

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

8 2012
(145)

СОДЕРЖАНИЕ

Экономика и организация сборочного производства

Пиголкин А.Б., Мусалимов В.М. Современные подходы к оптимизации производства 3

Технологичность конструкции

Рябов Г.К., Власов М.В. К вопросу обеспечения собираемости планетарной роликовинтовой передачи 9

Сборочно-сварочные работы. Пайка

Карабанов В.В., Бохоров И.О. Пайка как вспомогательный процесс 12

Обеспечение качества. Испытания. Контроль

Бойкачев В.Н. Создание и внедрение системы сертификации качества электронной компонентной базы космического приборостроения 20

Вязовский В.В., Пшеничный А.Г., Райко А.В. Разработка метода активного контроля вакуумных свойств диффузионных соединений 24

Камалдинов А.М., Сурженко М.С., Аксенов Е.Г. Измерение малых вращающих моментов силы для контроля качества сборки изделий ракетно-космической техники 30

Карабань В.Г., Кристалль М.Г., Коротков А.В., Марчук Д.В. Обеспечение точности при сборке клиновых механизмов свободной хода бесступенчатых передач 33

В помощь конструктору, технологу

Ковалев В.Г., Ковалев С.В. Предельные величины силовых и геометрических параметров при электромонтаже методом накрутки 36

Страницы истории

Березин С.Я., Романова Л.С. Исторические и технические пути развития вспомогательной оснастки для резьбообразования и сборки 43

Председатель редакционного совета
Ф.М. МИТЕНКОВ, академик РАН

Редакционный совет

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

Региональные редсоветы

БЕЛГОРОД	Г.А. ХАРЛАМОВ
Н.А. ПЕЛИПЕНКО	
БРЯНСК	А.Н. ПОЛЯКОВ
О.А. ГОРЛЕНКО	А.И. СЕРДЮК
ВЛАДИВОСТОК	А.П. ФОТ
Ю.Н. КУЛЬЧИН	РЫБИНСК
А.А. СУПОНЯ	В.Ф. БЕЗЪЯЗЫЧНЫЙ
В.М. КОРНИЕНКО	В.В. НЕПОМИЛУЕВ
ВОЛГОГРАД	А.Н. СЕМЕНОВ
В.Г. КАРАБАНЬ	САМАРА
М.Г. КРИСТАЛЬ	М.А. ЕВДОКИМОВ
В.И. ЛЫСАК	Ю.А. ВАШУКОВ
В.М. ТРУХАНОВ	Г.А. КУЛАКОВ
ИЖЕВСК	В.А. НИКОЛАЕВ
И.В. АБРАМОВ	САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
Б.А. ЯКИМОВИЧ	В.Ф. КУЗЬМИН
В.Г. ОСЕТРОВ	Е.В. ШАЛОБАЕВ
КАЗАНЬ	ТОЛЬЯТТИ
Р.И. АДГАМОВ	А.И. РЫЖКОВ
КОВРОВ	ТУЛА
Ю.З. ЖИТНИКОВ	В.В. ПРЕЙС
КОЛОМНА	ХАБАРОВСК
Ю.Д. АМИРОВ	В.А. ЛАШКО

Украина

КОМСОМОЛЬСК-НА-АМУРЕ	КИЕВ
Б.Н. МАРЬИН	А.С. ЗЕНКИН
В.И. ШПОРТ	В.А. МАТВИЕНКО
А.М. ШПИЛЕВ	ДОНЕЦК
НАБЕРЕЖНЫЕ ЧЕЛНЫ	А.Н. МИХАЙЛОВ
С.В. ДМИТРИЕВ	СЕВАСТОПОЛЬ
Р.М. ХИСАМУТДИНОВ	Е.Л. ПЕРВУХИНА

НИЖНИЙ НОВГОРОД

С.В. ГОЛУБЕВ	Беларусь
ОМСК	МИНСК
В.Н. КОСТЮКОВ	В.Л. БАСИНЮК
ОРЕЛ	М.Л. ХЕЙФЕЦ
Ю.С. СТЕПАНОВ	ГОМЕЛЬ
	В.Е. СТАРЖИНСКИЙ

Ответственные за подготовку и выпуск номера:

Ю.А. ЧИЧОВ, И.М. ГЛИКМАН

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

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

За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель.

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

THE MONTHLY
NEWSMAGAZINE
FOR SCIENTISTS
AND MANUFACTURERS

ASSEMBLING



IN MECHANICAL ENGINEERING AND INSTRUMENT-MAKING

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

8 2012
(145)

CONTENTS

Economy and the organization of assembly

Pigolkin A.B., Musalimov V.M. Modern approaches to optimization of production . . . 3

Manufacturability of a construction

Ryabov G.K., Vlasov M.V. To a question of providing collecting of planetary roller screw drive transfer spent FA drums for refueling complex at the 4th Beloyarskaya NPP power unit . . . 9

Assembly welding works. Soldering

Karabanov V.V., Bohorov I.O. The soldering as auxiliary process . . . 12

Quality assurance. Testing. Monitoring

Boykachov V.N. Creation and realization of system of quality certification for electronic components of space electronic equipment . . . 20

Vyazovsky V.V., Pschenichny A.G., Raiko A.V. Development of the method of active control of vacuum diffusion properties of compounds . . . 24

Kamaldinov A.M., Surzhenko M.S., Aksenov E.G. Low force torques measurement for SRE work piece assembly quality control . . . 30

Karaban V.G., Kristal M.G., Korotkov A.V., Marchuk D.V. Ensuring the accuracy of the assembly wedge-type overrunning mechanism of the variable speed gear . . . 33

Industrial and design engineer's aid

Kovalev V.G., Kovalev S.V. Limits of power and geometrical parameters of the elektroinstallation method of cheating . . . 36

Pages of history

Berezin S.Ya., Romanova L.S. Historical and technical ways of development auxiliary equipment for operations screwing-forming and assemblages . . . 43

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

Editors

MOSCOW

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

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

Regional editors

BELGOROD

N.A. PELIPENKO

BRIANSK

O.A. GORLENKO

VLADIVOSTOK

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

VOLGOGRAD

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

IZNEVSK

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

KAZAN

R.I. ADGAMOV

KOVROV

Yu.Z. ZHITNIKOV

KOLOMNA

Yu.D. AMIROV

KOMSOMOLSK-ON-AMUR

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

NABEREZHNYE CHELNY

S.V. DMITRIEV
R.M. KHISAMUTDINOV

NIZHNY NOVGOROD

S.V. GOLUBEV

OMSK

V.N. KOSTIUKOV

OREL

Yu.S. STEPANOV
G.A. KHARLAMOV

ORENBURG

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

RYBINSK

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

SAMARA

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

ST.-PETERSBURG

V.F. KUZMIN
E.V. 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

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 658.78

А.Б. Пиголкин, В.М. Мусалимов, д-р техн. наук, профессор (Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики)
E-mail: a.pigolkin@gmail.com

Современные подходы к оптимизации производства

Дана краткая характеристика подходов к оптимизации производства. Рассмотрены современные подходы к оптимизации производства, такие как бережливое производство, оптимизация рабочих мест и тотальная оптимизация производства. Рассмотрено внедрение принципов бережливого производства на примере ООО "БСХ Бытовые приборы".

The article summarizes the approaches to the optimization of production. Considered modern approaches to the optimization of production, such as lean productions, optimization of the workplaces. Also considered implementation of lean production on "BSH Bytowiję przybory".

Ключевые слова: оптимизация, бережное производство, канбан, муда, кайзен, узкое место, эффективность, экономия.

Keywords: optimization, Lean production, kanban, muda, kaizen, bottleneck, efficiency, economy.

Современные подходы к оптимизации производства

Оптимизация производства – это подходы и методы, направленные на уменьшение всех возможных издержек и увеличение производительности. Эти инструменты ориентированы в первую очередь на производственную часть компании. Меняя производственную систему на базе принципов оптимизации производства, мы сокращаем внутренние потери (запасы, перемещения и т.д.) и при этом высвобождаются люди, помещения, энергия. В общем случае возможно два подхода к оптимизации – управленческий и технологический. Управленческий подход рассматривает оптимизацию производства прежде всего с точки зрения управления затратами и только в случае необходимости затрагивает модернизацию производства. Это означает, что даже, если предприятию потребуются какие-либо технологические новации, решение о них должно приниматься только после выстраивания сис-

темы управления производством и определения действительно узких мест, требующих технологических усовершенствований, поскольку обновление технологии и основных фондов – процесс дорогостоящий, а значит требует детальной проработки и точного понимания, зачем он реализуется и какой эффект окажет.

В настоящее время российским компаниям можно предложить методологию оптимизации производства, основанную на принципах системы "Бережливое производство" (Lean Manufacturing). Система построена на разных принципах, но все они направлены на повышение эффективности производственных процессов на предприятии с позиции прежде всего управления и только потом – технологии.

"Бережливое производство"

Внедрение системы "Бережливое производство" – это переход предприятия на новый, более качественный уровень, предполагающий вовлечение в процесс всех сотрудников компании. При этом активное участие в нем сотрудников обеспечивают как материальными стимулами (за внедренные или утвержденные к внедрению предложения), так и нематериальными (например, возможностью участия в управлении предприятия, реализацией своих идей, карьерным ростом и т.д.). Это должно стать отдельным элементом системы стимулирования и мотивации персонала, действующей на предприятии.

Любое внедрение принципов системы "Бережливое производство" начинается с обучения персонала, внедрения философии непрерывного, постоянного улучшения деятельности предприятия в целях увеличения ценности для клиента (например, путем улучшения качества) и уменьшения муда* (например, снижения запасов). Система "Бережливое производство", в первую очередь, предполагает вовлечение в процесс оптимизации персонала, поиск внутренних

* Муда – японское слово, которое означает потери, отходы, т.е. любую деятельность, потребляющую ресурсы, но не создающую ценности (прим. ред.).



резервов оптимизации производства и только затем – технологические новации.

Два основных термина в философии системы "Бережливое производство" – поток создания ценности для потребителя и муда (muda) – потери в производстве. Основная идея системы "Бережливое производство" заключается в том, что каждую операцию над материалом, полуфабрикатом или деталью необходимо рассматривать с двух сторон – "какую ценность создает операция для конечного потребителя?" и "как минимизировать то, что не создает ценности, т.е. потери?" Таким образом, оценивая, какие качества продукции важны для клиента, предприятие стремится искоренить процессы и операции, не создающие конечной ценности, т.е. являются потерями. Для производства определяют семь видов муда:

1. **Потери из-за перепроизводства.** Перепроизводство – следствие образа мышления руководителей производства, главным приоритетом для которых является наиболее полная загрузка оборудования и персонала. Результатом всего этого являются:

- преждевременный расход сырья и материалов;
- неоптимальное использование рабочей силы;
- необходимость закупать дополнительное оборудование;
- увеличение используемых площадей;
- рост процента отчислений (например налога на имущество);
- чрезмерное увеличение запасов;
- увеличение транспортных и административных издержек.

2. **Потери времени из-за ожидания.** Одной из основных частей простоев является время ожидания прибытия продукции с предыдущего этапа производственного процесса. В большинстве случаев оно возникает при наличии дисбаланса производительности между производственными участками, рабочими местами и цехами. Простои также возникают из-за поломок оборудования. Чтобы уменьшить негативные последствия таких ситуаций, создают запасы незавершенной продукции. Усилия для позитивных изменений в данном случае следует направлять на обеспечение сбалансированности работы оборудования и осуществление превентивных мер, позволяющих предупредить неплановую остановку оборудования. Наличие на предприятии сверхпроизводительного оборудования не всегда есть благо, чаще всего именно оно и приводит к дисбалансу и возникновению дополнительных запасов.

3. **Потери при ненужной транспортировке.** Транспортировка и перемещения – существенная часть производственного процесса, однако с точки зрения клиента, все внутренние перемещения и транспортировка не добавляют ценности продукту. Клиенту все равно, на какие расстояния и какими способами перемещается

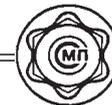
продукт. На некоторых предприятиях длина потока "от ворот до ворот" может составлять несколько километров, иногда более десяти. И если подходить к изменениям с точки зрения философии системы "Бережливое производство", то сокращение длины потока может привести к весьма впечатляющим результатам по сокращению общего времени производства, времени прохождения продукции "от ворот до ворот", уменьшению потерь от ущерба вследствие транспортировки, сокращению запасов и производственных площадей. Все это значительно влияет на общие финансовые результаты компании.

4. **Потери из-за лишних этапов обработки.** Попытка установить более жесткие допуски, чем этого требует спецификация заказчика, например при механической обработке, повышает возможность возникновения брака, зачастую требует использования другого, более дорогостоящего инструмента (в том числе для контроля операции) и возможно более высокой квалификации исполнителей. Кроме того, при анализе производственных потоков обнаруживаются операции, без которых можно обойтись, сохранив качество продукта на прежнем уровне.

5. **Потери из-за лишних запасов.** Сырье и материалы, готовая и недоделанная продукция, запасные части и материалы для ремонта оборудования и помещений, хранящиеся на складе, не добавляют ценности продукту с точки зрения клиента. Компания "БСХ Бытовые приборы" в основном решила проблему запасов, выстроив отношения с поставщиками по системе Just-in-Time. Готовая продукция также отправляется клиентам прямо из цеха.

подавляющее большинство предприятий, работающих в России, рассматривает запас как защиту от неопределенности (неопределенности спроса и цикла поставок), поэтому говорить о полном избавлении от запасов не приходится. Вопрос заключается в том, какое оптимальное количество запасов должно находиться на предприятии и в каком виде. Задача менеджмента в данном случае состоит в проведении изменений процессов таким образом, чтобы достигнуть баланса производительности между подразделениями (цехами, рабочими участками). Достижение такого баланса автоматически приводит к снижению запасов.

6. **Потери из-за ненужных перемещений.** Если работник занимается поиском нужного документа или идет за инструментом за несколько метров от своего рабочего места, это также не добавляет ценности продукту с точки зрения клиента. Верный способ избежать данного вида потерь из-за лишних операций и перемещений на рабочем месте – правильно, т.е. рационально организовать рабочие места.



7. Потери из-за выпуска дефектной продукции. Дефектная продукция (брак) представляет собой очевидные потери, оттягивающие на себя материальные и человеческие ресурсы. Логика системы "Бережливое производство" говорит о том, что следует построить такую систему, в которой любое отклонение от нормы будет сразу бросаться в глаза.

В компании "БСХ Бытовые приборы" была разработана концепция Рокayoке ("защита от дурака"), в соответствии с которой процесс выстраивается таким образом, что работник, совершая какую-либо операцию, не может выполнить ее неправильно. Над этим постоянно работают специальные многофункциональные группы специалистов, в которые входят не только инженеры, но и рабочие.

