

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

11 2013
(160)

СОДЕРЖАНИЕ

Экономика и организация сборочного производства

Полякова М.В., Рабинович Л.А., Плешаков А.А., Горелова А.Ю.,
Кристалль М.Г. Минимизация экономических потерь при использовании
пригонки для прецизионной сборки партий деталей 3

Современные технологии сборки

Демин А.А., Титов И.А. Сборка прессовых соединений с применением
промежуточных деформируемых втулок 6

Технологическая оснастка для сборки

Ланщиков А.В., Колганов Е.А. Исследование затяжки резьбовых соединений
пневматическим поршневым гайковертом 13

Сборочно-сварочные работы. Пайка

Карабанов В.В., Бохоров И.О. Пайка титана и его сплавов 15

Обеспечение качества. Испытания. Контроль

Челпанов И.Б., Кочетков А.В. Механические испытания микромеханических
приборов и средств измерения 29

В помощь конструктору, технологу

Емельяненко А.А., Бабкин С.Г. Об опыте использования пластиков
в качестве материалов корпусов гидроакустических приборов 36

Информация

Иванов А.Н. Сварка, резка, наплавка – 2013 41

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

Редакционный совет

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

Региональные редсоветы

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

Ответственные за подготовку

и выпуск номера:
Ю.А. ЧИЧОВ, И.М. ГЛИКМАН

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

Журнал распространяется по подписке, которую можно оформить в любом почтовом отделении (индексы по каталогу "Роспечать" – 79748, Объединенному каталогу "Пресса России" – 84967, каталогу "Почта России" – 60257) или непосредственно в издательстве
Тел.: (499) 268-38-42; тел./факс: 268-85-26. Факс: (499) 269-48-97.
E-mail: sborka@mashin.ru
Перепечатка, все виды копирования и воспроизведения материалов, публикуемых в журнале "Сборка в машиностроении, приборостроении", допускаются только с разрешения редакции и со ссылкой на источник информации.

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

11 2013
(160)

CONTENTS

Economy and the organization of assembly

Polyakova M.V., Rabinowitz L.A., Pleshakov A.A., Gorelova A.Yu., Kristal M.G.
Minimization of economic losses for precision assembly of kits of parts 3

Modern technologies in assembly

Demin A.A., Titov I.A. Assembling press-fit connection with the use of
intermediate sleeves deformable 6

Technological equipment for assembly

Lanschikov A.V., Kolganov E.A. The study tightening of threaded connections
by the pneumatic piston nut runner 13

Assembly welding works. Soldering

Karabanov V.V., Bohorov I.O. Soldering of the titan and his alloys 15

Quality assurance. Testing. Monitoring

Chelpanov I.B., Kochetkov A.V. Mechanical tests of micromechanical devices
and gages 29

Industrial and design engineer's aid

Emelyanenko A.A., Babkin S.G. The experience of using plastics as materials
of hydroacoustic devices hulls 36

Information

Ivanov A.N. Welding, cutting, surfacing – 2013 41

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

IZHEVSK

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. SHALOBAEV

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

ISRAEL

V.M. BEDRIN

POLAND

P.LEBKOVSKI

E. LUNARSKI

Executive editors of current issue:

Yu.A. CHICHOV, I.M. GLIKMAN

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

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.

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СБОРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 621.757:519.827.7

М.В. Полякова, магистр, Л.А. Рабинович, канд. техн. наук,
А.А. Плешаков, А.Ю. Горелова, магистры, М.Г. Кристаль, д-р техн. наук
(Волгоградский государственный технический университет)
E-mail: crysmar@mail.ru

Минимизация экономических потерь при использовании пригонки для прецизионной сборки партий деталей

В прецизионных соединениях взаимодополняемость деталей по экономическим соображениям в большинстве случаев является неполной, что приводит к существенному усложнению технологии сборочного процесса и сопровождается возникновением незавершенного производства или снижением производительности. Специальными технологическими приемами объемами этих потерь можно управлять, что, в свою очередь, связано с дополнительными усложнениями сборочных технологий и затратами на их реализацию. Таким образом, появляется задача оптимизации технологии сборки прецизионных соединений, минимизирующая потери от незавершенного производства и снижения производительности. Приведено решение указанной задачи оптимизации.

In precision connections complementarity of details for economic reasons in most cases is incomplete that leads to essential complication of technology of assembly process and is accompanied by origin of a work in progress or decline in production. Special processing methods can be controlled volumes of these losses that, in turn, it is connected to additional complications of assembly technologies and costs of their implementation. Thus, there is a task of optimization of assembly technique of the precision connections, minimizing losses from a work in progress and decline in production. The solution of the specified task of optimization is provided.

Ключевые слова: прецизионное соединение, размерное комплектование, незавершенное производство, задача оптимизации.

Keywords: precision connection, sized completing, work in progress, optimization task.

В технологии автоматизации серийного производства прецизионных узлов часто используют се-

лективную сборку как универсальный метод обеспечения заданной точности. Необходимой точности посадки достигают сортировкой деталей на группы внутри производственного допуска и комплектованием деталей соответствующих групп. Такой метод сложен для автоматизации и обладает рядом недостатков. Основным из них является незавершенное производство, возникающее в результате различий в технологии изготовления поверхностей сопряжения. Рассмотрим этот вопрос на примере гладких цилиндрических соединений.

Изготовление деталей в этом случае выполняют по приблизительно одинаковым технологическим маршрутам, содержащим операции предварительной механической, термической и окончательной размерной и финишной обработки. Возникающее здесь рассогласование точности сопрягаемых поверхностей объясняется особенностями обработки охватывающих и охватываемых поверхностей, особенно для малых диаметров и отверстий большой глубины.

Последствия сборки прецизионных пар из деталей, изготовленных с неодинаковой точностью, приводят к появлению большой доли деталей, не принимающих участия в сборке. Попытки уменьшить долю таких деталей только за счет специальной организации контрольно-сортировочных операций связаны с увеличением доли внутригруппового брака в изделиях и не приводят к существенному положительному результату.

Поиск решения такой технологической задачи в производстве гладких цилиндрических соединений с регламентированным зазором привел к применению операций по совместной притирке деталей в предварительно скомплектованных парах. Однако опера-



ции совместной притирки в 3–4 раза снижают долговечность прецизионных пар при эксплуатации.

В связи с этим на ряде производств практикуют специальное изготовление более точных деталей небольшими партиями в зависимости от результатов сортировки менее точно изготавливаемых деталей с пригонкой размеров за счет периодической перенастройки оборудования, на котором производится окончательная размерная обработка более точных деталей. Так, например, изготавливают зубки для буровых коронок.

В связи с этим, при каждой настройке полностью удовлетворить потребность в валах можно лишь для одной, максимум – двух (осуществляя при этом специальный расчет уровней настройки станков) смежных размерных групп отверстий. Остальные, охватываемые пределами рассеивания валов, размерные группы отверстий укомплектовываются лишь частично. Это частичное комплектование по всем размерным группам легко учитывается, если рассеяние размеров валов ограничивать двумя селективными группами, а при рассеянии в пределах трех и более селективных групп частичное комплектование учесть сложно.

Таким образом, в одну размерную группу отверстий попадают валы (зубки), обработанные на нескольких настройках пригоночного оборудования из соседних с сопрягаемым отверстием селективных групп. Относительно основной настройки, определяемой номером группы отверстий, валы, "переходящие" в последующие группы, могут быть учтены после сортировки на селективные группы партии, изготовленных при одной настройке. Тогда число коронок с отверстиями в соответствующих группах может быть уменьшено и для них изготовлено меньшее число зубков. Валы, "возвращающиеся" в предыдущие группы относительно основной группы, учесть на этапе их изготовления и сортировки уже нельзя: для них уже нет соответствующих отверстий, так как все они оказались ранее собранными в узлы. Такие валы и образуют незавершенное производство.

Поэтому в подавляющем большинстве случаев возникают трудности и при определении числа валов, которые должны быть обработаны на различных уровнях размерной пригонки на этапе финишной размерной обработки.

Таким образом, результаты сортировки партии менее точно изготавливаемых деталей не могут быть использованы в качестве программы для не-

посредственного изготовления более точных деталей сопряжения, а могут лишь явиться исходными данными для расчета количественных программ и уровней размерной настройки оборудования для организованной пригонки.

На производстве подобные расчеты не производят, и частичное комплектование в связи с этим учитывают не полностью, что и приводит к появлению незавершенного производства. Его объем, как правило, меньше, чем при организации комплектования прецизионных пар из деталей, поступающих на сборку с примерно одинаковой точностью. Тем не менее, и в этом случае объем незавершенного производства также весьма значительный и достигает 10...15 % от общего числа изготавливаемых комплектов деталей.

В статье [1] была рассмотрена возможность снижения объема незавершенного производства при сборке прецизионных цилиндрических соединений типа "вал–штука". При этом установлено, что объем незавершенного производства может быть сведен к минимуму. Этого достигают специальной организацией сборочного процесса, основанной на выполнении нескольких перенастроек оборудования, выполняющего окончательную размерную обработку охватываемых деталей (например, зубков буровых коронок).

Однако необходимость периодической перенастройки уменьшает производительность при изготовлении валов и связана с дополнительными затратами на усовершенствование технологического оборудования, но с другой стороны, повышает собираемость прецизионных изделий в партиях поступающих на сборку деталей, т.е. улучшает экономические показатели сборочного производства. В данном случае существует возможность достижения определенного компромисса между повышением производительности и снижением объема недоукомплектованных изделий, что в конечном счете сказывается на размерах затрат сборки прецизионной пары, а технологические условия выполнения пригоночных операций для такой сборки должны быть оптимизированы по параметру стоимости.

Такой компромисс между данными экономическими показателями может быть установлен решением задачи линейного программирования, представленной целевой функцией

$$\begin{cases} L = C_1 k_j + C_2 Q_j, \\ L \rightarrow \min \end{cases}, \quad (1)$$



при ограничениях:

$$j \leq k; Q_j \leq 1,$$

где C_1 и C_2 – относительные ценовые коэффициенты стоимости одной перенастройки и одной единицы незавершенной продукции соответственно;

k – число настроечных размеров;

Q_j – вероятность образования некоплектных пар;

j – число перенастроек оборудования.

Решение функции (1) методом перебора всех вариантов покажет, при каком числе перенастроек и объеме незавершенного производства экономические затраты на изготовление конкретного прецизионного изделия минимальны.

Назовем данное расчетное число перенастроек *оптимальным*, а соответствующий ему объем незавершенного производства – *допустимым*.

Тогда в процедуре расчета числа перенастроек, описанной в статье [1], следует, заменив цель уменьшения объема незавершенного производства с минимального на допустимый, оптимизирующий затраты на усложнение оборудования и технологию размерной обработки партий валов, получить количественную программу изготовления валов, обеспечивающую оптимальную, по итоговой стоимости, собираемость.

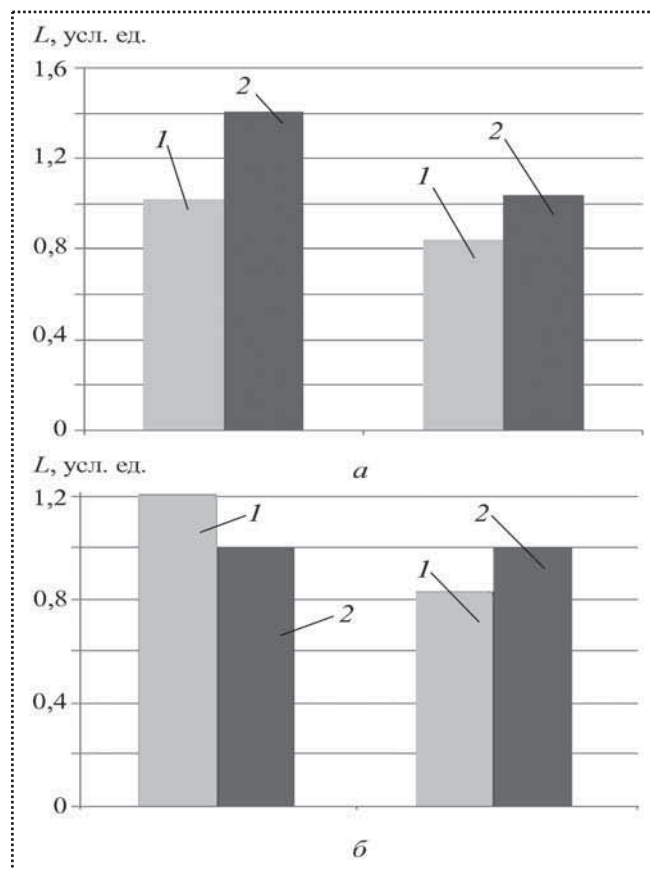
Применение описанной методики и возможности программного расчета покажем на примере оптимизации изготовления валов для случая, рассмотренного в статье [1] (валы изготавливаются на один и два качества точнее отверстий, распределение отклонений диаметров отверстий подчиняется нормальному либо произвольному закону).

Произвольное распределение размеров отверстий имеет вид

Номер группы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Доля деталей в группе	0,010	0,054	0,106	0,229	0,187	0,164	0,125	0,079	0,027	0,019

При оптимизации числа перенастроек оборудования для рассматриваемой ранее организованной пригонки партий валов очевидно, что результаты расчета значений и будут определяться соотношениями ценовых коэффициентов C_1 и C_2 . Для принятых в настоящей работе значений $C_1 = 0,2$ и $C_2 = 1,0$ получены следующие расчетные параметры:

для изготовления валов на один качество точнее отверстия $k_{\text{опт}} = 4$, $Q_{\text{доп}} = 4$ %; на два качества – $k_{\text{опт}} = 5$, $Q_{\text{доп}} = 3,6$ %;



Стоимость L сборочной единицы при нормальном (а) и выборочном (б) распределении отверстий, а также минимальной (1) и оптимальной (2) стоимости сборки одной прецизионной пары деталей

для выборочного распределения отверстий при изготовлении валов на один качество точнее отверстия $k_{\text{опт}} = 4$, $Q_{\text{доп}} = 3,5$ %; на два качества – $k_{\text{опт}} = 5$, $Q_{\text{доп}} = 1,1$ %.

Последнее не является конечной практической рекомендацией, но показывает возможность описанной ранее методики таковые рассчитать при известных значениях ценовых коэффициентов. Итоговая стоимость прецизионной сборки, в условных единицах, показана на рисунке.

Таким образом, с экономической точки зрения небольшая допускаемая доля незавершенного производства снизит затраты на организацию сборочного процесса, позволяя, тем самым, получить минимальную итоговую стоимость прецизионной сборки.

Библиографический список

1. Технологические особенности пригонки деталей для прецизионной сборки / М.В. Полякова и др. // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2013. № 9. С. 39–44.

УДК 621.8

А.А. Демин, И.А. Титов, канд. техн. наук (Бийский технологический институт (филиал) Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова)
E-mail: presskov@mail.ru

Сборка прессовых соединений с применением промежуточных деформируемых втулок

Приведены конструктивные схемы прессовых соединений, получаемых пластическим деформированием промежуточных втулок, определены основные области применения предложенного способа сборки, представлены зависимости, показывающие влияние конструктивных и технологических факторов на несущую способность получаемых соединений; предложен алгоритм назначения технологических параметров сборки, обеспечивающих требуемое качество и несущую способность соединений.

The design schemes are pressing compounds produced by plastic deformation of distance bushes, identifies the main areas of application of the proposed method of assembly, the dependences showing the effects of structural and technological factors on the bearing capacity of compound prepared algorithm destination assembly process parameters that provide the quality required and the carrying capacity compounds.

Ключевые слова: сборка, соединение с натягом, допуск, несущая способность, пластическая деформация.

Keywords: assembly, press-fit connection, tolerance, load-bearing capacity, plastic deformation.

Одним из наиболее распространенных видов неподвижных соединений в машиностроении является соединение с натягом. Необходимое качество, которое принято характеризовать стабильностью несущей способности получаемых соединений, технологически обеспечивается высокой точностью изготовления сопрягаемых деталей, соответствующей 5–7-му квалитетам. При этом прочность (несущая способность) соединений может изменяться в несколько раз, даже в пределах заданных допусков на изготовление собираемых деталей.

Поэтому, особенно в условиях мелкосерийного производства, эффективно применение видов со-

единений с натягом, отличительным признаком которых является использование при сборке пластической деформации одной из сопрягаемых деталей или дополнительной деформируемой промежуточной детали [1], которая обеспечивает повышенную несущую способность, снижая при этом требования к точности изготовления и качеству поверхностей деталей перед сборкой.

Процесс сборки соединений заключается в следующем (рис. 1). Втулку 2 устанавливают во время сборки с гарантированным зазором между охватываемой 1 и охватывающей деталью 3. Затем втулку деформируют методом осадки, в результате чего материал втулки заполняет зазоры, образуя при этом прочное соединение.

Для обеспечения равномерного распределения контактных напряжений по высоте прессового соединения втулку перед сборкой подвергают локальной термической обработке, обеспечивая увеличение предела текучести материала втулки от ее нижнего края к верхнему, если отверстие в корпусной детали глухое (рис. 1, а) или от середины к обо-

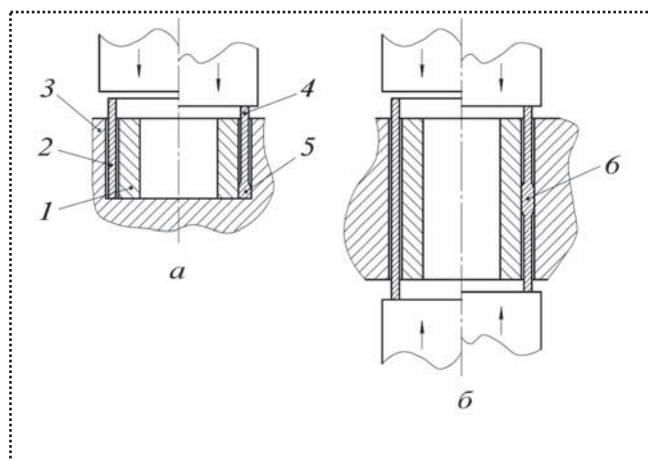


Рис. 1. Сборка прессового соединения с промежуточной втулкой



им краям, если отверстие в корпусной детали сквозное (рис. 1, б).

При осадке деформируемой втулки 2 в корпусную деталь 3 (рис. 1, а), имеющую глухое отверстие, в первую очередь начинает деформироваться нижний участок 5 втулки, имеющий наименьший предел текучести, а верхний участок 4 при этом без защемления перемещается вдоль оси втулки вниз. Затем деформация распространяется на выше расположенные участки втулки и материал втулки последовательно, снизу вверх, заполняет зазор между охватываемой втулкой и охватывающей корпусной деталью, создавая при этом надежное соединение.

За счет значительной пластической деформации втулка с одними и теми же исходными размерами может быть использована для большого диапазона зазоров, который возникает при изготовлении деталей с низкой точностью (т.е. с допусками более десятиго квалитета точности).

Перед запрессовкой в сквозное отверстие металлическая деформируемая втулка подвергается локальной термообработке ее средней части. При этом обеспечивается увеличение предела текучести материала втулки от ее средней части к обоим краям. При запрессовке (рис. 1, б) деформируемой втулки 2 в корпусную деталь, имеющую сквозное отверстие, в первую очередь начинает деформироваться средний участок 6 втулки, имеющий наименьший предел текучести, а краевые участки при этом без защемления перемещаются вдоль оси втулки к ее средней части. Затем деформация распространяется на краевые участки втулки, и материал втулки последовательно заполняет зазор между охватываемой втулкой и корпусной деталью, создавая при этом надежное соединение.

Условия сборки соединений с использованием промежуточной деформируемой втулки зависят от множества вариантов конструктивного исполнения элементов соединения. Классификация видов получаемых прессовых соединений и основные области применения различных вариантов соединений представлены на рис. 2 и в таблице.

Для оценки влияния различных факторов на несущую способность соединения были проведены численные и экспериментальные исследования [2], а на основе метода тонких сечений разработана ма-



Рис. 2. Классификация соединений с применением промежуточной втулки

тематическая модель трехэлементного прессового соединения [3].

Наиболее существенное влияние на несущую способность оказывают характер распределения механических свойств по высоте деформируемой втулки, точность изготовления деталей (монтажный зазор), усилие осадки втулки и относительная высота соединений.

Исследования влияния точности изготовления деталей для прессового соединения с применением промежуточной втулки показали, что с увеличением допуска на изготовление деталей происходит снижение их несущей способности (рис. 3) приблизительно в 2 раза в пределах зазора, обусловленного 14-м квалитетом точности изготовления деталей. Для обычных прессовых соединений значение несущей способности изменяется в 7 раз в пределах точности изготовления деталей, соответствующей посадке H7/p6, для диаметра сопрягаемых поверхностей, равного 10 мм.

Несущая способность прессового соединения с промежуточной втулкой зависит также от соотношения высоты и диаметра втулки. Рост несущей способности соединения значительно замедляется с увеличением ее относительной высоты. Приме-



Область применения, с учетом конструктивного исполнения, соединений промежуточной втулкой

Схема (конструктивное исполнение)	Наименование по классификации	Область применения, достоинства и недостатки
	Сборка одного соединения: глухое одностороннее типа втулка–корпус	Применяют при монтаже подшипников скольжения/качения в корпусную деталь. Позволяет обеспечить строго нормированное значение контактных напряжений на сопрягаемых поверхностях и не допустить разрушения относительно тонкостенной охватываемой детали (т.е. внутреннего кольца подшипника)
	Сборка одного соединения: глухое одностороннее соединение типа вал–корпус	Применяют для консольной заделки вала в корпусную деталь
	Сборка одного соединения: глухое одностороннее соединение типа вал–втулка	Применяют для консольной заделки вала в корпусную деталь, имеющую малую относительную толщину стенки
	Сборка одного соединения: глухое одностороннее соединение типа втулка–втулка	Соединения наименее прочные, поскольку контактные напряжения на сопрягаемых поверхностях строго ограничены ввиду малой относительной толщины соединяемых деталей
	Сборка одного соединения: сквозное одностороннее соединение типа втулка–корпус	Применяют при монтаже подшипников скольжения в корпусную деталь, направляющих втулок штампа в его нижнюю или верхнюю плиты

Продолжение табл.

