерных групп отверстий валами

Группа отверстий	Размерная группа валов, комплектующих группу отверстий по вариантам сборки						
	1	2	3	4	5	6	7
	a = b = 75; n ₁ = n ₂ = 3; ei b = -125	a = b = 50; n ₁ = n ₂ = 4; ei b = -150	a = b = 50; n ₁ = n ₂ = 4; ei b = -100	a = b = 30; n ₁ = n ₂ = 7; ei b = -170	a = b = 30; n ₁ = n ₂ = 7; ei b = -140	a = b = 30; n ₁ = n ₂ = 7; ei b = -110	a = b = 30; n ₁ = n ₂ = 7; ei b = -80
1	1	1, 2	1	1, 2, 3, 4	1, 2, 3	1, 2	1
2	2	2, 3	1, 2	2, 3, 4, 5	1, 2, 3, 4	1, 2, 3	1, 2
3	3	3, 4	2, 3	3, 4, 5, 6	2, 3, 4, 5	1, 2, 3, 4	1, 2, 3



Окончание табл. 3

Группа отверстий	Размерная группа валов, комплектующих группу отверстий по вариантам сборки						
	1	2	3	4	5	6	7
	$a = b = 75;$ $n_1 = n_2 = 3;$ $ei b = -125$	$a = b = 50;$ $n_1 = n_2 = 4;$ $ei b = -150$	$a = b = 50;$ $n_1 = n_2 = 4;$ $ei b = -100$	$a = b = 30;$ $n_1 = n_2 = 7;$ $ei b = -170$	$a = b = 30;$ $n_1 = n_2 = 7;$ $ei b = -140$	$a = b = 30;$ $n_1 = n_2 = 7;$ $ei b = -110$	$a = b = 30;$ $n_1 = n_2 = 7;$ $ei b = -80$
4	–	4	3, 4	4, 5, 6, 7	3, 4, 5, 6	2, 3, 4, 5	1, 2, 3, 4
5	–	–	–	5, 6, 7	4, 5, 6, 7	3, 4, 5, 6	2, 3, 4, 5
6	–	–	–	6, 7	5, 6, 7	4, 5, 6, 7	3, 4, 5, 6
7	–	–	–	7	6, 7	5, 6, 7	4, 5, 6, 7

Таблица 4

Результаты моделирования сборки соединений

Группа	Число деталей типа		Число не-комплектных деталей	Групповой зазор, мкм	Число деталей типа		Число не-комплектных деталей	Групповой зазор, мкм
	"отверстие"	"вал"			"отверстие"	"вал"		
	$\alpha_0 = 0, \alpha_B = 0$				$\alpha_0 = -0,3; \alpha_B = +0,3 (\alpha_0 = -0,25; \alpha_B = +0,25)$			
<i>Первый вариант ($a = b = IT S / 2 = 75$ мкм, $n_1 = n_2 = 3$, $ei b = -125$ мкм)</i>								
1	53	32	-21	128	113	11	-102	113
2	139	151	+12	130	86	128	+42	106
3	8	17	+9	137	1	61	+60	95
<i>Итого...</i>	200	200	21 (10,5 %)	130	200	200	102 (51 %)	107
<i>Второй вариант ($a = b = IT S / 3 = 50$ мкм, $n_1 = n_2 = 4$, $ei b = -150$ мкм)</i>								
1	23	8	–	119	57	1	-17	102
2	86	85	–	144	107	39	-9	94
3	81	85	–	140	34	98	–	101
4	10	22	–	149	2	62	26	148
<i>Итого...</i>	200	200	–	140	200	200	26 (13 %)	98
<i>Третий вариант ($a = b = IT S / 3 = 50$ мкм, $n_1 = n_2 = 4$, $ei b = -100$ мкм)</i>								
1	21	9	-12	99	66	–	-66	–
2	79	83	–	98	98	43	-55	92
3	84	94	–	101	36	101	+65	92
4	16	14	+12	137	–	56	+56	–
<i>Итого...</i>	200	200	12 (6 %)	103	200	200	121 (60,5 %)	92
<i>Четвертый вариант ($a = b = IT S / 5 = 30$ мкм, $n_1 = n_2 = 7$, $ei b = -170$ мкм)</i>								
1	3	4	+1	168	24	–	–	111
2	23	16	–	163	51	3	–	109
3	51	61	+3	170	63	18	–	112
4	59	77	+18	172	50	62	–	118
5	47	32	-5	163	11	67	–	108



Группа	Число деталей типа		Число не-комплектных деталей	Групповой зазор, мкм	Число деталей типа		Число не-комплектных деталей	Групповой зазор, мкм
	"отверстие"	"вал"			"отверстие"	"вал"		
	$\alpha_o = 0, \alpha_b = 0$				$\alpha_o = -0,3; \alpha_b = +0,3 (\alpha_o = -0,25; \alpha_b = +0,25)$			
6	17	9	-17	-	1	37	-	142
7	-	1	-	-	-	13	-	-
<i>Итого...</i>	200	200	22 (11 %)	168	200	200	-	113
<i>Пятым вариантом (a = b = IT S / 5 = 30 мкм, n₁ = n₂ = 7, ei b = -140 мкм)</i>								
1	6	4	-	130	21 (18)	-	-	87 (92)
2	26	22	-	129	61 (43)	5 (8)	-9 (-)	82 (91)
3	51	56	-	140	66 (74)	24 (29)	-	80 (92)
4	66	66	-	140	42 (45)	44 (54)	-	86 (91)
5	39	33	-	135	9 (18)	74 (60)	-	110 (102)
6	8	17	-	142	1 (2)	44 (45)	-	152 (116)
7	4	2	-	155	-	9 (4)	+9 (-)	-
<i>Итого...</i>	200	200	-	137	200	200	9 (4,5 %) (-)	84 (93)
<i>Шестым вариантом (a = b = IT S / 5 = 30 мкм, n₁ = n₂ = 7, ei b = -110 мкм)</i>								
1	1	2	-	115	19	-	-14	81
2	15	33	-	112	66	5	-48	81
3	53	45	-	118	74	18	-17	80
4	72	69	-	112	32	57	-	76
5	42	37	-	114	7	66	+25	104
6	13	12	-	122	2	44	+44	135
7	4	2	-	122	-	10	+10	-
<i>Итого...</i>	200	200	-	115	200	200	79 (39,5 %)	81
<i>Седьмым вариантом (a = b = IT S / 5 = 30 мкм, n₁ = n₂ = 7, ei b = -80 мкм)</i>								
1	5	4	-1	75	25	-	-25	-
2	15	17	-	82	49	1	-48	85
3	66	61	-3	82	75	25	-50	80
4	70	59	-11	82	40	44	-	78
5	32	46	+2	77	9	81	+74	90
6	11	12	+12	104	2	40	+40	111
7	1	1	+1	143	-	9	+9	-
<i>Итого...</i>	200	200	15 (7,5 %)	82	200	200	123 (61,5 %)	81
Примечание. Законы распределения отклонений размеров отверстий и валов близки к нормальному закону.								



Первый вариант сборки с групповыми допусками $a = b = ITS / 2 = 75$ мкм соответствует организации сборки по классическому методу групповой взаимозаменяемости. Следствием того, что каждая размерная группа отверстий комплектуется валами только из одной размерной группы, является значительное число некомплектных деталей (см. табл. 4). Поэтому этот вариант неприемлем для организации сборки в условиях мелкосерийного производства.

Величина групповых допусков для второго и третьего вариантов составляет $a = b = ITS / 3 = 50$ мкм, что позволяет реализовать межгрупповую взаимозаменяемость и уменьшить число некомплектных деталей. Однако полностью исключить вероятность их возникновения не представляется возможным. Во втором варианте сборки 4-я группа отверстий комплектуется валами только из 4-й группы. Аналогичная ситуация с 1-й размерной группой отверстий при использовании третьего варианта сборки. При различном числе деталей в этих размерных группах неизбежно возникают некомплектные соединения (см. табл. 4).

Сборка по четвертому–седьмому вариантам производится с групповыми допусками $a = b = ITS / 5 = 30$ мкм. Из порядка комплектации отверстий валами для этих вариантов (см. табл. 3) следует, что предпочтение следует отдать пятому варианту. В четвертом и седьмом вариантах соответственно комплектация седьмой и первой размерных групп отверстий производится только из одной группы валов, что увеличивает вероятность возникновения некомплектных деталей. Кроме того, пятый вариант обеспечивает меньшее число некомплектных деталей по сравнению с шестым при наличии в законах распределения отклонений размеров отверстий и валов разнонаправленной асимметрии. Дело в том, что при разнонаправленной асимметрии наибольшее число деталей типа "отверстие" формируется в первых размерных группах. В то же время наибольшее число деталей типа "вал" формируется в последних размерных группах. Поэтому комплектацию первых размерных групп отверстий следует производить из как можно большего числа размерных групп валов. Этому условию соответствует пятый вариант сборки. Результаты моделирования сборки показывают, что число некомплектных деталей для пятого варианта равно нулю при отсутствии асимметрии в законах распределения отклонений размеров и составляет 4,5 % от общего числа соединений при коэффициентах относительной асимметрии $\alpha = \pm 0,3$. Отметим, что при коэффициентах относительной асимметрии $\alpha = \pm 0,25$ число некомплектных деталей также становится равным нулю (см. данные, указанные в скобках в пятом варианте табл. 4).

Необходимо обратить внимание, что меньшие групповые зазоры в соединениях формируются при разнонаправленной асимметрии законов распределения отклонений размеров отверстий и валов, что подтверждается и результатами моделирования (см. табл. 4.). Это необходимо использовать при изготовлении сопрягаемых поверхностей деталей машин для повышения ресурса соединений, так как соединения с наименьшими зазорами имеют наибольший ресурс.

Рассмотренный численный пример показывает, что в каждом конкретном случае можно определить параметры сборки соединений методом межгрупповой взаимозаменяемости, при которых обеспечивается заданная точность, а вероятность возникновения некомплектных деталей равна или близка к нулю.

В результате исследований, проведенных с использованием математического моделирования метода межгрупповой взаимозаменяемости на ЭВМ (рис. 3), установлены параметры сборки, обеспечивающие повышение точности соединений на один (табл. 5 и 6) и два качества (табл. 7 и 8).

Эти параметры установлены при следующих условиях:

- допуски на отклонения размеров от номинального значения и зазоры в соединениях соответствуют действующей системе допусков и посадок;
- допуски отклонений размеров сопрягаемых поверхностей равны друг другу ($IT A = IT B$);
- групповые допуски на отклонения размеров деталей типа "отверстие" и типа "вал" равны между собой ($a = b$);
- законы распределения отклонений размеров отверстий и валов могут быть однотипными (например,

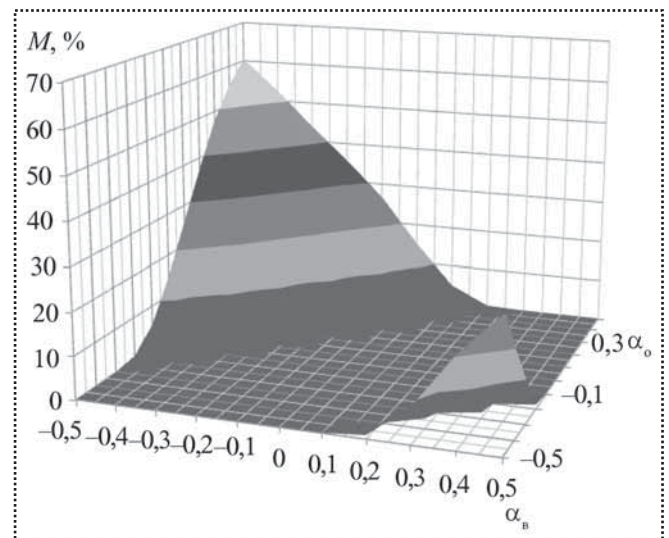


Рис. 3. Доля M некомплектных соединений в зависимости от коэффициентов α_b и α_a относительной асимметрии (в процентах от общего числа соединений)



Таблица 5

Параметры сборки соединений методом межгрупповой взаимозаменяемости, обеспечивающие повышение точности на один квалитет без образования и накопления некомплектных деталей

Групповой допуск для отклонений размеров отверстий (a) и валов (b)	Нижнее предельное отклонение размеров вала $e_i b$	Число размерных групп для деталей типа "отверстие" (n_1) и "вал" (n_2); $n_1 = n_2$	Коэффициенты относительной асимметрии для законов распределения отклонений размеров для деталей типа		Средний зазор в соединениях (в процентах от среднего заданного значения)
			"отверстие"	"вал"	
$a = b = IT S / 3$	$-S_{\max} + a$	3	-0,5	0...+0,3	93
			-0,4	0...+0,4	94
			-0,3	0...+0,5	96
			-0,2	0...+0,5	100
			-0,1	0,1...+0,5	102
			0	0,3...+0,5	103
$a = b = IT S / 4$	$-S_{\max} + 2a$	4	-0,3	0...+0,3	80
			-0,2	0...+0,4	82
			-0,1	0...+0,4	86
			0	0...+0,5	90
$a = b = IT S / 5$	$-S_{\max} + 2a$	5	-0,5	0...+0,5	80
			-0,4	0...+0,5	84
			-0,3	0...+0,5	88
			-0,2	0...+0,5	92
			-0,1	0...+0,5	96
			0	0...+0,5	101

Примечание. Законы распределения отклонений размеров отверстий и валов однотипные.