Еще одно большое достижение "БСХ Бытовые приборы" – установление контроля за тем, чтобы продукция с дефектом не перешла на следующий участок. Устранение дефекта производится в месте его обнаружения собственными силами и с помощью специальных групп реагирования. Вот оно – всестороннее управление качеством, концепция TQM (Total Quality Management) в действии. Ответственность за качество возлагается на сотрудников всех уровней – сверху донизу.

8. Утрата сотрудниками творческого подхода. Данный фактор представляет собой весьма серьезный вид потерь, влияющий на общее положение компании. Если человеку все равно, чем он занимается, то ждать от него ответственности за результат не приходится, не говоря уже об ответственности за качество выполняемой им работы.

На вопросы, почему компания "БСХ Бытовые приборы" очень открыта, почему она устраивает экскурсии на свое производство для всех желающих и раскрывает практически все свои секреты, менеджеры компании отвечают: чтобы сделать так, как это делается в нашей компании, вы должны воспитать людей, которые будут работать так же – с полной отдачей, проявляя творческий подход к решению тех задач, которые ставит руководство компании. Люди – вот главный актив компании. А подготовка таких людей требует времени!

Логика системы "Бережливое производство" вобрала в себя много разнообразных методов и инструментов. Один из них – принцип Кайзен. Это японское слово, означающее проведение постоянных улучшений. Этот процесс чем-то напоминает то, что в советское время называлось рационализацией и научной организацией труда. Основной постулат: никто не знает процесс лучше, чем человек, непосредственно в нем участвующий.

Усовершенствования и рационализация ради самих себя не дадут должного эффекта, поэтому задача

менеджмента состоит в том, чтобы установить четкие цели для каждого сотрудника, на каждом рабочем месте и возглавить действия персонала. Суть этих действий заключается в поддержке стратегических целей компании по построению организации нового типа.

В компании должна действовать система подачи предложений, направленная на стимулирование сотрудников всех уровней для подачи рационализаторских предложений. Например, в компании "БСХ Бытовые приборы" оплачиваются все поданные рационализаторские предложения сразу же после подачи, независимо от того, дадут они экономический эффект или нет. На следующем этапе происходит оценка эффективности предложений и оплата по принесенному эффекту.

Цель метода Кайзен – проведение последовательного совершенствования процессов производства. Причем наилучший результат дают небольшие, но частые улучшения в процессе. По опыту многих консультантов, помогающих внедрить логику бережливой логистики на предприятия, небольшие последовательные изменения помогают людям, участвующим в процессе, лучше адаптироваться к новой ситуации, тогда как глобальные изменения приводят к стрессовой ситуации, к непониманию и отторжению, что приводит к потере хороших специалистов.

В некоторых случаях результаты перехода к организации производства на принципах бережливости могут показаться фантастическими. По данным Lean Enterprise Institute в мировой практике итогом внедрения этой идеологии становится:

- снижение дефектов на 90 %;
- снижение длительности производственного цикла на 90 %;
- ускорение сроков выхода на рынок от 50 до 75 %;
- снижение затрат на 73 %.

Примеры внедрения процессов системы "Бережливое производство"

В компании "БСХ Бытовые приборы" авторами были внедрены и реализованы такие проекты, как КАНБАН, Milkrun, Supermarket, 5s, Рока Йока и др.

Рассмотрим для примера проект КАНБАН.

Сущность проекта КАНБАН заключается в том, что на все производственные участки завода, включая линии конечной сборки, строго по графику поставляют именно то количество сырья, материалов, комплектующих деталей и узлов, которое действительно необходимо для ритмичного выпуска точно определенного объема продукции. Средством для передачи приказа о поставке определенного числа конкретных изделий служит сигнал в виде специальной карточки



в пластиковом конверте (канбан-карты). Число канбан-карт

$$N = \frac{L + [D \cdot RT(1 + SF)]}{CQ},$$

где L – объем партии, ед.;

D – потребительский спрос, ед. продукции;

RT – время пополнения, ч;

SF – фактор безопасности, $SF = 0, \dots, 1$;

CQ – число контейнеров.

Основой для создания системы КАНБАН является то, что каждая точка доставки должна соответствовать критериям КАНБАН. Каждая точка доставки должна быть организована по следующему образцу:

- каждая полка/стеллаж должна иметь четкое предназначение и расположение на производстве;
- для каждого материала должен быть подготовлен отдельный слот;
- слот не может быть использован больше чем для одного материала;
- каждый слот должен быть подписан номером материала, находящимся внутри;
- самая верхняя полка стеллажа должна быть подготовлена для пустой тары;
- каждый стеллаж должен иметь коробку для КАНБАН-карт;
- стеллажи должны быть снабжены инструкциями по работе с системой КАНБАН.

КАНБАН-карта должна содержать следующую информацию: номер материала, адрес доставки, число коробок в цикле и количество материала в коробке. Необходимо, чтобы каждая коробка, доставляемая по системе КАНБАН, была снабжена КАНБАН-картой.

После использования материала рабочий должен снять КАНБАН-карту и положить ее в желтую коробку для КАНБАН-карт. Это является сигналом для внутренней логистики привезти данный материал. Каждая КАНБАН-карта должна быть помещена на новую полную коробку с материалом (рис. 1, см. 2-ю стр. обл.).

Каждый стеллаж должен быть снабжен рабочей инструкцией, чтобы каждый оператор на линии знал, как обходиться с КАНБАН-картами (рис. 2, см. 2-ю стр. обл.).

Главной составляющей материального потока является доставка материала с производственной логистики на производственную линию. Это главное в оптимизации производственной логистики.

До внедрения проекта КАНБАН доставка материала была основана на визуальном контроле. Логистик искал материал на производстве, проходя вокруг производственной линии. Номера материалов он записывал на неформализованный листок бумаги и после этого

они доставлялись к месту назначения. Обычно это делали для линии финальной сборки. Для линии предварительной сборки бригадир записывал номера необходимых материалов. Затем он звонил логистике с требованием их доставки. При этом производственная логистика доставляла максимальное количество материала, которое помещается на рабочем месте. Как результат, большое количество материала находилось около производственной линии, а не на складе. Коробки с материалами находились на полу около производственной линии, а не на стеллажах. Это часто приводит к ситуации нехватки одних материалов на производственной линии и излишнему количеству других.

Основой для структурирования материального потока является адресное хранение материала на предприятии. Это необходимо как для мест доставки материалов, так и для самих поставляемых материалов. Все предприятие поделено на зоны доставки материалов и конкретные места доставки материалов четко определены (рис. 3, см. 2-ю стр. обл.).

Оптимизация рабочих мест

Целью проведенной оптимизации было создание прямой доставки материала на линию. Это значит, что оператор работает напрямую со стеллажа.

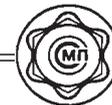
Были проделаны следующие шаги по оптимизации на участке сборки верхней панели:

- организована работа напрямую со стеллажей;
- подготовлен стол для сборки;
- проведена стандартизация поролоновых вставок;
- проведена оптимизация система доставки;
- поставлены дополнительные тележки для вывоза пустых коробок;
- приобретены новые держатели.

Для борьбы с муда система "Бережливое производство" предлагает целый набор подходов. Рассмотрим некоторые из них.

Выделение полного потока создания ценности для каждого продукта или семейства продуктов является первым шагом по направлению к сокращению затрат. Есть вещи, которые необходимо понять перед тем, как выделять поток создания ценности.

Ценность – это то, за что потребители готовы платить. Поток является набор всех операций, требующихся для того, чтобы доставить продукт потребителю. В потоке есть операции, которые добавляют ценность и операции, которые не добавляют ценность. Среди операций, не добавляющих ценность, есть некоторые неизбежные, определяемые текущей технологией, и есть те, которые могут быть устранены немедленно. Устранение операций, которые не добавляют ценности, является очень важным шагом,



поскольку имеет существенное влияние на чистую прибыль вашей компании.

Вытягивание (Pull) — это каскадная система производства, при которой цех или участок производства ничего не производит до тех пор, пока цех-потребитель, находящийся дальше по технологической цепочке, не сообщит о своей потребности в комплектующих. Но поскольку излишние запасы — это муда, то постоянно необходимо стремиться к их уменьшению. Например, по возможности внедрять систему поставок Just-in-time, когда поставщик привозит материалы и комплектующие именно к тому моменту, когда они нужны в производстве. Или переходить с больших партий закупок на более мелкие, но частые, что дает возможность снизить общий размер запасов в конкретный момент времени.

Программы тотальной оптимизации производства

Тотальная оптимизация производства (ТОП) — проект, направленный на повышение эффективности производства "снизу-вверх", в ходе которого на предприятии создают управленческий механизм, позволяющий выдвигать, оценивать и реализовывать рационализаторские предложения "снизу", минуя административные препоны. Проект позволяет сократить затраты, повысить надежность поставок, повысить качество (сократить брак и время простоев), утилизировать отходы, устранить "узкие места" в производстве.

На первом этапе проекта определяют цеха или участки, в которых будет реализован проект, создают проектную структуру, состоящую из рабочих групп на уровне производственных отделов и цехов, а также управляющего совета, принимающего решения по внедрению того или иного улучшения. Также производят анализ затрат: их разделяют на сокращаемые и не сокращаемые. На основе анализа затрат определяют цели по их сокращению. Так как рационализаторские предложения, по сути, являются внутренними инвестиционными проектами, то для них устанавливают критерии с точки зрения эффективности, максимального срока окупаемости и размера инвестиций.

После завершения подготовительной стадии проекта рабочие группы в режиме "мозгового штурма" анализируют пути оптимизации деятельности своих производственных единиц, генерируют идеи и отбирают наиболее реалистичные. Затем предложения оформляют в виде проектов. Оценивают сумму необходимых инвестиций, рассчитывают экономический эффект от внедрения, подготавливают предварительный план внедрения. Далее предложения выносят на управляющий совет, который принимает или отвер-

гает тот или иной проект. Во время реализации проекта управляющий совет или специально выделенная группа внутренних контролеров осуществляют мониторинг хода внедрения, расходования выделенных средств и графика выполнения работ. Окончательную оценку результативности рационализаторского предложения можно сделать на основании анализа эффекта, который оно принесло, например, путем анализа соответствующих показателей в системе управленческого учета затрат до и после внедрения.

В целом реализацию программы тотальной оптимизации производства можно разбить на две фазы. Первая — когда на предприятии создают необходимые управленческие механизмы, в результате начальных мозговых штурмов находят существенные резервы сокращения затрат и внедряют соответствующие улучшения. Второй этап — когда программа начинает работать на постоянной основе.

Рассмотрим порядок оптимизации производственной линии.

Определение времени такта производственной линии

Время такта — это интервал времени или периодичность, с которой потребитель запрашивает готовую продукцию, или тот интервал времени или периодичность, с которой эту готовую продукцию отгружают потребителю. Выявляют "узкие места". "Узкое место" или "бутылочное горлышко" (bottleneck) на предприятии — это процесс в цепи, ограничения в пропускной способности которого ограничивают пропускную способность всей сети. Процесс проходит в пять шагов.

Шаг 1. Находят узкое место. Его можно узнать по наибольшему количеству проблем — жалоб, неурядиц, авралов — и значительному объему незавершенной работы. Другими словами, "узкое место" — это, скорее всего, самый проблемный участок.

Шаг 2. Определяют наиболее эффективные способы использования "узкого места", для чего проводят нормирование труда для одного рабочего места и заполняют соответствующий бланк (рис. 4, см. 3-ю стр. обл.).

Шаг 3. Подчиняют работу остальных частей системы ритму работы тормозящего производство участка, для чего заполняют обобщенный бланк нормирования труда для всей производственной линии (рис. 5, см. 3-ю стр. обл.).

Шаг 4. Повышают пропускную способность "узкого места", для чего проводят оперативные действия по повышению пропускной способности, например, освобождают "узкое место" от выполнения заданий,



которые можно передать на другие участки, и, конечно, гарантированно обеспечивают его работой.

Шаг 5. При необходимости возвращаются к шагу 1 и продолжают оптимизацию.

В определенный промежуток времени в производственном процессе существует только одно узкое место, однако его устранение дает возможность увидеть другое ограничение в процессе. Выявление и устранение "узких мест" – процесс постоянный и непрерывный. Это процесс непрерывного совершенствования.

Проведение балансировки линии

Балансировка линии – это встраивание принципа времени цикла в стандартные операции производственной линии в целях достижения максимальной эффективности. При этом происходит выравнивание времени всех операций в пределах одной линии или процесса.

Непосредственная оптимизация линии

Производят перераспределение операций на линии. В результате один и тот же производственный план можно выполнить за счет меньшего количества производственных ресурсов.

Одним из важных инструментов для оптимизации производства и бережливого производства в целом является *метод измерения времени*.

С помощью данного метода трудовые процессы расчленяют на основные движения, необходимые для их выполнения. Каждому основному движению приписаны нормативные значения времени (временные модули) в зависимости от влияющих факторов. Из этих временных модулей статистически или аналитически можно составить метод работы. Факторы, влияющие на каждое основное движение, представляют собой определенные отправные точки для формирования методов труда, а также производственных процессов.

Путем детального анализа рабочего задания определяют время, способ, а также качество выполняемой работы, тем самым создавая полную картину ее выполнения. При этом внимательно определяют дейст-

вия, приносящие добавленную стоимость, определяют узкие места, а также направления оптимизации. С помощью анализа планирования можно точно определить потенциал, содержащийся в данной области.

Применение инструментов метода измерения времени находит свое отражение в лучшем использовании ресурсов, формировании расходов, большей эффективности и производительности; позитивно влияет на результаты и развитие предприятий.

На нашем примере, применение инструментов данного метода позволило сократить число рабочих для выполнения определенных операций на 2 чел. и принесло экономический эффект более чем 100 тыс. евро.

В заключение необходимо отметить, что оба подхода – бережливое производство и тотальная оптимизация производства основаны на раскрытии творческого потенциала сотрудников предприятия. В отличие от других управленческих технологий, ориентированных на жесткую регламентацию деятельности и усиление контроля "сверху-вниз", данные подходы позволяют вовлечь в процесс оптимизации работников всех уровней. При этом достигается комплексный эффект: предприятие работает более эффективно, сотрудники вовлечены в процесс реализации проекта и имеют возможность улучшить свои условия труда и получить материальную компенсацию.