Схема (конструктивное исполнение)	Наименование по классификации	Область применения, достоинства и недостатки
	Сборка одного соединения: сквозное одностороннее соединение типа вал–корпус	Применяют при монтаже направляющих колонок в верхнюю или нижнюю плиту штампа, а также для консольного закрепления вала в корпусную деталь
	Сборка одного соединения: сквозное одностороннее соединение типа вал–втулка	Применяют для монтажа подшипников качения зубчатых колес и других подобных деталей на вал. Позволяет обеспечить строго нормированное значение контактных напряжений на сопрягаемых поверхностях и не допустить разрушения относительно тонкостенной охватывающей детали
	Сборка одного соединения: сквозное одностороннее соединение типа втулка–втулка	Соединения наименее прочные, поскольку контактные напряжения на сопрягаемых поверхностях строго ограничены ввиду малой относительной толщины соединяемых деталей. Такие соединения применяют при монтаже подшипников качения/скольжения и бандажирования матриц штамповой оснастки
	Сборка одного соединения: сквозные двухсторонние соединения	Предназначены для длинномерных соединений, имеющих относительную высоту более 2,8. Чаще всего применяют для получения герметичного соединения при заделке элемента типа "трубопровод" в корпусную деталь

Схема (конструктивное исполнение)	Наименование по классификации	Область применения, достоинства и недостатки
	Одновременная сборка нескольких соединений	Позволяет произвести одновременную сборку нескольких соединений за один рабочий ход сборочного инструмента. Полученные соединения обладают при этом высокой точностью относительного базирования

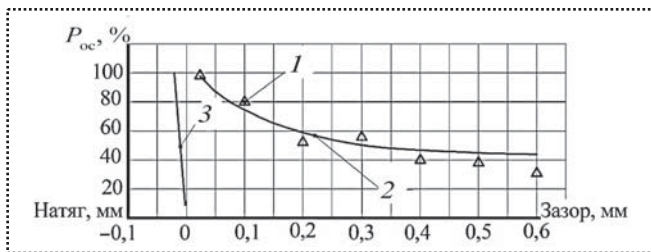


Рис. 3. Зависимость несущей способности соединения P_{oc} от допуска на ее изготовление (монтажного зазора/натяга):

1 – экспериментальные значения (соединение с деформируемой втулкой); 2 – результаты, полученные численным моделированием (соединение с деформируемой втулкой); 3 – обычное прессовое соединение диаметром 10 мм

нение втулки с градиентным распределением механических свойств при сборке позволяет получить увеличение несущей способности (рис. 4, а) соеди-

нения при значениях относительной высоты соединения даже более 2.

Однако трехэлементные прессовые соединения имеют более чем четырехкратное превышение сборочного усилия над значением несущей способности соединения в осевом направлении (рис. 4, б), поскольку при сборке такого соединения требуется приложение усилия, которое должно обеспечить сжатие пластическое деформирование и затекание материала втулки в зазор между соединяемыми деталями. Причем дальнейшее увеличение сборочного усилия не приводит к существенному росту несущей способности соединения, поскольку усилие от сборочного инструмента перераспределяется с основной части втулки, расположенной между охватываемой и охватывающей деталями, на образовавшуюся в результате деформи-

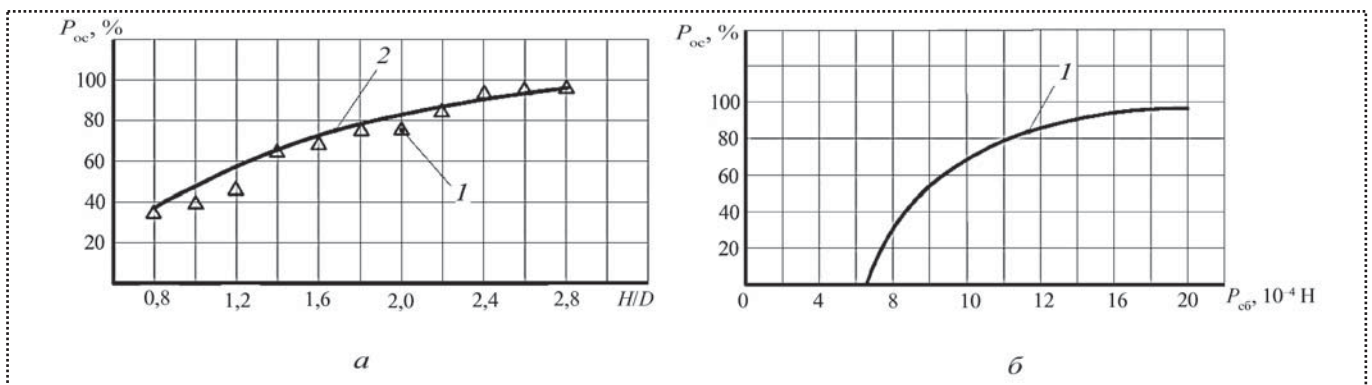


Рис. 4. Зависимость несущей способности P_{oc} соединения:

а – от ее относительной высоты H/P ; б – от усилия сборки $P_{сб}$; 1 – экспериментальные значения; 2 – результаты, полученные численным моделированием (монтажный зазор при сборке соединений 0,02 мм)

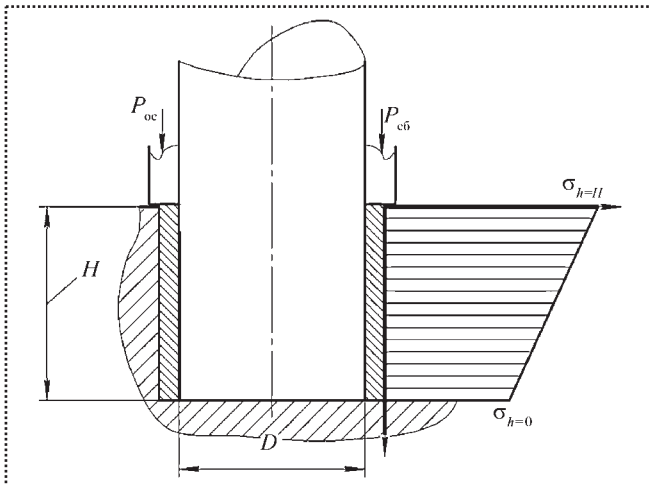


Рис. 5. Распределение механических свойств материала втулки

рования фланцевую часть, которая расположена между рабочим инструментом и торцевой поверхностью охватываемой детали.

Одним из наиболее существенных технологических параметров, влияющих на несущую способность соединения, является распределение механических свойств по высоте втулки. Предложено [3] распределение механических свойств по высоте втулки (рис. 5) считать близким к линейному и характеризовать величиной градиента k :

$$k = \frac{\sigma_{h=H} - \sigma_{h=0}}{H},$$

где $\sigma_{h=H}$ – минимальный предел текучести в нижней части втулки, МПа;

$\sigma_{h=0}$ – максимальный предел текучести в верхней части втулки, МПа;

H – высота соединения, мм;

h – текущая высота втулки ($0 < h < H$), мм.

Зависимость несущей способности соединений от градиента механических свойств промежуточной втулки, полученных в результате различных режимов ее локальной термообработки токами высокой частоты, представлена на рис. 6.

Для назначения технологических параметров и условий сборки в зависимости от конструктивных особенностей соединения предлагается следующий алгоритм (рис. 7). Исходными данными являются механические характеристики материалов собираемых деталей, диаметр и высота прессового

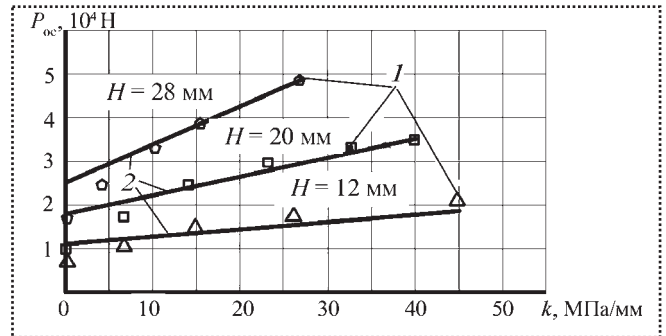


Рис. 6. Зависимость несущей способности P_{oc} соединения от градиента механических свойств k для втулок различной высоты H и диаметром 10 мм:

1 – экспериментальные значения; 2 – расчетные значения по зависимости, разработанной на основе метода тонких сечений [3]

соединения, а также требуемые значения несущей способности соединения в осевом и окружном направлениях.

Выбирают толщину стенки втулки в пределах 9...12 % от диаметра охватываемой детали. Данная рекомендация справедлива для относительной высоты соединения от 0,8 до 2,8.

Исходя из требуемого значения несущей способности определяют напряжение текучести материала промежуточной втулки, по которому выбирают марку сплава. При необходимости корректируют толщину стенки втулки. Далее проводят проверку соединения на прочность [3] с учетом выбранных конструктивных параметров соединения и ее несущей способности.

Назначают размеры и допуски на изготовление охватываемой и охватывающей деталей и промежуточной втулки.

Рассчитывают градиент изменения механических свойств промежуточной втулки и назначают режимы термообработки, обеспечивающие необходимое изменение предела текучести материала вдоль оси втулки.

В завершение определяют усилие сборки, необходимое для выбора прессового оборудования. Алгоритм применим для проектирования сборочных технологий для запрессовки направляющих коллонн и втулок блоков штампов для листовой и объемной штамповки, посадки втулок под подшипники скольжения, для посадки ступицы зубчатого колеса на вал.

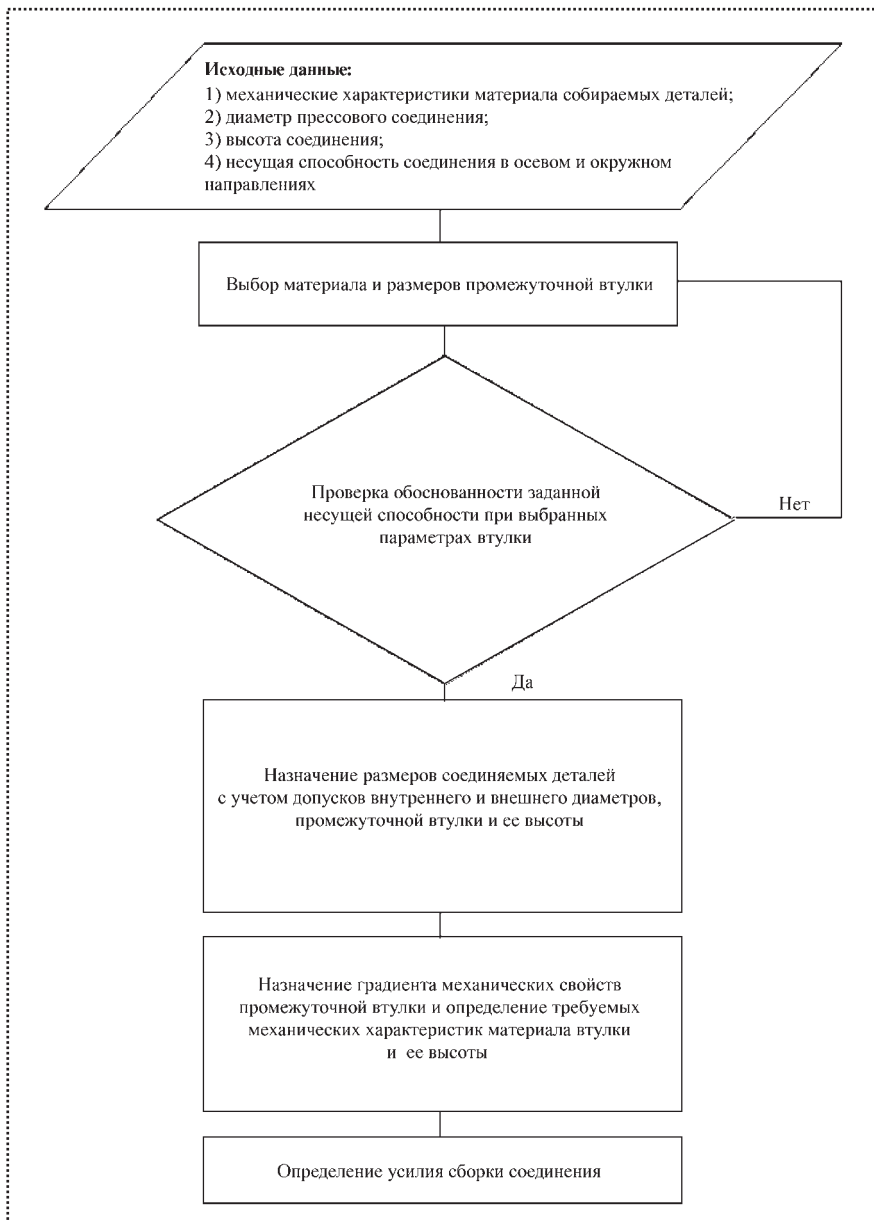


Рис. 7. Алгоритм проектирования операции сборки прессовых соединений с промежуточной деформируемой втулкой

Вывод

Предлагаемый способ сборки прессовых соединений с применением промежуточной пластически деформируемой втулки позволяет:

- *снизить требования к точности изготовления деталей до качества IT14;*
- *повысить несущую способность соединения и её стабильность;*
- *облегчить автоматизацию сборочных операций, так как не требуется повышенная точность позиционирования деталей при вставке, благодаря наличию монтажного зазора;*
- *производить многократный демонтаж соединений без разрушения охватываемой и охватывающей детали и существенной потери несущей способности при повторной сборке.*

Библиографический список

1. Патент РФ № 2481938. Прессовое соединение охватываемой втулки с охватывающей корпусной деталью / А.А. Демин, И.А. Титов. Опубл. 27.01.2013.
2. Демин А.А., Титов И.А. Использование пластически деформируемых элементов при сборке соединений с натягом // Обработка металлов. 2012. № 3. С. 12–15.
3. Демин А.А., Титов И.А. Технологическое обеспечение прочностных характеристик при сборке соединений с натягом // Изв. вузов. 2013. № 4. С. 12–16.

УДК 621.757

А.В. Ланщикова, д-р техн. наук, Е.А. Колганов

(Пензенский государственный технологический университет)

E-mail: champ06@rambler.ru

Исследование затяжки резьбовых соединений пневматическим поршневым гайковертом

Приведено описание экспериментальной оценки точности затяжки резьбовых соединений пневматическим поршневым гайковертом.

Discusses the description of the experimental evaluation of the accuracy tightening of threaded connections by the pneumatic piston nut runner.

Ключевые слова: резьбовое соединение, затяжка, гайковерт, крутящий момент.

Keywords: screw joint, tightening, screwdrivers, torque.

В последнее время поршневые гайковерты с пневмоприводами все чаще используют для сборки средних резьб (М8–М16), в том числе и ответственных, благодаря более высокому КПД и отсутствию в кинематике сложных планетарных редукторов. Однако их характеристики и технологические возможности еще недостаточно исследованы, в частности не проведены исследования разброса контролируемых параметров для устройств с пневмоприводами.

На материальной базе Пензенского государственного технологического университета ведутся такие исследования, в том числе и по созданию и изучению принципиально новых конструкций поршневых гайковертов.

Для исследования был разработан, создан и апробирован стационарный поршневой пневматический гайковерт [1], имеющий диапазон развиваемого крутящего момента 30...250 Н·м. Принцип его работы заключается в преобразовании поступательного движения поршня пневмоцилиндра во вращательное движение шпинделя (в сторону затяжки) с помощью храпового механизма.

Общий вид гайковерта и его 3D-модель представлены на рис. 1, (см. стр. 2 обл.).

Особенностью конструкции созданного гайковерта является исключение режима холостого хода

за счет двух пневмоцилиндров 1 и двух блоков храповых собачек 3 и 4, поочередно вступающих в зацепление с валом-храповиком 2. Кроме того, технологические возможности устройства позволяют проверить практическую реализацию способа контроля по работе [4].

Наибольшее распространение при сборке резьбовых соединений получил способ контроля усилия затяжки по моменту [2]. Вследствие своей простоты и производительности этот способ легко использовать как при ручной, так и при механизированной сборке резьбовых соединений.

Настраивали поршневой гайковерт на рассчитанный крутящий момент, изменяя давление в пневмосети с помощью регулятора. Эксперименты проводили на резьбовых соединениях, соответствующих представительным резьбовым соединениям [3], рекомендованным для исследований совместно с пневматическими гайковертами.

Сущность исследований заключалась в проверке двухэтапного метода контроля затяжки: вначале – поршневым гайковертом, предварительно настроенным на крутящий момент завинчивания нескольких образцов, имитирующих резьбовое соединение. Затем производилось отвинчивание гаек специально изготовленным динамометрическим ключом высокой точности, с контролем момента отвинчивания.

В результате проведенных исследований было установлено, что погрешность момента затяжки (разброс) поршневым гайковертом достигает 15 %, что не противоречит требованиям, предъявляемым к ответственным резьбовым соединениям [2].

Однако данный способ контроля затяжки по моменту имеет ряд недостатков и не всегда обеспечивает требуемую точность затяжки. Так, в работе [4] приведено обоснование более точного (по мнению авторов) комбинированного способа сборки, включающего стадии:



1) предварительная затяжка с контролем качества по моменту;

2) окончательная затяжка с контролем качества по углу поворота.

Данный способ обеспечивает большую точность затяжки (по мнению авторов), поэтому и является более эффективным. Однако следует указать на некоторые ограничения по области его применения – данный способ контроля пригоден для сборки только "мягких" резьбовых соединений.

Для проведения экспериментов по данному способу к поршневому гайковерту подвели две линии сжатого воздуха, одна с невысоким давлением, обеспечивающим требуемый предварительный момент затяжки, вторая – с высоким давлением, обеспечивающим требуемый угол поворота гайки. Частоту вращения шпинделя настраивали на необходимое значение дросселированием воздуха на входе в силовые пневмоцилиндры. Угол поворота гайки контролировали визуально по специальной шкале угла на корпусе гайковерта.

Усилие затяжки, после окончательного поворота гайки на требуемый угол поворота, контролировали измерением удлинения болта после затяжки.

Для этого торцы всех используемых болтов были предварительно отшлифованы для уменьшения погрешности измерений. Измерение удлинения проводилось по схеме, представленной на рис. 2, стр. 2 обл.

В результате проведенных опытов было установлено, что погрешности усилия затяжки не превышают 13 %.

Таким образом, проведенные эксперименты подтвердили, что при применении поршневых пневматических гайковертов можно добиться более высокой и достоверной точности контроля момента затяжки.

Библиографический список

1. Пат. РФ № 2444430, МПК В25 В21/00 Поршневой гайковерт / А.В. Ланшиков и др. Опубл. 10.03.2012.
2. Ланшиков А.В., Моисеев В.Б. Технология автоматизированной сборки резьбовых соединений. Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 1999. 260 с.
3. ГОСТ 10210–83. Гайковерты ручные пневматические. М.: Изд-во стандартов, 1999.
4. Житников Ю.З., Воркуев Д.С. Обоснование способа обеспечения и контроля качества затяжки групповых резьбовых соединений // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2009. № 9. С. 14–16.

ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛ

"СБОРКА В МАШИНОСТРОЕНИИ, ПРИБОРОСТРОЕНИИ"



Издательство "Машиностроение" принимает заявки для оформления подписки на журнал "Сборка в машиностроении, приборостроении" по:

почте: 107076, Москва, Стромынский пер., д. 4;

факсу: (499) 269 48 97;

E-mail: realiz@mashin.ru.

В заявке необходимо указать:

- название журнала;
- период подписки;
- количество экземпляров;
- название организации;
- почтовый и юридический адреса;
- ИНН, КПП, банковские реквизиты;
- телефон (с кодом города), факс, E-mail;
- ФИО контактного лица.

Доставка журналов производится после оплаты за счет издательства.

По вопросам подписки и доставки просим обращаться по телефонам:

(499) 269 66 00; (499) 269 52 98

По вопросам размещения рекламы в журнале можно обращаться по телефону (499) 269 52 98

СБОРОЧНО-СВАРОЧНЫЕ РАБОТЫ. ПАЙКА

УДК 621.791.048

В.В. Карabanов, канд. техн. наук, И.О. Бохоров
тел. 8-498-520-34-72

Пайка титана и его сплавов

Приведены физико-химические свойства титановых сплавов и особенности их структурного строения и фазовых превращений при нагреве. Представлены применяемые паяльные материалы – припой, защитные и активирующие среды, описаны наиболее прогрессивные технологии качественной пайки титановых сплавов.

Physical and chemical properties of titanic alloys, their structure and phase transformations when heating are given. Applied soldering materials – solders, protective and activating environments are presented, the most progressive technologies of the qualitative soldering of titanic alloys are described.

Ключевые слова: титан, припой, флюс, фазовое превращение, легирование, облуживание, газонасыщение, растворение, активирование.

Keywords: titan, solder, gumboil, phase transformation, alloying, tinning, gas-saturation, dissolution, bonding.