Таблица 6

Параметры сборки соединений методом межгрупповой взаимозаменяемости, обеспечивающие повышение точности на один квалитет без образования и накопления некомплектных деталей

Групповой допуск для отклонений размеров отверстий (a) и валов (b)	Нижнее предельное отклонение размеров вала $e_i b$	Число размерных групп для деталей типа отверстие (n_1) и вал (n_2); $n_1 = n_2$	Коэффициенты относительной асимметрии для законов распределения отклонений размеров для деталей типа		Средний зазор в соединениях (в процентах от среднего заданного значения)
			"отверстие"	"вал"	
$a = b = IT S / 3$	$-S_{\max} + a$	3	-0,4	0...+0,3	99
			-0,3	0...+0,5	101
			-0,2	0...+0,5	105
			-0,1	0,2...+0,5	110
			0	+0,5	108



Окончание табл. 6

Групповой допуск для отклонений размеров отверстий (a) и валов (b)	Нижнее предельное отклонение размеров вала $e_i b$	Число размерных групп для деталей типа отверстие (n_1) и вал (n_2); $n_1 = n_2$	Коэффициенты относительной асимметрии для законов распределения отклонений размеров для деталей типа		Средний зазор в соединениях (в процентах от среднего заданного значения)
			"отверстие"	"вал"	
$a = b = IT S / 4$	$-S_{\max} + 2a$	4	-0,2	0...+0,5	86
			-0,1	0...+0,5	90
			0	0...+0,5	94
$a = b = IT S / 5$	$-S_{\max} + 2a$	5	-0,5	0...+0,5	85
			-0,4	0...+0,5	89
			-0,3	0...+0,5	93
			-0,2	0...+0,5	97
			-0,1	0...+0,5	102
			0	0...+0,5	106

Примечание. Законы распределения отклонений размеров отверстий и валов разнотипные.

Таблица 7

Параметры сборки соединений методом межгрупповой взаимозаменяемости, обеспечивающие повышение точности на два квалитета без образования и накопления некомплектных деталей (однотипные законы распределения отклонений размеров отверстий и валов)

Групповой допуск для отклонений размеров отверстий (a) и валов (b)	Нижнее предельное отклонение размеров вала $e_i b$	Число размерных групп для деталей типа отверстия (n_1) и вал (n_2); $n_1 = n_2$	Коэффициенты относительной асимметрии для законов распределения отклонений размеров для деталей типа		Средний зазор в соединениях (в процентах от среднего заданного значения)
			"отверстие"	"вал"	
$a = b = IT S / 3$	$-S_{\max} + a$	4	-0,4	0	95
			-0,3	0...+0,1	98
			-0,2	0...+0,2	100
			-0,1	0,1...+0,3	100
			0	0,2...+0,5	98
$a = b = IT S / 4$	$-S_{\max} + a$	5	-0,5	0...+0,3	91
			-0,4	0...+0,4	93
			-0,3	0...+0,5	95
			-0,2	0...+0,5	100
			-0,1	0,1...+0,5	103
			0	0,2...+0,5	107



Окончание табл. 7

Групповой допуск для отклонений размеров отверстий (a) и валов (b)	Нижнее предельное отклонение размеров вала $e_i b$	Число размерных групп для деталей типа отверстия (n_1) и вал (n_2); $n_1 = n_2$	Коэффициенты относительной асимметрии для законов распределения отклонений размеров для деталей типа		Средний зазор в соединениях (в процентах от среднего заданного значения)
			"отверстие"	"вал"	
$a = b = IT S / 5$	$-S_{\max} + a$	6	-0,5	0...+0,5	91
			-0,4	0...+0,5	95
			-0,3	0...+0,5	100
			-0,2	0...+0,5	105
			-0,1	0,1...+0,5	108
			0	0,3...+0,5	109
$a = b = IT S / 6$	$-S_{\max} + 2a$	8	-0,5	0...+0,3	82
			-0,4	0...+0,4	84
			-0,3	0...+0,5	87
			-0,2	0...+0,5	93
			-0,1	0...+0,5	97
			0	0...+0,5	103
$a = b = IT S / 8$	$-S_{\max} + 3a$	10	-0,5	0...+0,3	78
			-0,4	0...+0,4	80
			-0,3	0...+0,5	83
			-0,2	0...+0,5	88
			-0,1	0...+0,5	94
			0	0...+0,5	99
$a = b = IT S / 10$	$-S_{\max} + 3a$	13	-0,5	0...+0,5	81
			-0,4	0...+0,5	85
			-0,3	0...+0,5	90
			-0,2	0...+0,5	96
			-0,1	0...+0,5	101
			0	0...+0,5	107

Примечание. Законы распределения отклонений размеров отверстий и валов однотипные.

близкий к нормальному закон распределения для отверстий и близкий к нормальному закон распределения для валов) и разнотипными (например, близкий к нормальному закон распределения для отверстий и близкий к равномерному закон распределения для валов);

- коэффициенты относительной асимметрии могут принимать значения от $\alpha_0 = 0$ до $\alpha_0 = -0,5$ для закона распределения отклонений размеров отверстий и от $\alpha_B = 0$ до $\alpha_B = +0,5$ — для валов;
- число деталей типа "отверстие" равно числу деталей типа "вал" и равно общему числу соединений.



Таблица 8

Параметры сборки соединений методом межгрупповой взаимозаменяемости, обеспечивающие повышение точности на два квалитета без образования и накопления некомплектных деталей

Групповой допуск для отклонений размеров отверстий (a) и валов (b)	Нижнее предельное отклонение размеров вала $e_i b$	Число размерных групп для деталей типа отверстия (n_1) и вал (n_2); $n_1 = n_2$	Коэффициенты относительной асимметрии для законов распределения отклонений размеров для деталей типа		Средний зазор в соединениях (в процентах от среднего заданного значения)
			"отверстие"	"вал"	
$a = b = IT S / 3$	$-S_{\max} + a$	4	0	+0,5	103
$a = b = IT S / 4$	$-S_{\max} + a$	5	-0,4	0...+0,3	99
			-0,3	+0,2...+0,5	98
			-0,2	+0,4...+0,5	101
			-0,1	+0,4...+0,5	113
			0	+0,5	110
$a = b = IT S / 5$	$-S_{\max} + a$	7	-0,5	0...+0,5	97
			-0,4	+0,2...+0,5	99
			-0,3	+0,2...+0,5	104
			-0,2	+0,3...+0,5	107
			-0,1	+0,4...+0,5	112
$a = b = IT S / 6$	$-S_{\max} + 2a$	8	-0,4	0...+0,3	91
			-0,3	0...+0,5	93
			-0,2	0...+0,5	99
			-0,1	+0,1...+0,5	103
			0	+0,2...+0,5	107
$a = b = IT S / 8$	$-S_{\max} + 3a$	10	-0,4	0...+0,1	92
			-0,3	0...+0,5	89
			-0,2	0...+0,5	94
			-0,1	0...+0,5	100
			0	0...+0,5	104
$a = b = IT S / 10$	$-S_{\max} + 3a$	13	-0,4	0...+0,5	89
			-0,3	0...+0,5	94
			-0,2	0...+0,5	99
			-0,1	+0,1...+0,5	103
			0	+0,2...+0,5	107

П р и м е ч а н и е. Законы распределения отклонений размеров отверстий и валов разнотипные.



Из данных, представленных в табл. 5 и 6, следует, что наибольшая независимость сборки от типов законов распределения отклонений размеров сопрягаемых поверхностей, их количественных параметров и асимметрии достигается при групповых допусках $a = b = ITS / 5$. Именно этот вариант сборки соединений методом межгрупповой взаимозаменяемости рекомендуется для практического использования при повышении точности соединений на один квалитет.

Для повышения точности соединений на два квалитета следует проводить сборку с групповыми допусками, равными $a = b = ITS / 6$, если законы распределений отклонений размеров сопрягаемых поверхностей однопипны (см. табл. 7). Если эти законы разнотипны, то рекомендуется проводить сборку с групповыми допусками, равными $a = b = ITS / 8$ (см. табл. 8).

В заключение отметим, что полученные результаты распространяются на квалитеты точности от 6-го до 16-го и все интервалы размеров в соответствии с действующей системой допусков и посадок.

Необходимо отметить, что погрешности формы сопрягаемых поверхностей учитываются допусками размеров и на сборку соединений влияния не оказывают, но влияют на их ресурс.

Выводы

1. Разработанный метод межгрупповой взаимозаменяемости позволяет обеспечивать заданную точность соединений деталей машин при относительно невысокой точности сопрягаемых поверхностей, а также исключить или существенно снизить зависимость сборки от законов распределения отклонений размеров отверстий и валов, их количественных параметров и асимметрии.

2. Определены параметры сборки соединений методом межгрупповой взаимозаменяемости, обеспечивающие повышение точности на один или два квалитета при вероятности возникновения некомплектных деталей равной нулю, в том числе для условий мелкосерийного производства.

3. Рассмотренный метод обеспечения точности в соединениях деталей машин справедлив и для посадок с натягом.

Библиографический список

1. Маталин А.А. Технология машиностроения. СПб.: Лань. 2008. 512 с.
2. Набатников Ю.Ф., Сизова Е.И. Моделирование процесса сборки соединений деталей машин на ЭВМ // Горное оборудование и электромеханика. 2008. № 3. С. 17–19.



ИЗДАТЕЛЬСТВО МАШИНОСТРОЕНИЕ

СПРАВОЧНИК ФРЕЗЕРОВЩИКА

Л.Н. Бердников, В.Ф. Безъязычный, В.Н. Крылов и др.

Под ред. В.Ф. Безъязычного

Объем 272 с. Формат 60x88 1/16 Переплет ISBN 978-5-94275-524-9 Цена 440 р.



Изложены основные сведения о процессе фрезерования, фрезерных станках, режущих инструментах (фрезах), приспособлениях для фрезерных станков, особенностях фрезерования различных обрабатываемых поверхностей, а также контроле, организации рабочего места фрезеровщика и охране труда.

В приложении приведены технические условия и размеры на фрезы по стандартам, действующим с 1 января 2010 г.

Рекомендуется для фрезеровщиков, может быть полезен для подготовки рабочих на производстве, а также для учащихся учреждений среднего профессионального образования.

Приобрести книгу в издательстве можно, прислав заявку:

по почте: 107076, г. Москва, Стромьинский пер., 4; по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru
Дополнительная информация по телефонам: (499) 269-52-98, 269-66-00 и на сайте WWW.MASHIN.RU

СБОРОЧНО-СВАРОЧНЫЕ РАБОТЫ. ПАЙКА

УДК 621.791.048

В.В. Карabanов, канд. техн. наук, **И.О. Бохоров**, инженер
Тел. 8(498) 520-3472

Пайка стали и чугуна

Приведены технологии и материалы, применяемые при подготовке и пайке стальных и чугунных изделий.

Technologies and the materials applied by preparation and the soldering of steel and pig-iron products are given.

Ключевые слова: флюс, припой, перераспределение углерода, наполнитель, сталь, чугун.

Keywords: gumboil, solder, carbon redistribution, filler, steel, cast iron.

Пайка низкоуглеродистых и низколегированных сталей не вызывает особых трудностей и может осуществляться всеми известными способами.

Образование паяного соединения происходит в результате протекания на паяемых поверхностях ряда последовательных физико-химических процессов взаимодействия между различными веществами, при этом каждый из процессов создает необходимые условия для протекания последующего процесса.

После очищения паяемых поверхностей от загрязнений создаются условия для протекания на них процесса флюсования, при котором происходит удаление оксидных пленок и создание условий для качественного смачивания паяемых поверхностей расплавом припоя, его растекания, в результате чего возникает активный физико-химический процесс взаимодействия между расплавом припоя и паяемым металлом. Термические параметры процесса пайки должны обеспечивать формирование благоприятной структуры паяемого металла, не ухудшающие его исходных физических свойств. Только непрерывное протекание этих процессов обеспечивает высокое качество паяных соединений.

Как правило, детали, поступающие на пайку, изготавливаются на металлорежущих станках, непосредственно перед процессом пайки, поэтому их поверхности могут быть загрязнены пылью, остатками шлифовальных паст или покрыты защитными смазками, масляными пленками. Поэтому перед пайкой с них удаляют загрязнения и очищают от жировых и масляных пленок путем обезжиривания.