Библиографический список

1. **Маликов О.Б.** Деловая логистика. СПб.: Политехника, 2003.
2. **Семенов А.И.** Предпринимательская логистика. СПб.: Политехника, 1997. С. 349.
3. **Günther Н.-О.** Produktion und Logistik. Heidelberg–New York, 1994.
4. **Takeda Н.** Das synchrone produktionssystem, Verlag moderneIndustrie. 1995.
5. **Маликов О.Б.** Деловая логистика: конспект лекций. В 2-х ч. Ч. 1. СПб.: ПГУПС, 1999. 66 с.
6. **Юнеман Р.** Поток материалов и логистика. Берлин: Шпрингер, 1989. 512 с.

УДК 621.833

Г.К. Рябов, *д-р техн. наук (Ковровская государственная технологическая академия им. В.А. Дегтярева)*, М.В. Власов, *инженер (Завод им. В.А. Дегтярева)*
E-mail: karekt@kc.ru

К вопросу обеспечения собираемости планетарной роликвинтовой передачи

Разработана методика профилирования резьбы роликов планетарной роликвинтовой передачи.

The method was developed for profiling thread rollers of planetary roller screw drive transfer.

Ключевые слова: планетарная роликвинтовая передача, ролик, винт, угол подъема винтовой линии.

Keywords: planetary roller screw drive, roller, screw, elevation angle of the helical line.

Планетарные роликвинтовые механизмы начинают широко применять, что связано с их повышенными точностью, жесткостью, нагрузочной способностью и другими важными показателями [1]. Исследованиям этих механизмов посвящены фундаментальные работы Д.В. Бушенина, В.В. Козырева, Д.С. Блинова и других ученых.

Между тем, остается ряд нерешенных вопросов, из-за которых возникают проблемы при их проектировании и изготовлении. Так, в работе [1] сказано, что боковой профиль витков резьбы роликов должен быть скругленным по дуге окружности. Однако величина радиуса скругления и других параметров остаются неизвестными. Указано только, что это скругление необходимо для устранения заедания витков роликов и винта при входе их в зацепление из-за конструктивной необходимости в разных углах подъема винтовых линий на винте и роликах.

В связи с этим встает задача по определению величины взаимного отклонения вступающих в контакт точек на винтовой линии роликов и винта, что и является причиной заедания.

Решение этой задачи проведем в два этапа. При этом на первом этапе будем рассматривать зацепление витков ролика с витками винта без учета планетарного движения осей роликов. Тогда расчетная схема может быть представлена в следующем виде (рис. 1).

Здесь в точке M происходит вступление в контакт точек, лежащих на вершине витков винта и роликов. При этом для вступления в зацепление без заедания

необходимо, чтобы эти точки на винте (M_1) и роликах (M_2) находились в осевом направлении на одном уровне или же были смещены в сторону появления зазора между витками. В противном случае будет происходить заедание витков винта и роликов. При этом правомерно допустить о том, что точки, расположенные на линии $O_B O_P$, находятся в полном контакте и не имеют осевого смещения относительно друг друга. Это смещение будет появляться по мере поворота винта и ролика на углы α_B и α_P соответственно вследствие разности углов подъема винтовой линии на винте и на роликах.

Для определения углов α_B и α_P рассмотрим треугольник $O_B O_P M$.

Здесь прямая $O_B O_P = A$, где A – межосевое расстояние передачи; $O_B M = 0,5 d_{в.н} = r_{в.н}$ и $O_P M = 0,5 d_{р.н} = r_{р.н}$, где $d_{в.н}$ и $d_{р.н}$, $r_{в.н}$ и $r_{р.н}$ – наружные диаметры и радиусы соответственно винта и роликов. Тогда [2]

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha_B}{2} = \frac{r}{(p - r_{р.н})}; \quad \operatorname{tg} \frac{\alpha_P}{2} = \frac{r}{(p - r_{в.н})},$$

где r – радиус окружности, вписанной в треугольник

$$O_B O_P M, \quad r = \sqrt{\frac{(p - r_{р.н})(r - p_{в.н})(p - A)}{p}};$$

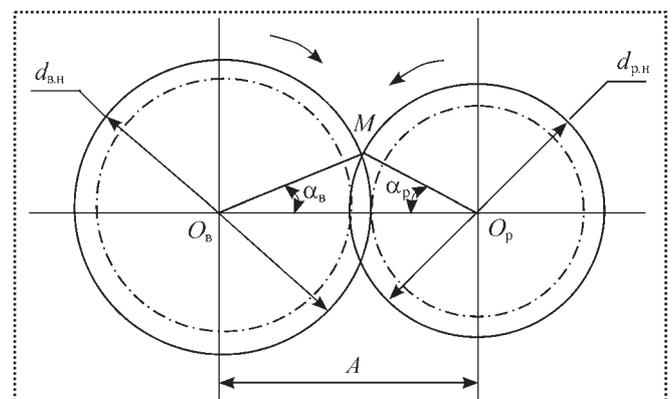


Рис. 1. Расчетная схема зацепления витков роликов с витками винта без учета планетарного движения осей роликов



p – полупериметр треугольника $O_B O_p M$, $p = 0,5(A + r_{в.н} + r_{п.н})$.

При известных α_B и α_p определяем осевое смещение точек винта x_B и ролика x_p на вершине витков винта и роликов при их повороте на указанные углы по следующим формулам [3]:

$$x_B = \frac{h_B}{2\pi} \frac{\alpha_B}{57,3^\circ}; \quad x_p = \frac{h_p}{2\pi} \frac{\alpha_p}{57,3^\circ},$$

где h_B и h_p – ход резьбы винта и роликов соответственно.

Для учета вращения осей роликов вокруг винта вместе с сепаратором, что имеет место в планетарной передаче, запишем формулу для определения передаточного числа β от винта к сепаратору (водиле) при неподвижной гайке [4]:

$$\beta = \frac{d_B}{d_B + d_p},$$

где d_B и d_p – диаметры делительных окружностей зубчатых венцов, нарезанных соответственно на винте и гайке.

Тогда зоны рассматриваемых контактирующих участков на винте и на роликах соответственно будут определены по формулам:

$$\alpha'_B = (1 + \beta) \alpha_B; \quad \alpha'_p = (1 - \beta) \alpha_p.$$

Скорректированные осевые смещения x'_B и x'_p контактирующих точек на винтовых поверхностях винта и роликов будут составлять:

$$x'_B = (1 + \beta) x_B; \quad x'_p = (1 - \beta) x_p.$$

В этом случае разница осевых перемещений указанных точек будет

$$x_c = x'_B - x'_p.$$

Отклонения боковых поверхностей резьбы по нормали составят:

$$x_H = x_c \cos \alpha / 2,$$

где α – угол профиля резьбы.

Для определения радиуса R скругления боковых поверхностей витков резьбы составим расчетную схему (рис. 2), в которой рассмотрим прямоугольный

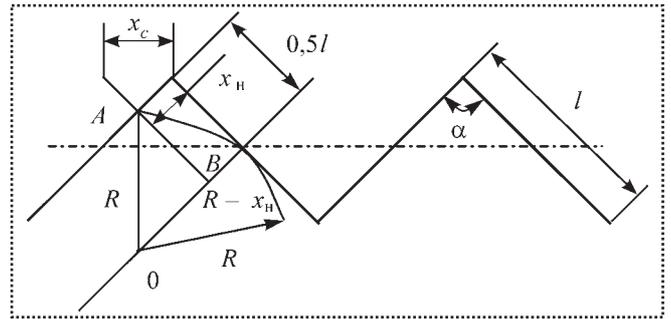


Рис. 2. Расчетная схема для определения радиуса скругления боковых поверхностей витков резьбы

треугольник OBA . Здесь $OA = R$; $OB = R - x_H$; $AB = 0,5l$, где l – ширина боковой поверхности витка резьбы ролика. Тогда можно записать:

$$R^2 = (0,5l)^2 + (R - x_H)^2.$$

Отсюда получаем следующую формулу для расчета радиуса скругления витка ролика:

$$R = \frac{x_H^2 + 0,25l^2}{2x_H}.$$

Рассмотрим числовой пример расчета величины R по следующим исходным данным: $A = 20$ мм; $r_{в.н} = 16$ мм; $r_{п.н} = 6,0$ мм; $\alpha = 90^\circ$; $h_B = 20$ мм; $h_p = 4$ мм; $d_B = 30$ мм; $d_p = 50$ мм; $l = 2,82$ мм.

Предварительно вычисляем

$$p = 0,5(20,0 + 16,0 + 6,0) = 21,0 \text{ мм},$$

а затем рассчитываем значение радиуса окружности, вписанной в треугольник $O_B O_p M$:

$$r = \sqrt{\frac{(21-6)(21-16)(21-20)}{21}} = 1,89 \text{ мм}.$$

Определяем углы α_B и α_p :

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha_B}{2} = \frac{1,89}{(21-6)} = 0,126; \quad \frac{\alpha_B}{2} = 7^\circ 12'; \quad \alpha_B = 14,4^\circ.$$

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha_p}{2} = \frac{1,89}{(21-6)} = 0,378; \quad \frac{\alpha_p}{2} = 20^\circ 42'; \quad \alpha_p = 41,4^\circ.$$

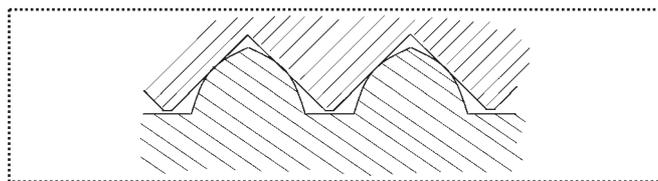
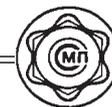


Рис. 3. Резьбовое сопряжение витков винта и роликов

Затем находим осевые смещения x_b и x_p :

$$x_b = \frac{20}{2 \cdot 3,14} \frac{14,4^\circ}{57,3^\circ} = 0,8 \text{ мм};$$

$$x_p = \frac{4}{2 \cdot 3,14} \frac{41,4^\circ}{57,3^\circ} = 0,46 \text{ мм}.$$

Вычисляем передаточное отношение

$$\beta = \frac{30}{30 + 50} = 0,375.$$

Тогда зоны рассматриваемых контактирующих участков на винте и на роликах соответственно будут равны:

$$\alpha'_b = (1 + 0,375) 14,4^\circ = 19,8^\circ;$$

$$\alpha'_p = (1 - 0,375) 41,4^\circ = 56,93^\circ.$$

Скорректированные осевые смещения x'_b и x'_p составят:

$$x'_b = (1 + 0,375) 0,8^\circ = 1,1 \text{ мм};$$

$$x'_p = (1 - 0,375) 0,46^\circ = 0,288 \text{ мм}.$$

Тогда разница осевых перемещений указанных точек будет

$$x_c = 1,1 - 0,288 = 0,812 \text{ мм}.$$

Отклонения боковых поверхностей резьбы составят

$$x_n = 0,812 \cos 90^\circ/2 = 0,57 \text{ мм}.$$

Радиус скругления боковой поверхности резьбы ролика составит

$$R = \frac{0,57^2 + (0,5 \cdot 2,82)^2}{2 \cdot 0,57} = 2,07 \text{ мм}.$$

По результатам расчетов по схеме, представленной на рис. 2 строим профиль резьбы ролика. Резьбовое сопряжение витков винта и роликов показано на рис. 3.

Сборка и испытания передачи в работе показали положительные результаты.

Таким образом, на основе анализа геометрии планетарных роликовых передач разработана методика профилирования резьбы роликов, что исключает заедание в винтовом зацеплении и обеспечивает нормальную работоспособность передачи.

Библиографический список

1. **Блинов Д.С.** Планетарные роликовинтовые механизмы. Конструкции, методы расчетов / Под ред. О.А. Ряховского. М.: МГТУ, 2006. 222 с.
2. **Бронштейн И.Н., Семендяев К.А.** Справочник по математике. М., 1962. 608 с.
3. **Выгодский Н.Я.** Справочник по высшей математике. М., 1963, 870 с.
4. **Иванов М.Н.** Детали машин. Изд. 3-е доп. и перераб., М.: Высшая школа, 1976. 399 с.

СБОРОЧНО-СВАРОЧНЫЕ РАБОТЫ. ПАЙКА

УДК 621.791.048

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

Пайка как вспомогательный процесс

Рассмотрены способы применения пайки на различных стадиях производства механических и сварных соединений. Показана эффективность применения способа пайки, как вспомогательного процесса при производстве механических и сварных соединений.

Ways of application of process of the soldering at various stages of manufacture of mechanical and welded connections are considered. Efficiency of application of a way of the soldering, as auxiliary process by manufacture of mechanical and welded connections is shown.

Ключевые слова: пайка, механическое соединение, осадочное давление, контактно-реактивное плавление, кольцо припоя.

Keywords: soldering, mechanical connection, sedimentary pressure, kontakt-jet fusion, a solder ring.

Паяные соединения должны обладать определенным комплексом физических и технологических свойств, отвечающих условиям эксплуатации изделия. Основным требованием к паяным соединениям технических систем, как правило, является их равнопрочность с паяемыми элементами конструкции. Эти условия обеспечиваются использованием припоя соответствующего состава и конструкции соединения, в котором площадь паяного шва превышает площадь поперечного сечения конструкции в области соединения. Монолитная структура паяного соединения обеспечивает ему высокие технологические свойства – герметичность, электро- и теплопроводность.

Повышение прочности припоя непосредственно связано с возрастанием температуры его плавления, что повышает энергоемкость процесса соединения и вызывает нежелательные структурные и фазовые изменения в паяемом металле, которые могут потребовать последующую сложную и длительную термическую обработку. Увеличение площади паяемых поверхностей приводит к усложнению процесса подготовки изделия к пайке.

В целях упрощения и удешевления процесса соединения металлов пайку совмещают с применением

других способов соединения – с механическим соединением элементов конструкции или со сваркой. В некоторых случаях использование только механического соединения или только сварки не обеспечивает получения соединения с требуемым комплексом свойств.

Пайка может применяться в сочетании с механическим соединением или со сваркой на различной стадии их осуществления.

Совместное использование механического соединения элементов конструкции с последующей пайкой традиционно осуществляют в электротехнической и пищевой промышленности, например при соединении электрических проводов и при изготовлении консервных банок (рис. 1), а также при изготовлении малых металлических емкостей для горючего и смазочных материалов. В таких изделиях в результате механического соединения обеспечивается прочность конструкции, а последующая пайка обеспечивает монолитность, надежную герметичность или электропроводность соединения. При таком сочетании способов соединения обычно применяют низкопрочный легкоплавкий припой (например, ПОС), при использовании которого термический режим пайки не ухудшает свойств паяемых металлов.