Титановые сплавы выполняют важную роль в современной промышленности. Достоинства титана, как конструкционного материала, широко известны. Высокая длительная прочность в широком интервале температур в сочетании с легкостью способствует его широкому применению в авиации, космонавтике и других современных отраслях промышленности. Благодаря высокой коррозионной стойкости в морской воде и других агрессивных средах титан и его сплавы находят широкое применение в судостроении и химическом машиностроении. По комплексу физико-химических свойств титан существенно отличается от металлов группы железа [1].

Титан, подобно основному конструкционному металлу – железу, является полиморфным металлом, поэтому титановые сплавы имеют большое разнообразие структур и фазового состава.

При температурах ниже 882 °С титан находится в α -состоянии (с гексагональной кристаллической решеткой), а при более высоких температурах – в

β -состоянии (с кубической кристаллической решеткой).

α -сплавы (BT1, BT4, BT5, BT5-1) отличаются высокой прочностью и низкой пластичностью, а β -сплавы (BT15, 42-01), наоборот, пластичны, хорошо деформируются, но недостаточно прочны. Низкие технологические свойства этих сплавов ограничивают их применение.

Наиболее широко применяют двухфазные ($\alpha+\beta$)-сплавы (BT6, BT8). Эти сплавы в два раза прочнее сплавов с α -структурой, обладают высокой коррозионной стойкостью, но низкой пластичностью.

Титановые сплавы, подобно сталям, могут подвергаться термической обработке. α -сплавы подвергают рекристаллизационному отжигу. Путем закалки титана в β -области можно подавить процесс превращения и получить метастабильную β -фазу. Структурные превращения в титане, естественно, влияют на паяемость титана, возможность удаления оксидной пленки и на процесс диффузии элементов-депрессантов из припоя в титан.

Легирование титана позволяет в 2–3 раза повысить его прочность, жаропрочность и коррозионную стойкость.

В качестве легирующих добавок применяют в основном элементы, образующие с титаном твердые растворы замещения и химические соединения – интерметаллиды (Al, Mn, Mo, Cr, Be, Fe).

Основным легирующим элементом в промышленных титановых сплавах является алюминий, повышающий прочность и жаростойкость сплава с сохранением пластичности. Алюминий присутствует во всех сплавах на основе титана. Другие важные легирующие элементы – ванадий и молибден.

Высокопрочные титановые сплавы основаны на тройной системе металлов – Ti–Al–V. Жаропрочные титановые сплавы основаны на системе – Ti–Al–Mo. Для повышения жаропрочности в сплавы могут вводить кремний.



Путем легирования, в зависимости от природы легирующих элементов, можно получать сплавы с α - и β -структурами. Фазовый состав титана и его сплавов зависит от содержания легирующих элементов и их количества. Действие легирующих элементов характеризуется влиянием на температуру полиморфного превращения титана. По этому признаку легирующие элементы делят на 3 группы:

1) α -стабилизаторы – элементы, повышающие температуру $\alpha \leftrightarrow \beta$ -превращения, т.е. расширяющие область существования α -титана. К таким элементам относят алюминий, углерод, кислород;

2) β -стабилизаторы – элементы, понижающие температуру $\alpha \leftrightarrow \beta$ -превращения, т.е. расширяющие область существования β -титана. К таким элементам относят железо, марганец, медь, свинец, хром, бериллий;

3) нейтральные упрочнители, не влияющие на температуру $\alpha \leftrightarrow \beta$ -превращения в титане.

Титан относят к числу металлов-геттеров, активно поглощающих кислород, азот, водород, которые образуют с ним широкие области твердых растворов. Вследствие растворимости этих газов в титане на его поверхности образуется пересыщенный малопластичный альфированный слой (твердого раствора кислорода в титане). Водород мало растворим в α -титане, но образует с ним гидрид титана $TiOH$, который способствует охрупчиванию титана. Поэтому восстановительные среды, содержащие водород и/или азот, при пайке титана не применяют.

Перед пайкой альфированный слой с паяемых поверхностей должен быть удален механическим или химическим способом.

Учитывая зависимость структурного состояния титановых сплавов от температуры нагрева, основной задачей при пайке являются выбор оптимального состава припоя со сравнительно невысокой температурой плавления и разработка технологии пайки, обеспечивающей качественное формирование паяного соединения с учетом особенностей титановых сплавов.

По химическому составу к α -сплавам относят сплавы, легированные α -стабилизаторами и нейтральными упрочнителями. При термической обработке упрочняют сплавы путем снятия нагартовки. Отжиг при $600...700$ °С устраняет внутренние напряжения в металле. Сплавы имеют высокую

термическую стабильность и могут содержать до 50 % β -фазы.

К β -сплавам относят сплавы, легированные β -стабилизаторами и нейтральными упрочнителями. Их получают путем закалки при температуре $780...800$ °С с фиксацией β -твердого раствора со старением в температурном интервале $450...560$ °С.

($\alpha+\beta$)-сплавы имеют смешанную двухфазную структуру, сплавы упрочняют закалкой со старением. Средний предел прочности сплавов составляет $750...1000$ МПа.

Природа титановых сплавов накладывает на термический цикл пайки определенные ограничения, главным из которых является изменение структуры и свойств паяемого металла при нагреве выше критической температуры $\alpha \leftrightarrow \beta$ фазового перехода. Поэтому применение припоев с температурой пайки ниже критической предпочтительно для обеспечения требуемой надежности паяных изделий.

Титан и его сплавы можно паять серебром и его сплавами. Однако ввиду высокой стоимости серебра и пониженной прочности паяных соединений применяют их ограниченно.

Высокие значения предела прочности у паяных соединений можно получить при высокотемпературной пайке титана припоями на основе никеля, меди и их сплавов [2]. Как и при пайке других металлов, наиболее высокую прочность паяных соединений из титановых сплавов можно получить при использовании припоев на той же основе, что и паяемый металл, а также на основе металлов, образующих с ним неограниченные твердые растворы с минимумом на диаграмме состояния.

При пайке титана и его сплавов широко применяют стандартизированные припои на титановой основе марок ВПр16 и ВПр28 [2], легированные элементами-депрессантами. Цирконий обладает более высоким сродством к кислороду, чем титан, поэтому пайка титана припоями, содержащими цирконий, требует более чистой защитной атмосферы при пайке, более высокого вакуума и тщательной очистки паяльной камеры перед пайкой.

Пайка указанными припоями позволяет получать соединения с высокими механическими свойствами. Однако высокая температура пайки этими припоями (более 700 °С), приводит к повышенной растворимости кислорода в титане, что снижает механические свойства паяных соединений, а осо-



бенно пластичность. Это ограничивает их применение при пайке тонкостенных изделий.

Почти со всеми элементами применяемых припоев титан при пайке образует хрупкие прослойки интерметаллических соединений, которые приводят к снижению прочностных и пластических свойств паяных соединений. Поэтому наиболее широкое применение при пайке титана находят припой на основе алюминия, который образует с титаном ограниченную область твердых растворов, что позволяет получать паяные соединения с высокими пластическими свойствами.

Алюминий обладает флюсующими свойствами по отношению к титану. При взаимодействии расплавленного алюминия с титаном на его поверхности одновременно протекают два процесса: образование и рост интерметаллической прослойки и ее разрушение.

Рост прослойки обусловлен взаимной диффузией атомов титана и алюминия. Скорость роста прослойки невелика. Ее толщина за 6 ч при температуре 800 °С достигает 1 мкм. Хорошая смачиваемость жидким алюминием образующихся кристаллов прослойки способствует проникновению жидкого алюминия по их границам к поверхности титана и растеканию по нему. Это приводит к разрушению интерметаллической прослойки на отдельные осколки, переходящие вглубь жидкого алюминия, с образованием разрыхленной прослойки, толщина которой достигает 25 мкм, что приводит к снижению прочности и пластичности соединения.

С точки зрения раскисляющей способности контакт титана с жидким алюминием сопоставим с нагревом титана в высоком вакууме, так как в области контакта с расплавленным алюминием окисление титана при нагреве не происходит.

Образующаяся в начале нагрева на поверхности титана при пайке алюминием тонкая и плотная интерметаллическая прослойка не снижает прочностных и пластических свойств паяного шва. Ухудшение этих свойств начинается после достижения интерметаллической прослойкой толщины, равной 30 % толщины паяного шва (толщины припоя в шве). С увеличением толщины прослойки прочность паяных соединений снижается до минимальных значений и приближается к нулевой.

При пайке титана алюминиевыми припоями до момента начала разрушения тонкой интерметаллической прослойки по приведенному механизму в

температурном интервале 943...1043 °С происходит задержка ее интенсивного роста на период до 15 мин. Если в этот период процесс нагрева (выдержки) будет завершен, то свойства паяного соединения не ухудшаются. Это необходимо учитывать при назначении термических режимов пайки титановых изделий.

Уменьшения толщины интерметаллической прослойки в паяном шве добиваются путем введения в припой легирующих элементов, подавляющих ее рост (Fe, Mn, Mg, Ni, Sn). Наиболее интенсивное замедление роста прослоек обеспечивается при использовании в качестве припоя силуминов, содержащих 0,8 % магния.

Важное значение при пайке титана алюминиевыми припоями имеет строгий контроль температуры пайки и времени выдержки при ней.

При пайке титана и его сплавов используют обычно применяемые при пайке металлов средства нагрева: индукционные установки, оборудование газопламенного нагрева, вакуумные и обычные электропечи. При пайке в пламени горелки припой помещают между соединяемыми деталями, на поверхность соединения наносят флюс.

Большая длительность печного нагрева не всегда обеспечивает высокое качество паяных соединений. Наиболее эффективен способ индукционного нагрева токами высокой частоты (ТВЧ). Промышленность выпускает широкий ассортимент нагревательных печей и индукционных установок.

Обычно высокотемпературную пайку титана и его сплавов проводят в вакууме или в нейтральных газах (аргоне, гелии) с применением ТВЧ или после их тщательного очищения от примесей кислорода, азота, паров воды путем нагрева в вакуумных или обычных электропечах и индукционных установках. В качестве дополнительной защиты при нагреве титановых изделий в печах применяют контейнеры. Только в такой атмосфере или в вакууме оксидная и нитридная пленки на поверхности титана растворяются в нем.

Растворение происходит при температурах выше 700 °С. Обычно температуру пайки назначают не выше 900 °С, что связано с большой скоростью роста зерна титана и с некоторым понижением его пластических свойств [3].

Важнейшим условием получения качественного паяного соединения является надежная защита от газов атмосферы паяемого участка и околошовной



зоны при нагреве и охлаждении до температуры ниже 300 °С.

Такую защиту могут обеспечить инертные газы высокой степени чистоты или безкислородные хлоридные и хлоридно-фторидные флюсы. К применению рекомендуют следующие газы: аргон высшего или первого сорта по ГОСТ 10157–79, аргон высокой частоты по ТУ-В6-28-12–76, очищенный аргон марки Б по ТУ-5-940-480–90 или гелий.

Наиболее качественную высокотемпературную пайку титана производят при температурах выше 700 °С, т.е. при температурах выше температуры перехода α -титана в β -титан.

Перед пайкой титановые детали подвергают травлению в смесях активных кислот [2], например, 80 % азотной кислоты + 20 % плавиковой кислоты или 15 % соляной кислоты + 5 % плавиковой кислоты.

Травление проводят при комнатных температурах в течение 0,5...30 мин с последующей промывкой изделия в проточной воде и сушкой.

Использование в качестве припоев тонких металлических прокладок или покрытий требует точной сборки изделия и поджатия паяемых поверхностей, что затрудняет пайку сложных и объемных конструкций. Эти трудности могут быть устранены при использовании металлокерамических порошковых припоев, представляющих собой механическую смесь порошка легкоплавкого металла (эвтектического сплава) – легкоплавкой составляющей припоя и порошков тугоплавких металлов, не плавящихся при пайке – наполнителя [4].

При пайке, после расплавления части легкоплавкой составляющей, образовавшаяся жидкая фаза пропитывает массу частиц тугоплавкого наполнителя и, взаимодействуя с ним, образует плотный каркас. Взаимная диффузия элементов жидкой фазы и наполнителя приводит к повышению температуры солидуса припоя и последующему его затвердеванию при температуре пайки.

В качестве металлокерамического припоя применяют смесь порошков эвтектического сплава Cu-Ti (40 %) и порошков титана (50 %) и циркония (10 %). Температура пайки составляет 900 °С.

Цирконий позволяет снизить температуру $\alpha \leftrightarrow \beta$ -превращения титана и ускорить процесс выравнивания химического состава в широком паяном шве, а также повысить прочность шва при повышенных температурах.

Смесь замешивают на растворе акриловой смолы БМК-4 в органическом растворителе до образования пастообразного состояния. Припой обеспечивает высокую прочность соединений с толщиной шва 0,5...1,5 мм при температуре пайки 960...980 °С [5].

Для получения стабильных показателей прочности паяных соединений припой необходимо применять в виде прессованной заготовки. Соединения из сплава ОТ4-1, паяные при температуре 980 °С, имеют прочность на растяжение до 520 МПа, а на срез – до 430 МПа.

С целью повышения технологических свойств припоя эвтектический сплав Ti-Cu заменяют эвтектическим сплавом Cu-Zr (49 % Cu и 51 % Zr). В качестве наполнителя можно применять порошок сплава ПТС. Оптимальный состав порошков эвтектики и титана – 50:50.

Длительность диффузионной пайки с использованием готовых эвтектических сплавов зависит от толщины прослойки жидкого припоя и может изменяться, например, при температуре 980 °С от нескольких минут при микронной ее толщине, до десятков часов при толщине в сотни микрометров.

Повышенная растворимость депрессантов титановых сплавов (меди, никеля), а также примесей (кислорода, азота) имеет место только в β -титане. Поэтому для удаления оксидов с поверхности титана и его сплавов при пайке в безокислительной атмосфере, а также для ускорения процесса диффузии пайку обычно проводят при температуре выше температуры $\alpha \leftrightarrow \beta$ -превращения.

В целях снижения стоимости производства припоев и получения возможности оперативного изменения их химического состава при производстве опытных припоев малыми партиями разработана новая технология механического легирования порошковых титановых припоев в высокоскоростном атриторе [6].

Оперативное изготовление опытных образцов новых составов производят путем простого изменения стартовой композиции индивидуальных порошков, что является преимуществом этой технологии.

Легирование припоев такими компонентами, как Mo , Nb , Cr в количестве до 1,5 % путем добавления порошков этих металлов в стартовую смесь позволяет повысить прочность и коррозионную



стойкость паяных соединений без значительного повышения температуры пайки.

При механическом легировании образуются металлургически связанные частицы сплава. В результате совместного скоростного помола имеет место не только физическое взаимодействие индивидуальных порошков, но и диффузионное взаимодействие частиц, завершающееся формированием сплава заданного состава. Твердофазовая реакция между частицами чистых металлов достаточна для того, чтобы обеспечить получение механически легированного припоя с температурой плавления, одинаковой с температурой плавления литого припоя того же состава.

Прочность соединений, выполненных с использованием механически легированных припоев, достаточна для производства надежных конструкций из титановых сплавов (теплообменники сотовых панелей, узлов компрессорного оборудования).

Из чистых порошков титана, циркония, меди, никеля и молибдена были получены механически легированные припои следующих составов: 37,5 % Zr, 15 % Cu, 10 % Ni – остальное Ti; 26 % Zr, 14 % Cu, 14 % Ni, 0,5 % Mo – остальное Ti.

Если литой припой состава: 47,5 % титановый сплав, 37,5 % Zr, 15 % Cu имеет температуру плавления 825 °С, то припой, полученный методом механического легирования состава: 45,5 % титановый сплав 26 % Zr, 14 % Cu, 14 % Ni, 0,5 % Mo имеет температуру плавления 848 °С.

Соединения, паяные механически легированными припоями, характеризуются малой эрозией паяемого металла и высокой прочностью. Так, соединения сплава Ti–6Al–4V (BT6C) имеют пределы прочности на растяжение 626...740 МПа и на срез 520...583 МПа в зависимости от паяльного зазора и температуры пайки (850...890 °С).

Продолжительность механохимического синтеза составляет 1...2 ч при частоте вращения аттритора 200 мин⁻¹.

Наиболее современной разработкой в области пайки является создание аморфных ленточных припоев для высокотемпературной пайки титановых сплавов [7]. Эти припои обладают уникальными физико-механическими и физическими свойствами, обусловленными их аморфной структурой, формирование которой происходит в процессе быстрого затвердевания со скоростью охлаждения

10⁴...10⁶ °С/с. Аморфные припои выпускают в виде гибкой ленты толщиной 20...100 мкм, позволяющей строго дозировать при пайке количество припоя, вносимого в зазор.

Химическая и микроструктурная однородность припоя обеспечивает ему узкий температурный интервал плавления, высокую диффузионную активность и затекание припоя в паяемые зазоры. Этот новый класс припоев позволяет решать сложные технические и технологические задачи современного производства. Сравнительно низкая температура плавления аморфного ленточного припоя марки "СТЕМЕТ 1201" позволяет получать высокопрочные и пластичные паяные соединения из титановых сплавов, однако температура пайки 900...1000 °С превышает температуру фазовых превращений в титане.

Предприятие "МИФИ-АМЕТО" путем дополнительного микролегирования разработало и выпускает припой с более низкой температурой пайки – "СТЕМЕТ 1406", который широко используют на предприятии "Техномаш" при изготовлении промышленной продукции.

Припои марок ВПр16, ВПр28 и "СТЕМЕТ 1201" имеют ограничения по применению из-за содержания меди и никеля.

В качестве альтернативы этим припоям в последнее время в научно-технической литературе рассматривают системы Ti–Zr–Fe и Ti–Zr–Mn. Они обладают хорошими технологическими свойствами и обеспечивают высокую прочность паяных соединений титановых сплавов. Однако температура плавления этих припоев находится в пределах от 970 °С (для системы Ti–Zr–Fe) до 1090 °С (для системы Ti–Zr–Mn), т.е. на верхней границе допустимых температур пайки.

В Институте электросварки им. Патона с целью создания припоев с более низкой температурой пайки были проведены исследования сплавов системы Ti–Zr–Co. Диаграмма состояния Ti–Co подобна диаграммам Ti–Fe и Ti–Mn, но имеет более низкую температуру эвтектики с высоким содержанием титана. В избранной системе в области сплавов с низким содержанием кобальта имеется линия моновариантной эвтектики, а также область с пониженной температурой ликвидуса, которая принята для разработки припоев [8].

Для использования в качестве припоя был выбран сплав с интервалом плавления 861...880 °С.



По структуре сплав является однородным и практически целиком представляет пластинчатую нормальную эвтектику. Площадь растекания припоя системы Ti–Zr–Co по титановым сплавам (ОТ4, ВТ22) выше, чем у припоев других систем.

Паяный шов, образуемый этим припоем, представляет собой общие сросшиеся зерна с паяемым металлом, трудноотличимые от основного металла.

Механические испытания соединений, паяных припоем системы Ti–Zr–Co показали, что прочность этих соединений при пайке сплавов ОТ4 и ВТ6 выше, чем у соединений, выполненных с применением стандартных припоев, даже несмотря на более низкую температуру пайки.

Выбранный припой системы Ti–Zr–Co для пайки титановых сплавов различных классов по адгезионным характеристикам и уровню прочности не уступает применяемым припоям и имеет хорошую перспективу применения.

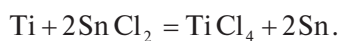
Пайку титана и его сплавов легкоплавкими (оловянно-свинцовыми) припоями проводят только после предварительного нанесения на паяемые поверхности оловянного или медного покрытия.

Лужение титана и его сплавов проводят в жидком олове при его перегреве до температуры 750 °С. Для этого деталь с обезжиренной и протравленной поверхностью быстро погружают в жидкое олово, чтобы паяемая поверхность не успела нагреться и окислиться. Перед погружением детали с поверхности жидкого олова удаляют оксидную пленку. Такое лужение можно проводить в среде проточного аргона. Выдержка в жидком олове технического титана должна быть не менее 15 мин. Деталь, вынутую из жидкого олова, сразу протирают чистой ветошью для удаления оксидной пленки [3].

Необходимость перегрева олова при лужении титана и его сплавов обусловлена незначительной скоростью диффузии кислорода из оксида с поверхности титана вглубь при более низких температурах.

Перед пайкой изделия облуженные поверхности зачищают мягкой щеткой и протирают спиртом или ацетоном.

Лужение титана оловом можно проводить с применением реактивных хлористых флюсов, способных восстанавливать металлы из расплавленных солей в соответствии с реакцией:



Газообразный хлорид титана улетучивается с поверхности титана, разрушая при этом оксидную пленку, а восстановленное олово покрывает чистую поверхность облуживаемого металла.

Применяют также реактивно-флюсовый способ лужения титана оловом, для чего на облуживаемую поверхность металла наносят слой порошка SnCl_2 толщиной до 2 мм и нагревают в печи с нейтральной атмосферой. Реакция восстановления олова проходит при температуре 350...400 °С и сопровождается выделением белого дыма – хлорида титана. По окончании реакции и охлаждения детали остатки флюса должны быть немедленно и тщательно удалены промывкой в горячей воде (70...90 °С), а деталь просушена.

При массовом производстве паяных титановых изделий омеднение паяемых поверхностей деталей производят гальваническим способом.

Медное покрытие может быть также получено путем погружения на несколько секунд в расплав хлористой меди или в смесь меди с другими хлоридами, нагретыми до 700 °С.

Перед нанесением гальванического покрытия детали обезжиривают в органических растворителях и растворе, используемом для обработки коррозионно-стойкой стали, а затем травят в течение нескольких минут в кислотном растворе. После подготовки деталь покрывают сначала хромом, затем медью.