При мелкосерийном или штучном производстве паяных изделий детали обезжиривают вручную чистой ветошью с использованием в качестве растворителей этилового спирта, ацетона, бензина, уайт-спирита. При крупносерийном производстве обезжиривание деталей производят с применением специальных моющих средств и технического оборудования. В промышленности применяют различные методы обезжиривания деталей – струйный, ультразвуковой, заливкой, окунанием, в парах растворителя, прокаливанием.

В настоящее время применение органических растворителей ограничено по экологическим требованиям. Эти растворители легко воспламеняемы и весьма токсичны, высока их стоимость. При наличии на металлической поверхности масляных пленок или влаги обезжиривания не происходит. Применение органических растворителей возможно только при штучном производстве паяных соединений и при хорошей вентиляции. В качестве растворителя тонких масляных пленок может применяться кальцинированная сода, которая при обезжиривании гидрализуется, а выделяющиеся пузырьки углекислого газа разрушают пленки масляных и мелких загрязнений.

В промышленности широко применяют синтетические моющие средства (СМС). Это довольно сложные композиции, состоящие из органических и неорганических составляющих. Они соответствуют всему комплексу современных требований: высокое качество очистки металлических поверхностей, отсутствие коррозии, благоприятные санитарно-экологические условия процесса обезжиривания. Основным, определяющим компонентом СМС являются поверхностно-активные вещества (ПАВ). Процесс обезжиривания при использовании водного раствора СМС на основе ПАВ сводится к омылению жировых загрязнений, эмульгированию, диспергированию минеральных масел и других загрязнений. СМС нетоксичны и биологически разлагаемы в сточных водах. Обезжиривающие растворы не только удаляют жировые и масляные загрязнения с металлической поверхности, но и удерживают их от осаждения на поверхность [1].

Наибольшее применение имеют щелочные растворы с содержанием щелочи 15...100 г/л. Важнейшим показателем, определяющим качество обезжиривания, является щелочность раствора или величина водородного показателя рН, который поддерживают



постоянным в процессе обезжиривания деталей. Эффективность использования моющих средств зависит от способа и режима обезжиривания. При струйном обезжиривании (давление в струе 1 МПа) и при окутании с перемешиванием раствора эффективность процесса возрастает в 2–2,5 раза по сравнению с простым погружением. Активность моющих средств повышается с возрастанием температуры раствора, которую рекомендуется поддерживать на уровне 50...70 °С в течение 20 мин.

Для обезжиривания сталей и чугуна рекомендуют применять бессиликатные моющие средства типа КП, КМЭ, КМУ и др. Так, водный раствор моющего средства КМ-2 должен иметь концентрацию 5...15 г/л. Время обезжиривания методом распыления при температуре раствора 55...65 °С составляет 1...2 мин.

Выбор моющих средств довольно широк. Технология их применения представлена в соответствующей литературе [1].

Контроль качества обезжиривания деталей осуществляют простым методом смачивания поверхности водой. Метод основан на способности чистой металлической поверхности в вертикальном положении удерживать непрерывную водяную пленку. Время, необходимое для разрушения пленки, характеризует степень остаточных загрязнений или их отсутствие. При наличии масляных загрязнений более чем 0,01 мг/см² водяная пленка разрывается мгновенно, при 0,005 мг/см² – через 4...7 с. Порядок контроля качества очистки изложен в ОСТ 26-04-312–71 и РТМ 26-04-35–73.

В результате обезжиривания паяемых поверхностей создают необходимые условия для их флюсования, т.е. удаления оксидных пленок, образуемых на них в процессе механической обработки. Толщина оксидных пленок особенно возрастает в процессе нагрева при пайке, вследствие ускоренного окисления металла за счет проникновения кислорода воздуха в микропоры и микротрещины в пленке. Оксидная пленка, образующаяся на углеродистых и низколегированных сталях, химически нестойка и легко восстанавливается в газовых средах и всеми флюсами, применяемыми при пайке сталей. При нагреве паяемого металла происходит разрыхление оксидной пленки, связанное с разложением гидратов, углекислых и других соединений, содержащихся в пленке.

В условиях массового производства паяных стальных изделий поверхности деталей перед пайкой очищают от оксидных пленок травлением в водных растворах кислот. Водный раствор для травления низкоуглеродистых и углеродистых сталей содержит 10...15 % серной кислоты. После травления следуют промывка в горячей воде и нейтрализация в горячем

растворе щелочи с последующей сушкой. Срок хранения деталей в цеховых условиях не более 48 ч. Для более длительного хранения паяемые поверхности деталей лудят или наносят на них медное или никелевое гальваническое покрытие.

При расплавлении флюс смачивает оксидную пленку и покрывает поверхность металла слоем вязкого солевого расплава, который изолирует паяемый металл от окружающей атмосферы. Активность и кинетика флюсования зависят от соотношения сродства компонентов флюса к оксидной пленке и к паяемому металлу. При большом химическом сродстве к оксидной пленке, она вступает в активное химическое взаимодействие с флюсом. В процессе этой реакции образуется шлак, имеющий незначительную химическую связь с паяемыми металлами, который при плавлении припоя свободно вытесняется с поверхности.

По такому механизму при пайке сталей действуют боратные (боритные) флюсы, основу которых составляют: борная кислота (H_3BO_3), тетраборнокислый натрий ($Na_2B_4O_7$), борный ангидрит (B_2O_3). Химизм боратных флюсов при нагреве, после смачивания ими поверхности паяемого металла, основан на взаимодействии с оксидной пленкой. Тетраборнокислый натрий и борная кислота при нагреве разлагаются с образованием борного ангидрита, который является активным компонентом фторатных флюсов и связывает оксиды в легкоплавкие бораты – $2FeO \times 2Fe_2O_3 \times 3B_2O_3$ [2].

Образующиеся при разложении тетраборнокислого натрия соединения натрия обуславливают его ярко выраженную склонность проникать по границам зерен паяемого металла. В этом случае физико-химическое сродство припоя к паяемому металлу должно быть выше, чем флюса.

Действие борной кислоты связано с влиянием образующегося при ее разложении борного ангидрита на адгезию флюса к поверхности стали (борный ангидрит снижает адгезию солевых расплавов). По сравнению с тетраборнокислым натрием борная кислота является более активным флюсующим элементом, защитные свойства которого проявляются при более низких температурах. Температура плавления борной кислоты составляет 577 °С, тетраборнокислого натрия – 741 °С. Наиболее высокая степень активности обоих флюсующих элементов проявляется при 900 °С.

Удаление оксидной пленки со стали за счет физического растворения ее во флюсе в той или иной мере присуще всем флюсам. Но оно значительно усиливается, когда в состав флюса вводят специальные растворители оксидов в виде фторидов щелочных и щелочноземельных металлов. Так, при введении в комплекс, содержащий борную кислоту и тетраборнокислый натрий, 10 % фтористого кальция (CaF), процесс флюсования заметно усиливается. Такая композиция



флюсующих элементов известна под маркой ПВ200. Однако при использовании данного флюса процесс удаления оксидной пленки с поверхности стали достаточно длителен. Для активизации процесса удаления оксидной пленки во флюс дополнительно вводят борный ангидрид или бораты более сложного состава.

В боратный флюс ПВ201 введена лигатура в виде таких активных металлов, как магний и алюминий, которые являются прямыми восстановителями оксидов. Окиси магния и алюминия в момент образования обладают высокой химической активностью и также способствуют удалению оксидной пленки.

В процессе флюсования стали боратные (боритные) флюсы растворяют не только оксидные пленки, но и поверхностный слой паяемого металла. Частицы и зерна растворенного железа мигрируют к поверхности флюса, где, окисляясь, образуют оксидную пленку, которая при выдержке продолжительностью 9 мин при температуре 1050 °С полностью покрывает флюсовое покрытие, которое, в свою очередь, испаряясь, разрушается и открывает поверхность паяемого металла. Поэтому флюсы должны иметь четкие температурно-временные интервалы активности, при превышении которых эффективность действия флюсов снижается и может происходить их разрушение, особенно при пайке в воздушной атмосфере.

Простейшими флюсами для пайки сталей являются смеси буры (прокаленной при температуре 400...450 °С) и борной кислоты в соотношениях 50:50 и 80:20. Высокотемпературные боратные флюсы для пайки сталей выпускает Новосибирский завод редких металлов в соответствии с ГОСТ 23178–78.

Химически нестойкая оксидная пленка углеродистых сталей легко восстанавливается в газовых средах, поэтому их пайку можно проводить в среде водорода, диссоциированного аммиака, городского газа, пропана и др. При пайке легированной стали, когда легирующие компоненты (хром, алюминий) образуют химически устойчивые оксиды, применяют более активные флюсы, процесс проводят в среде азота или аргона в смеси с трехфтористым бором.

При пайке в контролируемых средах углеродистых и низколегированных сталей самым распространенным способом является пайка медью с восстановительной атмосферой.

К настоящему времени разработаны технологии качественной пайки крупных промышленных объектов — трубопроводов в полевых условиях, где применение защитных средств от воздействия воздушной атмосферы предельно ограничено. При длительных режимах нагрева на воздухе покрытия из паяльного флюса разрушаются и не обеспечивают защиты паяемых участков от окислительного воздействия атмо-

сферы. Наиболее эффективным и технологическим средством защиты в этих условиях являются защитные и защитно-технологические покрытия, применяемые при горячей обработке металлов [3]. При их использовании обеспечиваются также удаление оксидных пленок с поверхности металлов и формирование качественной галтели паяного шва, при которой паяные стыки равнопрочны с металлом труб. При пайке в полевых условиях можно применять готовые эмали (МК-5), стекловолоконистые материалы. Не составляет трудности синтезировать для любых термических режимов пайки защитные материалы с использованием окиси кремния (песка) и литейных шлаков металлургических производств [4].

Особенностью силикатных покрытий является то, что после расплавления они взаимодействуют с поверхностью изделия только при наличии на ней оксидной пленки, обязательно содержащей вюститную фазу FeO, продуктом взаимодействия с которой является появление на поверхности стали железосиликатных соединений — Fe_2SiO_4 , связывающих покрытие со сталью, т.е. обеспечивающих их прочное сцепление после нагрева. При наличии на поверхности стали только оксидов Fe_3O_4 , Fe_2O_3 реакции взаимодействия стали с защитным покрытием не происходит и оно легко самоотслаивается от поверхности стали в процессе охлаждения (рис. 1).

При пайке изделий (трубопроводов) в полевых условиях не требуется удаления ржавчины с черновой поверхности изделий, наоборот, она обеспечивает качественное формирование защитного покрытия, одновременно выполняющего флюсующую роль. Однако в процессе пайки соединений (стыков труб) с внесенным в зазор припоем, последний после плавления растекается по наружной поверхности изделия, прилегающей к зазору и защищенной силикатным покрытием. На этом участке происходит его самоотслаивание в процессе охлаждения, что открывает доступ к визуальному контролю качества паяного соединения.

Последние исследования показали, что самоотслаивание защитных покрытий от поверхности стальных изделий происходит не в результате различия в их

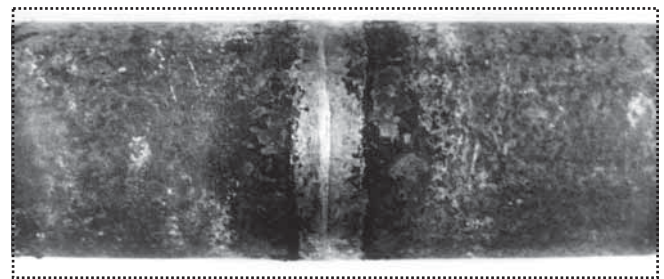


Рис. 1. Внешний вид паяного соединения труб после отслоения защитного покрытия



коэффициентах линейного расширения, которое может быть достаточно велико, а определяется фазовым составом и структурой промежуточного слоя, образующегося на поверхности металла и определяющего степень сцепления покрытия с металлом [5].

Высокое качество паяного соединения обеспечивается тогда, когда паяемый металл и припой имеют сходную основу, когда близки параметры их кристаллических решеток. В этом случае, в области спаев не возникают внутренние напряжения, снижающие прочность паяных соединений. Поэтому основу припоев для пайки сталей составляют элементы, прилежащие к железу в Периодической системе Менделеева – марганец, никель, медь, а в качестве основных легирующих элементов – хром и цинк.

Наиболее простым и широко применяемым припоем при пайке сталей является медь, обладающая самофлюсующими свойствами. Она активно удаляет оксидную пленку с поверхности стали в нейтральной среде азота. При температуре пайки (1000 °С) оксидная пленка отрывается от поверхности стали и переходит в расплав припоя (меди) после выдержки свыше 30 с.

При пайке в среде водорода оксидная пленка стали восстанавливается, образуя мельчайшие зерна железа, которые через 30 мин соединяются в крупные образования, имеющие в своем составе 89 % Fe и 6,6 % Cu [6].