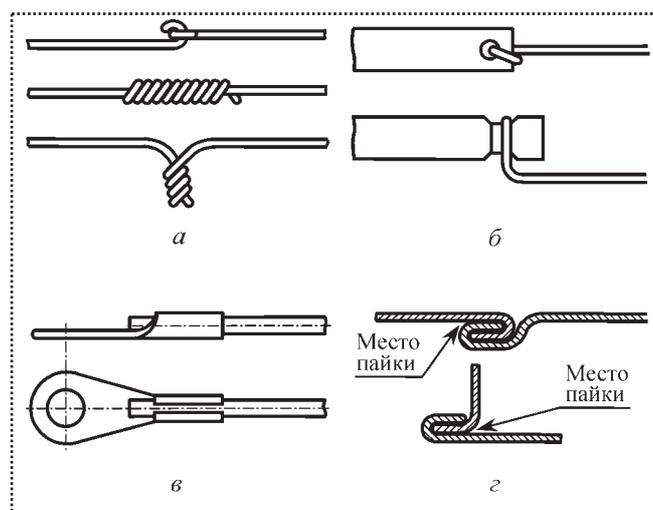


Рис. 1. Механические соединения проводов (а, б, в) и металлических банок (з), подготовленные к пайке



Собранные с натягом цилиндрические соединения надежно обеспечивают передачу крутящих моментов и осевых нагрузок, однако такие соединения негерметичны. Надежной герметичности механических соединений, собранных с натягом, достигают с использованием капиллярной пайки, при которой в качестве припоя используют медь, расплав которой обладает уникальным свойством затекать в предельно узкие зазоры [1]. Такой способ герметизации широко используют в технических конструкциях. Качество паяного соединения оценивают по состоянию медной галтели, образуемой с обратной стороны заполненного зазора.

Применение пайки позволяет решать проблему герметичности резьбовых соединений и соединений с заклепками (рис. 2).

С целью снижения степени влияния сварочного процесса на свойства соединяемых металлов и состояние элементов конструкции уменьшают объемы расплавляемых и наплавляемых металлов [2], а после сварки проводят процесс пайки и заполняют сборочные зазоры расплавом припоя (см. рис. 2).

В некоторых случаях применяемые технологии производства не могут обеспечить необходимого сочетания свойств продукции и только применение пайки открывает возможность получения соединений с необходимым комплексом свойств и повышение качества продукции.

Напыление покрытий на стальные изделия гомотермическим и плазменным методами широко используют в современном машиностроении для создания покрытий, обладающих высокой износостойкостью, жаростойкостью и другими необходимыми свойствами. Однако такие покрытия отличаются большим числом несплошностей и включений оксидов (до 20 %), следствием чего являются низкая прочность покрытий и их слабая связь с поверхностью изделия. Большинство несплошностей соединяются между собой, образуя капиллярные каналы.

Одним из способов повышения качества покрытий является пропитка пористого слоя покрытия жидким припоем. Порошок припоя могут смешивать с порошковым материалом покрытия перед его напылением или размещать припой в форме проволоки

или ленты на поверхности изделия, который после расплавления под действием капиллярных сил заполняет несплошности, смачивая их поверхности, создает пластичный монолитный слой покрытия, прочно связанный с поверхностью изделия.

В качестве материала покрытий применяется эвтектическая смесь карбидов вольфрама.

При газотермическом напылении в качестве припоев применяют припои на медно-цинковой и никель-марганцевой основах. Для активации капиллярного проникновения припоя в покрытие, при нагреве в вакууме и водороде, осуществляют выдержку при температуре 900 °С в течение 20...30 мин. Очистка от оксидов вольфрама осуществляется при температуре 1400 °С за счет сублимации и восстановления окислов углеродом [3].

В качестве припоя применяют также медь. Процесс пропитки проводят в среде аргона или в вакууме.

При плазменном напылении непрочный каркас заполняют пластичным припоем при температурах 1000...1150 °С. Удаление оксидов производят при температуре 1000 °С с выдержкой 90 мин [4].

Пайка позволяет увеличить прочность и пластичность покрытия, а также улучшить его связь с поверхностью изделия. Основным требованием при этом является необходимость минимального взаимодействия припоя с материалом покрытия и недопущение образования интерметаллидов.

Высокопрочное монолитное композиционное покрытие на цилиндрической детали можно создавать путем намотки на ее поверхность слоя стальной проволоки с последующей пайкой этого слоя. Чередование проволоки и припоя позволяет получать на поверхности монолитного слоя спиральные канавки, улучшающие условия смазки соприкасаемых поверхностей при их трении. Путем подбора составляющих композиционного покрытия и совмещения пайки с термообработкой можно добиться значительного повышения пластичности и износостойкости покрытия. Наиболее эффективно применение медно-марганцевого припоя, например марки П65, обладающего высокой демпфирующей способностью, пластичностью и износостойкостью, совместно с боритно-фторидным флюсом, например марки ПВ200. Проволока должна быть изготовлена из стали 30ХГСА или 40Х2Г2М [5].

При пайке сохраняются физико-химические свойства намотанной проволоки, поэтому износостойкость покрытия определяется свойствами ее металла.

Естественный процесс активного смачивания жидким металлом поверхности твердого металла с образованием монолитного соединения, протекающего при пайке, широко используют при способах диффузионной сварки, при соединении металлов в твердом состоянии под воздействием высокого давле-

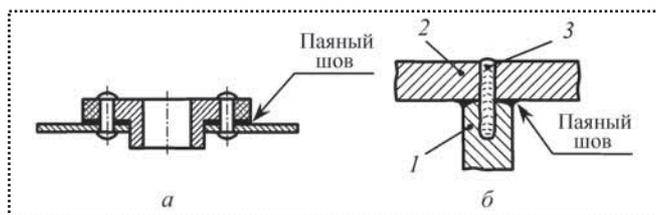


Рис. 2. Паяное механическое соединение с заклепками (а) и паяное сварное соединение компрессорного колеса (б): 1 – лопатка; 2 – крышка; 3 – сварной шов



ния. Необходимость применения диффузионной сварки часто возникает при соединении деталей из жаропрочных сплавов по развитым плоским или сложным поверхностям. В этих случаях обеспечение надежного контакта по всей площади затруднено [6]. Даже особо тщательная подготовка поверхностей, применение высоких давлений могут оказаться недостаточно эффективными из-за невозможности равномерного распределения давления по свариваемой поверхности. К таким конструкциям относятся, например, лопатки газовых турбин, изготавливаемые из тонколистовой жаропрочной стали. При изготовлении лопаток предъявляют жесткие требования по сохранению геометрии их профиля, что не позволяет создавать необходимые для диффузионной сварки удельные давления сжатия соединяемых поверхностей, в связи с возникновением недопустимых пластических деформаций.

В некоторых случаях допустимое давление на соединяемые металлы ограничивается допустимой величиной критической деформации металлов, при которой отмечается рост зерна и повышается разнородность сплавов, в результате чего снижается пластичность и жаропрочность сплавов.

Характер разрушения и свойства соединений, определяемые при механических испытаниях, даже при комнатной температуре показывают, что при диффузионной сварке жаропрочных сплавов существует опасность хрупкого разрушения, что обусловлено наличием определенной границы зерен в плоскости стыка, физической микронеоднородности, скопления включений и оксидов в зоне стыка.

В целях повышения качества диффузионной сварки и расширения ее возможностей производят последовательное совмещение диффузионной сварки с процессом пайки, путем внесения между соединяемыми поверхностями деталей прослойки припоя. При этом силовая энергия усадочного давления заменяется на более эффективную тепловую энергию расплавленного припоя. На начальной стадии нагрева протекает процесс пайки, т.е. естественный процесс взаимодействия жидкого и твердого металлов с образованием между ними монолитного соединения, после чего начинается процесс диффузионной сварки путем вытеснения под действием усадочного давления жидкого припоя из зазора вплоть до образования плотного контакта между соединяемыми поверхностями, характерного для диффузионной сварки.

При использовании сварки силовой процесс деформирования неровностей на соединяемых поверхностях при применении пайки заменяется менее энергоемким процессом выдавливания жидкой прослойки припоя из зазора, которая при выдавливании сглаживает неровности на соединяемых поверхностях и одновременно выносит из области контакта остатки разру-

шенной ею оксидных пленок и других включений. Последнее особенно важно для жаропрочных сплавов, которые содержат элементы, образующие прочные и термодинамически устойчивые оксидные пленки. Жидкий припой способствует их отделению, диспергации и растворению, как при сварке плавлением. Активирующие свойства прослойки припоя усиливаются, если она содержит в небольших количествах элементы, способные восстанавливать или переводить оксиды в легкоплавкие соединения. Такими элементами могут быть углерод, бор, щелочные элементы. Оксиды последних, взаимодействуя с тугоплавкими оксидами на соединяемых поверхностях, обеспечивают их удаление. Необходимость применения таких активирующих элементов отпадает, если процесс ведется в вакууме, что имеет место в большинстве случаев.

Если при выдавливании жидкой прослойки из зазора она продолжает частично или полностью сохраняться, а дальнейшее повышение усадочного давления или пластической деформации металлов является нерациональным, то при диффузионной сварке предусматривается последующая термическая операция по рассасыванию оставшейся жидкой прослойки в стыке вследствие диффузионных процессов. Естественно, чем тоньше прослойка, тем скорее пройдут процессы ее растворения и исчезновения. При длительных режимах термической обработки исчезают полностью границы соединения, а свойства области сварного соединения соответствуют свойствам паяемых металлов.

Время рассасывания прослойки до заданной концентрации элемента растет пропорционально квадрату начальной концентрации и толщины прослойки. Поэтому для снижения химической неоднородности соединения необходимо обеспечить условия для максимально возможного выдавливания прослойки из стыка.

Припой, применяемый при диффузионной сварке, должен отвечать следующим требованиям: по своей основе быть близким к паяемому металлу, не образовывать хрупких соединений, иметь температуру плавления ниже температуры недопустимых структурных изменений в паяемом сплаве и находиться в интервале высокой технологической пластичности.

Так как пластичность жаростойких сплавов при температуре 1200 °С или несколько более высокой резко падает, приближаясь к нулю, то целесообразно применять припой с температурой плавления не выше 1220 °С. Нагрев до более высоких температур приводит также к разупрочнению сплавов.

В качестве расплавляющихся и выдавливаемых при диффузионной сварке припоев могут применяться никелевые системы: Ni–Mn, Ni–Si, Ni–B, которые составляют основу большинства промышленных при-

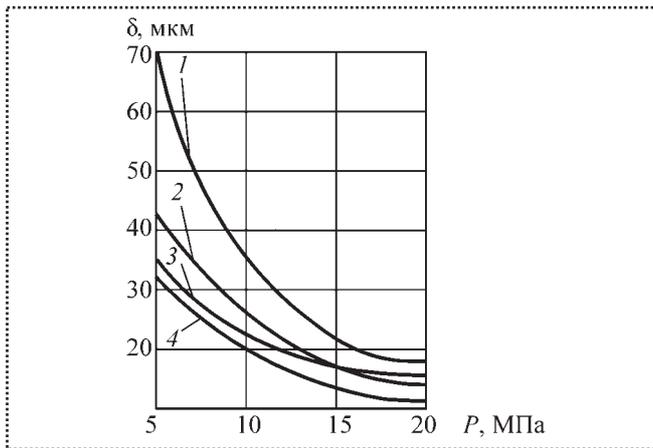


Рис. 3. Зависимость толщины прослойки жидкого припоя в паяемом стыке от давления сжатия для сплава ЭП99 при различных температурах:

1, 2 – припой ВПр-7; 3, 4 – припой ВПр-11; 1, 3, 4 – $T = 1150\text{ }^{\circ}\text{C}$; 2 – $T = 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Время выдержки – 6 мин

поев, например, основой припоя ВПр-7 является система Ni–Mn–Nb. Наиболее благоприятные условия для выдавливания прослойки достигаются, когда краевой угол смачивания не превышает 8° , но растворение соединяемых металлов незначительно.

Влияние давления сжатия на формирование соединений сплава ЭП99 с расплавляющимися припоями показано на рис. 3. С ростом давления сжатия до 15 МПа толщина прослойки быстро убывает, достигая 10...20 мкм при времени выдержки 6 мин. Эта толщина обусловлена давлением, прикладываемым при сварке, и диффузионными процессами. В большинстве случаев при давлении 10...15 МПа и соответствующей температуре по микроструктуре стык обнаружить трудно.

С повышением температуры условия выдавливания жидкой прослойки улучшаются. При использовании припоев ВПр-7 и ВПр-11 при температуре $1250\text{ }^{\circ}\text{C}$ и давлении 10 МПа состав металла в зоне соединения близок к составу паяемого металла. Высокие механические свойства соединений жаропрочных сплавов получаются при использовании припоев, содержащих бор.

Использование жидкой прослойки при диффузионной сварке позволяет снизить требования к чистоте механической обработки соединяемых поверхностей.

В таком соединении отсутствует межфазная граница, наблюдаются общие для соединенных металлов зерна, возникшие в результате схватывания выпуклых участков микрорельефа после полного выдавливания жидкой фазы. Металл участков схватывания равнопрочен с металлом соединенных элементов. При последующей термодиффузионной обработке состав зоны стыка будет выравниваться и приближаться к

составу соединенных металлов, что соответствует соединению, образуемому при диффузионной сварке.

Такой результат достигается при диффузионной сварке алюминиевых сплавов в состоянии сверхпластичности [7].

Структурные особенности алюминиевых сплавов в состоянии сверхпластичности позволяют создавать прочные соединения в трехфазном состоянии. Большая пластическая деформация соединяемых металлов обеспечивает разрушение и диспергирование оксидных пленок и приводит в соприкосновение очищенные поверхности. Однако при значительных пластических деформациях происходит недопустимое утончение тонкостенных деталей.

Высокопрочные сварные соединения при относительно малой деформации металла можно получить при использовании тонких прокладок меди. В этом случае необходимая прочность достигается тогда, когда граница раздела в стыке перестает существовать как структурный элемент соединения. Добиваются этого, обеспечивая полное растворение жидкой прослойки и образование общих рекристаллизационных зерен на границе соединения. Важное значение в этом процессе имеет толщина прокладки.

При изотермической выдержке 20...30 мин и температуре диффузионной сварки $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ процесс рекристаллизации активно развивается при толщине прослойки меди, равной 0,8 мкм.

На определенной стадии изотермической выдержки образца с прокладкой меди в результате диффузионного процесса на контактной границе образуется сплав эвтектического состава. Присутствие жидкой фазы способствует разрушению и диспергированию оксидной пленки. Жидкая фаза существует короткий промежуток времени, после чего происходит ее полное растворение и диффузионное проникновение ее элементов в процессе кристаллизации в приповерхностные слои соединяемых сплавов. Процесс рекристаллизации замедляется с увеличением толщины прослойки.