Омеднение титана можно производить в пирофосфатной ванне с формированием слоя необходимой толщины из сернокислого электролита. Оптимальная толщина медного покрытия 15...20 мкм при температуре пайки 750...830 °С. При избыточном слое возможно насыщение медного слоя титаном с образованием хрупкой зоны, по которой может произойти разрушение.

При высокотемпературной пайке титана и его сплавов на паяемые поверхности деталей наносят барьерные покрытия, образующие прочное сцепление с паяемым металлом. С целью предотвращения окисления титана и активного взаимодействия с припоем при высокотемпературной пайке на паяемые поверхности титановых деталей наносят барьерные металлические покрытия, прочно сцепленные с паяемым металлом и смачиваемые расплавленным припоем. Относительно прочное сцепление металлических барьерных покрытий с титаном образуется после термовакуумного напыления



металлов толщиной 15...20 мкм на предварительно нагретую деталь.

Наиболее эффективный способ нанесения покрытий на детали – детонационное напыление, позволяющее наносить качественные покрытия из любых металлов и сплавов [9].

Суть детонационного напыления состоит в импульсном (взрывном) воздействии порошка материала покрытия со скоростью 800 м/с при температуре 2500...6000 °С на частицы наносимого металла. В результате детонации газовой смеси, в которой находится порция порошка, частицы движутся к поверхности детали, при столкновении с которой образуют плотное покрытие. Процесс нанесения покрытия происходит импульсами. При каждом импульсе образуется слой толщиной 1...7 мкм на площади 20...30 мм². Толщина покрытия составляет от 20 мкм до 1 мм. Высокая прочность сцепления покрытия с поверхностью детали обеспечивается вследствие вбивания капель металла в поверхность детали, при котором имеет место микроскопический сварочный эффект.

Наиболее рациональный размер частиц порошка напыляемого металла 20...40 мкм. Чем выше шероховатость напыляемой поверхности детали, тем прочнее покрытие. При детонационном напылении образуется плотное покрытие без пор и трещин с высокой прочностью сцепления с поверхностью детали (100...180 МПа).

Покрытие можно сошлифовать с поверхности детали до основания без сколов и отслоения покрытия от поверхности детали.

Ограниченная растворимость элементов припоя в α -титане приводит к образованию при эвтектидном распаде β -фазы в процессе охлаждения интерметаллических соединений, снижающих пластичность паяных соединений.

В большинстве случаев их выделение ограничивают путем применения больших скоростей нагрева, которые обеспечиваются при индукционной пайке, когда продолжительность термического цикла сокращается в среднем в 15–20 раз по сравнению с печным нагревом.

Замедленный нагрев паяемых конструкций из титана до температуры пайки помимо охрупчивания титана приводит к росту зерна при температурах, превышающих 900 °С. Следовательно, скорость термического цикла при пайке титана является одним из решающих факторов, определя-

ющих прочностные характеристики паяных соединений и исходные свойства паяемого материала.

Однако на практике не всегда удается осуществить ускоренный нагрев соединяемых элементов, особенно сложной формы. Ускоренный нагрев достигается при применении тонкостенного контейнера, изготовленного из коррозионно-стойкой стали (1X18H9T) с толщиной стенки 2 мм с фиксированными в нем паяемыми изделиями, погружаемого в соляную ванну (соль ВаСu) [10].

Этот способ (рис. 1) позволяет в еще большей степени ускорить выход паяемых изделий на рабочую температуру пайки за счет предварительного повышения температуры расплавленных солей.

Герметизация контейнера должна осуществляться с использованием песочного затвора, находящегося над уровнем зеркала ванны. Избыточное давление аргона в контейнере исключает поступление воздуха и обеспечивает необходимую чистоту атмосферы проточного аргона при пайке титановых сплавов.

При извлечении контейнера из расплавленной соли его наружная поверхность защищена тонкой коркой соли, предохраняющей поверхность контейнера от окисления при многократных нагревах. При нагреве до 1000 °С обеспечивается более 1000 циклов нагрева.

Образующийся в процессе нагрева расплавленный припой вступает во взаимодействие с титаном

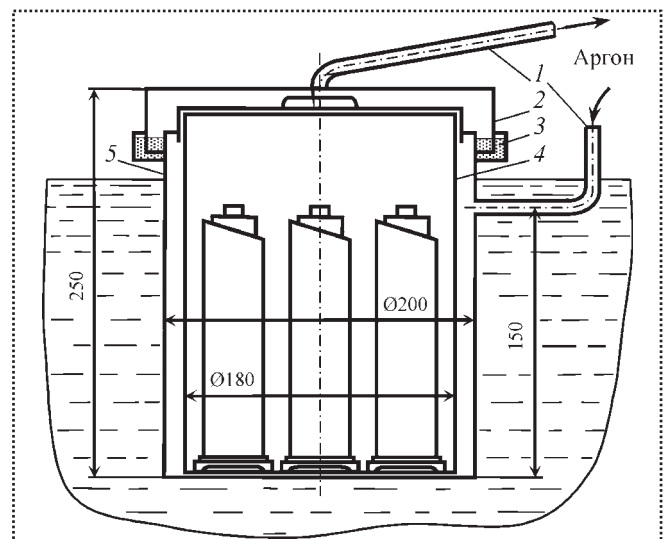


Рис. 1. Групповая пайка узлов из титана методом погружения тонкостенного контейнера в соляную ванну:

1 – трубки; 2 – крышка; 3 – песочный затвор; 4 – внутренний кожух; 5 – наружный кожух



с образованием интерметаллического слоя. Тонкий первоначально образованный слой служит твердым барьером для дальнейшего взаимодействия жидкого припоя с титаном и в течение 1...2 мин увеличения его толщины не происходит. При увеличении времени выдержки происходит охрупчивание титана.

Наиболее положительные результаты пайки достигаются при выдержке в 1 мин. Ведение ускоренного термического цикла при пайке изделий в массовом производстве повышает их качество и надежность.

Соединение титановых деталей можно осуществить контактно-реактивной пайкой в вакуумной печи через медную, никелевую, железную или мельхиоровую (30 % Ni + 40 % Cu) прослойку. Быстрое расплавление медной прослойки, вступающей в контактное плавление с титаном, приводит к образованию жидкой фазы, близкой по составу к эвтектике, соответствующей достигнутой температуре. При средней скорости нагрева 20 °С/мин толщина жидкой прослойки скачкообразно увеличивается и при достижении эвтектической точки на диаграмме состояния медь–титан при 1000 °С она в 5 раз превышает исходную толщину медной прослойки.

В исходном после пайки состоянии соединения, выполненные контактно-реактивной пайкой, обладают высокой структурной и химической неоднородностью. Для структуры соединений характерно наличие хрупкой и малопрочной эвтектики, определяющее низкий уровень механических свойств.

Последующий гомогенизирующий отжиг паяных соединений при температуре 900 °С коренным образом изменяет их структуру и свойства [11]. В результате интенсивных диффузионных процессов в твердой фазе снижается содержание основного компонента припоя в паяном шве, изменяется фазовый состав хрупкой прослойки: она уменьшается в размере и постепенно замещается твердым раствором. При отжиге достаточной длительности структура паяного шва становится идентичной структуре паяемого металла и отличается от последней более мелким зерном. Микротвердость шва и диффузионных зон снижается, а механические свойства паяных соединений достигают уровня свойств паяемого металла (ВТ14).

Длительность термодиффузионной обработки паяных соединений должна быть достаточной для развития в соединении интенсивных диффузионных процессов, приводящих к выравниванию химического состава шва.

Компоненты припоев для пайки титана могут растворяться только в β -фазе титана и практически не растворимы в α -фазе. Поэтому термодиффузионную обработку паяных соединений следует проводить при температурах устойчивого существования заметных количеств β -фазы титана. При достаточной выдержке происходит постепенное исчезновение эвтектической структуры шва, а при дальнейшей выдержке исчезает разница в структурах металла шва и паяемого металла.

Поэтому температуру отжига необходимо связывать с температурным интервалом $\alpha \leftrightarrow \beta$ -превращения для каждого конкретного титанового сплава.

При использовании никелевой прослойки выравнивание неоднородности в шве происходит без образования промежуточных фаз. Отжиг проводят при температуре 920...960 °С.

Известно, что диаграмма состояния Ti–Fe эвтектического типа подобна диаграммам состояния двойных сплавов титана с никелем и медью. Железо имеет высокую растворимость в β -титане (25 %), что является главным необходимым условием для выполнения высокотемпературной пайки. В системе есть сравнительно легкоплавкая (1085 °С) эвтектика β -Ti–Fe с содержанием 32 % железа, которая может служить основой для припоя [12].

Использование при контактно-реактивной пайке титановых изделий мягкой ленты из стали марки 08кп толщиной 0,05 мм приводит к получению паяных швов, содержащих прослойки эвтектики β -Ti–Fe.

При нагреве в соединении развиваются диффузионные процессы, направленные на снижение содержания железа в шве. Отжиг при температуре 960 °С приводит к повышению скорости диффузионного выравнивания структурной и химической неоднородности шва. Эвтектическая прослойка уменьшается и при выдержке 8 ч полностью исчезает. Повышение температуры отжига до 1000 °С ускоряет диффузионные процессы и эвтектика исчезает через 4 ч.

Для сильно легированных твердых растворов на основе α -титана длительность отжига приближает структуру металла паяного соединения к типичной



игольчатой структуре α -фазы, что приводит к стабильному получению необходимых механических свойств паяных соединений (предел прочности 470...500 МПа).

Для получения паяных соединений аналогичного качества можно использовать также сплав эвтектического состава (32 % Fe + 68 % Ti). Оптимальными условиями являются: температура пайки — 1085 °С, зазор 0,08...0,10 мм, температура отжига 960 °С при длительности 8 ч.

Контактно-реактивная пайка при всей технологической простоте имеет ряд существенных недостатков, что ограничивает ее применение областью сравнительно простых по форме, имеющих возможность свободной усадки узлов и деталей. Для пайки изделий со сложной пространственной формой сопряжений паяемых деталей целесообразно применение капиллярной пайки.

При контактно-реактивной пайке могут быть использованы многослойные композитные припои, состоящие из прослоек металлов, вступающих при нагреве в контактно-реактивное плавление между собой и с паяемым металлом. Известно применение в качестве припоя ленты титана, плакированной с обеих сторон медью [3].

В качестве припоев применяют пакеты толщиной 0,07 мм, состоящие из фольги титана толщиной 0,05 мм, фольги никеля и фольги меди толщиной 0,01 мм каждая. Пайка такими припоями в вакууме при температуре пайки 960 °С и выдержке 16 мин обеспечивает предел прочности соединений, равный 444 МПа, который может быть повышен при диффузионной обработке паяного соединения. Пайку такими припоями можно осуществлять в печи в среде нейтрального газа.

Высокие механические и пластические свойства соединений обеспечиваются при диффузионной пайке, в процессе которой происходит удаление из зоны сплавления и диффузионных зон хрупких и малопластичных составляющих. Отличительной особенностью диффузионной пайки металлов, по сравнению с другими разновидностями пайки, является затвердевание жидкой прослойки припоя в процессе выдержки при температуре пайки.

Затвердевание прослойки происходит в результате развития в системе паяемый металл — жидкий припой процессов превращения, направленных на установление фазового равновесия. Фазовые превращения протекают по диффузионному механиз-

му в два этапа. На первом этапе преобладает процесс растворения твердого паяемого металла в жидком припое, на втором — происходит диффузия атомов жидкого припоя в паяемый металл, сопровождаемая превращением жидкой фазы в твердую.

Диффузионную пайку титана и его сплавов проводят как с использованием готовых припоев (эвтектического состава), так и в сочетании с процессом контактно-реактивного плавления [13].

Диффузионный процесс на границе твердой и жидкой фаз приводит к тому, что пограничный слой жидкого припоя становится перенасыщенным по отношению к паяемому металлу и кристаллизуется с образованием твердого раствора. Процесс такого последовательного послойного затвердевания жидкого припоя со временем приводит к полному исчезновению жидкой фазы, т.е. к завершению процесса диффузионной пайки.

При пайке с использованием медной или никелевой прокладки длительность выдержки при той или иной температуре, необходимая для завершения диффузионной пайки, равна времени, в течение которого вся медь или никель, находящиеся в жидкой фазе, перейдут в твердый раствор с титаном. Зависимость содержания меди и никеля в диффузионной зоне титана от времени выдержки при температуре пайки приведена на рис. 2. Составы зоны сплавления паяных швов медью и никелем близки к ликвидусу соответствующих диаграмм состояния при 1000 °С уже после минимальных выдержек при температуре пайки [13].

Время диффузионной пайки титана медью и никелем при температуре 1000 °С зависит от толщины исходной прослойки в паяльном зазоре (шве). На рис. 3 представлены результаты определения толщины зон сплавления швов, образующиеся при пайке титана медью при температуре 1000 °С в зависимости от времени выдержки при температуре пайки и различной толщине исходной медной фольги в зазоре. Как видно из рис. 3, толщина зон сплавления уменьшается по мере увеличения времени выдержки.

Длительность диффузионной пайки эвтектиками Ti—Cu, Ti—Ni существенно зависит от толщины жидкой прослойки припоя и может существенно меняться. Например, при температуре 980 °С время пайки изменяется от нескольких минут при микронной толщине жидкой прослойки до нескольких часов при ее толщине в сотни микромет-

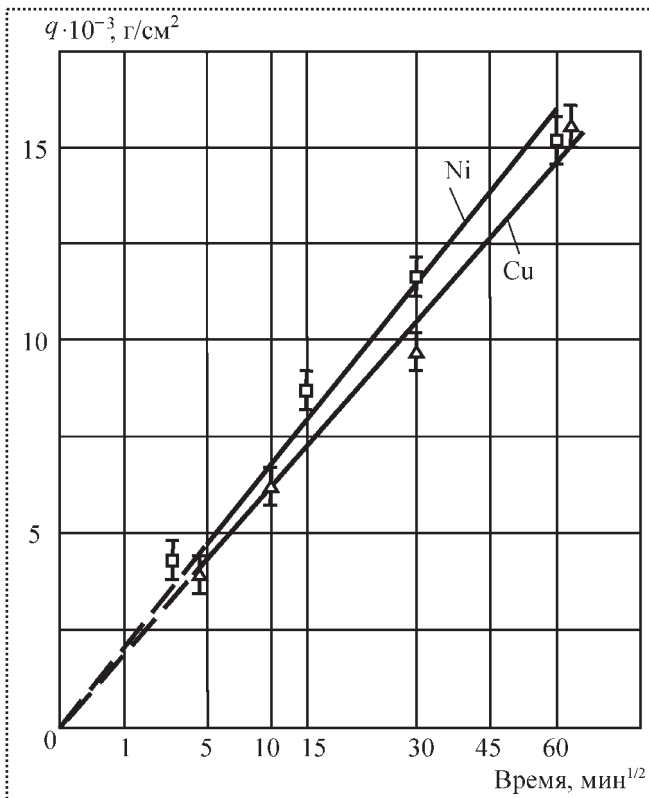


Рис. 2. Влияние времени выдержки при температуре пайки на содержание q меди и никеля в диффузионной зоне титана

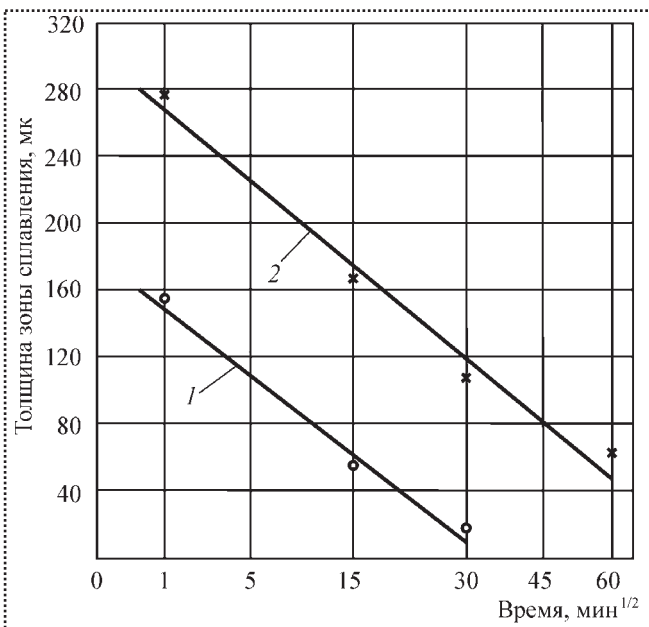


Рис. 3. Влияние времени выдержки при температуре пайки 1000 °С на толщину зоны сплавления швов, образующихся при пайке титана медью:

1 – толщина фольги 0,05 мм; 2 – то же, 0,10 мм

ров. В связи с этим широкое применение находит контактно-реактивная диффузионная пайка, при которой припой с большим содержанием титана образуются при контактно-реактивном плавлении паяемого металла с тонкими (порядка десятков микрон) прослойками депрессантов и тугоплавких металлов, наносимых предварительно на паяемые поверхности термовакuumным или другим способами.

Повышенная растворимость депрессантов титановых сплавов (меди, никеля) при пайке имеет место только в β -титане. Поэтому для удаления оксидов с поверхности титана и его сплавов при пайке в безокислительной атмосфере, а также для ускорения процесса диффузии депрессантов в паяемый металл диффузионную пайку обычно проводят при температуре выше температуры $\alpha \leftrightarrow \beta$ -превращения.

Вместе с тем в β -состоянии титан и его сплавы имеют повышенную склонность к росту зерна, что в присутствии кислорода приводит к охрупчиванию металла. Поэтому длительный нагрев при диффузионной пайке осуществляют в температурной области 960...1060 °С, а кратковременный – при 1050...1100 °С в течение 5...10 мин.

При диффузионной пайке растворно-диффузионный процесс на границе титана и припоя приводит к изменению механических свойств титана, которые определяются различиями в химических свойствах взаимодействующих металлов. Наименьшие изменения механических свойств наблюдаются в случае взаимодействия металлов, расположенных рядом в периодической системе элементов и образующих твердые растворы.

С удалением растворителя от растворяющегося элемента в периодической системе возрастает химическое различие и уменьшается склонность к растворимости. Поэтому изменение механических свойств ограниченных твердых растворов, приближенно, обратно пропорционально предельной растворимости.

При диффузионной пайке титана происходит выпадение большого количества интерметаллических соединений, что является главной причиной снижения механических и пластических свойств паяных соединений. Уменьшения выпадений таких соединений можно добиться двумя путями:

- выбором припоя с компонентами, имеющими повышенную растворимость в α -титане;



- использованием многокомпонентных припоев, при которых уменьшается степень пересыщения α -титана.

Проведенные эксперименты подтвердили приведенные положения.

Прочностные и пластические свойства паяных соединений, выполненных с применением в качестве припоя меди, выше, чем соответствующие свойства соединений, полученных с использованием никеля. Медно-никелевое покрытие при определенном его составе (медное покрытие толщиной 8 мкм, никелевое – 2 мкм) обеспечивает более высокие механические свойства паяных соединений, чем отдельные компоненты.

Наиболее прогрессивный и эффективный способ пайки титановых сплавов – пайка в вакууме. Однако при любой степени вакуумирования в вакуумном пространстве всегда сохраняется некоторое количество кислорода. Поэтому при пайке в вакууме происходит взаимодействие титана с остаточной газовой средой.

На поверхности титана при пайке в вакууме одновременно протекают два процесса: образование и рост оксидной пленки и ее растворение в титане (рис. 4). Рост оксидной пленки прекращается тогда, когда скорость этого роста становится равной скорости ее растворения в титане. Снижение скорости роста оксидной пленки объясняется как следствие ограничения доступа газовой среды к поверхности титана. Скорость растворения оксидной пленки в титане обусловлена пограничной концентрацией кислорода в титане, скоростью его диффузии в титан и максимальной растворимостью в нем. Поэтому могут создаваться условия, при которых произойдет принципиальное изменение кинетики газового взаимодействия с титаном и при определенных температуре и давлении рост оксидной

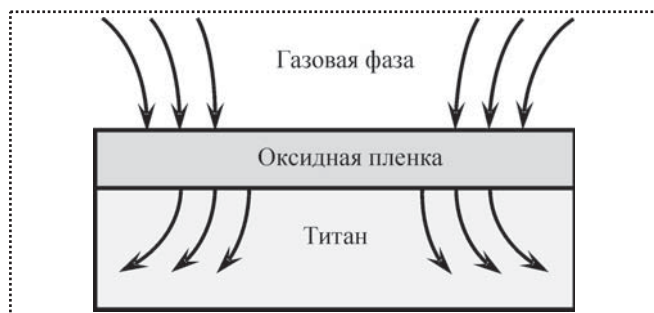


Рис. 4. Взаимодействие титана с газовой средой

пленки может смениться полным ее растворением в титане [14].

Повышение температуры при этих процессах неэффективно, так как приведет к одновременно увеличению скоростей роста и растворения оксидной пленки, увеличению ее толщины, к большему насыщению кислородом поверхностного слоя титана и его охрупчиванию. Следовательно, основным фактором, определяющим рост оксидного слоя на поверхности титана, является давление остаточной газовой среды. Нагрев титана до температуры свыше 600 °С приводит к началу активного растворения оксидной пленки и созданию давления газовой среды, при которой скорость роста оксида меньше скорости его растворения. Таким образом, можно добиться полной очистки поверхности титана от оксидной пленки.