При пайке в вакууме оксидная пленка отрывается по всей поверхности стали в виде сплошных монолитов и при выдержке 60 с переходит в расплав меди, а после 120 с полностью растворяется в нем.

В процессе выдержки при температуре пайки медь в процессе диффузии проникает в сталь на значительную глубину. Содержание меди в пограничном слое стали достигает 4,9 %. Сама жидкая прослойка меди обогащается железом до 8 %, вследствие чего прочность паяного шва возрастает по сравнению с прочностью меди. Средний состав сплава в зоне шва по диаграмме состояния железо–медь близок к равновесному. При более высоких температурах пайки состав зоны сплавления не изменяется. При кристаллизации медного припоя в шве избыток растворившегося в меди железа кристаллизуется в виде твердого раствора меди в железе на границе шва, сливаясь со сталью. Предел прочности паяного шва не зависит от температуры пайки и времени выдержки.

Структура зоны сплавления меняется с изменением величины зазора, т.е. толщины прослойки припоя. При зазорах свыше 0,5 мм (до 2 мм) шов представляет развитую дендритную структуру, при меньших зазорах происходит переход к ячеистой структуре с гладкой поверхностью. С уменьшением зазора от 2 до 0,3 мм предел прочности шва возрастает от 260 МПа до полу-

чения равнопрочного соединения уже при зазоре 0,3 мм. Предел прочности исходной меди составляет 200 МПа. При механических испытаниях на растяжение паяных образцов с узкими паяными швами (менее 0,3 мм) разрушение происходит (при качественном шве) по основному металлу.

Повышение прочности паяного шва с уменьшением зазора происходит вследствие контактного упрочнения прослойки медного сплава в шве, в результате разновременной деформации паяного металла и паяного шва. Поперечная пластическая деформация медной прослойки при нагрузке сдерживается прилежащими участками паяемого металла (сталью), вследствие чего происходит упрочнение прослойки, паяный шов переходит в объемное напряженное состояние, при котором повышаются его механические свойства [7].

Эффект контактного упрочнения мягкой прослойки возрастает с уменьшением отношения ее толщины к площади сечения прослойки. Эти закономерности рассматриваются в теории "мягких прослоек", разработанной в Челябинском политехническом институте (ЧПИ).

Впервые технология пайки медью стальных труб была разработана в середине 1940-х гг. после внедрения в промышленность индукционных установок, позволяющих осуществлять скоростной нагрев [8].

Медь обладает высоким коэффициентом пограничной диффузии, в $10^4 \dots 10^5$ раз превышающим коэффициент объемной диффузии. Интенсивная поверхностная диффузия меди по границам зерен стали приводит к образованию на них поверхностных слоев, насыщенных медью до 8,5 %. В соответствии с диаграммой состояния такой сплав должен переходить в твердо-жидкое состояние. В результате на поверхности зерен образуются твердо-жидкие прослойки толщиной 5...15 мкм, ослабляющие межзеренное сцепление в стали. Скорость диффузии меди в таких прослойках возрастает и она проникает вглубь стали. Одновременно растет толщина прослойки. При толщине прослойки 6 мкм глубина проникновения меди в сталь составляет 600...1600 мкм.

Под действием растягивающих напряжений и деформаций, возникающих в стали в процессе высокотемпературного нагрева, происходит отрыв зерен друг от друга по полужидким прослойкам с образованием горячих межкристаллитных трещин, которые под действием атмосферного давления и капиллярных сил мгновенно заполняются расплавом меди. Кристаллизация твердо-жидких прослоек по границам крупных зерен или блоков зерен сопровождается их усадкой по периметру зерен, что также способствует появлению горячих трещин в стали [9].

При отсутствии внешних воздействий расплавленная медь, заполнившая микротрещины, "залечивает"



дефект, ликвидируя его. Закристаллизовавшаяся при охлаждении медь образует прочное сцепление с зернами, в результате паяемая сталь не теряет своих механических свойств.

Однако при пайке тонкостенных стальных элементов изделия при недостаточном количестве расплава припоя, поступившего в трещины, проникновение меди в сталь может приводить к образованию сквозных микротрещин. Такие дефекты возникают при пайке тонкостенных (0,10...0,25 мм) элементов теплообменников. Дефекты наблюдались после пайки при температуре 1100...1200 °С с выдержкой 20 мин, особенно в местах изгиба тонкостенных элементов и на участках контакта трех зерен.

Основная роль в заполнении горячих микротрещин медью в стали принадлежит атмосферному давлению, действующему на жидкую медь и ничем не уравновешенному со стороны трещины. При пайке в вакууме ($133 \cdot 10^{-4}$ Па), заполнения микротрещин медью не происходит, что препятствует дальнейшему развитию процесса проникновения меди в сталь.

С увеличением прочности стали и содержания в ней углерода глубина и частота появления межкристаллитного проникновения меди в сталь возрастает.

Особенно активно медь воздействует на стали аустенитного, аустенитно-ферритного (с содержанием феррита не более 20 %) классов. При пайке сталей ферритно-мартенситного, ферритного или перлитного классов указанный дефект не оказывает влияния на механические свойства паяных соединений. Поведение соединений с межкристаллитным проникновением меди в сталь подобно поведению соединений с острым надрезом или с трещиной.

Повысить сопротивляемость стали образованию горячих трещин при пайке медью можно путем измельчения исходной структуры стали модифицированием или термообработкой с целью получения в структуре стали ферритной составляющей. Эффективным средством предупреждения этого дефекта является легирование меди марганцем в пределах 15...20 % [10]. Марганец также связывает серу, образующую легкоплавкие прослойки в стали, в тугоплавкий сульфид марганца.

Медь образует с марганцем, цинком и никелем твердые растворы, которые служат основой припоев для пайки сталей. Двойные сплавы меди с цинком хрупкие и имеют невысокую плотность, поэтому их не применяют для пайки стальных изделий, эксплуатируемых при ударных и вибрационных нагрузках.

Более высокими механическими и пластическими свойствами обладают медно-цинковые сплавы типа латуней. Наиболее распространенными латунями, применяемыми при пайке сталей, являются латуни марок Л63 и Л68 с однофазной структурой, имеющие

высокую пластичность и более низкую, по сравнению с медью, температуру пайки – 900...1000 °С. Находит применение также медно-цинковый сплав ПМЦ54.

Механические свойства медно-цинковых припоев определяются содержанием в них цинка. При возрастании содержания цинка до 39 % возрастает пластичность и прочность припоев, но повышается до 940 °С температура плавления. При содержании цинка свыше 45 % сплавы становятся хрупкими и малопрочными, возрастает выделение окиси цинка при пайке, вредной для здоровья.

Для снижения температуры плавления и повышения механических и технологических свойств медно-цинковых припоев в их состав вводят в небольших количествах олово, кремний (до 1 % каждого) и бор. Добавка олова снижает температуру плавления припоя и повышает его жидкотекучесть. Кремний снижает испарение цинка из припоя, что особенно важно при печной пайке [11].

При расплавлении латуни кремний окисляется и, взаимодействуя с флюсом, образует плотную пленку боросиликатов, препятствующих испарению цинка из припоя. Медно-цинковые припои, содержащие олово и кремний в указанных пределах, обеспечивают высокую плотность и герметичность паяного шва.

При пайке ответственных стальных изделий в различных отраслях промышленности, взамен дорогостоящих серебряных припоев, широко применяют медно-цинковые припои, содержащие олово (АЛАМЕРТ-21) и олово с марганцем (П47), которые обеспечивают получение паяных соединений с характеристиками, близкими к показателям соединений, получаемых с применением серебряных припоев [12].

Введение в припой небольшого количества бора также приводит к образованию тонких стекловидных покрытий из борсодержащих солей, препятствующих испарению цинка. Кроме того, бор придает припою самофлюсующие свойства. К припоям, содержащим приведенные легирующие элементы, относятся латуни марок ЛОК59-1-03, ЛКБ062-02-0,04-0,5, ЛК62-0,5 и др.

Добавки в медно-цинковые припои никеля и марганца (П47) и железа (П102) улучшают их технологические свойства, повышают прочность и надежность паяных соединений.

Никель вводят в медно-цинковые припои в количестве 3...10 % об. Так, в качестве припоя находит применение сплав "нейзеилбер" следующего состава: Cu = 45...47 %, Zn = 43...45 %, Ni = 10 %. Представителем медно-цинковых припоев с оптимальным комплексным легированием является сплав состава: Zn = 34 %, Mn = 9,5 %, Si = 0,8 %, Sn = 3,0 %, Cu – остаточное. Температура плавления сплава составляет 826 °С, предел прочности на срез – 55 МПа [11].



Многокомпонентные медно-цинковые припои (латуни) широко применяют для пайки тяжело нагруженных изделий, подвергающихся также вибрационным, ударным и другим сложным нагрузкам.

Для пайки стальных узлов с некапиллярными сборочными зазорами применяют смесь порошка латуни и железного порошка (температура плавления последнего превышает температуру пайки). Вместо железного порошка может быть также использован порошок, полученный из паяемого металла. Введение порошкового наполнителя в латунный припой увеличивает количество твердой фазы в расплаве припоя и влияет на скорость растворения паяемого металла в припое и на распределение химических элементов в паяном шве.

Следовательно, широкое применение медно-цинковых припоев обусловлено сравнительно низкой температурой их плавления и высокими характеристиками паяных соединений. Однако из-за испарения цинка, обладающего низким давлением паров в процессе пайки, возможно неполное расплавление припоя и появление пористости в паяном шве. Исключить такие дефекты в паяном шве возможно при использовании парофазной технологии пайки (в контейнере), парами цинка. Это позволяет не только предотвратить испарение цинка из припоя, но и получить припой в процессе пайки за счет контактного твердогазового плавления в результате насыщения исходной заготовки припоя из чистой меди цинком. Цинк, вводимый в контейнер с паяемым изделием, позволяет также связывать окислительные компоненты газовой среды (кислород), восстанавливать оксидные пленки и оксиды элементов, менее активных к кислороду, чем цинк. Использование паров цинка позволяет проводить безфлюсовую пайку медно-цинковыми припоями и без применения специальных подготовленных восстановительных газовых сред. Железо и некоторые легирующие компоненты сталей не будут окисляться в такой среде даже при давлении паров цинка, составляющих 0,1 от давления насыщенных паров при температуре пайки [13].

Парофазная технология печной контейнерной пайки сталей и других металлов двухкомпонентными латунными припоями с применением паровой фазы цинка разработана в Тольяттинском политехническом институте. Применение латуней, содержащих легирующие добавки, позволяет расширить номенклатуру паяемых металлов, повысить прочность и эксплуатационные свойства паяных соединений.

Снижению пористости паяного шва при пайке медно-цинковыми припоями способствует ускоренный нагрев (токами высокой частоты) и повышение давления при пайке на жидкую прослойку припоя.

Стали и медь медно-цинковыми припоями паяют с применением различных источников нагрева: токами высокой частоты, в газовом пламени, в соляных ваннах. В качестве флюса используют буру, а также паяльные флюсы ПВ200, ПВ201, ПВ209 и специальные флюсы ФК250, ФП-1, БМ-1.

Интенсивные работы в области создания припоев с использованием недефицитных и недорогих составляющих привели к созданию группы высокопрочных медно-марганцевых припоев с большим содержанием марганца. Добавление марганца позволяет существенно снизить температуру плавления медной основы без заметного снижения пластичности припоя. Наибольшее внимание привлек сплав, содержащий 62 % Cu и 38 % Mn [14]. Данный сплав интересен тем, что его состав на диаграмме состояния медь—марганец попадает в критическую точку минимума температуры и интервала плавления (при небольших добавках никеля). Добавление даже небольшого количества легирующих примесей в такой сплав может существенно изменить его свойства в ту или иную сторону. Наиболее оптимальным составом основы медно-марганцевых сплавов является сплав, содержащий 64 % Cu, 30 % Mn и 6 % Ni, имеющий сравнительно невысокую температуру полного расплавления — 930 °С. Однако даже при температуре нагрева до 950 °С наблюдается неполное расплавление такого сплава, а при деформировании такого сплава образуются трещины. Неполное расплавление и охрупчивание сплава происходят вследствие обогащения его поверхностных слоев и межзеренных участков марганцем и образования термостойких оксидов, препятствующих плавлению. Введение в указанный состав титана в пределах 1,0...1,5 % способствует выравниванию содержания компонентов по объему сплава и очищает границы зерен от примесей, что приводит к повышению пластичности сплава.

Применяемые в промышленности медно-марганцевые припои представлены в источнике [12]. Для пайки сталей широкое применение получили припои марок ПМЦ10, ПМ38МЛ, ВПр2, ВПр4, 45А, П65.