При отсутствии прослойки условия и режимы диффузионной сварки не приводят к заметной рекристаллизации на границе соединения.

Двухстадийный процесс пайко-сварки разработан в Институте электросварки им. Е.О. Патона для соединения встык геологоразведочных труб, позволяющий соединять трубы без предварительной механической обработки кромок труб [8].

С помощью шнекового дозатора на торцевые поверхности труб наносят припой в виде пасты или укладывают закладной элемент. С помощью машины для контактной сварки трубы центруют в зажимных устройствах и сдавливают. Производят индукционный нагрев стыка труб (частота тока 2,4 кГц или



8 кГц). При достижении в стыке температуры 1000 °С осуществляют осадку труб с удельным давлением 20...30 МПа, при которой из стыка выдавливается жидкий припой. Происходит пластическая деформация соединяемых концов труб, которая составляет не менее 40 % от толщины стенки. Такая степень деформации необходима для приведения в контакт поверхностей и позволяет им соединиться с получением качественного шва. Если при капиллярной пайке (без приложения давления) тем же припоем прочность торцевых паяных соединений составляет 250...350 МПа, то при стыковой сварке с использованием припоя и приложением давления прочность сварных соединений достигает 600 МПа. При испытаниях этих соединений на статический изгиб угол достигает 180°.

Подобное увеличение прочности соединений имеет место при сварке встык с приложением давления легированных сталей (36Г2С, 12Х2МФ), прочность которых значительно выше, чем у закладываемого припоя. Разрушение таких соединений при испытании на растяжение происходит по основному металлу.

С увеличением давления толщина жидкой прослойки уменьшается и достигает определенного предела (3...6 мкм), при котором после вытеснения легкоплавкой фазы происходит сращивание прикристаллизованных на паяемых поверхностях слоев припоя, обогащенных железом. Повышение содержания железа в шве и снижение содержания компонентов припоя продолжается и после затвердевания жидкой фазы.

Содержание железа в шве зависит от степени пластической деформации. Так, при пластической деформации 2,2 % содержание железа в шве составляет 68 %, при деформации 38 % содержание железа достигает 95 %.

Способ пайко-сварки давлением применяют при соединении геологоразведочных труб как в заводских условиях, так при спуске колонн над устьем скважин.

Одновременное использование двух комплексов оборудования для последовательного проведения пайки и сварки приводит к необходимости в каждом конкретном случае экономической оценки этого способа соединения труб и трубных изделий. Высокая эффективность применения пайко-сварки обеспечивается при соединении труб с эмалированным покрытием и при соединении труб с фланцами.

Процесс пайки может не только сопровождать процессы механической сборки и сварки металлических соединений. Паяльный процесс может применяться как подготовительная операция перед осуществлением основного процесса пайки. При этой операции подготавливают необходимые условия для ка-

чественного формирования паяного соединения при последующем основном процессе пайки.

Общеизвестны технические трудности удаления стойкой оксидной пленки с поверхности алюминия и его сплавов при пайке. Даже при тщательном удалении ее в подготовительный период она образуется вновь в процессе нагрева при пайке, что препятствует взаимодействию расплава припоя с паяемой поверхностью. Для предотвращения процесса восстановления оксидной пленки при пайке на поверхности алюминия и его сплавов при подготовке к пайке производят ее лужение легкоплавким припоем (типа ПОС), расплав которого, взаимодействуя с паяемой поверхностью, образует плотное покрытие, изолирующее при нагреве паяемую поверхность детали от взаимодействия с атмосферой [9].

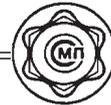
Удаляют оксидную пленку с поверхности алюминиевых изделий перед лужением механическим шабером, металлическими щетками, а также абразивными частицами, содержащимися в расплаве припоя, в который погружают детали, придавая им поступательное или вращательное движение. При сложной форме деталей применяют ультразвуковое лужение. Перед лужением деталей их нагревают на 20...40 °С выше температуры плавления припоя, который растирают по паяемой поверхности с помощью ветоши или асбеста до металлического блеска поверхности.

В качестве абразивных частиц при кавитационно-абразивном лужении могут служить первичные кристаллы цинка в расплавах припоев систем Sn 10 %, Zn 50 %, имеющих широкий интервал затвердевания, и температурах, при которых еще не образуется жесткий скелет каркаса из срастающихся кристаллов.

Полное абразивно-кавитационное облужение алюминия в расплаве припоя состава Sn—Zn 50 % при температуре 300 °С происходит за 10 с при интенсивности ультразвуковых колебаний 2 Вт/см². Способ успешно применяют при пайке многожильных проводов с медными наконечниками.

При горячем лужении алюминиевой ленты на ее поверхность наносят флюс и пропускают через пару нагреваемых роликов, на поверхность одного из которых подают расплав припоя.

Высокую коррозионную стойкость проводов из алюминия, паяных легкоплавкими припоями, обеспечивают предварительным цинкованием проводов (с толщиной покрытия до 2 мкм), а также лужением проводов в расплавленном олове. Для лужения и пайки алюминия широко применяют высокотемпературные припои 34А и эвтектический силумин. Изделия из технического алюминия и из сплавов АМц (теплообменники) паяют во флюсовой ванне, после



плакирования их силумином. Толщина покрытия не должна превышать 100 мкм.

Безфлюсовую высокотемпературную пайку алюминиевых сплавов можно осуществлять эвтектическим силумином на воздухе после предварительного абразивного лужения паяемых поверхностей оловянно-свинцовыми припоями П200В (10 % Zn), 34А или припоем состава: 10 % Zn, 10 % Pb, 80 % Sn. Толщина покрытия должна составлять 0,03...0,05 мм. Допустимое время лужения и пайки зависит от толщины полуды и, например, при толщине полуды 50 мкм может составлять не менее 120 с. Температура пайки составляет 580...600 °С.

Очищенная поверхность меди на воздухе окисляется достаточно быстро, особенно при повышении температуры, что препятствует смачиванию ее поверхности легкоплавким припоем. С целью защиты очищенной медной поверхности от окисления производят ее лужение и покрывают ее тонким слоем полуды — оловянно-свинцовым припоем толщиной 3...5 мкм. Слой полуды, покрытый защитным лаком, обеспечивает надежную защиту паяемой поверхности в течение 6 мес.

Предварительному лужению (цинкованию) перед пайкой подвергают также углеродистые и низколегированные стали с использованием в качестве флюса хлористого цинка.

Горячее лужение титана осуществляют в расплаве олова (при температуре 700...750 °С) или с применением реактивных флюсов или осуществляют алитирование в жидком алюминии при температуре 720...750 °С в течение 10...12 мин.

Пайка обеспечивает не только надежное соединение элементов конструкции в сложных современных технических системах. При нагреве паяного соединения до температуры плавления шва можно разъединять детали с сохранением исходной геометрии паяемых элементов, так как температура плавления припоя в традиционном паяльном производстве всегда ниже температуры плавления паяемых металлов, что обеспечивает возможность распая паяных соединений и повторной пайки. В этом отношении паяные соединения чем-то сходны с резьбовыми, при сборке и разборке которых сохраняется геометрия соединяемых—разъединяемых элементов. Возможность сборки-разборки и повторной сборки является уникальным свойством монолитных паяных соединений.

Наглядный пример эффективного использования металлургического процесса для разъединения монолитных заготовок металла можно видеть при контактно-реактивной пайке. Контактное-реактивное плавление двух разнородных твердых тел успешно используется для их соединения, получающегося в результате затвердевания образующейся в месте контакта метал-

лов жидкой фазы. Контактное-реактивное плавление может быть также использовано для разделения монолитной заготовки, при том же сочетании контактируемых металлов, путем удаления из места контакта образующейся жидкой фазы. При этом обеспечивается высокая производительность процесса и получаются более ровные края реза, чем при газопламенной резке [10].

Процесс контактно-реактивного плавления двух разнородных металлов возникает при определенной температуре, если контактируемые металлы образуют эвтектику или легкоплавкий твердый раствор. При разрезании заготовки ее металл в образующем твердом растворе должен содержаться в достаточно большом количестве.

Скорость контактно-реактивного плавления зависит от толщины прослойки жидкой фазы. При ее возрастании скорость контактно-реактивного плавления снижается. При контактно-реактивной резке (КРР) необходимо постоянное удаление непрерывно образующейся жидкой фазы из места контакта металлов, что обеспечивают приложением постоянного механического давления на взаимодействующие металлы. Для удаления оксидной пленки с разрезаемого металла и металла резака могут быть использованы флюсы, газовые среды или вакуум. Осуществляют также лужение контактируемых поверхностей легкоплавким припоем.

При лужении деталей, так же, как и при заливке жидкого металла (припоя) на поверхность твердого при изготовлении биметаллических изделий, на границе контактирования жидкого и твердого металлов протекает металлургический процесс пайки (атомного взаимодействия металлов) с образованием монолитного соединения. Поэтому технологические процессы лужения и заливки также могут сопровождать или заменять основные процессы сборки в единую конструкцию.

Алюминий образует легкоплавкие эвтектики с медью, кремнием, серебром, магнием. В качестве материала для резака применяют медь и латунь, как наиболее дешевые и недефицитные материалы.

При флюсовой резке алюминиевой заготовки используют обычно флюс 34А, при бесфлюсовой резке — производят лужение разрезаемого и режущего металла припоем П200А.

Время контактно-реактивной резки алюминия медным резаком при температуре 580 °С или латунным резаком при температуре 515 °С не зависит от величины давления в пределах 0,2...0,5 МПа для меди и 1...5 МПа для латуни Л63. Давление необходимо для непрерывного выдавливания жидкой фазы из образующегося зазора. Замена медного резака латунным позволяет сократить время и снизить температуру резки до 515 °С. При бесфлюсовой контактно-реактивной

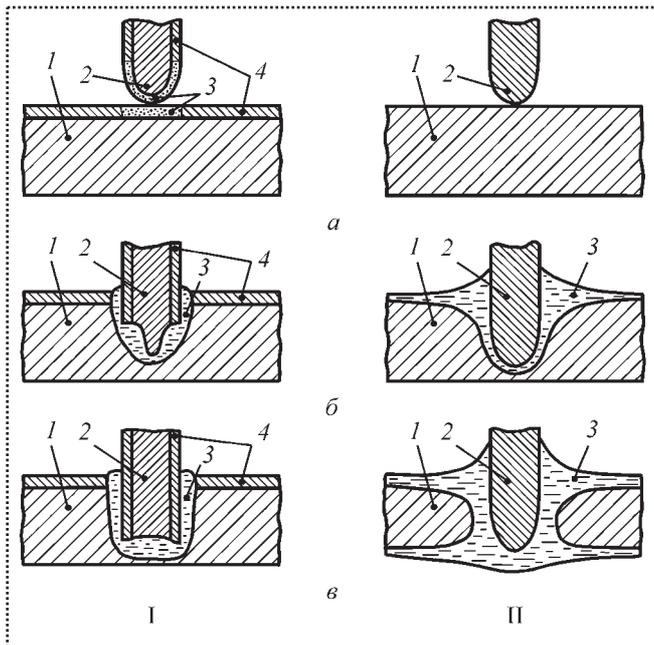


Рис. 4. Схема последовательных этапов контактно-реактивной резки (КРР):

I – бесфлюсовая КРР с предварительным лужением припоем П200А; II – КРР с флюсом 34А:

а – до начала КРР; б – на стационарном этапе КРР; в – в конце КРР; 1 – разрезаемый металл; 2 – резак; 3 – жидкая фаза; 4 – лужение припоем П200А

резке процесс протекает при температуре 625 °С только по облуженной поверхности резака.

Схема последовательных этапов контактно-реактивной резки представлена на рис. 4.

Способ контактно-реактивной резки позволяет резать изделия любых габаритов и конфигураций, по поверхности любой формы, в том числе по криволинейной. При этом разделение металла может происходить по всей линии реза одновременно, что многократно повышает скорость резки.

В институте ВНИИСТ разработана технология изготовления кольца припоя для высокотемпературной пайки стальных трубопроводов с использованием способа контактно-реактивного плавления (а.с. № 1329049 РФ). Припой изготавливают путем прессования однородной смеси порошков двух металлов, образующих контактно-реактивную пару. Один из металлов пластичный, дисперсность порошка не более 0,1 мм. Нагревание осуществляют до получения полного расплавления спрессованного порошка, образующего припой. Способ позволяет получать закладные кольца припоя высокой прочности. Использование контактно-реактивного плавления позволяет снизить энергоемкость высокотемпературной пайки. Размер частиц исходного порошка определяет полноту протекания процесса контактно-реактивного плавления металлов, поскольку он

обуславливает степень контакта компонентов порошковой смеси.

Кольца припоя изготавливали из смеси порошков меди марки ПМС-1 и марганца марки Мр-1. Равномерная порошковая смесь содержала 65 % Cu и 35 % Mn. Эту смесь прессовали в металлической пресс-форме при давлении 1,5 МПа, затем в керамической форме соответствующего профиля нагревали в печи до температуры 950 °С. Прочность закладного кольца составляла 230 МПа. Элементы медь и марганец составляют основу многих высокотемпературных припоев.

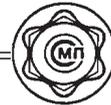
Подобным образом изготавливали кольца припоя из порошковой смеси, содержащей 33 % Cu и 67 % Al.

В случае, когда требуется более высокая вязкость припоя (например, для некапиллярной пайки), целесообразно вводить в состав порошковой смеси порошок металла, не вступающего в контактно-реактивное взаимодействие ни с одним из компонентов смеси. Вводимый порошок металла должен иметь более высокую температуру плавления, чем припой, и составлять до 40 % от общей массы порошковой смеси. Это позволяет получить композиционный закладной элемент припоя с более высокой вязкостью, способствующий удержанию расплава припоя в широких зазорах. Приведенные составы порошковых смесей могут дополняться железным порошком, выполняющим функцию армирующего компонента.

Простота технологии изготовления цельных колец припоя из промышленно выпускаемых металлических порошков, не требующая оборудования для литья, прокатки или электролиза, позволяет изготавливать их в условиях непосредственно на участках их применения, что значительно повышает эффективность процесса пайки, особенно в полевых условиях.

Использование процесса пайки на начальной или конечной стадиях изготовления механических или сварных соединений может повысить качество изделий и расширить возможности применяемых технологий производства.

Пайку крупных металлоконструкций, собираемых с большими некапиллярными зазорами (2...3 мм) проводят по специальной технологии, предусматривающей предварительное заполнение сборочного зазора порошковым металлическим наполнителем (по составу близким к составу паяемого металла), который при пайке пропитывается жидким расплавом исходного припоя. В процессе пропитки (затекания) расплава припоя в каналы, образуемые между частицами наполнителя, происходит его взаимодействие с частицами, с образованием широкой прослойки припоя с требуемым составом и структурой. В результате взаимодействия механические свойства паяного



шва резко возрастают и могут приближаться к равнопрочности с паяемым металлом [11].