Для предотвращения газонасыщения титана необходимо создать условия, при которых скорость десорбции кислорода с поверхности будет превышать скорость его растворения. Доминирующим фактором, влияющим на эти процессы, также является давление остаточной газовой среды в камере, с уменьшением которого скорость растворения газовой фазы снижается, а скорость десорбции возрастает.

Для снижения парциального давления газовой фазы применяют различные технологические приемы экранирования:

- с использованием негерметичных контейнеров (коробок), изготавливаемых из титана или коррозионно-стойкой стали;
- с применением вспомогательных контейнеров с затвором, уплотняемым геттером (титановой губкой).

Второй способ экранирования обеспечивает создание стабильной защитной безокислительной атмосферы, при которой исключается газонасыщение титана.

Исследования процесса газонасыщения титана при пайке в вакууме, проводимые гравиметрическим методом (по приросту массы образцов), показали значительное преимущество второго метода (рис. 5). При этом способе экранирования обеспечивается высокая стабильность процессов смачивания и растекания алюминиевых припоев по титану даже в низком вакууме (5...8 Па) при температурах выше 680 °С.

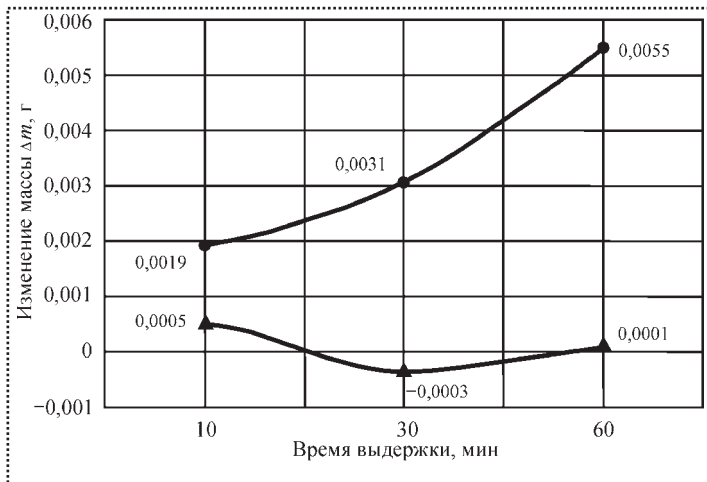


Рис. 5. Кинетика газонасыщения титана при нагреве в вакууме при давлении остаточной газовой $(2...5) \cdot 10^{-2}$ Па и температуре 600°C :
 ● — без экранирования; ▲ — с экранированием и геттером

Применение вспомогательного контейнера с затвором, уплотняемым титановой губкой, исключает газонасыщение титана и очищает его от оксидной пленки путем растворения ее в паяемом металле, однако этого недостаточно для активизации процесса смачивания титана припоями на основе алюминия при температурах ниже 650°C , что обусловлено высокой термической и химической стойкостью оксидной пленки.

Для обеспечения активного процесса смачивания необходим нагрев до температуры свыше 700°C , при которой оксидная пленка начинает растворяться в титане. Активное смачивание титана припоем начинается в указанных условиях при 750°C .

Снижение температуры смачивания на 100°C достигается путем создания в контейнере паровой фазы свинца за счет введения его в виде компактной заготовки или компонента припоя [15].

При взаимодействии алюминиевых припоев с титаном свинец оказывает каталитическое действие в реакции образования интерметаллида TiAl_3 , определяющего процессы смачивания и растекания. Энергия активации образования и роста интерметаллида при введении паров свинца снижается в 2,5–3 раза. Введение паров свинца в паяльную камеру снижает температуру активного смачивания титана до 600°C . Приведенная возможность активации смачивания титана алюминиевыми припоями позволила разработать композицион-

ный припой для пайки изделий с широкими паяльными зазорами.

Роль тугоплавкого наполнителя в композиционном припое выполняет порошок титана, а легкоплавкой составляющей — порошок эвтектического силумина. Введение в состав припоя небольших (1...3 %) количеств порошка свинца обеспечивает стабильное смачивание титана эвтектическим силумином, начиная с температуры плавления последнего.

Для приготовления пасты композиционного припоя наиболее эффективно использование органической связки состава: бутилацетат — 1000 мл, сополимер ТБМ-60 — 75 г, дибутилфталат — 70 мл. Соотношение порошка припоя и связки должно обеспечивать заполнение зазора пастой композиционного припоя под действием капиллярных сил. Качественное формирование паяного соединения при капиллярной пайке обеспечивается при соотношении в припое количеств тугоплавкой и легкоплавкой составляющих 60:40.

Пайку композиционным припоем можно осуществлять при зазорах до 0,8 мм. Необходимая прочность соединений обеспечивается при паяльных зазорах 0,2...0,3 мм. Для предотвращения усачной пористости около зазора укладывают плитку из легкоплавкой составляющей в виде компактной заготовки или пасты (рис. 6). Количество припоя, используемого для подпитки, должно быть равно объему шва.

Собранный узел помещается в контейнер (рис. 7). Пайку осуществляют в вакууме при 5...8 Па и ниже.

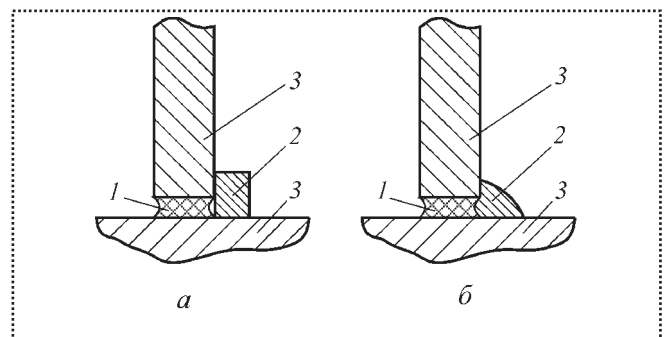


Рис. 6. Схема размещения композиционного припоя до (а) и после (б) пайки:

1 — паста композиционного припоя; 2 — подпитка из легкоплавкой составляющей; 3 — паяемые детали

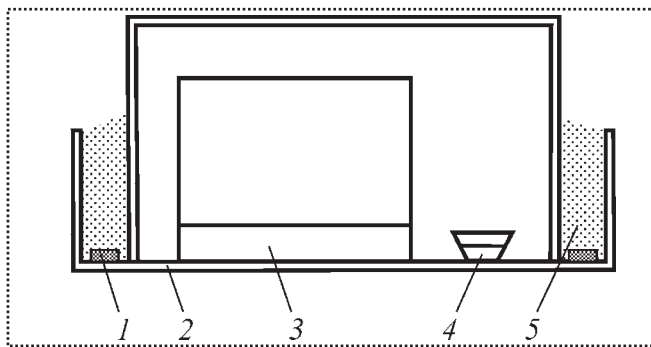


Рис. 7. Контейнер для пайки:

1 – навеска магния ($0,01 \text{ г/дм}^3$ объема контейнера); 2 – вспомогательный контейнер с затвором; 3 – изделие; 4 – навеска свинца ($m = 1...2 \text{ г}$), при введении свинца в состав припоя – не требуется; 5 – неиспаряемый геттер (титановая губка, грануляцией $2...5 \text{ мм}$)

Постоянно возрастающие объемы применения титана и алюминия в промышленности требуют создания эффективных технологий их соединения как в однородном, так и в разнородном сочетании, без потери их прочностных и пластических свойств. Пайка является наиболее прогрессивным способом создания монолитных конструкций из этих высокоактивных металлов.

Применение комбинированных конструкций из этих металлов позволяет наиболее эффективно использовать их механические и физико-химические свойства. По сравнению с титаном алюминий имеет более низкую удельную прочность, что ограничивает его применение при изготовлении несущих конструкций.

Для достижения высоких эксплуатационных характеристик конструкции рационально применять в них сочетание алюминиевых и титановых элементов. Элементы, несущие нагрузку, могут быть выполнены из титановых сплавов, что обеспечивает высокую прочность и жесткость конструкции, а элементы, выполняющие иные функции, могут быть выполнены из алюминиевых сплавов. Используя такие комбинированные конструкции, можно существенно расширить область применения паяных конструкций.

Титан и алюминий обладают высоким сродством к кислороду, поэтому основной трудностью при выполнении процесса пайки при их соединении является удаление с паемых поверхностей этих элементов стойкой оксидной пленки и одновременное активирование этих металлов. Флюсов, позволяющих одновременно активировать поверхности титана и алюминия, не существует.

Пайка без применения флюса возможна в условиях вакуума или в среде чистых инертных газов (аргон, гелий) при температуре $700 \text{ }^\circ\text{C}$. Только в этих условиях обеспечивается очистка поверхности титана от оксидной пленки и стабильное смачивание ее алюминиевым припоем. Однако указанная температура пайки превышает температуру плавления чистого алюминия ($660 \text{ }^\circ\text{C}$). Температура плавления алюминиевых сплавов, применяемых при пайке титана, еще ниже. Следовательно, температура пайки комбинированных конструкций алюминиевыми припоями не должна превышать $620 \text{ }^\circ\text{C}$. При более высоких температурах пайки произойдет потеря устойчивости алюминиевого элемента и его подплавление [16].

Определено, что к снижению температуры активации поверхности титана приводит введение в паяльную камеру паров свинца, который позволяет активизировать процесс смачивания титана алюминиевыми припоями. Температура начала смачивания титана эвтектическим силумином снижается до $600 \text{ }^\circ\text{C}$, при этом возрастает площадь растекания припоя.

При совместном введении в паяльную камеру паров свинца и магния при температуре $600 \text{ }^\circ\text{C}$ обеспечивается полное смачивание эвтектическим силумином как поверхности титана, так и алюминия, заполнение паяльных зазоров расплавом припоя и формирование качественных галтелей.

Свинец является веществом, активизирующим процессы на межфазной границе жидкого и твердого металлов, изменяющим значение поверхностного натяжения.

Наиболее эффективным и экологически чистым способом является введение свинца в состав припоя.

В качестве припоя для пайки комбинированных конструкций можно применять алюминиевые сплавы ВАД-1, 1201, 1177. Наиболее высокая прочность соединений обеспечивается при пайке эвтектическим силумином (100 МПа). При пайке может происходить повышение прочности паяного шва за счет диспергирования и растворения в припое интерметаллических прослоек.

Пайку проводят при температуре $600...620 \text{ }^\circ\text{C}$. Паяльные зазоры устанавливают в пределах до $0,1 \text{ мм}$.

Введение паров свинца в камеру пайки не влияет на прочность паяных соединений.



В МГТУ им. Н.Э. Баумана разработан высокоэффективный способ устранения дефектов несплошности в титановых изделиях и заготовках, а также нанесения на них металлических покрытий методом дуговой напайки [17]. Сущность способа состоит в использовании в качестве локального источника нагрева дугового разряда с полым катодом (ДРПК) и в подаче непосредственно в зону обработки порошкообразного композитного припоя, что дает возможность отдельно управлять скоростью обработки и температурой нагрева паяемого металла и припоя в широких пределах. Локальность нагрева с помощью (ДРПК) позволяет проводить напайку припоя при температуре, близкой к интервалу полиморфного превращения титановых сплавов, и использовать припой на титановой основе со сравнительно высокой температурой плавления (1120...1170 °С).

Дуговая напайка в вакууме позволяет наносить на поверхность титановых деталей качественные композиционные покрытия, состоящие из припоя на титановой основе (ВПр16) и армирующих частиц (карбида вольфрама), при этом армирующие частицы не подплавляются, а в поверхностном слое титана отсутствует рост зерна. Наличие вакуума (10^{-1} ... 10^{-3} Па) исключает возможность окисления и газонасыщения поверхностного слоя изделия.

В результате прокачки аргона через полый катод образующаяся в прианодной области дуговая плазма сильно ионизирована и имеет температуру 5000...7000 °С. Парциальное давление кислорода в этой области становится ниже 10^{-4} Па.

Поток аргоновой плазмы (ДРПК) в анодной области по отношению к титановым сплавам является более инертной средой, чем статическая атмосфера с давлением $8 \cdot 10^{-3}$ Па.

Очистка поверхности титановых сплавов от оксидной пленки при парциальном давлении кислорода в плазменном потоке ДРПК ($5 \dots 9 \cdot 10^{-5}$ Па) длится не более 10^{-5} с.

Практически очистка деталей плазмой ДРПК происходит на стадии нагрева соединений до температуры пайки. В условиях плазменно-дуговой обработки удаление оксидной пленки происходит в основном за счет перехода кислорода вглубь паяемого металла. Следовательно, плазменный поток является весьма эффективной защитной средой, поскольку парциальное давление кислорода в нем в 5...20 раз меньше, чем в статической атмосфере. При предварительной механической обработке и

обезжиривании поверхности титановой детали процесс очистки от оксидной пленки происходит на стадии нагрева, что позволяет совмещать операцию активизации поверхности с нанесением на нее припоя в режиме напайки.

Дуговая пайка с неподвижным пятном нагрева имеет ограниченные возможности по толщине и длине получения соединений. Повысить технологическую возможность дуговой пайки удалось путем сканирования столба дугового разряда по одной или двум ортогональным координатам с помощью поперечного магнитного поля. Это позволяет управлять площадью и формой зоны нагрева и восстанавливать пайкой большие поверхности деталей [18].

Библиографический список

1. **Металловедение** титана и его сплавов / В.К. Александров и др. // М.: Металлургия, 1992.
2. **Справочник** по пайке / Под ред. И.Е. Петрунина. М.: Машиностроение, 2003.
3. **Лашко С.В., Лашко Н.Ф.** Пайка металлов. М.: Машиностроение, 1977.
4. **Лазарев А.Н.** Пайка титана порошковым припоем // Сб. докл. конф. "Пайка материалов в машиностроении". Рига, 1968.
5. **Сукачев А.П., Лашко С.В.** Металлокерамическая диффузионная пайка титана и его сплавов // Сварочное производство. 1971. № 6. С. 54–55.
6. **Иванов С.И., Шапиро А.Е.** Твердофазный синтез порошковых припоев при вакуумной пайке титановых сплавов // Сб. докл. конф. "Пайка–2000". Тольятти, 2000.
7. **Аморфные** припои / Б.А. Калинин и др. // Сварочное производство. 1996. № 1. С. 15–19.
8. **Исследование** припоев системы Ti–Zr–Co / В.Ф. Хорунов и др. // Сварочное производство. 2013. № 2. С. 29–33.
9. **Прохорова А.И., Борисова А.О.** Детанационные покрытия на титановом сплаве ВТЗ-1 // Технология металлов. 2013. № 7. С. 23–25.
10. **Ильинский И.И., Кочуков И.С.** Пайка титана при скоростном нагреве // Сварочное производство. 1972. № 3. С. 21–27.
11. **Беседный В.А.** Высокотемпературная пайка титанового сплава ВТ14. // Сварочное производство. 1978. № 12. С. 35–36.
12. **Беседный В.А., Корниенко Л.В.** Пайка титановых сплавов припоями на основе железа // Сварочное производство. 1976. № 8. С. 39–40.
13. **Кинетика** диффузионной пайки титана / Ю.С. Долгов и др. // Сб. докл. конф. "Пайка материалов в машиностроении". Рига, 1968.
14. **Шашкин О.В.** Кинетика газонасыщения титана при нагреве в вакууме с различными способами экранирования // Сб. докл. конф. "Пайка–2000". Тольятти, 2000.
15. **Шашков О.В.** Активирование поверхности и процесса растекания и смачивания титана сплавами системы Al–Si // Сб. докл. конф. "Пайка–2005". Тольятти, 2005.
16. **Шашкин О.В.** Вакуумная контейнерная пайка титановых и титано-алюминиевых конструкций с применением припоев на основе алюминия. Дисс. ... канд. техн. наук. Тольятти, 2006.
17. **Неровный М.М., Пераитько А.В.** Особенности газонасыщения поверхности титановых деталей при дуговой напайке в вакууме // Сб. докл. конф. "Пайка–2005". Тольятти, 2005.
18. **Неровный В.М.** Повышение технологических возможностей дуговой пайки в вакууме применительно к ремонту лопаток турбин // Сварка и диагностика. 2013. № 3. С. 42–47.

УДК 621.9

И.Б. Челпанов, д-р техн. наук

(Санкт-Петербургский государственный политехнический университет),

А.В. Кочетков, д-р техн. наук

(Пермский национальный исследовательский политехнический университет,

ООО "Научно-исследовательский центр технического регулирования")

E-mail: soni.81@mail.ru

Механические испытания микромеханических приборов и средств измерения

Исследованы вопросы создания испытательного оборудования, которое давало бы возможность оперативно проводить механические испытания миниатюрных приборов в любых помещениях, на рабочих столах без привлечения специального персонала.

Questions of creation of the test equipment which would give the chance to conduct operatively mechanical tests of tiny devices in any premises, on desktops without attraction of the special personnel was investigated.

Ключевые слова: микромеханический прибор, испытание, средство измерения, гироскоп, стенд.

Keywords: micromechanical device, test, mean of measurement, gyroscope, stand.

Введение

Испытания на механические воздействия занимают важное место для подготовки датчиков навигационной информации, используемых на высокодинамичных объектах, при отработке конструктивных и схемных решений, при принятии решений о серийном выпуске и при контроле приемки-сдачи. Современный этап развития техники в этой области применительно к измерениям линейных ускорений и угловых скоростей характеризуется широким распространением микроэлектронно-механических или микромеханических приборов, интегрированных с электроникой и изготавливаемых по технологии чипов. Точностные свойства таких приборов, линейных акселерометров и гироскопов, как датчиков угловых скоростей, не очень высоки, но широки диапазоны изменения измеряемых величин и влияющих факторов [1, 2].

Испытательное оборудование, стенды для испытаний, воспроизводящие в первую очередь линейные ускорения и угловые скорости, имеются во многих организациях. Однако их громоздкие конструкции, как правило, создавали для испытаний крупногабаритных приборов и комплексов, поэтому они занимают большие площади, потребляют много электроэнергии.

Такое оборудование имеется в самостоятельных подразделениях крупных организаций, а проведение его испытаний требует значительных временных и финансовых затрат. Дополнительно возникают серьезные трудности и при полунатурном моделировании, когда часть функций преобразования сигналов от собственной электроники прибора передается компьютеру.

Испытания на влияние различных факторов часто выполняют вручную, чтобы определить "чувствует" ли датчик, например, удары и как это проявляется в выходном сигнале. Если имеется датчик, который считается образцовым, в пробных сравнительных испытаниях захватывают его вместе с испытуемым датчиком рукой, вместе поворачивают и перемещают; при этом различие масштабированных сигналов обоих датчиков относят к погрешностям испытуемого датчика. Это можно считать вполне допустимым, хотя подобные "методики" не могут быть аттестованы и вследствие этого количественные результаты официально не могут признаваться достоверными [3].

Назрела необходимость создания испытательного оборудования, которое давало бы возможность оперативно проводить механические испытания миниатюрных приборов в любых помещениях, на рабочих столах без привлечения специального персонала. Для некоторых видов испытаний имеются реальные возможности создания и ис-



пользования таких малогабаритных стендов для ряда видов испытаний однокомпонентных (одноосных) микромеханических гироскопов (ММГ), которые могли бы устанавливаться на столе, но при этом позволяли бы воспроизводить заданные количественно испытательные воздействия в достаточно широких диапазонах.

Такие ММГ имеют следующие характеристики: диапазон измерения угловых скоростей до 500 °/с; чувствительность порядка 0,01 °/с; диапазон частот измерения угловой скорости 50 Гц. Рассматривают возможности создания новых стендов различных типов.

1. **Маятниковый стенд.** Назначение стенда – определение статической измерительной характеристики ММГ, т.е. зависимости $u = f(\Omega)$ выходного сигнала u от измеряемой угловой скорости Ω . Подвижную часть стенда строят по принципу маятника, конструктивно, например, по схеме коромысла.

Испытуемый ММГ устанавливают сверху, им измеряют угловую скорость свободных колебаний коромысла маятника, начальное (или амплитудное) отклонение которого определяется по шкале. Значение частоты $\omega = 2\pi/T$ свободных колебаний определяется секундомером на нескольких периодах; период T может иметь порядок секунды.

Закон изменения угловой скорости имеет вид $\Omega(t) = \theta \omega \sin(\omega t)$.

Без усложнений схемы можно получить диапазон воспроизводимых угловых скоростей от 1 до 100 °/с. Приведенная погрешность измерения амплитуды θ по углу может составлять 0,1 %, значительно меньше погрешность определения частоты ω .

Выбором подшипников можно получить пренебрежимо малые значения уменьшения амплитуды во время измерений. Измеряемая угловая скорость переменна, измерения практически являются статическими вследствие того, что частота ω по крайней мере на два порядка ниже границы частотного диапазона измерения ММГ.

Статическую характеристику можно строить по парам синхронно регистрируемых значений $\Omega(t)$ и $u(t)$, а регистрация на многих периодах позволит снижать уровни случайных погрешностей. При этом есть возможность задавать различные значения амплитуды θ и проводить расчет по амплитудным значениям.

Для получения малых значений угловых скоростей целесообразно перемещением специальных грузов уменьшать маятниковый момент. При колебательных движениях без накопления угла не возникают трудности передачи сигналов с вращающегося основания. Испытания на стенде соответствуют условиям работы на реальных подвижных объектах, движущихся с угловыми колебаниями.