Марганец относится к металлам с высоким давлением паров, поэтому, как и в случае применения медно-цинковых припоев, происходит испарение марганца из припоя, особенно при его высоком содержании. Поэтому одним из способов предотвращения его испарения является применение парофазной технологии пайки, приведенной ранее. При этом открывается возможность проведения контактной твердогазовой пайки с использованием исходной заготовки припоя из чистой меди. При конденсации паров марганца на поверхность меди при 1000 °С через 3...10 мин происходит образование жидкой фазы, расширяющейся в глубину медной заготовки из-за диффузии марганца в медь [15].



Базовой основой при создании медно-марганцевых припоев является сплав, состоящий из 65 % Cu и 35 % Mn с температурой плавления 870 °С. Повышения прочности, пластичности и технологических свойств припоя достигают путем введения легирующих добавок, основными из которых являются никель и железо, а также кремний. Образуя ряд твердых растворов с медно-марганцевым сплавом, никель повышает прочность и пластичность припоя, снижает его окисляемость в жидком состоянии. Введение в медно-марганцевый припой железа изменяет его структуру, повышает прочность и улучшает технологические свойства (смачивание и растекаемость по стали). При содержании в припое около 5 % железа в сплаве появляется новая фаза на основе железа (44 %) в виде единичных дендритов. Температура плавления припоя возрастает до 925 °С. При увеличении содержания железа в медно-марганцевом сплаве растет количество новой фазы, повышается ее обогащение железом (60 %). При содержании железа в сплаве до 10 % предел прочности паяных соединений углеродистой стали на срез увеличивается с 240 до 394 МПа [16].

Медно-марганцевые сплавы, содержащие 15 % железа, отличаются более равномерным распределением дендритов новой фазы на основе железа, при сохранении основной структуры сплава. Эта фаза может быть мощным средством увеличения прочности припоя, при условии достаточной дисперсности и равномерного ее распределения в припое, что достигается соответствующими методами изготовления припоя — прокаткой. К медно-марганцевым припоям, содержащим никель и железо, относят припои марок ВПр2, ПМ17.

При пайке сталей в определенных условиях могут применяться припои, разработанные для пайки других металлов. Медно-фосфорные припои, разработанные для пайки меди и медных сплавов (взамен серебряных припоев), не рекомендуется применять при пайке сталей и чугуна. Железо, имеющее сродство с фосфором, образует на границе с припоем хрупкую прослойку, толщина которой зависит от длительности термического режима пайки. По этой прослойке происходит хрупкое разрушение паяного шва при изгибе. Пластичное паяное соединение получают путем нанесения на паяемые стальные поверхности медного барьерного покрытия,

которое при пайке препятствует образованию фосфитных прослоек.

Улучшения структуры шва и повышения пластических свойств паяных соединений достигают путем приложения при пайке давления на прослойку медно-фосфорного припоя (ПМФС6-0,15), достаточного для пластической деформации паяемого металла. При капиллярной пайке без давления паяные соединения труб разрушаются в начале процесса испытания на изгиб. При аналогичном режиме пайки с давлением, изгиб паяных соединений начинается при 180 °С [17].

Пайка под давлением способствует улучшению структуры металла шва. В случае капиллярной пайки без давления прослойка на границе с паяемым металлом содержит 12 % фосфора (рис. 2), 0,3...0,6 % меди. Металл центральной зоны шва отличается высоким содержанием меди — до 98 % при содержании фосфора 0,2...0,4 %. В металле шва, выполненном пайкой под давлением, содержание фосфора у границы с паяемым металлом резко снижается вследствие выдавливания расплава припоя из зазора. Оставшийся в прослойке припоя фосфор в виде хрупких фосфидов железа образует отдельные включения. При этом изгиб образцов не приводит к хрупкому разрушению паяных соединений. Прочность и пластичность паяных швов в этом случае определяется, в основном, свойствами оставшегося припоя.

Значительным достижением в области создания паяльных материалов для пайки сталей явилось создание в ПКБ МИНЭНЕРГО СССР (руководитель И.Е. Петрунин) припоя на медно-марганцевой основе П65 (ОСТ 34 13-198—80), обладающим рядом уни-

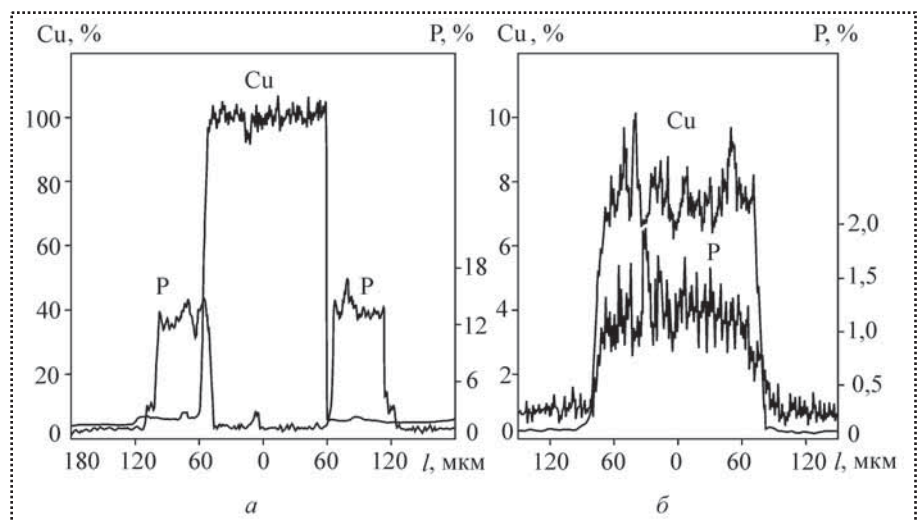


Рис. 2. Распределение меди и фосфора в поперечном сечении шва, выполненного капиллярной пайкой (а) и пайкой под давлением (б)

кальных свойств, выявленных при его применении в промышленности.

Припой П65 имеет достаточно высокую прочность (360 МПа), сопоставимую с прочностью низкоуглеродистых сталей и высокую пластичность, значительно превышающую пластичность припоев аналогичного назначения. Если ударная вязкость припоя П65 при 20 °С составляет 10,2, то у припоев ВПр2 и ПСр40 она составляет соответственно 1,12 и 4,7. Характерно, что высокие значения ударной вязкости припоя практически не изменяются с понижением температуры до -196 °С. Угол изгиба образца паяного соединения составляет 55° и не изменяется с понижением температуры. Он в четыре раза превышает угол изгиба образцов, паяных с применением припоя ПСр 40, который составляет 13°. Структура шва, паяного припоем ВПр2, состоит из двух фаз, из которых одна, более хрупкая, располагается по границам зерен твердого раствора или ликвидирует к центру, ослабляя паяное соединение. Шов, паяный припоем П65, представляет собой однофазную структуру раствора на основе меди [18].

Припой П65 имеет сравнительно низкую температуру плавления – 950...1050 °С. При температуре 1000 °С происходит восстановление в вакууме ($1,33 \cdot 10^{-3}$ Па) оксидной пленки. Соединения, паяные припоем П65, обладают большим запасом пластичности при криогенных температурах, поэтому припой находит широкое применение при монтаже криогенной техники.

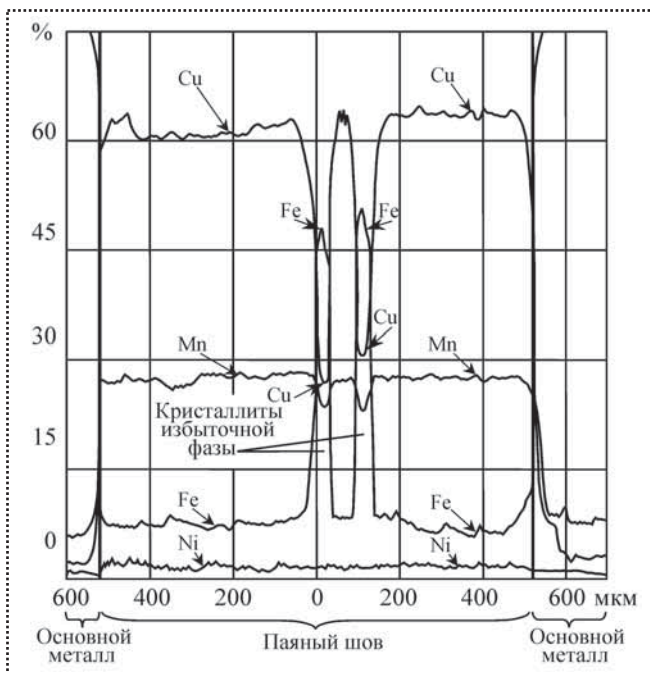


Рис. 3. Кривые распределения элементов по сечению широкого шва, паяного с использованием припоя П65

В процессе применения припоя П65 была определена возможность получения высокопрочных и пластичных паяных соединений стальных деталей при широких сборочных зазорах – 2...3 мм [19].

Если при капиллярной пайке с применением припоя П65 в паяном шве образуются многочисленные несплошности, то при заливке припоем широких зазоров в среде аргона обеспечивается высокая степень плотности шва и полное отсутствие газовых и шлаковых включений. В процессе заполнения широких зазоров расплавом припоя происходит равномерная эрозия, диспергирование поверхностного слоя паемой стали и равномерное насыщение расплава припоя железом. В процессе кристаллизации припоя из него выделяются крупные дендриты новой фазы на основе железа (рис. 3), подобно ранее описанному процессу при пайке медно-марганцевым припоем, содержащим железо. Припой П65 железа не содержит.

Высокая степень монолитности паяного шва с распределенными крупными разветвленными тугоплавкими кристаллами (рис. 4) обеспечивает значительное повышение прочностных и пластических свойств по сравнению со свойствами исходного припоя. Прочность телескопических стальных соединений на срез значительно превышает предел прочности на растяжение исходного припоя. При испытании кольцевого паяного образца на срез происходит значительная пластическая деформация широкого паяного шва – сдвиг превышает 30° (рис. 5).

Считается, что паяный шов является хрупким элементом паяного соединения, что является справедливым при небольшой его толщине, которая получается при капиллярной пайке. В широких, некапиллярных паяных швах (2...3 мм) более полно проявляются свойства припоя, сформировавшего паяный шов, в том числе, пластические свойства, что подтверждается результатами указанных испытаний. Обеспечивая благоприятные условия формирования монолитных

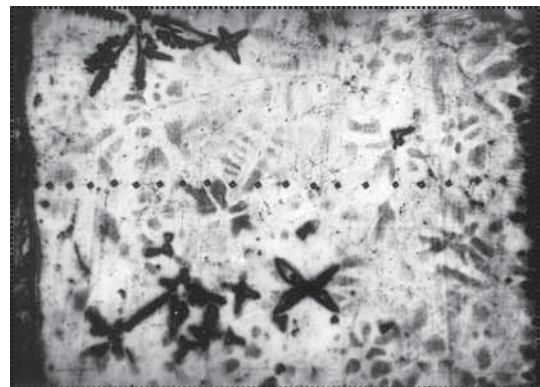


Рис. 4. Крупные кристаллы на основе железа в широком паяном шве шириной 2 мм; $\times 11$

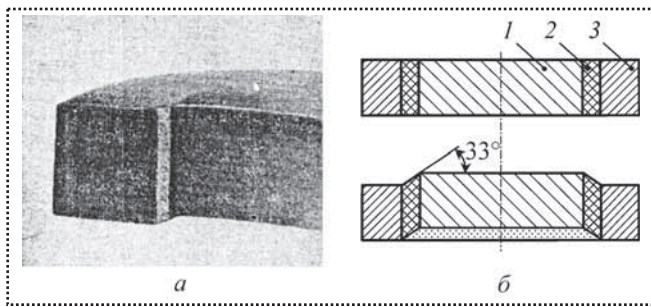


Рис. 5. Общий вид образца после испытания (а) и схема образца паяного телескопического соединения до и после испытания на срез (б):

1 – диск; 2 – паяный шов; 3 – кольцо

паяных швов, некапиллярная пайка открывает новые потенциальные возможности способа пайки по получению соединений на качественно новом уровне и расширяет промышленную область ее применения.

Близким по составу и назначению к припою П65 является припой марки ПАН-3, разработанный в ИЭС им. О.Е. Патона (30...32 % Mn, 7...9 % Ni, остальное Cu).

Железо применяют не только в качестве легирующего элемента в припоях, но и в качестве основы высокопрочных припоев для пайки сталей.

Применение пайки при монтаже крупных промышленных объектов из стали до недавнего времени сдерживалось требованием сборки изделий под пайку с малыми, капиллярными зазорами (до 0,25 мм). При пайке существующими припоями с более широкими зазорами прочность паяных соединений резко снижалась, вследствие формирования структуры шва, при которой тугоплавкая составляющая отеснялась к центру шва и выполняла роль "надреза". Однако при сборке крупных стальных конструкций неизбежны и допустимы широкие зазоры, уменьшение которых экономически невыгодно и технически затруднительно.