Следовательно, при затекании расплава исходного припоя в зазор одновременно происходят основной процесс взаимодействия его с паяемым металлом с образованием паяного соединения и процесс взаимодействия с частицами наполнителя с образованием нового композитного припоя с более высокими механическими свойствами.

Процесс нагрева паяемого участка проводят в вакууме. Вакуумирование паяльного зазора с наполнителем является наиболее эффективным методом получения плотных паяных швов. В целях повышения скорости и глубины пропитки наполнителя создают давление инертного газа на затекающий в зазор расплав припоя.

Раздельный выбор свойств наполнителя и связующего (исходного припоя) открывает широкие возможности для управления всеми свойствами паяных соединений, и в первую очередь, прочностью и пластичностью.

При композиционной пайке изделий с широкими неравномерными зазорами применяют уже готовый композиционный припой, в котором масса припоя армирована более тугоплавким наполнителем в виде порошка, гранул, сетки или спеченной губки, спаяных с ним. Обычно химический состав наполнителя бывает близок к составу паяемого металла. Поэтому в процессе пайки композиционным припоем жидкая фаза расплава припоя быстро насыщается элементами металла наполнителя, что приводит к возрастанию прочности паяного шва до уровня прочности паяемого металла.

Регулируя количество и качество наполнителя, можно изменять вязкость композиционного припоя, и, следовательно, процесс затекания его в зазор или удержания в зазоре. Для качественного затекания мелкодисперсного припоя в зазоры 0,5...0,8 мм содержание наполнителя в припое не должно превышать 25 %.

При производстве конструктивно сложных узлов и изделий процесс пайки может с большой технико-экономической эффективностью заменить технологически сложный процесс механической сборки. Такие возможности реализуются при применении композиционного литья, позволяющего качественно формировать монолитные изделия любой сложности. При этом способе составные элементы изделия из неоднородных материалов размещают в необходимых частях литейной формы, после чего форму заливают расплавом матричного металла, обладающего свойствами припоя, который в процессе заполнения формы вступает в атомное взаимодействие с элементами конструкции, образуя монолитные соединения.

При композиционном литье происходит узловая сборка различных конструктивных элементов в монолитное изделие. Композиционное литье открывает широкие возможности для эффективных конструктивных решений [12].

Процесс композиционного литья неправомерно называют литейной сваркой или узловой сборкой литьем. При сварке происходит подплавление твердого металла. При композиционном литье осуществляется взаимодействие расплава матричного металла и твердых элементов на уровне атомного обмена. Литье может производиться и без взаимодействия жидкого и твердого металлов. Поэтому при композиционном литье ведущую роль в формировании монолитного изделия выполняет процесс пайки, протекающий на границе контакта жидкого и твердого металлов.

Композиционное литье применяют также при производстве композиционных материалов, из которых механическим способом изготавливают фасонные изделия.

Библиографический список

1. **Повышение** герметичности цилиндрических соединений пайкой / А.В. Платонов и др. // Сварочное производство. 1983. № 11.
2. **Радзиевский В.Н.** Высокотемпературная автовакуумная пайка стальных рабочих колес центробежных компрессоров // Автоматическая сварка. 2001. № 7.
3. **Упрочнение** напыленных покрытий пайкой / Г.В. Бобров и др. // Сварочное производство. 1974. № 8.
4. **Бобров Г.В., Привезенцев В.Н.** Упрочнение напыленных износостойких покрытий последующей вакуумной пайкой // Сварочное производство. 1972. № 10.
5. **Туляков Е.Д.** Разработка составов и технологии получения композиционных паяных покрытий. Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. М., 1988.
6. **Диффузионная** сварка материалов: справочник. / Под ред. Н.Ф. Казакова. М.: Машиностроение, 1981.
7. **Диффузионная** сварка алюминиевых сплавов в состоянии сверхпластичности / А.В. Сергеев и др. // Автоматическая сварка. 1991. № 7.
8. **Высокотемпературная** пайка труб для геолого-разведочного бурения / В.К. Лебедев и др. / Автоматическая сварка. 1989. № 5.
9. **Лашко Н.Ф., Лашко С.В.** Пайка металлов. М.: Машиностроение, 1988.
10. **Лашко Н.Ф., Лашко С.В.** Контактные металлургические процессы при пайке. М.: Металлургия, 1977.
11. **Радзиевский В.Н.** Исследование физико-металлургических процессов. Создание технологии и материалов для высокотемпературной пайки стальных конструкций при широком паяльном зазоре. Автореф. дисс. ... д-ра техн. наук. М., 1990.
12. **Оболенский Э.Д.** Физико-химия и технология композитного литья. Одесса: ОПИ, 1984.

УДК 658.562:629.7:681.2

В.Н. Бойкачёв, канд. техн. наук (Научно-технический инновационный центр "ТЕХКОМ", Москва)
E-mail: radimed@mail.ru

Создание и внедрение системы сертификации качества электронной компонентной базы космического приборостроения

Рассмотрены вопросы создания и внедрения системы сертификации качества электрорадиоизделий отечественного и зарубежного производства для космического приборостроения, показана роль сертификации в повышении качества бортовой радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов.

Questions of creation and realization of system of quality certification for electronic components domestic and foreign manufacture for space electronic equipment are considered, it is shown the role of quality certification in improvement of the aerospace electronics.

Ключевые слова: электрорадиоизделия, космическое приборостроение, сертификация, повышение качества, бортовая радиоэлектронная аппаратура, космический аппарат.

Keywords: electronic components, aerospace electronics, certification, improvement of quality, the onboard radio-electronic equipment, space vehicle.

К бортовой радиоэлектронной аппаратуре (РЭА) космических аппаратов (КА) предъявляются очень жесткие требования: продолжительный срок службы (до 15 лет); высокая радиационная стойкость; стойкость к механическим и температурным воздействиям; вибрационная стойкость; герметичность и др. Эти и другие свойства во многом определяют качество РЭА. Поскольку основную часть РЭА составляют электрорадиоизделия (ЭРИ), очевидно, что их качество во многом определяет качество РЭА в целом.

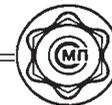
Многолетняя практика создания РЭА КА показала, что в связи с высокими требованиями к качеству ЭРИ одного входного контроля их качества на предприятиях — производителях РЭА недостаточно. В связи с постоянным усложнением и ростом номенклатуры ЭРИ, особенно микросхем, появлением больших и сверхбольших интегральных схем (БИС и СБИС) объем входного контроля постоянно возрастал по мере роста числа проверяемых параметров качества ЭРИ и объемов проводимых испытаний. Эти факторы создавали большие трудности в работе под-

разделений входного контроля на предприятиях — производителях РЭА КА и реальные угрозы пропуска некачественных ЭРИ в производство.

Особенно тяжелая ситуация с качеством ЭРИ сложилась после распада СССР, когда начал рушиться рынок отечественных ЭРИ. В этот период производство отечественных ЭРИ сокращалось или прекращалось, а мировой рынок под воздействием ряда факторов, важнейшими из которых были бурное развитие персональных ЭВМ, телекоммуникационной техники, открытие рынка России, интенсивно развивался. В результате отставание России в развитии элементной базы микроэлектроники от передовых в этом отношении стран стало быстро нарастать от 5—7 лет на момент распада СССР до 10 лет к 2000 г. [1].

В этот период в странах восточной Азии появилось большое число поставщиков ЭРИ, которые были готовы поставлять свою продукцию в Россию. Однако в России она была не изучена, особенно в части технологии применения. В связи с большим объемом закладываемых в конструкцию изделий космической техники импортных ЭРИ на предприятиях возникли проблемы с получением соответствующих руководящих технических материалов по их свойствам, техническим условиям и требованиям (температура пайки, склеиваемость, влагостойкость, условия хранения), а также технологическим процессам, режимам обработки и нормативным материалам по применению новых ЭРИ (выполнение операций поверхностного монтажа, пайки, склеивания, сборки и т.д.). На начальном этапе работ с ЭРИ иностранного производства инженерные и технологические службы предприятий решали подобные вопросы на интуитивном уровне. Все указанные и другие факторы отрицательно влияли на качество РЭА КА, выпускаемых отечественными предприятиями.

Эффективным методом обеспечения требуемого уровня качества ЭРИ является их сертификация, поэтому в целях обеспечения возможности создания и производства РЭА КА с заданным уровнем качества группой специалистов, включая автора, было принято решение о создании независимой системы сертификации качества ЭРИ. В 2000 г. впервые в отечественной ракетно-космической промышленности была создана



и аккредитована в Федеральной системе сертификации космической техники научного и социально-экономического назначения испытательная лаборатория (ИЛ) Автономной некоммерческой организации "Авиационно-космическое научно-исследовательское испытательное производственное объединение" (АНО АКНИИПО). В состав ИЛ вошли четыре испытательных отделения: на предприятиях РКК "Энергия", г. Королев; РНИИ "Электронстандарт", Санкт-Петербург; АНО "НТИЦ "ТЕХКОМ", Москва и "Авиаприбор", Москва. Область аккредитации лаборатории охватывает проведение сертификационных испытаний отечественных и зарубежных ЭРИ, применяемых в космической технике, экспериментальной и стендовой базы для испытаний комплектующих изделий космической техники, измерительных систем для комплектующих изделий космической техники, программно-методического обеспечения их работы, а также предоставление услуг, связанных с применением ЭРИ в авиакосмической технике.

Нормативная база ИЛ включает в себя Федеральный закон Российской Федерации от 26.06.2008 № 102-ФЗ "Об обеспечении единства измерений", около 150 ГОСТ, ОСТ, РД, ОТТ, а также стандарты серии MIL (США). Кроме того, создана большая и разносторонняя научно-методическая база по методикам испытаний.

Так, в лаборатории "ТЕХКОМ" автором впервые была разработана научно-методическая база испытаний РЭА на электромагнитную совместимость, основанная на проведенных им ранее глубоких исследованиях проблемы электромагнитной совместимости элементов РЭА [2].

К началу 2000-х гг. большая работа была проведена по подготовке руководящих документов по качеству в части проведения испытаний и применения интегральных микросхем зарубежного производства. В НТИЦ "ТЕХКОМ" (тогда – МГП "ТЕХКОМ") был разработан руководящий документ [3], который устанавливает организацию, порядок подготовки и правила проведения оценочных испытаний интегральных микросхем зарубежного производства, разрешенных к применению в аппаратуре, приборах и другой технике. Большую роль в обеспечении качества РЭА КА также сыграли появившиеся в этот период руководства по применению импортных микросхем. Например, в работе [4] разработаны технические требования, требования по стойкости к воздействию климатических факторов, устойчивости к механическим воздействиям, требования по надежности и маркировке, а также методология контроля качества с учетом требований и положений стандарта "MIL-STD-883. Методы и процедуры испытаний для изделий микроэлектроники" (США).

В арсенал средств ИЛ вошли также отбраковочные испытания, диагностический неразрушающий кон-

троль качества, выборочный разрушающий контроль, включающий в себя внутренний визуальный контроль вскрытого элемента, разработка и (или) внедрение специальной автоматизированной тестовой аппаратуры, разработка специального программного обеспечения, проведение большого объема аналитической работы, основанной на статистике отказов ЭРИ, с выдачей заключений. Так, проводившийся несколько лет назад статистический анализ показал, что надежность отечественных микросхем примерно в четыре раза ниже, чем импортных [1]. Их отбраковка позволила избежать большого числа отказов КА, включая пилотируемые космические корабли «Союз» и пассажирские самолеты. Другим примером эффективной работы ИЛ является создание и внедрение в практику методики дополнительных отбраковочных и диагностических испытаний импортных микросхем промышленного уровня качества, позволяющих примерно на порядок повысить уровень их надежности. С учетом высокой стоимости и длительных сроков заказа и получения микросхем класса Military это позволяло применять в РЭА КА недорогие ЭРИ промышленного уровня качества. Однако с увеличением нормативных сроков активного существования (САС) КА более 7 лет этот ранее хорошо зарекомендовавший себя методический подход утрачивает свое значение за исключением микроспутников, у которых САС в ближайшие годы, скорее всего, не превысит эту величину.

Для РЭА КА с уровнем надежности 10 лет и более необходимы ЭРИ более высокого уровня качества с большой радиационной стойкостью, который недостижим для ЭРИ промышленного уровня качества даже импортного производства. Как показывает практика сертификационных испытаний ЭРИ, чем выше уровень интеграции, функциональные характеристики и частотный диапазон применяемой элементной базы, тем выше должна быть техническая оснащенность входного контроля и сертификационных испытаний.

Накопление и научное обобщение опыта проведения сертификационных испытаний и получаемой статистики отказов сыграли большую роль в совершенствовании методов и средств управления качеством РЭА КА на всех стадиях жизненного цикла. В частности, этот опыт был учтен при создании системы надежность-ориентированного проектирования РЭА КА с применением унифицированной базовой несущей конструкции приборов, сертифицированной высоконадежной элементной базы, единых схемотехнических и системотехнических решений, системы бездефектного проектирования и испытаний, отработанных методов и средств контроля качества изготовления. Методология создания указанной системы включает эффективные решения таких **важнейших вопросов менеджмента** качества, как:

- отбор и сертификация комплектующих изделий;
- применение отказоустойчивых структур;



- многоступенчатая система испытаний;
- применение конструкций с усиленной защитой от внешних воздействий;
- контроль качества проектирования и производства.

Отбор и сертификация комплектующих предусматривает:

- создание индивидуальных ограничительных перечней ЭРИ и спецификаций, учитывающих конкретные условия эксплуатации;
- теоретические и экспериментальные исследования ЭРИ с целью задания норм облегченных электрических и тепловых режимов;
- проведение испытаний для прогнозирования показателей надежности и долговечности с использованием в качестве факторов ускорения гамма-облучения и повышенной температуры;
- проведение отбраковочных испытаний по специальным методикам, включающим измерения изменений электрических параметров ЭРИ.

Применение отказоустойчивых структур включает:

- аппаратное резервирование на уровне составных частей изделия с гибким алгоритмом изменения конфигурации;
- параллельное выполнение вычислительных процессов с взаимной синхронизацией, проверкой и восстановлением как входных данных, так и выдаваемых результатов;
- корректирующие коды для исправления искажений в оперативной памяти от радиационно-стимулированных сбоев;
- двойной просчет и использование дубликата информационного ядра бортовых цифровых вычислительных машин (БЦВМ).