2. **Роторные стенды, работающие на выбеге.** В испытательном оборудовании, используемом при градуировке ММГ, именно одноосные роторные стенды, воспроизводящие постоянные или программно изменяющиеся угловые скорости, составляют большинство. Такие прецизионные стенды, выпускаемые ведущими зарубежными фирмами (например, Acutronix) относят к дорогостоящему оборудованию. При работе с оборудованием без использования прецизионной техники возникают трудности, связанные с необходимостью применения высокоточных программно управляемых приводов, в том числе снижающих до низких значений колебания угловой скорости. Чтобы избежать этого, предложено исключить в рабочих режимах привод и работать на свободном выбеге. Для этого ротор, на котором устанавливают испытуемый ММГ и точный импульсный датчик угла, разгоняется любым приводом до угловой скорости, несколько превышающей верхнюю границу диапазона, после чего двигатель механически отключается, и происходит выбег.

Частота следования импульсов датчика угла преобразуется в угловую скорость; если требуется, осуществляется интерполяция со сглаживанием. Во время выбега синхронно регистрируются пары значений выходного сигнала ММГ и угловой скорости от датчика угла. Если подшипники качественные и малошумящие, то процесс выбега будет плавным, интервалы получения сигналов будут составлять минуты, что позволяет использовать эффективное сглаживание. Необходим массивный ротор на хороших подшипниках, при этом полностью исключается проблематика управления приводом, основной становится задача компьютерной обработки данных с использованием стандартного программного обеспечения.

3. **Малогабаритная центрифуга.** Для микромеханических акселерометров (ММА) линейные ускорения являются измеряемыми физическими величинами, а для ММГ линейные ускорения – внешние воздействия, снижающие точность, приводя-



щие к нарушениям режимов работы и поломкам. В зависимости от назначения ММГ и класса высокочастотных объектов, на которых их устанавливают, требуемые максимальные ускорения при испытаниях на центрифугах находятся в интервале от 10^2 до 10^5g .

Испытательные и градуировочные центрифуги, воспроизводящие большие центробежные (линейные) ускорения, тоже относят к числу роторных станков. Для большинства используемых больших центрифуг, предназначенных для испытаний крупногабаритных объектов, этот предел ненамного превышает 10^3g , что неудовлетворительно.

Малые размеры ММГ и ММА позволяют уменьшать размеры роторов испытательных центрифуг, что, как показано далее, позволяет значительно повысить уровни воспроизводимых ускорений. Центробежное ускорение W на расстоянии R от оси вращения определяется выражением $W = \omega^2 R$.

В то же время ограничение по прочности материала самого ротора имеет вид $RW < D$, где параметр D имеет размерность квадрата линейной скорости и зависит от материала ротора, но мало зависит от схемного решения и параметров. Для получения больших значений испытательного ускорения целесообразно уменьшать размеры ротора, что вполне допустимо при малых размерах испытываемых датчиков.

За счет уменьшения радиуса до нескольких десятков миллиметров можно увеличить предел по ускорению в несколько десятков раз. Возможности получения при вращении ускорений до 10^6g при скоростях вращения в десятки тысяч оборотов в минуту подтверждена практикой создания и эксплуатации ультрацентрифуг, которые являются не испытательными, а технологическими. Можно упомянуть серию ультрацентрифуг Optima. Одной из проблем при их создании является бесконтактное подвешивание ротора на электромагнитном подвесе. Применительно к испытаниям ММГ специфическими являются установка и закрепление датчиков на роторе.

4. Ударный стенд для создания коротких импульсов. Ударные воздействия с большими пиковыми значениями перегрузок (от 10^3 до 10^5g и более) характерны для подвижных объектов, быстро набирающих большие скорости (порядка 10^3 м/с). Выполнение при испытаниях обоих указанных усло-

вий (большие ускорения и большие приращения скорости), для чего необходимы большие длительности ударных импульсов (секунда или доли секунды), практически невозможно.

Авторами показано, что длительность ударных импульсов, воздействующих на датчик при испытаниях можно значительно сокращать, сохраняя количественную меру воздействия на него. При представлении механических свойств ММГ, как колебательной системы с низшей собственной частотой ω_0 линейных колебаний показано, что условия эквивалентности по деформациям подвесов при воздействии ударных импульсов различных длительностей T имеет вид $\omega_0 T < M$, где безразмерное число M зависит от допускаемой погрешности в реакции системы на это воздействие.

При сохранении эффекта воздействия на удар длительность ударного импульса могла быть сокращена в десятки раз, до десятых миллисекунды. Было предложено использовать в конструкции стенда энергию сжатых пружин для разгона стола с закрепленными на нем испытываемыми образцами ММГ. Требуемый ударный импульс создается при торможении с помощью регулируемого демпфера на коротком пути.

5. Испытания микромеханических датчиков.

В качестве объектов испытаний микромеханических датчиков существенную специфику имеют средства измерений, начиная от первичных преобразователей и кончая измерительно-вычислительными комплексами.

Одно из перспективных направлений в создании датчиков механических величин, измеряющих линейные ускорения и угловые скорости, характеризуется применением усовершенствованных технологий микроэлектроники (изготовлением чипов), которые не использовали в традиционном приборостроении. Основой является пластина сверхчистого кремния, на которой по прямоугольной сетке формируется серия из нескольких сотен датчиков малых размеров (порядка единиц миллиметров). Изготовление датчиков после получения заготовки в виде пластины включает осаждение фоторезистивного материала, нанесение маски для травления, удаление засвеченного фоторезиста, травление материала заготовки по фоторезистивной маске.

После получения требуемой структуры проводят контроль соответствия требованиям по геометрическим и электрическим характеристикам. При



удовлетворительных результатах контроля разрезают пластины на отдельные чипы (датчики).

Далее каждый чип помещают в керамический корпус, закрепляют посредством сварки или пайки, а контакты чипа приваривают к контактам корпуса. После выполнения операций производят контроль готового изделия.

Датчики могут содержать подвижные элементы, но не изолированные, а упруго соединенные с основанием. Нанесенные на их поверхности электроды позволяют определять перемещения этих подвижных элементов, эти сигналы являются выходными сигналами датчиков.

Возможностей таких технологий достаточно, чтобы изготавливать механические части линейных акселерометров, как датчиков линейных ускорений, и вибрационных гироскопов, как датчиков угловых скоростей.

Датчики дополняют микроэлектронными схемами усиления и преобразования электрических сигналов. Габаритные размеры готовых чипов составляют единицы миллиметров, толщины слоев и элементов – десятки микрометров, а зазоры в подвижных структурах измеряются единицами микрометров.

Подобные микромеханические датчики, которые при массовом изготовлении будут очень дешевы, можно использовать по отдельности, например, в исследовательских испытаниях. Они вместе с компьютерами будут входить группами в состав измерительных комплексов – инерциальных навигационных систем, предназначенных для определения текущих значений координат и составляющих скорости подвижных объектов на борту. В силу используемой технологии метрологические характеристики микромеханических приборов, даже изготовленных из одной пластины, могут различаться на 10...20 %. У обычных приборов такого не бывает.

Чтобы использовать эти датчики в инерциальных системах, при испытаниях должна быть произведена точная калибровка каждого экземпляра, по результатам которой определяется целый комплекс индивидуальных метрологических характеристик. При формировании навигационной системы данные вводят в память бортового компьютера и по запомненным данным при работе системы от компьютера будут автоматически вводиться компенсирующие поправки.

Существует альтернатива: испытывать датчики отдельно, по отдельности или вместо этого после сборки осуществлять комплектные испытания конструктивно объединенной в один блок системы в целом, у которой в выходных сигналах проявляются погрешности всех входящих в нее устройств. Из одних и тех же выходных сигналов, в которых проявляются погрешности всех датчиков, нужно алгоритмически выделять составляющие, относящиеся к различным датчикам и преобразователям. При испытаниях приходится использовать разные стенды и задавать различные ориентации блока в целом. Подобные приемы использовались, но применительно к датчикам рассматриваемого типа введением поправок необходимо снижать погрешности очень намного, более, чем на два порядка. Перед проведением испытаний должна быть построена математическая модель систематических погрешностей и проведена серия специальных испытаний.

Пример [4]. Будем рассматривать ММГ, выполняющий функцию средства измерения составляющей вектора угловой скорости подвижного основания по своей измерительной оси. При высоких требованиях к точности приходится задавать большой перечень нормируемых и подлежащих определению по результатам испытаний метрологических характеристик определенного типа ММГ. Должны быть предусмотрены методы и способы определения нормируемых метрологических характеристик по результатам определительных и контрольных испытаний, градуировки или поверки. Далее перечислены основные характеристики [2, 3].

1. Диапазон (ω_{\min} , ω_{\max}) измерения угловой скорости ω , определяемый пределами измерения составляющей угловой скорости корпуса по измерительной оси, в которых обеспечиваются показатели точности. Обычно у ММГ ограничения являются симметричными относительно нуля.

2. Диапазон (u_{\min} , u_{\max}) выходного сигнала u , определяемый пределами изменения информативного параметра электрического выходного сигнала ММГ, соответствующий диапазону измерения угловой скорости. Выходной сигнал ММГ рассматриваемого типа является электрическим или цифровым, поэтому следует указывать максимальное значение в вольтах или соответствующее число разрядов выходного преобразователя.



3. Статическая градуировочная характеристика ММГ, которая экспериментально определяется как зависимость $u = f(\omega)$ информативного параметра u выходного сигнала ММГ от измеряемой угловой скорости ω по измерительной оси. Это понятие является базовым. Градуировочная характеристика определяется экспериментально непосредственно по результатам обработки данных испытаний на стенде, задающем угловую скорость, по точкам при выбранной последовательности постоянных значений угловой скорости. Но для грубых измерений можно принимать, что ее с приемлемой точностью устанавливают по нормативным документам (например, по техническому паспорту). Это – разные градуировочные характеристики (действительная и номинальная).

4. Характеристика измерения, представляющая собой обратную функцию градуировочной, т.е. $\omega = f^{-1}(u)$. Ее также называют характеристикой, приведенной к измеряемой величине (угловой скорости). Это та характеристика, которой следовало бы пользоваться, чтобы по выходному сигналу можно было определить измеряемую угловую скорость ω .

5. Номинальная градуировочная характеристика $u = f_0(\omega)$, устанавливаемая для ММГ определенной модели, как статическая градуировочная характеристика, приписываемая в соответствии с паспортными данными данному типу ММГ. Эту номинальную статическую характеристику ММГ обычно принимают линейной без смещения нуля и определяют единственным коэффициентом преобразования (масштабным коэффициентом K). При проектировании систем ее принимают за расчетную.

6. Градуировочная характеристика конкретного экземпляра ММГ, экспериментально определяемая по результатам его испытаний, как статическая градуировочная характеристика, получаемая в результате применения установленной процедуры градуировки определенного экземпляра ММТ. Стенд с высокой точностью задает значения ω_1 и ω_2 угловой скорости ω вокруг измерительной оси, при этом регистрируются соответствующие значения u_1 и u_2 информативного параметра выходного сигнала.

Градуировочная характеристика экземпляра ММГ является его индивидуальной характеристикой. Первичная градуировочная характеристика

представляется в виде таблицы дискретных пар $(u_1, \omega_1), (u_2, \omega_2), \dots, (u_n, \omega_n)$.

Для устранения случайных погрешностей целесообразно в каждой точке при каждом значении угловой скорости проводить многократные измерения, а затем результаты осреднять. Аппроксимирующую градуировочную характеристику обычно представляют в виде полиномиальной аппроксимации первичной градуировочной характеристики с точностью до третьей степени

$$u = a_0 + a_1 \omega + a_2 \omega^2 + a_3 \omega^3. \quad (1)$$

Свободный член a_0 аппроксимации представляет собой оценку смещения нуля (на невращающемся основании). При малости нелинейности измерительная характеристика (обратная) или приведенная к измеряемой величине (угловой скорости) имеет вид

$$\omega_n \approx a_1^{-1} (-a_0 + u - a_2 u^2 - a_3 u^3), \quad (2)$$

где коэффициенты a_0, a_1, a_2, a_3 те же самые, что и в формуле (1).

Свободный член $\omega_0 = a_0 / a_1$ имеет смысл постоянной составляющей погрешности по измеряемой угловой скорости.

Обычно аппроксимация градуировочной характеристики получается расчетно в результате использования метода наименьших квадратов (МНК). Коэффициенты полиномиальной аппроксимации зависят от диапазона, на котором осуществляется приближение.

7. Диапазон допускаемых относительных отклонений индивидуальной градуировочной характеристики любого экземпляра от номинальной, устанавливаемый в нормативных документах. Допускаемые при изготовлении ММГ пределы отклонений индивидуальных статических градуировочных характеристик экземпляров ММГ относительно номинальных приводят к диапазону измерения и выражаются в процентах. Для серийно изготавливаемых ММГ типичны широкие диапазоны допускаемых отклонений, порядка 10 % и более.

8. Коэффициент преобразования (масштабный коэффициент), представляющий собой коэффициент $K = a_1$ при первой степени полиномиальной аппроксимации индивидуальной градуировочной характеристики, полученной линейной аппроксимацией. Номинальная градуировочная характеристика



ка по п. 3 обычно принимается линейной без смещения.

9. Погрешность ММГ, представляющая собой разность $e = \omega_{\text{н}} - \omega$ между выходным сигналом ММГ, приведенным к измеряемой угловой скорости, и истинным (действительным) значением составляющей угловой скорости по измерительной оси. Применительно к ММГ принято рассматривать не относительную или приведенную, а только абсолютную погрешность. Погрешность практически часто устанавливается по отношению к аппроксимированной линейной градуировочной характеристике:

$$e = a_0 + a_1 (\omega_{\text{н}} - \omega) + a_2 \omega^2 + a_3 \omega^3. \quad (3)$$

10. Систематические погрешности ММГ, представляющие собой составляющие погрешности определенного экземпляра ММГ, отличающиеся стабильностью и повторяемостью при проведении испытаний в нормальных условиях, постоянные или изменяющиеся по определенным законам в пределах диапазона измерения. Законы изменения систематической погрешности по диапазону могут быть представлены в табличном виде или в виде любых аппроксимаций.

11. Смещение нуля как важнейшая систематическая погрешность, представляющая собой приведенное к угловой скорости значение выходного сигнала ММГ при отсутствии вращения корпуса ММГ. Смещение нуля определяется на неподвижном основании осреднением по времени или по большому числу пусков. Получаемое значение смещения нуля по результатам измерений при нулевой скорости может отличаться от постоянной составляющей $\omega_0 = a_0 / a_1$ аппроксимации (2).

12. Дрейф выходного сигнала ММГ, представляющей собой явление медленного изменения выходного сигнала ММГ во времени, обусловленное изменением различных влияющих величин. Явление дрейфа относится в общем случае ко всей градуировочной характеристике, в частном случае может рассматриваться только дрейф нуля, тогда составляющая a_0 в выражениях (1) или (3) должна считаться не постоянной, а медленно изменяющейся функцией времени $a_0(t)$. Наиболее распространенным является представление о линейном (во времени) дрейфе.

13. Нелинейность градуировочной характеристики, характеризующая одну из составляющих

систематической погрешности, которая определенным образом нелинейно зависит от измеряемой угловой скорости. Это разность между градуировочной характеристикой и аппроксимирующей смещенной линейной характеристикой преобразования. Можно сказать, что нелинейность представляет остаток от выделения (например, по МНК) из градуировочной характеристики суммы двух первых слагаемых $- a_0 + a_1 \omega$. При использовании кубичной аппроксимации нелинейность характеризуется слагаемыми $a_2 \omega^2 + a_3 \omega^3$.

14. Случайная погрешность ММГ, характеризующаяся как не связываемая с изменением контролируемых или изменяющихся влияющих факторов неповторяющаяся составляющая погрешности, свойства которой могут быть определены по различиям результатов при повторении процедур определительных испытаний или градуировки. Для одиночного измерения общепринятым является задание ее свойств дисперсией.

15. Порог чувствительности, который следует определять как минимальное значение приращения измеряемой угловой скорости, достоверно регистрируемое при использовании установленной процедуры обработки выходного сигнала ММГ. Процедура определения порога чувствительности может включать сглаживание любого вида на установленных ограниченных интервалах времени.

16. Существуют и могут быть значительными так называемые дополнительные погрешности. Это составляющие погрешностей ММГ, возникающие вследствие отклонения влияющих величин от нормальных значений или выхода за пределы нормальной области значений. В отличие от традиционных приборов воздействие влияющих величин может быть значительным. Основными для ММГ являются следующие влияющие величины: поперечные составляющие угловой скорости основания, температура, составляющие ускорения силы тяжести и линейного ускорения, составляющие внешнего магнитного поля.

17. Коэффициенты влияния поперечных составляющих угловой скорости (перпендикулярно базовой измерительной оси), в первом (линейном) приближении представляющие собой малые углы отклонения реальной измерительной оси ММГ от номинального направления измерительной оси x . При учете только указанного фактора и в пренеб-



режении всеми остальными погрешностями для выходного сигнала записывается выражение

$$u \approx K(\omega_x + \lambda_{\omega_x y} \omega_y - \lambda_{\omega_x z} \omega_z),$$

где $\lambda_{\omega_x y}$ и $\lambda_{\omega_x z}$ — коэффициенты влияния по отношению к составляющим ω_y и ω_z угловой скорости по соответствующим осям, перпендикулярным измерительной оси. Выражение

$$\Delta \omega = \lambda_{\omega_x y} \omega_y - \lambda_{\omega_x z} \omega_z$$

представляет собой дополнительную погрешность, приведенную к угловой скорости.

18. Динамическая погрешность ММГ, определяемая как составляющая, обусловленная изменением во времени измеряемой угловой скорости. Нормируются и определяются по результатам динамических испытаний характеристики ММГ, необходимые для расчета динамической погрешности при любых заданных законах изменения измеряемой угловой скорости во времени.

По отношению к динамической погрешности ММГ рассматривается как линейная стационарная система, и ее свойства задают передаточной функцией для этой динамической погрешности (входным сигналом считается измеряемая угловая скорость, а выходным — динамическая погрешность). Обычно достаточно ее упрощенное задание с помощью коэффициентов аппроксимации передаточной функции для динамической погрешности, которые представляют собой первый значимый коэффициент разложения в степенной ряд.

19. Для практического применения считается важным так называемое время готовности, которое

представляет собой интервал времени от момента включения питания ММГ до момента достижения основной погрешностью установленного низкого уровня.

Приведенный развернутый пример показывает, каким образом из предварительного, очень подробного анализа ожидаемых свойств рассматриваемого объекта — датчика угловой скорости (ММГ) — вытекают требования к испытательному оборудованию, методам обработки данных и представления результатов испытаний.

Выводы

1. Для проектировщиков и наладчиков микромеханических датчиков, в первую очередь ММГ, необходимо иметь малогабаритные стенды, которые можно было бы размещать у рабочих мест.

2. Реально возможно создание таких стендов, воспроизводящих угловые скорости, большие постоянные перегрузки и ударные ускорения.

Библиографический список

1. Евстифеев М.И. Теория и методы расчета упругих подвесов инерциальных чувствительных элементов приборов навигации. Автореф. дисс. ... д-ра техн. наук. СПб: ЦНИИ "Электроприбор", 2007.
2. Челпанов И.Б. Автоматические технологические машины и оборудование. Испытания машин. СПб: Изд-во СПбГПУ, 2008. 296 с.
3. Евстифеев М.И., Розенцвейн Д.В., Челпанов И.Б. Анализ прочности упругих подвесов микромеханических гироскопов // Гироскопия и навигация. 2009. №. 3. С. 22–34.
4. Евстифеев М.И., Степанов О.А., Челпанов И.Б. Испытания микромеханических приборов. Учебн. пособие. СПб: ЦНИИ "Электроприбор", 2013. 210 с.



В ПОМОЩЬ КОНСТРУКТОРУ, ТЕХНОЛОГУ

УДК 681.2

А.А. Емельяненко, канд. техн. наук,

С.Г. Бабкин (ОАО "НИИ гидросвязи "Штиль", г. Волгоград)

E-mail: emelyanenko_aleksei@mail.ru

Об опыте использования пластиков в качестве материалов корпусов гидроакустических приборов

Рассмотрена возможность применения пластиков для изготовления корпусов гидроакустических приборов. Поставлены задачи конструирования корпусов из пластиков и композитов на их основе. Определен круг материалов, целесообразных к применению при проектировании корпусов. Показаны результаты испытаний макетов, выполненных с применением пластиков. Представлены разработанные конструкции пластиковых корпусов ряда гидроакустических приборов. Выявлены некоторые проблемы и ограничения применения пластиков и композитов в качестве материалов корпусов погружаемых гидроакустических приборов.

The possibility of application of plastics for the manufacture of shells hydroacoustic devices. There are tasks that include in the constructing of special hulls that have made of plastic and composite are set in article. The range of materials that suitable for use in the design of hulls is determined. The results of testing models that performed with the use of plastics are shown. The developed constructions of plastic hulls among hydroacoustic devices are presented. Some problems and limitations were defined in the area of the application of plastics and composites which are used as materials of hulls for the submerging hydroacoustic devices.

Ключевые слова: корпус прибора; давление; прочность; сопротивление оболочки; пластик; армированный пластик; наполненный пластик.

Keywords: devices hull; pressure; (strength) resistance; resistance of shell; plastic; reinforced plastic; filled plastic.

Одним из классов изделий, проектируемых конструкторским отделом НИИ "Штиль", являются корпуса морских гидроакустических приборов типа маяков, погружаемых на ту или иную глубину и испытывающих, следовательно, то или иное наружное

давление. Традиционно материалами таких корпусов являлись коррозионно-стойкие высокопрочные стали и сплавы. Сегодня в качестве материалов для этого класса корпусов авторы рассматривают возможность использования пластиков.

Конструктивно необходимы три разновидности формы корпусов подобных приборов:

- коробчатая;
- цилиндрическая (труба со сферическими или эллиптическими торцами);
- сферическая (соединение двух полусфер).