Проблема пайки крупных промышленных стальных конструкций была успешно решена в середине XX в. в институте ВЗМИ (Москва), где под руководством И.Е. Петрунина впервые в мире был разработан высокоэффективный припой на железной основе П87 (ВЗМИ 87). В этот период во многих странах (например, в США) было принято считать припоями сплавы цветных металлов, не содержащие в своем составе железа. В настоящее время в США запатентованы припои с содержанием железа до 70 % (патент США 4410604). Припой П87 (ОСТ 34-115-74) обеспечивал качественную пайку стальных изделий, собираемых с зазорами до 1 мм. Большую часть припоя составляли дешевые и недефицитные металлы (элементы) – железо (40 %) и марганец (32 %), а также медь (11...13 %) и никель (12 %). Самофлюсующие свой-

ва припою придавали содержащиеся в нем кремний (2,4...3,0 %) и бор (0,05...1,0 %). Температура плавления припоя в литом состоянии составляет 1060...1130 °С. Температура пайки назначалась 1180...1200 °С. Предел прочности на растяжение составляет 370 МПа, ударная вязкость – 67 Дж/см² [20].

Припой П87 обладает высокой термической стабильностью, благодаря которой диффузионные процессы в нем при пайке протекают в пределах твердых растворов паяемый металл – припой. Это подтверждается отсутствием в паяных швах интерметаллидных соединений и карбидов.

Имея широкий температурный интервал плавления (70 °С), припой хорошо удерживается между паяемыми поверхностями сжатых деталей, даже при неравномерном их нагревании при пайке. Это показала практика индукционной пайки трубопроводов, при которой кольцо припоя вносилось вовнутрь соединяемого стыка при сборке труб.

С появлением припоя П87 во многих ведущих научно-исследовательских институтах страны, занимающихся трубопроводными конструкциями, успешно проведены разработки промышленных технологий индукционной пайки трубопроводов различного назначения. Промышленное применение технологии индукционной пайки обсадных колонн сечением 219×12 мм над устьем скважин и технологии индукционной пайки промысловых трубопроводов в Сибири доказали высокую эффективность применения припоя П87 и преимущества технологии индукционной пайки перед сваркой, как по качеству соединений, так и по производительности и стоимости процесса. Исследования показали более высокую коррозионную стойкость паяных соединений в наиболее агрессивных средах (сероводород, морская вода) по сравнению со стойкостью сварных соединений [21].

Припой П87 выпускают в виде порошка в ОАО "Тулачермет" и в ЗАО "Аларм" (МАТИ, Москва). ЗАО "Аларм" может выпускать припой в виде ленты (быстрозакаленной). При внесении порошкового припоя между стыкуемыми деталями, с приложением небольшого усилия сжатия, его частицы должны иметь пластинчатую форму.

При использовании припоя П87 применяют флюс марки ПВ201. При зажатии припоя между паяемыми поверхностями пайка может осуществляться без флюса. Предлагают для создания безокислительной атмосферы при печной пайке стальных изделий в состав припоя П87 вводить до 9 % цинка. Однако при этом зазор необходимо перекрывать защитно-технологическим покрытием.

Припой П87 является одним из представителей группы припоев на железно-марганцевой основе [12] с

одним и тем же составом компонентов и близкими температурами плавления. Индукционная пайка стыковых соединений элементов стальных конструкций при благоприятных условиях может надежно обеспечивать высокую прочность паяного соединения. На базе порошков этих припоев разработаны составы паст и закладных деталей, имеющих форму соединения.

Припои на железно-марганцевой основе жидкотекучи, хорошо заполняют зазоры размером 0,01...0,5 мм, образуя вакуумно-плотные соединения. Пайку этими припоями можно проводить в печах или ТВЧ в среде нейтральных газов. Нагрев желательнее проводить быстро во избежание испарения марганца из припоя.

В качестве припоев могут применяться железоуглеродистые сплавы – чугуны, температура плавления которых сопоставима с температурой плавления припоев на железной основе. Вследствие высокой диффузионной активности углерода при пайке сталей чугунами происходит обезуглероживание чугуна до концентрации его в паяемой стали. В результате растворно-диффузионного взаимодействия происходит преобразование чугуна в сталь необходимого химического состава, как в процессе пайки, так и при термической обработке паяного соединения. В результате содержание углерода в чугуне снижается с 4 до 1 %, чем и достигается основной положительный эффект – увеличение прочности и пластичности паяного соединения [22].

Перераспределение углерода, формирование структуры, фазовый состав металла шва при пайке сталей чугунами определяют по соответствующей диаграмме состояния железо–углерод. Окончательный переход чугуна в сталь осуществляется в процессе диффузионного отжига при температуре 900...1200 °С (в течение 1 ч), при этом структура металла шва из ледебуритной становится аустенитной и аустенитно-карбидной. По мере выдержки слои аустенита растут и в итоге металл шва полностью превращается в однородный раствор с 1...2 % углерода.

Растворение карбидов в аустените продолжается и после отжига. Для чугунов, в которых при обезуглероживании этого не происходит, характерно их скопление в центре шва (рис. 6).

На процесс перераспределения углерода при пайке сталей чугунами оказывают влияние легирующие элементы во взаимодействующих металлах. Растворение карбидов в металле шва происходит полностью при легировании чугунов алюминием (1 %) и медью (3...5 %). Не влияет на устойчивость карбидов легирование никелем и кремнием, а карбидообразующие элементы, в числе которых хром, ванадий, марганец и другие, повышают ее.

При отсутствии карбидообразования, при переходе чугуна в сталь концентрация углерода в шве зависит от продолжительности диффузионного отжига.

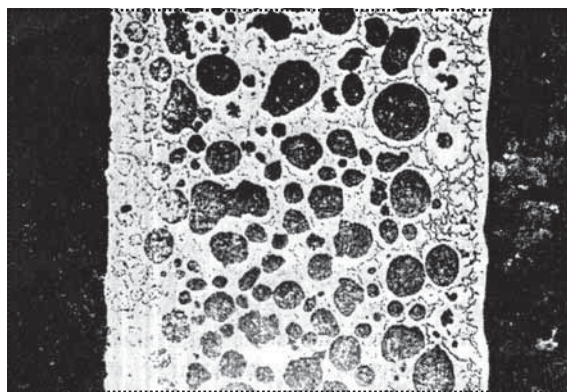


Рис. 6. Микроструктура паяного соединения стали 20 с чугуном СЧ18, выполненного припоем ВПр2 с наполнителем ПРН24; $\times 50$

Содержание углерода в шве толщиной 0,3 мм, при температуре отжига 1100 °С уменьшается на 0,5...1,5 % по истечении 1–2 ч.

При значительных зазорах металл шва после диффузионного отжига отличается структурной однородностью только при использовании никель-алюминиевых чугунов.

Следовательно, легирующие элементы чугунов при пайке сталей (легированных, как правило, карбидообразующими элементами) выбирают таким образом, чтобы коэффициент активности углерода в припое был наибольшим. Увеличение активности углерода в никелевых припоях вызывает большее их обезуглероживание, по сравнению с чугунами, содержащими хром или марганец.

Из приведенного следует, что при пайке сталей чугунами обеспечивается возможность управления диффузионным процессом перераспределения углерода, вызывающим существенное изменение характеристик паяного шва и прилегающих зон паяемых сталей. Это позволяет добиваться получения паяных соединений с необходимыми свойствами.

Пайка чугунных изделий затруднительна ввиду наличия в чугуне свободных графитовых включений, затрудняющих смачивание его поверхности расплавом припоя. Простейшими и распространенными способами удаления графита с паяемых поверхностей чугуна является пескоструйная или дробеструйная обработка деталей или выжигание графита окислительным пламенем горелки, содержащим избыток кислорода. Детали из чугуна прогревают до красного свечения, при этом графит сгорает с образованием газообразного оксида углерода. После прогрева паяемые поверхности очищают (металлическими щетками) от образовавшихся оксидов и обрабатывают флюсом, чаще всего бурой, после чего пайку производят в обычном порядке. При массовом производстве



чугунных паяных изделий может применяться электрохимический способ очистки.

Пайку с использованием горелки производят только нейтральным пламенем при температуре, не превышающей 900 °С. Для пайки чугуна применимы все способы нагрева. Выбор способа нагрева зависит от припоя и относительной массы соединяемых деталей.

Чугун чувствителен к термическому воздействию. В интервале температур 750...950 °С в чугуне протекают фазовые превращения с образованием закалочных структур и происходят необратимые объемные изменения. С возрастанием скорости нагрева чугуна возрастает время запаздывания в развитии этих превращений (α -Fe в γ -Fe) и превращения Fe_3C в графит. Так, при скорости нагрева 200 °С/с до 950 °С, с последующим охлаждением на воздухе, заметных изменений твердости чугуна и образования в нем закалочных структур или трещин не происходит. Поэтому наиболее благоприятные условия для пайки чугуна обеспечиваются при использовании припоев с температурой пайки до 750 °С или при быстром (например, индукционном) нагреве до 950 °С.

Применять медь при пайке чугуна не следует ввиду ее высокой температуры плавления.

В качестве высокотемпературных припоев при пайке чугуна широко применяют латуни Л63 и Л68 в сочетании с паяльными флюсами ПВ209 и ПВ284Х. Для качественной пайки чугуна в институте ВНИИ-Автогенмаш (Москва) и в ИЭС им. Е.О. Патона на основе латуни созданы многокомпонентные припои марок ЛОК 59-1-03, ЛОМНА 49-05-10-4-04, ЛКН56-0,3-6 и другие с температурой плавления до 1000...1020 °С. Припои хорошо смачивают поверхность чугуна и растекаются по ней. В комплексе с этими припоями применяются флюсы марок ФПСН-2, АН-ШТ2, МАФ-1 и другие, того же разработчика. При использовании активных паяльных флюсов свободный графит с поверхности чугуна может не удаляться.

Наименьший перегрев при пайке (по отношению к температуре плавления припоя) требуется при использовании флюса марки АН-ШТ2, который представляет собой аморфный синтетический шлак, имеющий температуру плавления 450...700 °С. Наибольшая активность флюса АН-ШТ2 проявляется при температурах 900...1150 °С.

При капиллярной пайке в печи наименьшая температура плавления, наибольшая прочность соединения и меньшая пористость достигаются при пайке серого чугуна припоями типа ЛОМНА и флюса ПВ209 [23].

Для снятия внутренних напряжений чугунные изделия после пайки подвергают отжигу при температу-

ре 700...750 °С (красное свечение металла) в течение 20 мин. При отжиге происходит диффузия компонентов припоя в чугун, что значительно повышает прочность паяного соединения.

Пайку чугунных изделий латунью можно осуществлять в печах с контролируемой атмосферой, при этом припой в виде пластинки или проволоки необходимо зажимать между паяемыми поверхностями для снижения степени испарения цинка из припоя. При пайке в печах используют флюсы, улучшающие смачивание припоем поверхности чугуна.

Чугун с высоким содержанием углерода имеет низкую температуру плавления, поэтому при пайке тонкостенных изделий необходимо температуру печи держать предельно низкой из-за возможного оплавления поверхности деталей.

Пайку чугунных изделий можно значительно облегчить, если паяемые поверхности предварительно покрыть медью (электролитическим или контактным методом в медном купоросе).

Используя явление роста и сращивания с паяемыми поверхностями дендритов, образующихся в узком зазоре при пайке металлов с различной концентрацией углерода, можно осуществлять пайку высокопрочных чугунных соединений без предварительного удаления свободного углерода с паяемых поверхностей [24]. Подобный прием успешно применяют при пайке изделий из стальных деталей как с узкими, так и с широкими зазорами.

Такая технология предусматривает заполнение широкого зазора (до 2 мм) смесью порошков наполнителя из низкоуглеродистой стали или никелевого сплава ПРН 24 (24 % Ni) и припоя на медной основе — Л63, ВПр2, ВПр4, ПАН-3, ПАН-9. Пайка проводится при остаточном давлении 0,01 Па.

Значительный градиент концентрации углерода между чугуном и частицами наполнителя, а также минимальный зазор между их поверхностями обуславливает активный рост дендритов, образующихся на частицах наполнителя, завершающийся их сращиванием с поверхностью чугуна. Одновременно происходит переход в расплав припоя углерода, диффундирующего от поверхности чугуна и науглероживающего частицы наполнителя. Прилегающие к чугуну частицы наполнителя диспергируются и происходит их сфероидизация, что упрочняет расплав припоя. Эти процессы приводят к плавному изменению структуры и свойств широкого паяного шва по его толщине. Проникновение медного припоя в чугун при растворении графитовых прослоек упрочняет поверхностный слой, что обуславливает равнопрочность паяного соединения с чугуном.

Наиболее эффективна индукционная пайка чугунных деталей на воздухе с применением припоя ВПр2.