Многоступенчатая система испытаний обеспечивает:

- выявление слабых мест, являющихся потенциальными источниками отказов;
- определение запасов по величине внешних воздействий (механических, климатических, электрических и пр.);
- выявление динамики старения с применением в качестве ускоряющего фактора радиационного облучения.

Применение конструкций с усиленной защитой от внешних воздействий вызвано тем, что длительные сроки активного существования современных КА усугубили влияние внешних воздействующих факторов и потребовали создания облегченных условий эксплуатации ЭРИ, в том числе:

- ослабление радиационных воздействий космического пространства;
- эффективное снижение тепловых нагрузок на ЭРИ;
- уменьшение воздействий климатических и механических факторов;

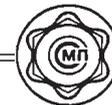
- снижение влияния на ЭРИ воздействий электромагнитных излучений;
- контроль качества проектирования и изготовления.

Система контроля качества включает:

- на этапе проектирования – проведение граничных испытаний лабораторного образца проектируемого изделия для определения запасов устойчивой работы и правильности функционирования;
- на этапе подготовки производства – создание перечня критических операций и контрольных параметров технологического процесса, разработка методик контроля и определение периодичности его проведения;
- на этапе изготовления – 100 %-ный контроль всех операций технологического процесса и периодический контроль критичных операций (автоматизированный контроль).

Опыт проведения сертификации ЭРИ позволил разработать ряд методических подходов и требований, обеспечивающих необходимое качество приборов в конкретных условиях их эксплуатации на КА. Для обеспечения высоких требований к надежности бортовой РЭА должен быть реализован комплекс организационно-технических мероприятий, направленных на исключение предпосылок отказов ЭРИ. Основными из этих мероприятий, успешно подтвердившими свою эффективность в реализованных проектах КА ("Ямал-100", "Ямал-200" и др.), являются:

- формирование модели эксплуатации ЭРИ, учитывающей весь комплекс внешних воздействий на ЭРИ на стадиях жизненного цикла аппаратуры в течение заданного срока службы;
- формирование перечней ЭРИ отечественного и зарубежного производства, квалифицированных на соответствие модели эксплуатации, с указанием поставщиков изделий и ограничений по допустимым термоэлектрическим режимам работы и мер защиты от воздействия факторов космического пространства;
- разработка и реализация программы дополнительных отбраковочных испытаний, диагностического неразрушающего контроля и выборочного разрушающего физического анализа, выполняемых в аттестованных испытательных технических центрах (применительно к отечественным ЭРИ) и поставщиками изделий (для ЭРИ зарубежного производства);
- обеспечение "прослеживаемости" комплектующих ЭРИ при контроле в испытательных технических центрах (ИТЦ) или ИЛ, а также на всех этапах создания аппаратуры, ее наземной отработки и эксплуатации в составе КА;



- выполнение технической экспертизы правильности применения ЭРИ на всех этапах создания аппаратуры (для вновь создаваемой и модернизируемой аппаратуры – с привлечением независимых экспертов для углубленной оценки электрических и температурных режимов работы ЭРИ в узлах и блоках аппаратуры);
- организация учета всех отказов ЭРИ, происходящих при их применении в аппаратуре (начиная с этапа изготовления аппаратуры) и физико-технического анализа причин отказов (с привлечением в сложных случаях независимых специализированных организаций).

К выбору номенклатуры, закупке и испытаниям ЭРИ предъявляются следующие требования.

В аппаратуре, особенно БЦВМ, должны применяться, как правило, ЭРИ повышенной надежности (с индексом ОС, ОСМ, символом М и Н). Должен быть разработан, согласован и утвержден заказчиком "Перечень ЭРИ, допускаемых для применения в аппаратуре", учитывающий требования модели эксплуатации ЭРИ в аппаратуре. Закупка ЭРИ может производиться как на предприятиях Российской Федерации, так и в странах ближнего зарубежья в том случае, если они соответствующим образом аттестованы.

Поставка ЭРИ должна сопровождаться необходимой нормативной документацией, достаточной для проведения сертификации этих ЭРИ в целях подтверждения их соответствия требованиям модели эксплуатации и обеспечения правильного применения в аппаратуре.

При необходимости функционально сложные БИС и СБИС допускается испытывать на воздействие тяжелых заряженных частиц и высокоэнергетических протонов в составе плат и модулей аппаратуры.

Дополнительный отбор ЭРИ должен выполняться в объеме:

- входного контроля;
- отбраковочных испытаний;
- электротренировок (ЭТТ);
- контроля герметичности;
- термоциклирования;
- выдержки при повышенных и пониженных температурах;
- контроля отсутствия внутренних посторонних частиц (pind-тест);
- диагностического контроля информативных параметров;
- параметров по ужесточенным нормам;
- потактного (побитного) тока потребления;
- дрейфа информативных параметров после ЭТТ и выдержки при повышенной температуре;
- разрушающего физического анализа образцов из каждой партии ЭРИ.

С целью обеспечения единой организационно-методической основы для выполнения отбраковки ЭРИ должна быть разработана Программа дополнительного контроля и испытаний ЭРИ. Организации, выполняющие дополнительный контроль ЭРИ, должны быть аттестованы в соответствии с установленным порядком и проверены на готовность комиссиями с участием представителей заказчика.

Группы ЭРИ отечественного производства, которые не испытываются в ИТЦ в связи с их конструктивно-технологическими особенностями, должны проходить испытания в составе микросборок (микросборки), приборов, узлов и блоков аппаратуры в объеме и по методикам, установленным в ОТУ (ТУ) на соответствующие группы изделий.

Если продолжительность хранения ЭРИ после проверки в ИТЦ превышает установленные в ОТУ (ТУ) значения, то перед установкой в аппаратуру они подлежат обязательной перепроверке в согласованном с заказчиком объеме.

Впервые в России в ИЛ АКНИИПО были созданы научно-методические основы проведения сертификационных испытаний, анализа и обобщения их результатов, совершенствования стендово-испытательной базы, разработки специального программного обеспечения для испытаний ЭРИ и комплектующих изделий космической техники и др. Накопленный опыт передавался в другие испытательные центры Роскосмоса, которые были созданы в ОАО "РКС" и ОАО "ИСС".

В результате к настоящему времени в Роскосмосе создана достаточно эффективная самоорганизующаяся отраслевая система сертификации ЭРИ и комплектующих изделий РЭА КА, обеспечивающая возможность создания и производства РЭА КА с заданным уровнем качества.

Библиографический список

1. **Хоменко В.В., Потапов П.Ю.** Научно-техническое сопровождение ОКР на этапе разработки и проведения наземной экспериментальной отработки опытных образцов бортовой аппаратуры КА "Глонасс-К" в части технологического обеспечения. Научно-технический отчет. НПО "Техномаш". М., 2008.
2. **Бойкачев В.Н., Скородумов Б.И., Страхов С.В.** Из опыта оценки характеристик ЭМС БЦВМ. Вопросы специальной радиоэлектроники. Серия "Электронная вычислительная техника": вып. 1. 1990. С. 22–27.
3. **Микросхемы** интегральные зарубежного производства. Правила проведения оценочных испытаний. Руководящий документ. МГП "ТЕХКОМ". М., 1999.
4. **Микросхемы** 28F010-15 (12). Фирма-изготовитель – Intel Corporation. Руководство по применению. МГП "ТЕХКОМ". М., 2001.



УДК 620.179.18

В.В. Вязовский, А.Г. Пшеничный, А.В. Райко, аспиранты
(Саратовский государственный технический университет)
E-mail: rabindranat703@mail.ru

Разработка метода активного контроля вакуумных свойств диффузионных соединений

Разработан метод активного контроля формирования термовакуумных характеристик диффузионных соединений и электровакуумных материалов за счет продувания через зону сварки потока газов из смеси гелия и водорода.

Developed a method to actively control the formation of thermal vacuum diffusion characteristics of the compounds and electro-materials by blowing through the welding zone the flow of gases from a mixture of helium and hydrogen.

Ключевые слова: диффузионная сварка, активный контроль, гелий, газопроницаемость, вакуум, масс-спектрометр, вакуумная плотность, водородопроницаемость, гелиевый течеискатель.

Keywords: diffusion welding, active control, helium gas permeability of the vacuum, mass spectrometer, vacuum density of the hydrogen, helium leak detector.

Одним из важных условий надежности и долговечности электровакуумных приборов (ЭВП) является способность их вакуумных оболочек сохранять герметичность в процессе изготовления и эксплуатации. Наблюдаемые на практике натекания через сквозные неплотности в оболочках могут составлять от 10^{-10} до 10^{-23} м³/с. Чувствительность существующих методов контроля деталей и узлов ЭВП на вакуумную плотность составляет $133,3 \cdot (10^{-12} \dots 10^{-13})$ Па·м³/с. Пользуясь такими методами, удастся отбраковать значительную часть негерметичных узлов и оболочек. Однако это не гарантирует прибор от выхода из строя из-за натекания, появляющегося при откачке, в период после откачки, герметизации или в эксплуатационных условиях. Поэтому одной из важных задач при производстве приборов является определение методов контроля вакуумной плотности.

Исходя из кинетической теории течения газа по узким каналам и современных требований по сохранению высокого вакуума ЭВП можно предсказать опасность того или иного проникающего дефекта и

определить приблизительный гарантийный срок службы прибора:

$$t_r = \frac{q_{\text{нат}}}{V_{\text{нат}}}, \quad (1)$$

где $q_{\text{нат}}$ – критический объем натекшего воздуха, Па·м³;

$V_{\text{нат}}$ – скорость натекания, м³/с;

Наличие в оболочке даже непрерывной цепочки вакансий, соединяющей кратчайшим путем вакуумную полость прибора с атмосферой, опасно. А сквозная пора диаметром в несколько десятков нанометров может стать причиной натекания в ЭВП средней мощности до $133,3 \cdot 10^{-4}$ Па всего за 10 сут.

Рассмотрим физическую природу возможных дефектов в зоне диффузионных соединений (ДС) металлов и сделаем попытку экспериментально оценить возможную величину дефектов в ней, а также рассмотрим методику их устранения в зависимости от параметров процесса.

Теория дислокаций [7] рассматривает трещину как скопление особого рода краевых ("раскалывающих") дислокаций с единичным вектором Бюргерса b , так что ширина трещины

$$h = n b, \quad (2)$$

где n – число дислокаций.

Оценку размеров сквозных дефектов-каналов можно выполнить с помощью уравнения Кнудсена в том виде, в каком оно предложено в работе [1]:

$$Q = \frac{1}{L} \int_{P_2}^{P_1} \left(aP + b \frac{1 + cP}{1 + fP} \right) dP, \quad (3)$$

$$\text{при } a = \frac{\pi d}{128 \eta}; \quad b = \frac{1}{6} \left(\frac{2 \pi k T}{m} \right) d^3; \quad c = \left(\frac{m}{k T} \right)^{\frac{1}{2}} d;$$

$$f = 1,24 \left(\frac{m}{k T} \right)^{\frac{1}{2}},$$



где Q – поток, Па·м³/с;

L – длина капилляра м;

P – давление, Па;

d – диаметр отверстия, м;

η – вязкость газа;

k – постоянная Больцмана;

T – температура газа, К;

m – молекулярная масса газа.

Анализ кинетики процесса формирования ДС металлов показывает, что, варьируя основные параметры процесса сварки, можно получать соединения интересующих нас материалов с набором дефектов, отвечающих вакуумной плотности в широком диапазоне натеканий от самых вязкостных течей до минимально возможной для данного материала вакуумной плотности. Так, оставляя постоянными температуру сварки, время выдержки под давлением, а также чистоту обработки соединяемых поверхностей и снижая величину прикладываемого давления от оптимального значения до некоторого предела, мы получим набор дефектов различной величины в сварном шве за счет различного смятия выступов на шероховатой поверхности соединяемых материалов. Чем меньше нагрузка, прикладываемая к соединяемым материалам при сварке, тем больше будет дефектность контактной зоны. Пропуская через контактную зону в процессе сварки пробный газ (обычно гелий), можно судить по характеру его потока о кинетике формирования вакуумных свойств соединений.

На этой основе предложен способ контроля качества сварного соединения непосредственно в процессе сварки, который позволяет судить о закрытии сквозных каналов по прекращению потока гелия через контактную зону и о завершении устранения дефектов. О величине дефектов, определяющей режимы течения газа по ним, можно судить по характеру температурной зависимости скорости газового потока через них.

Примем, что сквозной канал (трещина) имеет круглую форму. Вязкостный поток, рассчитываемый по формуле Пуазейля, медленно убывает с ростом температуры, так как вязкость газов растет пропорционально повышению температуры:

$$Q_v = \frac{\pi a^4}{8 \eta l} P^2, \quad (4)$$

где a – радиус канала;

l – длина канала;

P – давление газа.

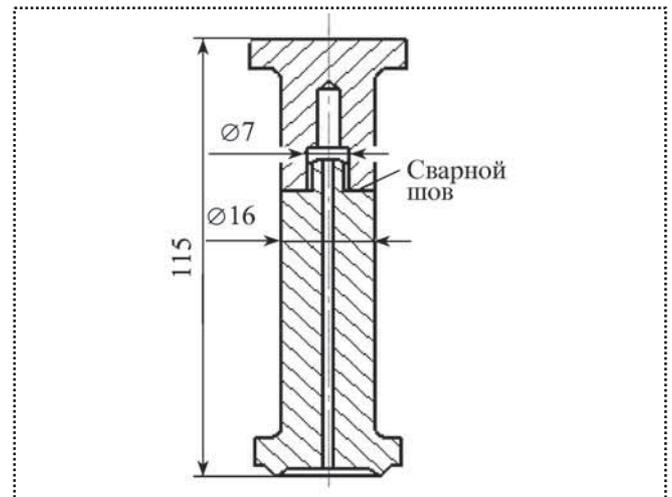


Рис. 1. Экспериментальный образец

Молекулярный поток $Q_{\text{мол}}$ через сквозной канал площадью S , определенный по выражению

$$Q_{\text{мол}} = P S \left(\frac{k T}{2 \pi A} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (5)$$

медленно растет пропорционально температуре. Здесь A – массовое число для проникающего газа (гелия).

В качестве модельных материалов были выбраны наиболее типичные представители вакуумно-плотных металлов: медь МВ, сталь Ст3 и Х18Н9Т – основные конструкционные металлические материалы, применяемые для изготовления оболочек ЭВП. Образцы изготавливали из одной партии металла.

Конструктивные размеры образца, представленного на рис. 1, предусматривают возможность исследования на газопроницаемость при повышенных температурах. Контактные поверхности обрабатывали с параметром шероховатости Ra 1,25. Конструктивное отличие образцов из меди и сплавов 29НК и Х18Н9Т обусловлено особенностью канавочно-клинового уплотнения. На медных образцах роль прокладки играет нижняя галтель.