Коробчатую форму предполагается использовать вне воды, на поверхности воды и на глубине до 100 м, т.е. при наружном давлении от 0,1 до 1 МПа. Габариты корпусов этой формы находятся в пределах 100...400 мм. Предполагается оребрение части наружной поверхности. Температурный диапазон использования в воде составляет от -4 до $+25$ °С, на воздухе – от -50 до $+50$ °С.

Учитывая опыт использования пластиков в качестве материалов корпусов высокого давления в химической промышленности и ориентируясь на прочностные характеристики и интервалы рабочих температур при долговременном воздействии, можно рассматривать варианты пластиков для данной группы корпусов, представленные в табл. 1.

При отборе перечисленных вариантов пластиков были учтены и другие их характеристики: ударная вязкость, стойкость к растворам минеральных солей, стойкость к ультрафиолетовому излучению, горючесть, водопоглощение, изменение характеристик в воде и т.д.

Так, все перечисленные пластики без наполнителя не склонны к хрупкому трещинообразованию при ударе и изгибе в интервале рабочих температур, стойки к ультрафиолетовому излучению, не



Таблица 1

Пластики, рассматриваемые в качестве материалов коробчатых корпусов

Пластик	Предел текучести, МПа	Интервал рабочих температур при долговременном воздействии, °С	
		Нижнее значение	Верхнее значение
Полиамид РА6	90	-30	+110
Полиамид стеклонаполненный РА6 + GF30	180	-30	+120
Полиацеталь кополимер POM-C	65	-30	+100
Полиацеталь стеклонаполненный POM-C + GF30	125	-30	+110
Поликарбонат PC	60	-40	+110
Полифениленсульфид PPS	100	-100	+200
Полифениленсульфид стеклонаполненный PPS + GF30	140	-100	+220
Полиэфирный PEEK	110	-100	+250
Полиэфирэфиркетон стеклонаполненный PEEK + GF30	160	-100	+270

воспламеняемы либо ограниченно горючи и практически не поглощают воду [4, 5].

В конструкторском отделе НИИ "Штиль" разработана конструкторская документация на внешний корпус непогружаемого прибора связи (рис. 1, а, стр. 4 обл.) и корпус водолазного пейджера (рис. 1, б, стр. 4 обл.). Материалом внешнего корпуса ненагруженного непогружаемого прибора принят поликарбонат, материалом корпуса пейджера – полиамид 6.

Корпуса цилиндрической формы предполагается использовать на двух уровнях глубин: до 600 м (6 МПа) и до 6000 м (60 МПа). Габариты: диаметр 50...250 мм, длина 250...1250 мм. Температурный диапазон аналогичен коробчатым корпусам.

С учетом цилиндрической формы корпусов представляется целесообразным использовать в качестве заготовок для них серийную трубопроводную арматуру из пластиков и композитов (армированных и наполненных пластиков). Характеристики некоторых пластиков, используемых для производства труб, приведены в табл. 2.

Названные пластики также не склонны к хрупкой трещине при ударе и изгибе в интервале рабочих температур (по крайней мере, при одноосном нагружении), практически не поглощают воду, трудно горючи, однако наиболее дешевые из них – поливинилхлорид и полипропилен – охрупчиваются при отрицательных температурах и требуют избегать ударов, не обладают высокой стойкостью к прямым солнечным лучам и требуют окрашивания при использовании вне помещений [2, 3]. Положительными сторонами применения поливинилхлорида и полипропилена является простота и надежность их соответственно склеивания и сваривания: прочность клеевого/сварного соединения составляет не менее 90 % прочности соединяемых материалов.

Ряд испытаний, проведенных авторами с макетами корпусов, показал, что за счет использования стандартного сортамента труб и фитингов из непластифицированного поливинилхлорида и армированного алюминием полипропилена можно добиться давления разрушения оболочек в 50 МПа –



Пластики, рассматриваемые в качестве материалов цилиндрических корпусов

Пластик	Предел текучести, МПа	Интервал рабочих температур при долговременном воздействии, °С	
		Нижнее значение	Верхнее значение
Поливинилхлорид непластифицированный PVC-U	60	-10...0	+60
Полипропилен PP	30	-10...0	+90
Полипропилен, армированный алюминием, PPRC	60...90	-10...0	+90
Смолы эпоксидные алифатические и циклоалифатические	140...170	-50	+210
Смолы эпоксидные прочие	60...90	-40	+130
Смолы эпоксидные циклоалифатические, наполненные стекловолокном (стеклопластики)	210...240	-50	+220
Смолы эпоксидные циклоалифатические, наполненные углеволокном (углепластики)	260...320	-50	+220

при наилучшем сочетании длины, диаметра и толщины стенки трубы либо при использовании составной (двухслойной) трубы, образованной посадкой с натягом на клей.

Другой ряд испытаний был проведен с корпусами из разнородных составных (двухслойных) труб: внутри – стальная труба, снаружи – труба из PVC-U, посаженная на внутреннюю с натягом 0,6...1,0 мм. Давление разрушения при этом составляет не ниже 15 МПа и определяется наименее прочной деталью корпуса – заглушкой из армированного алюминием полипропилена (составная труба остается неповрежденной). Полученная прочность превышает требуемую в 6 МПа более чем в 2 раза, и для этой подгруппы корпусов применение названных материалов сравнительно невысокой стоимости представляется вполне целесообразным.

Картина разрушения и геометрические характеристики некоторых образцов приведены на рис. 2 на стр. 3 обл.

Сопоставление сортамента стальных, алюминиевых, латунных труб и труб из PVC-U позволяет

сделать вывод о возможности использования составных труб (с натягом) в интервале наружных диаметров 60...160 мм, причем существует ряд наружных диаметров внутренних труб, позволяющих осуществлять посадку с необходимым натягом и необходимой толщиной внутренней трубы без ее обточки.

Возможность варьировать толщину внутренней трубы при постоянном наружном диаметре позволяет ожидать значения давления разрушения собственно составной трубы не менее 20 МПа. Это значение заведомо больше давления разрушения стандартных заглушек. Поэтому проблема дальнейшего повышения прочности цилиндрических корпусов состоит в обеспечении высокой прочности его торцов.

Одним из путей решения проблемы является изготовление заглушек из высокопрочных стеклонаполненных пластиков, в частности полифениленсульфида и полиэфирэфиркетона (см. табл. 1). Это в свою очередь требует проработки возможности и качества склеивания этих материалов с поливинилхлоридом.



Дальнейших испытаний требуют также следующие вопросы:

- увеличивает ли (и насколько) натяг трубы из PVC-U ее водопроницаемость?
- способен ли натяг разрушить трубу из PVC-U при отрицательных температурах?

Натяг в 1 мм не привел к разрушению при температуре $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выдержке в течение 8 ч. Правда, натяг, конечно, тоже уменьшается при понижении температуры. Но, может быть, есть опасность самопроизвольного разрушения от остаточного натяга при более низкой температуре и длительной выдержке?

Интересной особенностью разрушения труб из PVC-U при всестороннем гидростатическом сжатия является "осколочный" характер разрушения. При том, что труба из PVC-U не образует трещин при поперечном сдавливании и одноосном поперечном ударе, всестороннее гидростатическое сжатие приводит при достижении определенного напряжения (и соответствующем времени выдержки) к практически мгновенному образованию и распространению множества разнонаправленных трещин. На взгляд авторов, это говорит о том, что возникающие в объемно нагруженном образце касательные напряжения сдвига более опасны для образца, чем нормальные радиальные, тангенциальные и осевые (меридиональные) напряжения. Это следует учитывать и было учтено авторами при проектировании корпусов из составных труб: упор заглушки должен осуществляться в торец внутренней более прочной трубы (по внешней – только посадка), что разгружает внешнюю пластиковую трубу от нормального осевого напряжения и предотвращает разрушение внешней трубы до разрушения внутренней.

Исследование реакции серийной пластиковой арматуры из недорогих материалов PVC-U и PP на внешнее давление позволило сделать вывод о возможности ее применения для корпусов приборов типа маяков и буев, погружаемых на глубину до 100 м (1 МПа), с минимальным двукратным запасом прочности. Конструкторским отделом НИИ "Штиль" разработана конструкторская документация на корпуса ряда антенн, маяков и буев, где в качестве корпусных деталей использованы трубы и фитинги из PVC-U (рис. 3, стр. 4 обл.). Ряд деталей приборов выполнены из листов и плит PVC-U и PA6.

На следующем этапе рассмотрим более прочные трубы – стеклопластиковые и углепластиковые. Здесь требуют ответа следующие вопросы:

- насколько технологичны и надежны существующие способы соединения такого рода труб с фитингами?

- в сортаменте стекло- и углепластиковых фитингов отсутствуют сферические или эллиптические заглушки (видимо, из-за сложности навивки нитей). Технологично ли изготовление из тех же смол, что и трубы, заглушек, наполненных короткими стекло- или углеволокнами? Требуется также выработать технологичный и надежный способ соединения (склеивания, соплавления, свинчивания) заглушки и трубы;

- насколько ударопрочны стекло- и углепластиковые трубы при отрицательных температурах (до $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$)?

- углепластик считается дорогим материалом, стеклопластик – недорогим, если говорить собственно о материале безотносительно к формообразованию из него каких-либо изделий. Сравнить стоимости материалов разной плотности при известном пока требуемом числе изделий весьма затруднительно. Немаловажным поэтому остается пока вопрос: как будет соотноситься стоимость погонного метра равнопрочных труб одного наружного диаметра из стеклопластика, углепластика и коррозионно-стойкой стали, скажем, 12X18H9T?

Корпуса сферической формы (из двух полу-сфер) предполагается эксплуатировать в условиях от постоянного длительного (до нескольких лет) пребывания вне воды на открытом солнце и воздухе в диапазоне температур $-50...+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ до погружения на глубину (!) 11 000 м (110 МПа) при температуре $-4...+25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Диаметр конуса 200...400 мм.

Наиболее подходящим на данном этапе исследования представляется композит из полиэфирэфиркетона (или смеси полиэфирэфиркетона и полифениленсульфида), наполненный дискретными углеродными волокнами, который может быть отлит под давлением в виде полусферы. Прочность подобного композита на сжатие – до 200 МПа, диапазон рабочих температур $-100...+300\text{ }^{\circ}\text{C}$. Технология изготовления подобного корпуса от составления смеси и проектирования пресс-формы до литья и кристаллизации заготовки реали-



зума, вероятно, только на профильном предприятии.

Наконец, еще одним существенным вопросом проектирования гидростатически нагруженных корпусов является возможность их расчета на прочность. Существующие нормативные методики расчета сосудов наружного давления не отвечают всему многообразию материалов, конструкций и условий эксплуатации подобных корпусов. Поэтому актуальной видится задача разработки (и оформления в виде стандарта предприятия) методики расчета гидростатически нагруженных корпусов цилиндрической и сферической форм, одно- и многослойных, выполненных из сталей и сплавов, пластиков, композитов и комбинаций перечисленных материалов. В основу методики, разработка которой начата в связи с изготовлением и испытанием опытных образцов, нами положена теория сопротивления и расчета оболочек [1]. Для уточнения методики и формирования базы данных коэффициентов, характеризующих свойства материалов в определенных условиях, необходимы накопление и обработка экспериментальных данных, над чем сейчас и ведется работа.

Проведенные этапы исследования позволяют сделать следующие выводы:

- применение недорогих легкообрабатываемых пластиков (РАб, PVC-U) целесообразно в качестве материалов коробчатых корпусов и деталей гидроакустических приборов, непогружаемых или погружаемых на глубину до 100 м;
- применение серийной трубопроводной арматуры из недорогих неармированных (PVC-U, PP) и армированных (PPRC) пластиков целесообразно в

конструкциях корпусов гидроакустических приборов, погружаемых на глубину до 100 м;

- применение составных труб с внутренним слоем из стали или цветного сплава и внешним слоем из пластика PVC-U или PP целесообразно в конструкциях корпусов гидроакустических приборов, погружаемых на глубину до 600 м;
- запас прочности корпуса гидроакустического прибора в названных областях применения составляет значение не ниже 2 и при наилучшем сочетании толщины стенки (слоев) трубы, длины и диаметра может быть доведен до значения 3;
- перспективным является дальнейшее исследование применения перечисленных в работе высокопрочных пластиков, наполненных угле- и стеклопластиковыми нитями и дискретными волокнами для глубин до 6000 м и более;
- эффективность проектирования корпусов погружаемых приборов из пластиковых материалов определяется возможностью их расчета на прочность, методика которого уточняется.

Библиографический список

1. Дарков А.В., Шпиро Г.С. Сопротивление материалов. М.: Высшая школа, 1975. 654 с.
2. **Материалы**, используемые для промышленного производства трубопроводов. URL: [www.piping.georgfischer.com/...](http://www.piping.georgfischer.com/)
3. **Трубы** из непластифицированного ПВХ. Техническое описание. URL: [www.dyka.com/...](http://www.dyka.com/)
4. **Энциклопедия** полимеров. В 3-х т. Т. 1. М.: Наука, 1972.
5. **Энциклопедия** полимеров. В 3-х т. Т. 2. М.: Наука, 1974.

Сварка, резка, наплавка – 2013

С 25 по 28 июня 2013 г. в павильоне № 7 ЦВК "Экспоцентр" (Москва) проходила 5-я Международная специализированная выставка оборудования и инновационных технологий для сварки, резки, наплавки.

Выставка была организована компаниями "Мессе Эссен" ГмбХ, "Мессе Дюссельдорф" ГмбХ и ООО "Мессе Дюссельдорф Москва" при поддержке Национального агентства контроля сварки (НАКС).

Участниками выставки были 50 компаний из зарубежных стран и России.

На прошедшей выставке были продемонстрированы и предложены потребителям: установки, оборудование и технологии для сварки металлов и пластиков, нанесения покрытий, высоко- и низкотемпературной пайки, наплавки, термического напыления и термической обработки; механизированные и автоматизированные установки для соединения склеиванием; комплектующие и сварочные материалы; измерительная техника и методы испытаний. Все это с успехом можно применить при сборочных технологиях.

Приведем краткое описание экспонатов и предложений предприятий, применимых в машиностроении.

Опытный завод сварочного оборудования института электросварки им. Е.О. Патона (Украина) выпускает широкий ассортимент профессионального сварочного оборудования и является лидером рынка сварочных аппаратов, он также производит наплавочные установки, крупногабаритные вакуумные камеры, установки электронно-лучевой сварки, автоматизированные установки ультразвукового неразрушающего контроля, оборудование для машиностроительных предприятий и автоматизированные системы управления сварочным оборудованием и т.п. Он демонстрировал на выставке свое оборудование.

Сварочный трансформатор Патон ТДС-181 предназначен для ручной электродуговой сварки углеродистых и низколегированных сталей толщиной от 1 мм. Трансформатор имеет три выхода для подключения электрододержателя: на 90 А (для электрода диаметром 2 мм); 140 А (для электрода диаметром 3 мм); 180 А (для электрода диаметром 4 мм). Питающее напряжение трансформатора 220 В, номинальный сварочный ток 180 А, продолжительность нагрузки 20 %, охлаждение трансформатора принудительное, потребляемая мощность

9,9 кВт. Его габаритные размеры 356×231×335 мм, масса 23 кг.

Сварочный трансформатор Патон СТШ-252 СГД предназначен для ручной электродуговой сварки углеродистых сталей электродами диаметром 2...5 мм. Он рекомендован к применению при выполнении сварочных работ в тяжелых эксплуатационных условиях. Плавное регулирование сварочного тока осуществляют перемещением магнитного шунта. Сварочный трансформатор имеет двойное подключение – на 220 и 380 В, а также принудительное охлаждение, благодаря чему увеличена продолжительность нагрузки.

Аппарат укомплектован блоком СГД (стабилизатор горения дуги), что позволяет за счет стабилизирующих импульсов, поддерживающих горение дуги в момент перехода основного тока через ноль, производить сварку на переменном токе электродами всех типов, в том числе с основным покрытием (ОЗЛ, УОНИ и т.п.), а также аргонодуговую сварку любых металлов (алюминий, медь, коррозионно-стойкая сталь и т.п.) в тех случаях, когда допускается начальный поджиг дуги контактным способом. Сварочный ток трансформатора 250 А, напряжение холостого хода 65 В, продолжительность нагрузки 40 %, пределы регулирования сварочного тока 70...260 А, потребляемая мощность 16,3 кВт. Габаритные размеры трансформатора 425×380×475 мм, масса 60 кг.

Сварочный трансформатор Патон А622А (ТШП-10 000) служит для питания установок электрошлаковой технологии. Конструктивно трансформатор выполнен в виде шкафа, внутри которого расположены все элементы электрической схемы. Шкаф состоит из сварного стального каркаса, закрытого съемными крышками. Для транспортировки шкаф снабжен специальными болтами.

На нижней раме шкафа расположен силовой трансформатор, над которым закреплены четыре

контактора. Трансформатор обеспечивает ступенчатое изменение рабочего напряжения под нагрузкой за счет изменения общего числа витков катушек первичной обмотки. Переключение катушек первичной обмотки осуществляется контакторами с разрывом первичной цепи на 3 с, что не нарушает электрошлакового процесса. Работой контакторов управляет переключатель, имеющий пять фиксированных положений: 0; 42; 54; 66 и 76 В.

Вторичная обмотка состоит из шести дисковых витков, опаянных по контуру медной трубкой, по которой проходит охлаждающая вода. Система водяного охлаждения состоит из приемного коллектора, водосборника и резиновых рукавов. На передней части водосборника имеется смотровое окно для визуального наблюдения протока воды из системы.

На боковой стенке расположена изоляционная панель с выводами вторичной обмотки силового трансформатора, смонтированы автоматический выключатель и переключатель ступеней напряжения. На задней стенке смонтирована изоляционная панель с выводами первичной обмотки с блоком зажимов для подключения трансформатора тока к прибору, расположенному на пульте управления установкой для электрошлаковой технологии.

Номинальное напряжение питающей сети 2×380 В, потребляемая мощность 760 кВт, сварочный ток 10 000 А, КПД не менее 90 %, расход воды охлаждения 0,25 л/с. Габаритные размеры сварочного трансформатора 1700×1070×1655 мм, масса 2,4 т.

Комплект выпрямителя Патон ВС-650СР для полуавтоматической сварки сплошной электродной проволокой в среде углекислого газа и смеси газов $\text{CO}_2 + \text{Ar}$ или порошковой проволоки предназначен для выполнения сварочных и наплавочных работ в особо тяжелых эксплуатационных условиях (карьеры, шахты, трассы трубопроводы). Комплект не чувствителен к высоким и низким температурам, повышенной запыленности или влажности.

При полуавтоматической сварке регулировка сварочного напряжения осуществляется ступенчато (27 ступеней). Большой запас мощности позволяет вести сварку при длине коммуникаций между источником и блоком подачи до 50 м, что делает

его незаменимым при выполнении монтажных работ.

В систему питания сварочной дуги встроен параметрический дроссель, позволяющий повысить качество получаемых сварных соединений, особенно при сварке тонкого металла и облегчает наложение вертикальных и потолочных швов. Возможна многопостовая ручная дуговая сварка четырьмя постами по 200 А. Питающее напряжение комплекта 3×380 В, сварочный ток при продолжительности нагрузки 80 % составляет 650 А, пределы регулирования: напряжения холостого хода ступенчатое 18...58 В, скорости подачи электродной проволоки 2...20 м/мин. Расход защитного газа 15 л/мин, диаметр электродной проволоки: сплошной 1...2,4 мм, порошковой 1,2...3,6 мм. Габаритные размеры: блока подачи 650×320×442 мм, источника 905×770×830 мм. Масса: блока подачи 24 кг, источника – 230 кг.

Сварочный трактор Патон ТС-77М предназначен для высокопроизводительной сварки под флюсом протяженных швов (рис. 1). Он снабжен рукояткой, позволяющей сварщику стоя наблюдать за технологическим процессом сварки и направлять трактор по шву. Его техническая характеристика почти такая же, как и у сварочного трактора Патон

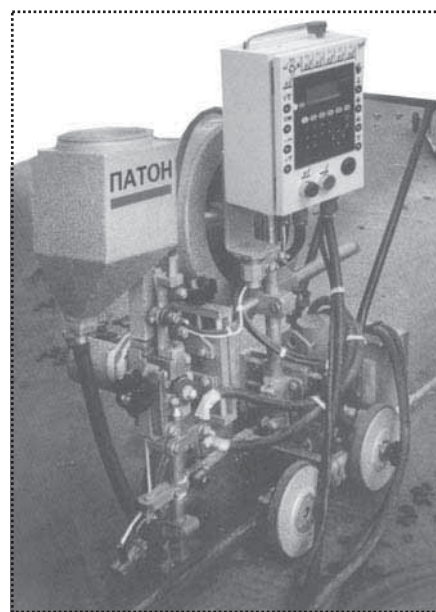


Рис. 1. Сварочный трактор Патон ТС-77М



ТС-78. Габаритные размеры сварочного трактора 850×480×720 мм, масса 80 кг.