Латуни Л63 можно использовать при автовакуумной пайке с использованием в качестве сорбента марганца.

При ремонте чугунных изделий, особенно массивных и крупногабаритных, после их изготовления или эксплуатации применяют низкотемпературную пайку с использованием оловянно-свинцовых припоев типа ПОС, например ПОС 30. В качестве флюса применяют водный раствор хлористого цинка с добавками хлористых солей меди и олова. Паяют только после механической зачистки и лужения паяемых поверхностей.

Основным дефектом литых чугунных изделий являются сквозные трещины. Для качественного исправления дефекта необходимо в его области вырубить зубилом или выточить фрезой канавку, охватывающую всю трещину.

На подготовленную поверхность изделия флюс наносят после ее предварительного нагрева до температуры 500 °С в течение минуты. Расплавление флюса осуществляют наиболее мягкой частью факела, направляемого под углом 50...60° к дефектной поверхности. Расплавленный флюс прутом припоя распределяют равномерно по паяемой поверхности. Выдерживают припой в жидком состоянии в течение 2...3 мин.

При широкой трещине в нее предварительно помещают стальной вкладыш. В качестве припоя используют латунную пластинку по форме канавки. Флюс с избытком насыпают в зону пайки и осуществляют индукционный нагрев в течение 5 мин. Таким способом производят ремонт деталей автомобилей.

Соединение чугунных изделий или их ремонт иногда проводят в предварительно подготовленную V-образную разделку (как при сварке), которая заполняется расплавом припоя.

Библиографический список

1. **Стонанс Л.И.** Современные средства обезжиривания металлов. Рига, 1986.
2. **Петрунин И.Е., Полякова В.М.** О механизме флюсования. Пайка в машиностроении. М.: МДНТН, 1967.
3. **Солнцев С.С.** Защитные покрытия металлов при нагреве. Справочное пособие. М., 2009.
4. **Карабанов В.В., Бохоров И.О.** Флюсы и защитные покрытия для высокотемпературной пайки металлов // Заготовительные производства в машиностроении. 2010. № 2.
5. **Яценко Е.А.** Стеклокомпозиционные технологические покрытия для защиты некоррозионно-стойких сталей при термической обработке. Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. М., 1993.
6. **Гржимальский Л.Л.** Самофлюсование припоев. Пайка в машиностроении. М., 1967.

7. **Влияние** величины зазора и режимов пайки на состав, структуру и свойства соединений из железа, паяного медью. Пайка материалов в машиностроении. Ч. 1 / Л.Л. Гржимальский и др. Рига, 1968.

8. **Богословский С.Д., Сердюк С.В.** Скоростная капиллярная пайка стальных изделий токами высокой частоты. М.: Машгиз, 1949.

9. **Радзиевский В.Н.** О причине образования трещин при пайке медью конструкций из углеродистой стали // Сварочное производство. 1989. № 9.

10. **Кабатов И.Ю.** Разработка технологических рекомендаций по предотвращению межкристаллитного проникновения меди в сталь в процессе наплавки и пайки. Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. М., 1991.

11. **Сафронова В.А.** Влияние легирования медно-цинкового припоя на его технологические характеристики. Прогрессивные методы в пайке. Киев, 1986.

12. **Пайка металлов.** Справочник / Под ред. И.Е. Петрунина. М., 2003.

13. **Краснопевцев А.Ю.** Безфлюсовая пайка стальных изделий медно-цинковыми припоями. Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Киев, 1987.

14. **Росошинский А.А.** Некоторые свойства припоев на основе меди с высоким содержанием марганца // Автоматическая сварка. 1982. № 1.

15. **Контактная** твердо-газовая пайка сталей в парах марганца. Сборник "Пайка и ее роль в повышении качества продукции и эффективности производства" / С.В. Лашко и др. М.: МДНТП, 1976.

16. **Максимова С.В.** Структура и свойства сплавов системы Cu–Mn, легированных железом // Материалы и технологии пайки. Киев, 1991.

17. **Пайка** низкоуглеродистых сталей медно-фосфорным припоем / В.Д. Табелев и др. // Автоматическая сварка. 1986. № 2.

18. **Шеин Ю.Ф.** Выбор припоев для узлов в криогенной технике из стали 12Х18Н10Т. Повышение эффективности производства паяных конструкций. М., 1983.

19. **Пайка** с принудительным формированием шва при некапиллярных зазорах / И.Е. Петрунин и др. // Сварочное производство. 1983. № 8.

20. **Петрунин И.Е.** Припои для пайки крупногабаритных стальных конструкций. Повышение эффективности производства паяных конструкций. М., 1983.

21. **Стеклов О.И., Лапшин Л.Н.** Коррозионно-механическая стойкость паяных соединений. М., 1981.

22. **Пайка** сталей чугунами / Л.Л. Гржимальский и др. // Сварочное производство. 1986. № 3.

23. **Лашко Н.Ф., Лашко С.В.** Пайка металлов. М., 1988.

24. **Особенности** высокотемпературной пайки чугуна при широком паяльном зазоре с наполнителем / В.Н. Россошинский и др. // Автоматическая сварка. 1997. № 12.

УДК 62-251:534

Р.М. Гоцеридзе, канд. техн. наук (МГТУ им. Н.Э. Баумана)
E-mail: Ruslan.Gotseridze@gmail.com

Определение остаточных силы тяжести или плавучести и момента дифферента поплавокочувствительных элементов гиросприборов

Рассмотрены установки для определения параметров неуравновешенности поплавокочувствительных элементов гиросприборов.

Considered the installation to determine the parameters unbalance of float sensitive elements gyroinstruments.

Ключевые слова: поплавок, неуравновешенность, балансировка, датчик, измерение, сложение, вычитание.

Keywords: float, misbalance, balancing, sensor, measuring, addition, subtraction.

Параметры неуравновешенности поплавокочувствительных элементов. Точность работы поплавокочувствительных гироскопических приборов определяется остаточным дисбалансом их поплавокочувствительных элементов (ПЧЭ).

На находящийся в жидкости ПЧЭ действуют две силы (рис. 1): сила тяжести G и архимедова сила P .

Параметрами неуравновешенности ПЧЭ являются:

- суммарный момент неуравновешенности вокруг оси Z подвеса поплавка:

$$M_{\text{ст}} = Gy_G + Py_P, \quad (1)$$

где y_G и y_P — координаты центров масс O_G и объема O_P вдоль оси Y ;

- остаточная сила тяжести ΔG или остаточная архимедова сила P , действующие вдоль вертикальной оси X :

$$\begin{aligned} \text{Если } G > P, \text{ то } \Delta G &= G - P; \\ \text{если } P > G, \text{ то } \Delta P &= P - G; \end{aligned} \quad (2)$$

- момент дифферента вокруг поперечной оси Y поплавка:

$$M_{\text{д}} = Gz_G + Pz_P, \quad (3)$$

где z_G и z_P — координаты центров масс O_G и объема O_P вдоль оси Z .

Значения всех параметров подставляются в формулы (1), (2) и (3) с учетом их знаков.

На рис. 1 $O_{\Delta G}$ — центр масс остаточной силы тяжести или плавучести ПЧЭ. Для балансировки ПЧЭ в жидкости в их конструкциях предусмотрена установка грузов 1, 2, 4, 5 (для устранения $M_{\text{ст}}$) и дифференциальных шайб 3 и 6 (для устранения ΔG и $M_{\text{д}}$): на рис. 1 также обозначены: I—I и II—II — общие оси соответственно грузов 2, 5 и 1, 4; R_1 и R_2 — реакции в опорах ОП1 и ОП2 ПЧЭ. Опоры в ПЧЭ применяются камневые, магнитные, электростатические и др.

Поплавок считается отбалансированным, если значения всех трех параметров его неуравновешенности меньше допустимых значений $TM_{\text{ст}}$, $T(\Delta G)$, $TM_{\text{д}}$ или равны им (где T — допуск).

Состояние вопроса. В 1945 г. в США (Ц.С. Драйпер и др.), а в 1946 г. в СССР (Л.И. Ткачев и др.) начались работы по созданию поплавокочувствительных приборов. В 1951 г. США приступили к серийному выпуску поплавокочувствительных приборов. Вскоре к ним присоединились и многие ведущие предприятия СССР, выпускающие навигационные приборы, и вузы страны.

В технологическом процессе сборки поплавокочувствительных приборов появились операции балансировки ПЧЭ как на воздухе, так и в жидкости. Последней операции и посвящена эта статья. Первые публикации по вопросам балансировки ПЧЭ в жидкости в СССР

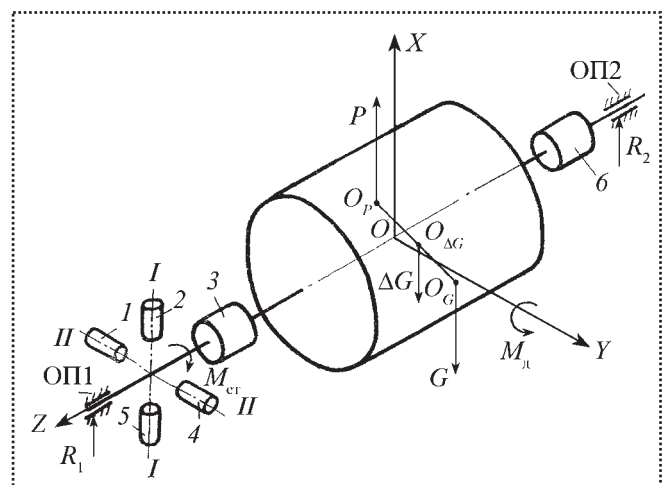


Рис. 1. Схема сил, действующих на ПЧЭ в жидкости



появились в 1958 г. (Г.А. Сломьянский и В.А. Березенцев). Подробнее история вопроса описана в работе [2]. За прошедшие годы было создано много устройств, разработаны немало методов балансировки ПЧЭ в жидкости.

Существенный вклад в развитие науки и практики балансировки в жидкости и статической балансировки вообще внесли организации и предприятия, непосредственно разрабатывающие и изготавливающие приборы поплавкового типа, а также приборы с аэростатическим и магнитным подвесом чувствительных элементов и др. Вместе с ними работали и сотрудники вузов.

Для упрощения операции балансировки ПЧЭ ее обычно производят в жидкости, имеющей при температуре цеха плотность, равную плотности рабочей жидкости при рабочей температуре.

Выталкивающую или подъемную силу жидкости P , действующую на поплавок при некоторой температуре, отличающейся на t °С от нормальной технической (20 °С), определяют по формуле

$$P = V (1 + \beta_{\text{п}} t) \frac{10\rho_{\text{ж}} g}{1 + \beta_{\text{ж}} t}, \quad (4)$$

где V – объем поплавка, м³;

$\beta_{\text{п}}$ и $\beta_{\text{ж}}$ – коэффициенты объемного расширения материала поплавка и жидкости, 1/°С;

$\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости при нормальной температуре, кг/м³;

g – ускорение силы тяжести, м/с²;

Коэффициенты $\beta_{\text{п}}$ и $\beta_{\text{ж}}$ определяют как

$$\beta_{\text{п}} = 3\alpha_{\text{п}}; \quad \beta_{\text{ж}} = 3\alpha_{\text{ж}}, \quad (5)$$

где $\alpha_{\text{п}}$ и $\alpha_{\text{ж}}$ – коэффициенты линейного расширения поплавка и жидкости, 1/°С.

Если

$$1 + \beta_{\text{п}} t = 1 + \beta_{\text{ж}} t, \quad (6)$$

т.е. $\beta_{\text{п}} = \beta_{\text{ж}}$, $\alpha_{\text{п}} = \alpha_{\text{ж}}$, то подъемная сила жидкости не будет зависеть от ее температуры при симметричных температурных деформациях всех элементов поплавка относительно его трех плоскостей симметрии.

Тогда уравнивание ПЧЭ можно вести в любой жидкости при температуре, при которой ее плотность равна плотности рабочей жидкости при рабочей температуре. Однако при уравнивании в жидкости следует учитывать, что величина подъемной силы зависит от плотности жидкости и объема ПЧЭ, которые зависят от температуры. Функциями температуры являются также и координаты центров масс и объема. Поэтому желательно уравнивать поплавок в рабочей жидкости и при рабочей температуре, но это резко затруднит процесс уравнивания.

Все устройства, применяемые для балансировки ПЧЭ в жидкости, являются измерительными установ-

ками, позволяющими определять величины параметров неуравновешенности $M_{\text{ст}}$, $\Delta G(\Delta P)$ и $M_{\text{д}}$.

Для уравнивания поплавок относительно оси его подвеса применяются следующие установки, позволяющие измерить величину и направление $M_{\text{ст}}$:

1) специальные ванны для свободного поплавка в жидкости;

2) установка с технологическими центрами;

3) установки рамочного типа с криволинейными опорами, с упругими ленточными подвесами;

4) установки рычажного типа;

5) центрифуга;

6) установка с технологическим корпусом.

Для определения ΔG и $M_{\text{д}}$ применяют:

1) специальные ванны;

2) установки рамочного типа с криволинейными опорами;

3) установки с ньютометрами (механическими, электромеханическими, тензометрическими);

4) установки рычажного типа.

Установка для определения остаточной силы тяжести или плавучести и момента дифферента ПЧЭ. Для упрощения процесса балансировки и повышения ее производительности, а также для облегчения работы оператора было разработано устройство для балансировки ПЧЭ, содержащее:

- основание;
- балансировочную рамку для установки ПЧЭ;
- источник опорного напряжения;
- блок измерения;
- два центрирующих элемента (ЦЭ) электромагнитного подвеса (ЭМП), установленных по обе стороны рамки и выполненных каждый в виде четырехполюсного статора с внутренним расположением полюсов, закрепленного в одной из стоек, установленных на основании, так, что два полюса направлены горизонтально, а два других – вертикально;

- якорь, закрепленный на оси рамки;
- четыре конденсатора;
- четыре обмотки возбуждения, установленные на полюсах статора ЦЭ ЭМП, соединенных одним выводом непосредственно с источником опорного напряжения, а другим – через конденсатор.

Блок измерения включает:

- два канала, каждый из которых содержит схему вычитания и два амплитудных детектора, входы которых подключены к соответствующей точке соединения конденсаторов и обмоток возбуждения, установленных на вертикально расположенных полюсах статора соответствующего ЦЭ ЭМП, а выходы связаны со входами схемы вычитания;

- два регистрирующих прибора, подключенных к каналам выходами сумматора и третья схема вычитания, входы которых соединены параллельно и под-



ключены, соответственно, к выходам первой и второй схем вычитания.

Такое выполнение устройства позволяет измерять дифферент и плавучесть балансируемых ПЧЭ, не проводя дополнительных вычислений, и, следовательно, способствует сокращению времени и упрощению процесса балансировки.

На рис. 2 представлена структурная блок-схема устройства [1]. Схема представлена упрощенно с тем, чтобы более подробно представить электрическую часть устройства. Поэтому на схеме не показаны основание устройства и две стойки, которые на нем закреплены (см. работу [2], в отверстия этих стоек установлены статоры 15 и 3 ЦЭ ЭМП 11 и 26).

Итак, устройство содержит: основание и две стойки (на рис. 2 все они не показаны); источник 1 опорного переменного напряжения; балансировочную рамку 2 для установки ПЧЭ 3; блок 19 измерения и два ЦЭ ЭМП 11 и 26, установленных по обе стороны рамки 2 и выполненные каждый в виде четырехполюсного статора (15 у ЦЭ ЭМП 11 или 34 у ЦЭ ЭМП 26) с внутренним расположением полюсов (4, 9, 12, 18 у статора 15 или 20, 24, 27, 32 у статора 34), установленного в отверстии одной из стоек устройства так, что два полюса (4 и 12 или 20 и 27) расположены горизонтально, а два других (9 и 18 или 24 и 32) – вертикально; якоря 7 и 30, закрепленные на оси рамки 2; по четыре конденсатора (4, 9, 12, 18 и 20, 24, 27, 32) на статорах 15 и 34, соединенных общим выводом непосредственно с источником 1 опорного напряжения, а другим – со вторым выводом источника через соответствующий конденсатор (6, 8, 14, 16 или 22, 24, 29, 31). Блок измерения 19 выполнен в виде двух каналов 35 и 36, каждый из которых содержит схему (39 или 42) вычитания и два амплитудных детектора (37 и 38 или 40 и 41), входы которых подключены к соответствующей точке соединения конденсаторов (8 и 16 или 23 и 31) и обмоток (10 и 17 или 25 и 33) возбуждения, установленных на вертикально расположенных полюсах (15 и 17 или 24 и 32) статора (15 или 34) соответствующего ЦЭ ЭМП (11 или 26), а выходы связаны со входами схемы вычитания (39 или 42), двух регистрирующих приборов 44 и 43 и подключенных к ним выходами сумматора 46 и третьей схемы 43 вычитания, входы которых соединены параллельно и подключены соответственно к выходам первой и второй схем 39 и 42 вычитания.

Устройство работает следующим образом.

Для измерения дифферентов и плавучести балансируемого ПЧЭ 3 его закрепляют в предварительно отбалансированной рамке 2, на которой заранее закреплены якоря 7 и 30 ЦЭ ЭМП 11 и 26. Рамку 2 вводят в межполюсное пространство статоров 15 и 34 и погружают в ванну с балансировочной жидкостью (не показано). В случае идеально сбалансированного ПЧЭ 3, якоря 7 и 30 займут центральное положение

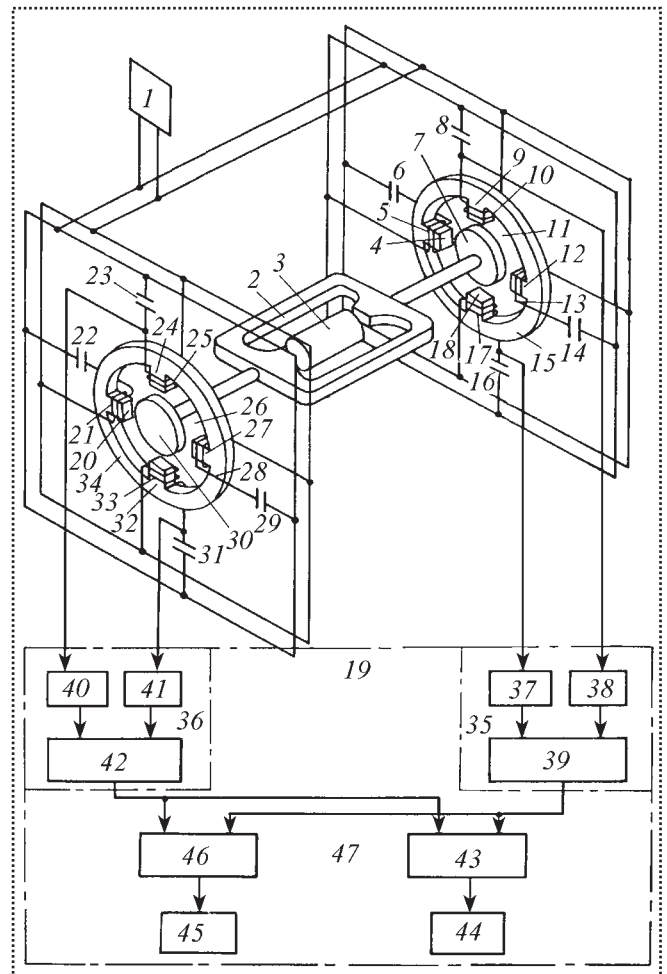


Рис. 2. Структурная схема устройства для балансировки ПЧЭ

между полюсами 4, 9, 12, 18 и 20, 24, 27, 32 статоров 15 и 34.

При наличии неуравновешенности ПЧЭ 3 якоря 7 и 30 смещаются в вертикальном направлении, что приводит к изменению индуктивностей вертикально расположенных обмоток 29, 31, 33 и 35 и возникновению центрирующих сил F_1 и F_2 в каждом ЦЭ ЭМП 11 и 26. При этом балансировочная рамка 2 с ПЧЭ 3 и якорями 7 и 30 будет находиться в состоянии равновесия, которое характеризуется уравнениями:

$$\Delta G(\Delta P) = \pm(F_1 + F_2); \quad (7)$$

$$M_d = \pm l(F_1 - F_2), \quad (8)$$

где $\Delta G(\Delta P)$ – остаточная сила тяжести (или архимедова сила), Н, действующая на ПЧЭ 3;

F_1, F_2 – радиальные центрирующие силы в ЦЭ ЭМП 11 и 26, Н;

M_d – момент дифферента, Н·м;

l – расстояние от точки приложения центрирующих усилий до центра объема балансируемого гирузла 3 (зависит от конструкции).



Знак плюс в уравнениях (7) и (8) соответствует плавучести и левому дифференту, минус – остаточной силе тяжести и правому дифференту.

Изменение индуктивностей обмоток 10, 17, 25 и 33, вызванное смещением якорей 7 и 30 из центрального положения, приводит к изменению напряжений U каждой из этих обмоток, которые линейно связаны с величиной смещения якоря 7 или 30 и могут быть представлены в общем виде уравнением

$$U = U_0 \pm b\delta, \quad (9)$$

где U_0 – напряжение на обмотке при центральном положении якоря 7 или 30, В;

b – конструктивный коэффициент, В/м;

δ – величина смещения якоря, м.

В общем случае, когда балансируемый ПЧЭ 3 имеет остаточную силу тяжести и архимедову силу, состояние равновесия характеризуется смещением правого якоря 7 на расстояние δ_1 от центрального положения, а левого 30 – на расстояние δ_2 . При этом напряжения $U_{1в}$, $U_{2в}$ на верхних обмотках 10 и 25 соответственно ЦЭ ЭМП 11 и 26 и напряжения $U_{1н}$ и $U_{2н}$ на их нижних 17 и 33 обмотках будут определяться уравнениями

$$U_{1в} = U_0 \pm b\delta_1; \quad (10)$$

$$U_{2в} = U_0 \pm b\delta_2; \quad (11)$$

$$U_{1н} = U_0 \mp b\delta_1; \quad (12)$$

$$U_{2н} = U_0 \mp b\delta_2. \quad (13)$$

Знак плюс или минус в уравнениях (10)–(13) зависит от направления смещения якоря 7 или 30 (вверх или вниз). Эти напряжения подаются на входы амплитудных детекторов 37, 38 и 40, 41 и преобразуются в постоянные, которые поступают на входы схем вычитания 38 и 39, реализующих уравнения:

$$\Delta U_1 = U_{1в} - U_{1н} = \pm 2b\delta_1; \quad (14)$$

$$\Delta U_2 = U_{2в} - U_{2н} = \pm 2b\delta_2. \quad (15)$$

Таким образом, если якоря 7 и 30 находятся в центральном положении, то $U_{1в} = U_{1н}$, $U_{2в} = U_{2н}$ и, следовательно, $\Delta U_1 = \Delta U_2 = 0$. Знак напряжений ΔU_1 и ΔU_2 зависит от направления смещения якорей 7 и 30.

Третья схема вычитания 43 и сумматор 46 реализуют уравнения:

$$U_{\Sigma} = \Delta U_1 + \Delta U_2 = \pm 2b(\delta_1 + \delta_2); \quad (16)$$

$$U^* = \Delta U_1 - \Delta U_2 = \pm 2b(\delta_1 - \delta_2). \quad (17)$$

Центрирующие силы в пределах зоны функционирования ЦЭ ЭМП 11 и 26 линейно связаны с величиной δ смещений якорей 7 и 30:

$$F_1 = k\delta_1 \text{ и } F_2 = k\delta_2, \quad (18)$$

где k – конструктивный коэффициент, Н/м. Выражая из (18) δ_1 и δ_2 и подставляя их в уравнения (16) и (17), получим:

$$U_{\Sigma} = \pm \frac{2b}{k}(F_1 + F_2) \text{ и } U^* = \pm \frac{2b}{k}(F_1 - F_2). \quad (19)$$

Сравнивая последние соотношения с уравнениями (7) и (8), приходим к выводу, что сигналы U_{Σ} и U^* пропорциональны измеряемым параметрам неуравновешенности ПЧЭ, а именно:

$$U_{\Sigma} = \pm \frac{2b}{k}\Delta G \text{ и } U^* = \pm \frac{2b}{k}M_d. \quad (20)$$

Напряжения U_{Σ} и U^* подаются на регистрирующие приборы 44 и 45 (например, вольтметры), шкалы которых проградуированы в единицах соответственно силы [Н] и момента [Н·м].

Вывод

Новое построение блока измерения в устройстве для балансировки ПЧЭ обеспечивает возможность измерения величины и знака параметров неуравновешенности балансируемого ПЧЭ. Это позволяет упростить операцию балансировки, и обеспечивает сокращение времени операций при определении $\Delta G(\Delta P)$ и M_d .

Библиографический список

1. А.С. СССР № 957026, М. кл.³ G01 M1/12, 1982.
2. Гоцеридзе Р.М. 77-30569/338644 Универсальная установка для определения параметров неуравновешенности поплавковых чувствительных элементов гироприборов // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. 2012. Вып. 02. URL <http://tehnomag.edu.ru/doc/338644.html>.

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

Учредитель ООО "Издательство **Машиностроение**".

Адрес электронной почты издательства: mashpubl@mashin.ru;

редакции журнала: sborka@mashin.ru, <http://www.mashin.ru>

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

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

Сдано в набор 16.07.12 г. Подписано в печать 28.08.12 г. Формат 60×88 1/8.

Усл. печ. л. 5,88. Уч.-изд. л. 5,99. Свободная цена.

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

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