Сварочный трактор Патон ТС-78 предназначен для высокопроизводительной сварки двумя дугами в щелевую разделку при сварке изделий за один проход толщиной до 40 мм. Мундштук трактора снабжен оригинальным контактным узлом со смещенными медными пластинами, длительное время обеспечивающими надежный контакт с электродной проволокой без замены пластин. Блок управления сварочным процессом, разработанным на современной электронной базе, обеспечивает: точное поддержание заданных параметров, а также их цифровую индикацию; надежный поджиг дуги за счет функции "мягкий старт"; возможность выполнения сварки на трех различных, заранее настроенных режимах без остановки процесса сварки; плавное независимое друг от друга задание параметров режима и корректировку их в процессе сварки. Номинальный сварочный ток трактора 1000 А, продолжительность включения 100 %, диаметр сварочной проволоки 3...5 мм, скорость ее подачи 30...360 м/мин, скорость сварки 10...100 м/мин, корректировка электродной проволоки: вертикальная 100 мм, горизонтальная 50 мм, горизонтальное смещение головки не менее 50 мм, радиальный поворот сварочной головки 90°. Габаритные размеры сварочного трактора 950×490×810 мм, масса 90 кг.

Выпрямитель-инверторный аппарат Патон АДИ-200STIG DC предназначен для аргодуговой сварки, а также для ручной дуговой сварки. Это аппарат из серии "Standart", предназначенной для самых требовательных к габаритным размерам пользователей при работе с любыми электродами диаметром до 5 мм при ручной дуговой сварке.

В аппарат встроен блок бесконтактного поджига дуги. Масса аппарата не превышает 6,9 кг, при этом продолжительность нагрузки не менее 45 %, что с запасом позволит решить большинство задач при эксплуатации. Ток при работе аппарата плавно регулируется от 10 до 200 А. Он прост в использовании, так как все дополнительные функции установлены на оптимальные значения для большинства случаев применения. Питающее напряжение аппарата 220 В, номинальная потребляемая мощность 5,6 кВт (максимальная 7,9 кВт), охлаждение принудительное, КПД 92 %. Габаритные размеры выпрямителя 345×110×250 мм.



Рис. 2. Сварочная маска Патон (тип хамелеон)

Сварочная маска "Патон" (тип хамелеон) с цифровым управлением (рис. 2) разработана на базе последних достижений эргономики и современной электроники. Нет необходимости ее включать/выключать – шлем всегда готов к работе. Степень затемнения (DIN9-13) плавно регулируется; во время сварки можно с наружной стороны шлема регулировать степень затемнения. Применены солнечные батареи, которые не нуждаются в подзарядке. Габаритные размеры фильтра 110×90×10,5 мм, размеры смотрового стекла 98×42 мм, рабочая температура –10...+60 °С, время задержки при переключении 0,2...0,8 с. По словам разработчиков, комфорт и безопасность маски увеличивает производительность и улучшает качество сварки.

Национальная Академия наук Украины предложила новую технологию для сварки неповоротных стыков магистральных трубопроводов – *сварку с принудительным формированием шва*. Данный вид сварки не ограничен критической массой сварочной ванны при сварке в пространственных положениях, отличных от нижнего. Здесь используют форсированные режимы, соответствующие допустимым для сварки в нижнем положении, поэтому при выполнении заполняющих и облицовочного проходов такой вид сварки предпочтителен. Механические свойства и внешний вид соединения соответствуют высоким требованиям. Высота слоя за один проход составляет до 8 мм, что сокращает

число необходимых палаток, агрегатов питания и прочего оборудования в три раза. При таком виде сварки применяют легкие направляющие пояса (при сварке трубопроводов). Они заранее устанавливаются на пристыкуемые трубы. Сварочные головки за 4 с устанавливаются на пояс, сводя к минимуму время на подготовительно-заключительные операции. В качестве подающих механизмов используют полуавтоматы, подвижно устанавливаемые на раме, закрепленной на кронштейне сварочной палатки. Сварочные головки оборудованы фотоэлектрическими следящими устройствами за уровнем сварочной ванны, что существенно упрощает работу оператора.

ООО Кайэрд (КНР) предложило потребителям различное оборудование для резки и сварки металлов.

Аппарат мод. ZX7-500N предназначен для ручной дуговой сварки с инвертором. Управление аппаратом обеспечивает быструю реакцию на изменение в сварочной дуге во избежание ее обрыва. Режим контроля пикового тока обеспечивает защиту от тока короткого замыкания и обеспечивает высокую надежность силовой установки. Цифровой дисплей обеспечивает контроль за технологическим процессом сварки. Номинальное входное напряжение аппарата 380 В, входной ток 36 А, мощность 24 кВт, ток непрерывной сварки 50...500 А при продолжительности нагрузки 60 %. Габаритные размеры аппарата 500×252×476 мм, масса 28 кг.

Аппарат мод. WS-400N служит для аргонодуговой сварки вольфрамовым электродом нового поколения с инвертором и представляет собой установку двойного назначения для аргонодуговой и ручной дуговой сварки. Для этого имеется специальный переключатель. Управление пиковым током 20 А обеспечивает стабильную мощность 17 кВт. Высокочастотная дуга и высокий коэффициент возбуждения дуги, а также низкий дуговой ток (менее 10 А) обеспечивают стабильную сварку и качество формы сварного шва. Регулируемая задержка пневматического выключения предотвращает окисление расплавленного бассейна после остановки сварки. Габаритные размеры аппарата 465×232×405 мм, масса 24 кг.

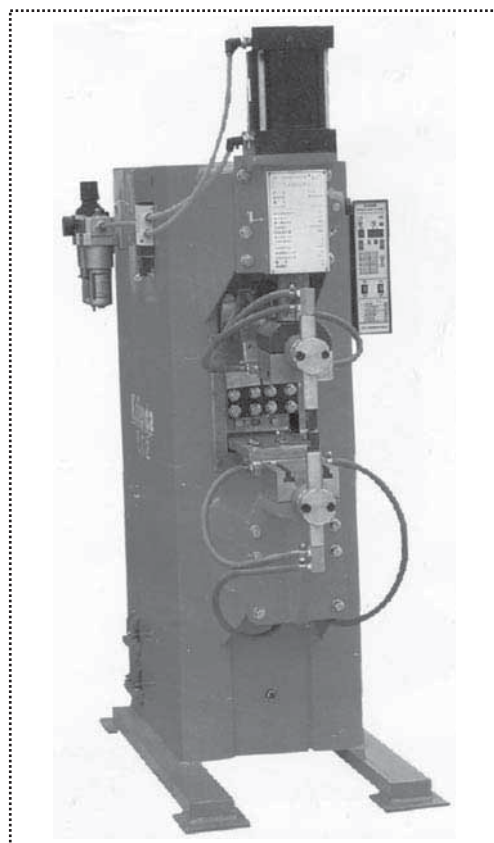


Рис. 3. Пневматический аппарат мод. DTN-100

Аппарат мод. LGK-63N нового поколения с инвертором предназначен для воздушно-плазменной дуговой резки. Аппарат подходит для резки разных цветных листовых металлических материалов. Номинальное входное напряжение аппарата 380 В, входной ток 13 А, мощность 9 кВт, ток непрерывной резки 30...63 А. Его габаритные размеры 445×222×315 мм, масса 16 кг. Скорость резания и сокращение деформации в четыре раза больше скорости традиционной ацетиленово-кислородной резки.

Пневматический аппарат мод. DTN-100 (рис. 3) служит для точечной и рельефной сварки металлических листов и прутков из углеродистой стали, низкоуглеродистой, а также легированной и коррозионно-стойкой стали, сплавов железа, оцинкованных листов и цветных металлов. Аппарат оснащен контроллером, использующим высокопроизводительное одночиповое управление и регулирующим время сварки. Обеспечивается автоматическая компенсация сетевого напряжения. Напря-



жение автомата 380 В, мощность 100 кВт, вылет консоли 500 мм, способ охлаждения водяной, масса аппарата 460 кг.

Портативный станок с ЧПУ для резки и вырезания сложных фигур подходит для работ внутри и вне помещений. Станок оснащен интерфейсом интерактивного диалога, обеспечивает автоматическое преобразование графических данных без ручного кодирования. По программе AutoCAD чертеж детали можно вывести на экран и редактировать. Станок может осуществлять беспроводную передачу файлов программы с помощью ноутбука. Питающее напряжение станка 220 В, толщина резки по осям X , Y составляет 1000 мм. Передовая технология цифрового управления позволяет отдельно выполнять программирование и цифровое управление, снижает коэффициент отказов оборудования и упрощает техническое обслуживание.

Переносной однопостовой очиститель сварочного дыма мод. KED-1200В предназначен для очистки от сажи, пыли в процессе сварки, резки и шлифовки с целью улучшения условий труда, позволяет выбирать разный фильтрующий патрон для разных технологических условий. Расход воздуха при работе очистителя составляет 1200...1400 м³/ч. Мощность двигателя 1,5 кВт, его питающее напряжение 380 В, площадь фильтрации 14 м², его эффективность не менее 99,99 %, шум при работе – не более 72 дБ. Габаритные размеры очистителя 700×650×1360 мм, масса 128кг. Полуавтоматическая очистка выполняется обратной продувкой под давлением и ручным толчковым перемещением. Снятие фильтрующего элемента не требуется.

Компания LIMAB Oy (Финляндия) предложила потребителям свою продукцию.

Система LIMAB Thickness Profiler™ предназначена для измерения и контроля толщины и ширины стального полотна и листовой стали в холодном состоянии. Систему устанавливают в технологической линии продольной резки. Лазерные датчики Preci Cura™ устанавливают внутри устойчивой к температурным колебаниям рамы для измерения толщины обрабатываемого полотна. Измерение профиля толщины производится по каждой из измерительных дорожек стального полотна или листа стали. Ширина измеряется двумя датчиками, установленными с каждой из боковых сторон. Один датчик устанавливают сверху над измеряемой по-

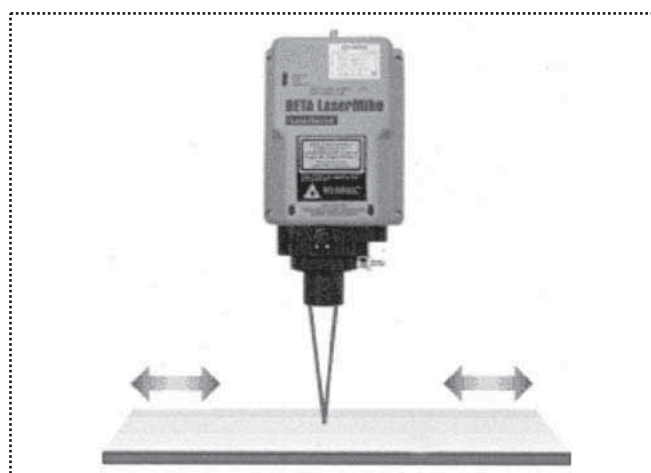


Рис. 4. Измерительный прибор LS 4000

лосой, второй снизу. Оба датчика измеряют расстояние до полосы, в результате чего получается значение действительной толщины. Датчики синхронизированы, в результате вертикальные смещения и вибрации не оказывают влияния на процесс измерения.

Прибор Laser speed мод. LS 4000 (рис. 4) повышает точность измерений. На результат измерений состояние поверхности измеряемого объекта не влияет, будь то маслянистая, сырая или сухая поверхность. Точность измерений таким прибором намного выше по сравнению с достигаемой при использовании контактного роликового энкодера. Вне зависимости от типа измеряемого продукта или условий прибор обеспечивает точность $\pm 0,05$ % и повторяемость $\pm 0,02$ %. Кроме того, так как измеритель бесконтактного типа, он практически не требует технического обслуживания. Прибор рекомендован к применению в тех системах, в которых используют летучие ножницы или пилы для резки стекловаты, изоляционных материалов, материалов для покрытия пола, гипсокартона, плит OSB, древесных плит в линиях резки стали или алюминия и т.п.

Компания EUROTTECHPROM GmbH (Германия) продемонстрировала на выставке системы автоматизации и роботизации технологических процессов: шлифования поверхности; полирования и глянцеования; зачистки и снятия заусенцев; сверления, фрезерования и отрезки. Применение этих систем позволяет обрабатывать изделия любых размеров с интеграцией в один комплекс различных средств



контроля и обратной связи. Например, нанесение различных лакокрасочных материалов с использованием промышленных роботов позволяет достичь снижения материальных затрат и повысить безопасность производства за счет уменьшения контакта людей с опасными веществами. Также там, где требуется высокая производительность, точность установки деталей и безотказность работы, роботизация является способом снижения трудоемкости. Промышленные работы заменяют человека во вредном производстве при высоких температурах, высокой влажности и запыленности.

При сварке бортов автосамосвалов в сварочных комплексах используют по 2 промышленных робота. Для сборки, позиционирования и крепления деталей борта используется пневматическая оснастка.

Роботизированы зачистка деталей после литья, измерение и контроль геометрии на входе и выходе, автоматическая коррекция программы.

Высокопроизводительная сварка корпусных деталей производится на шести рабочих позициях различных типов швов предварительно собранных изделий.

Многофункциональный робототехнический комплекс совмещает сварку, наплавку и газокислородную резку элементов трубопроводной арматуры.

Роботизированная сварка наиболее трудоемких элементов промышленных тракторов (лонжеронов и толкающих брусков) осуществляется быстроъемной механической оснасткой.

При изготовлении крышки люка полувагона сварку деталей осуществляют в пневмомеханической оснастке (кондукторе). Используется тактильная система поиска сварного соединения, которая корректирует работу комплекса в зависимости от смещения заготовки от эталонного положения.

Компания Jnd. Grimm Schweibtechnik (Германия) предложила потребителям компоненты и системные решения для сварочной техники.

Установку для сварки продольных и кольцевых швов обечаек и труб из высоколегированных сталей. Малые внутренние диаметры труб при сварке внутреннего шва и высокие температуры требуют надежного решения. Для этого разработана сварочная горелка для WIG/TIG сварки с водяным охла-

ждением. Установка полностью механизирована: подача сварочной проволоки осуществляется четырехроликовым подающим механизмом, механическая настройка подачи проволоки производится по двум направлениям, имеются две камеры с освещением для наблюдения за дугой, подачей проволоки и сварным швом, а также возможность регулировки длины дуги за счет ее напряжения.

Универсальную установку для WIG/TIG сварки кольцевых швов из аустенитных материалов. На полностью механизированной установке за счет механизма подачи проволоки и устройства для колебаний горелки, а также регулировки длины сварочной дуги возможна сварка деталей различной толщины. Для тонкостенных симметричных тел вращения сокращение времени цикла при сварке на такой установке составляет около 40 % в сравнении с плазменной сваркой. Необходимость подварки сварных швов на такой установке сокращается до 1 %.

Систему лазерного отслеживания, представляющую собой бесконтактный датчик поиска шва и систему отслеживания за стыком во время сварки. Лазерный сканер, установленный перед сварочной головкой, с помощью видимой лазерной линии считывает сварочный стык и определяет позицию и качество стыка в данный момент времени. Полученные данные обрабатываются процессором и передаются на устройство управления сварочного комплекса. Контроллер системы просчитывает возможные отклонения и корректирует, при необходимости, позицию сварочной горелки и изменяет параметры сварки.

Цифровой проволокоподающий механизм мод. ДКА 9000, устанавливающий стандарты в технологии сварки. Основа привода механизма состоит из высокомоментного динамического мотора и привода с малыми зазорами. Широко расположенные друг напротив друга зубчатые колеса для подачи проволоки со специальным пазом обеспечивают бесперебойную подачу проволоки диаметром 0,4 мм. Небольшая масса механизма, компактная форма и система быстрой замены проволоки гарантирует экономичность при применении его в роботизированных и автоматизированных установках. При эксплуатации возможна воспроизводимость настройки горелки и подачи сварочной проволоки по каждой оси и направлению. Особенностью ме-



ханизма является наличие шланг-пакета для подачи проволоки с быстрым подключением и системой Micro-Glide. При подаче проволоки из бочки и большой удаленности проволокоподающего механизма требуется только один привод.

Устройство мод. LAR7 со встроенным позиционированием горелки, предназначенное для регулировки зазора дуги. Оно измеряет напряжение дуги во время сварочного процесса и сохраняет расстояние от сварочной горелки до свариваемой детали постоянным и при неровной поверхности свариваемых деталей. Особенно это важно при автоматической сварке, где необходимо достижение повторяемости, безопасности и высоких качественных стандартов для сварного шва. Устройство применимо для сварки на постоянном и переменном токах, а также при пульсирующих токах. Предусмотрена настройка точности при работе установки и подключение моторизованного поперечного регулирования горелки. Перед началом сварки горелка устанавливается в заданную позицию к свариваемым деталям. После окончания сварки и продувки горелка автоматически перемещается в свою основную позицию.

ООО "НТ-Сварка" (Санкт-Петербург) демонстрировало системы регулировки высоты для машин термической резки зарубежного производства.

Система M4000 предназначена для регулирования в автоматическом режиме высоты для машин плазменной и автогенной резки и состоит из контактного сенсора для резки тонкого металла, механизма подъема резака и быстрой его замены, 3D защиты от столкновения резака с механизмом подъема, устройства обмена данными с ЧПУ посредством интерфейса CUTBUS. Рабочий ход системы до 700 мм, нагрузка 7...30 кг. Скорость рабочего хода плавно регулируется. Система совместима с любыми машинами термической резки.

Компания "Вектор-групп" (Москва) показала на выставке промышленное оборудование и технологии, в том числе и для сборочного производства.

Технология ионно-плазменного азотирования основана на использовании метода химико-термической обработки металлических деталей, инструмента, штамповой и литейной оснастки в плазме тлеющего разряда азота. Суть метода заключается в возбуждении импульсного тлеющего разряда между азотируемыми изделиями и стенкой вакуумной

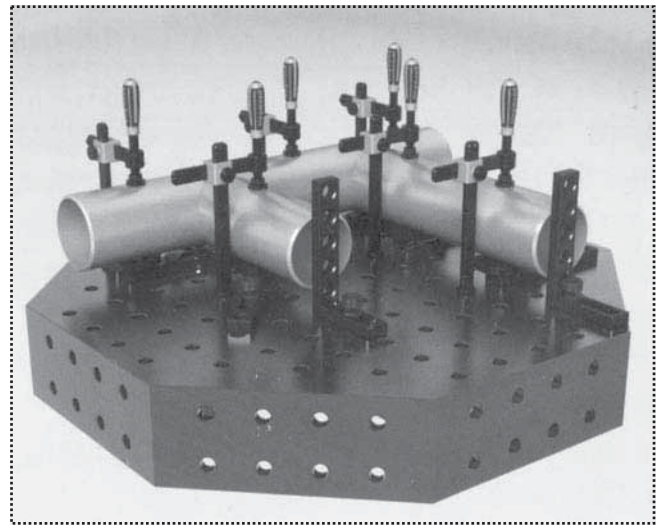


Рис. 5. Восьмиугольный стол для роботизированной сварки

камеры в аргоно-азотно-водородной газовой смеси при давлении до 1000 Па. Под действием бомбардировки изделий ионами газовой смеси происходит насыщение поверхностного слоя изделий азотом с образованием твердых нитридов металлов. Основными достоинствами ионно-плазменного азотирования являются: возможность управления структурой получаемого азотируемого слоя для обеспечения требуемых механических свойств; отсутствие загрязнений окружающей среды так как используется только азот, водород и кислород; экономичность. Такая технология значительно увеличивает твердость поверхности, придает ей антикоррозионные и антизадирачные свойства, а также защищает поверхность детали от прилипания металла при сварочных работах.

Сварочно-монтажный стол с отверстиями на верхней и боковых поверхностях. Стандартная сетка отверстий дополнена диагональной на боковых поверхностях. Диаметр отверстий составляет 28 мм. Конструкция стола усилена ребрами жесткости шириной 200 мм. Для удобства нанесены линии координатной сетки с шагом 100 мм. Столешница и ребра жесткости изготовлены из плиты толщиной 25 мм. Габаритные размеры стола до 3000×1500×200 мм.

Восьмиугольный стол (рис. 5) предназначен для применения в роботизированных сварочных комплексах. Благодаря параллельному размещению сетки отверстий на всех девяти плоскостях восьмиугольный стол имеет такие возможности зажима,



что и профессиональный сварочный стол. Диаметр его отверстий 28 мм, шаг сетки 100 мм. Высота столешницы 25 мм (плита), с ребрами жесткости шириной 200 мм. Габаритные размеры стола 746×1800 мм, диаметр 1948 мм.

Соединительный блок служит для наращивания сварочного стола в вертикальной и горизонтальной плоскостях, а также для соединения двух сварочных столов. Блоки соединяются между собой соединительными болтами.

Быстрозажимные болты с поворотным запором для соединения различных элементов. Шари-

ки-фиксаторы болтов защищают фаски отверстий, снижая давление. Такие болты уменьшают внутреннее трение и усиливают фиксацию.

На прошедшей выставке было продемонстрировано сварочное и смежное с ним оборудование для пайки, обработки поверхностей, термической резки и т.п. Во время проведения выставки была организована 5-я Международная конференция НАКС "Сварка – взгляд в будущее".

Чл.-кор. АПК А.Н. Иванов



МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА:

учебник для студентов вузов

Цена 600 р.

С.Н. Григорьев

2009. – 368 с.: ил. ISBN 978-5-94275-429-7

Рассмотрены физические и технологические основы современных методов нанесения покрытий, поверхностного легирования, термической, деформационной и комбинированной обработки, исследовано их влияние на физико-механические свойства поверхностного слоя и эксплуатационные показатели режущего инструмента. Приведены материалы, касающиеся оценки качества режущего инструмента после нанесения покрытий и поверхностной модификации, а также ряд других важных вопросов.

Для студентов вузов, аспирантов и специалистов-инструментальщиков, занимающихся разработкой и исследованием различных методов повышения стойкости режущего инструмента.

Гриф УМО.

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

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., Солюшкина Л.Е.*

Сдано в набор 03.09.13 г. Подписано в печать 15.10.13 г. Формат 60×88 1/8.

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

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

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