Дефекты контактной зоны, их устранение в процессе сварки и вакуумные свойства соединений изучали двумя способами. В первом случае вначале получали набор дефектов в соединениях указанных материалов путем изготовления нескольких групп образцов при изменяющемся удельном давлении (табл. 1).

Сварку образцов проводили на установке диффузионной сварки типа УДС-2 с индукционным нагре-



Таблица 1

Влияние режимов диффузионной сварки на вакуумную плотность и газопроницаемость соединений

Соединяемые материалы	Номер группы образцов	Параметры режима			Вакуумная плотность по гелию, Па·м ³ /с	Проницаемость по водороду при 500 °С, Н·м ³ / Па·с
		Давление <i>P</i> , МПа	Температура сварки <i>T</i> , °С	Время сварки <i>t</i> , мин		
МВ+МВ (медь вакуумной плавки)	1	2	850		133,3·10 ⁻⁹	Не проверялась
	2	3			133,3·10 ⁻⁹	То же
	3	4			666,5·10 ⁻¹²	– " –
	4	5			266,6·10 ⁻¹²	– " –
	5	6			399,9·10 ⁻¹³	– " –
	6	7			133,3·10 ⁻¹⁴	– " –
	7	8			0	2·10 ⁻⁷
	8	9			0	6·10 ⁻⁹
	9	10			0	3·10 ⁻⁹
	10	12			0	5·10 ⁻⁹
29НК +29НК	1	4	1000	15	133,3·10 ⁻⁹	Не проверялась
	2	8			666,5·10 ⁻¹²	То же
	3	10			799,8·10 ⁻¹³	– " –
	4	12			266,6·10 ⁻¹³	– " –
	5	16			0	8·10 ⁻⁷
	6	20			0	3·10 ⁻⁷
	7	24			0	2·10 ⁻⁷
X18Н9Т + X18Н9Т	1	4	1000		133,3·10 ⁻⁹	Не проверялась
	2	8			399,9·10 ⁻¹²	То же
	3	10			666,5·10 ⁻¹³	– " –
	4	12			1066,4·10 ⁻¹⁴	– " –
	5	16			0	3·10 ⁻⁷
	6	20			0	8·10 ⁻⁸
	7	24			0	8·10 ⁻⁸

вом [6]. Затем контролировали вакуумную плотность и газопроницаемость каждой группы образцов.

При втором способе изучения формирования вакуумных свойств соединений металлов первоначально изготавливали партию образцов в сварочном режиме, который гарантировал взаимное соединение обеих частей каждого образца с некоторой начальной прочностью, но не обеспечивал их вакуумную плотность по гелию. Затем эти образцы "доваривали", постепенно увеличивая давление на специальной приставке к масс-спектрометру МХ-1302 [4]. В совокупности приставка с масс-спектрометром составляет установку, позволяющую изучать проникновение пробного газа через образец в диапазоне температур 20...1000 °С с одновременным приложением к образцу снимающих или растягивающих усилий (рис. 2).

Вакуумную плотность образцов контролировали первоначально с помощью гелиевого течеискателя

ПТИ-7 с чувствительностью 5·10⁻¹⁷ м³/с. Газопроницаемость всех групп образцов определяли при температуре нагрева от 20 до 700 °С.

В качестве измерителя потока пробного газа через образцы с различной величиной дефектности применяли масс-спектрометр типа МХ-1302.

Поток, создаваемый газом в масс-спектрометре определяется по формуле Кнудсена [3]:

$$Q_m = 3,64 S_d P \sqrt{\frac{T}{M}}, \frac{\text{Па} \cdot \text{м}^3}{\text{с}}, \quad (6)$$

где Q_m – поток, создаваемый газом в масс-спектрометре;

S_d – площадь отверстия пропускной диафрагмы, м²;

P – давление в системе напуска, Па;

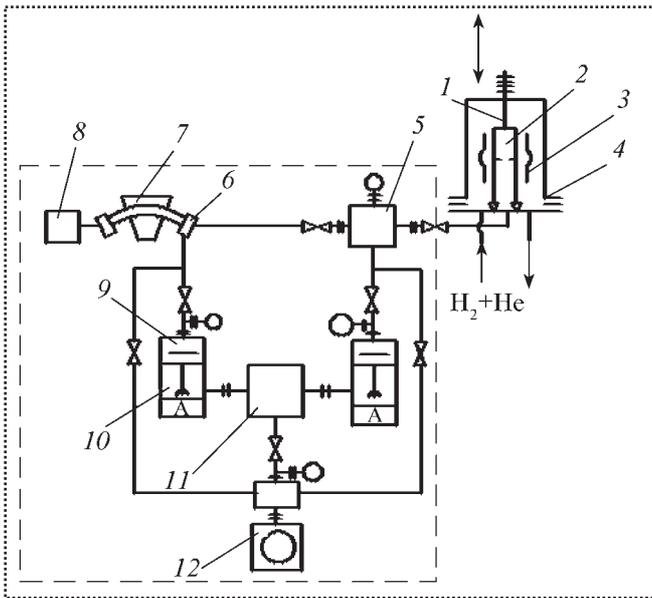


Рис. 2. Схема установки для исследования вакуумной плотности и газопроницаемости соединений и материалов:

1 – механизм сварки–растяжения; 2 – исследуемый образец; 3 – нагреватель; 4 – камера; 5 – накопительный баллон масс-спектрометра MX-1302; 6 – источник ионов; 7 – камера анализатора; 8 – самопишущий потенциометр; 9 – азотная ловушка; 10 – ртутный насос; 11 – уравнильный баллон; 12 – форвакуумный насос

T – абсолютная температура, К;

M – молекулярная масса газа.

Чувствительность течеискателя K_q к перепускаемому гелию определяется отношением сигнала $\Delta\alpha$ к объему накопленного газа Δq :

$$K_q = \frac{\Delta\alpha}{\Delta q}, \quad (7)$$

и составляет $3 \cdot 10^7$ Па·м³/с.

При определении натекания $Q_{\text{нат}}$ или во время проверки герметичности образцов необходимо поделить полученный сигнал на K_q и время накопления t_n :

$$Q_{\text{нат}} = \frac{\Delta\alpha}{K_q t_n}. \quad (8)$$

Оптимальное время накопления должно составить:

$$t_n = \frac{\Delta q_{\text{min}}}{2 \delta Q_{\phi}}, \quad (9)$$

где Δq_{min} – минимальное количество гелия, поддающееся регистрации в данных условиях опыта;

Q_{ϕ} – фоновые натекания.

Время накопления составило 2 ч.

Минимально регистрируемый поток, с учетом того что спектрометр уверенно регистрирует приращение сигнала величиной 6 мВ, находится по формуле

$$Q_{\text{min}} = \frac{\Delta\alpha_{\text{min}}}{2 \delta Q_{\phi}} \quad (10)$$

и составляет $359,91 \cdot 10^{-20}$ Па·м³/с. Уменьшение времени накопления при этом приведет к невозможности идентифицировать более тонкие натекания, а его увеличение целесообразно лишь одновременно со снижением Q_{ϕ} . Фоновые натекания Q_{ϕ} определяют чувствительность метода и оптимальное время натекания, так как минимально регистрируемый поток должен удовлетворять неравенству

$$Q_{\text{min}} \geq 2 \delta Q_{\phi},$$

где δ – амплитуда разброса фоновых сигналов относительно среднего значения, определяемого холостыми опытами (в нашем случае – с металлическими заглушками вместо исследуемого образца).

При исследовании водородопроницаемости металлов обычно регистрируют поток газа, проникающего через поверхность образца, при этом подсчитать площадь поперечного сечения ДС практически невозможно. Поэтому газопроницаемость зоны соединения рассчитана условно на единицу длины.

Для расчетов предложено следующее выражение:

$$q = \xi_m \frac{n l}{L}, \quad \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^3}{\text{Па} \cdot \text{с}}, \quad (11)$$

где q – газопроницаемость зоны соединения на единицу длины;

ξ_m – потоковая чувствительность прибора;

n – скорость потока;

l – глубина сварного шва;

L – длина сварного шва по периметру.

Таким образом, проницаемость ДС определится как количество водорода, проникающее на $1 \cdot 10^{-2}$ м длины шва к его глубине в $1 \cdot 10^{-3}$ м за 1 с при давлении водорода с наружной стороны образца в $9,8 \cdot 10^4$ Па.

Анализ экспериментальных данных, представленных на рис. 3, показывает, что минимальные сквозные потоки гелия и водорода через образцы во всех экспериментах имеют величины не менее $1 \cdot 10^{-5}$ Па·м³/с для исследуемых соединений при изменении сварочного давления во всем исследуемом диапазоне. Сквозные потоки величиной порядка $1 \cdot 10^{-7} \dots 1 \cdot 10^{-8}$ Па·м³/с в экспериментах не обнаружены.

Исследование температурной зависимости величины потока этих газов через сварные образцы со сквоз-

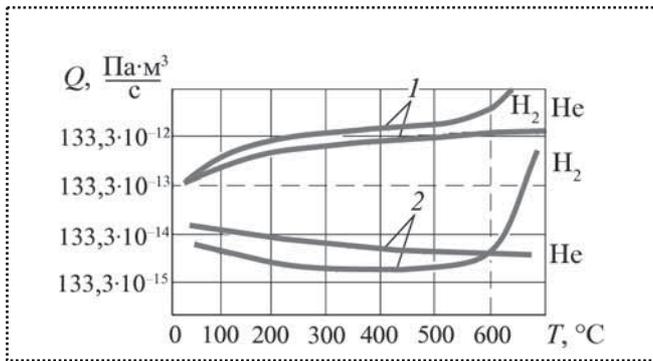


Рис. 3. Температурная зависимость потоков водорода и гелия через сварные соединения (29НК+29НК), полученных при первом (1) и втором (2) способах

ными дефектами показывают, что минимально зарегистрированные потоки имеют вязкостный характер.

Результаты экспериментов, представленные в табл. 1 и рис. 4, показывают, что изменение сварочного давления от 4 до 18 МПа для соединений медь+медь и от 4 до 24 МПа для соединений из коррозионно-стойкой стали и соединений медь МВ+сталь 10895 (при соответствующих остальных параметрах) уменьшает поток гелия через сквозные дефекты от 1 до $1 \cdot 10^{-5}$ Па·м³/с и водородопроницаемость соединений (при 500 °С) от $1 \cdot 10^{-6}$ до $1 \cdot 10^{-9}$ Па·м³/с.

Водородопроницаемость соединений стабилизируется на постоянном уровне при определенных для каждого металла параметрах процесса. Именно при этих параметрах заканчивается формирование соединений и их вакуумные свойства становятся идентичными свойствам исходного материала.

Проницаемость водорода через металлы осуществляется в пять последовательных этапов: адсорбция молекул на поверхности, диссоциация их на атомы, диффузия атомов через кристаллическую решетку, ассоциация молекул на внутренней поверхности образца и их десорбция. Поэтому любое воздействие, повышающее энергию активации каждого из этих пяти процессов или "тормозящее" их течение, будет уменьшать водородопроницаемость металлов.

Пластическая деформация металлов в подавляющем большинстве случаев протекает по дислокационному механизму за счет движения дислокаций. Когда кристалл деформируется, плотность дислокаций в нем быстро возрастает с увеличением степени деформации. Новые дислокации вносят вклад в упрочнение кристалла и должны оказывать влияние на газопроницаемость металла. Атомы газа, диффундирующее через металл, будут интенсивно оседать на дислокациях, уменьшая в итоге общий поток газа через образец, подвергнутый термовакuumной обработке.

При циклическом деформировании металлов в вакууме их долговечность выше, чем на воздухе. А ис-

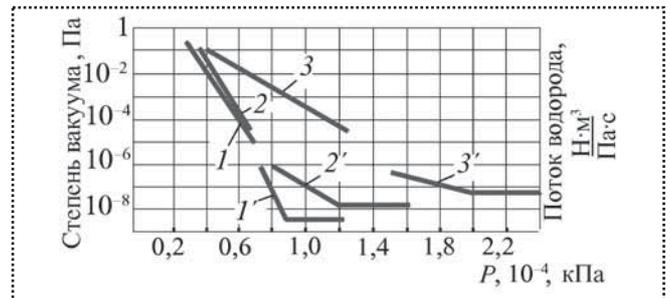


Рис. 4. Зависимость вакуумной плотности по гелию (линии 1–3) и газопроницаемости по водороду при 500 °С (линии 1'–3') от удельного давления для диффузионных соединений:

1 и 1' – медь МВ + медь МВ ($T = 800$ °С, $t = 15$ мин); 2 и 2' – медь МВ + сталь 10895 ($T = 800$ °С, $t = 15$ мин); 3 и 3' – сталь Х18Н9Т + сталь Х18Н9Т ($T = 1050$ °С, $t = 15$ мин). Позициями 1'–3' отмечены кривые для соединений, обработанных по режиму ДС

следованиями Н.Ф. Казакова [4] установлено, что при диффузионном соединении металлов происходит увеличение прочности ДС при статическом нагружении.

Авторами было исследовано влияние воздействия параметров процесса ДС на удельную плотность и газопроницаемость меди МВ, кобальта 29НК и стали Х18Н9Т. Удельную плотность после термовакuumного воздействия проверяли на дисковых образцах диаметром 16 мм и высотой 2 мм и измеряли с помощью гидростатического взвешивания. Обработку металлов проводили по режимам, обеспечивающим получение равнопрочных соединений в вакууме порядка $666,5 \cdot 10^{-5}$ Па. Результаты исследований, приведенные в табл. 2, показывают, что удельная плотность возрастает для кобальта на 5 %, коррозионно-стойкой стали – на 3 % и молибдена – на 1 % при незначительной деформации. Увеличения плотности медных образцов практически не обнаружено. На рис. 5 показана зависимость водородопроницаемости от температуры для монолитных образцов из меди, кобальта и коррозионно-стойкой стали, подвергнутых воздействию при параметрах, указанных в табл. 2, и воздействию при контрольных параметрах для образцов, не обработанных по режиму ДС.

Анализ приведенных данных показывает, что водородопроницаемость медных образцов практически не изменяется, а для образцов из кобальта и нержавеющей стали – уменьшается во всем интервале температур на 1–1,5 порядка.

Полученные данные свидетельствуют о том, что исходные образцы кобальта и стали имеют более высокую пористость, чем медь МВ и дефекты пор у них устраняются легче.

Таким образом, и в основном материале при действии сжимающей нагрузки в условиях вакуума и повышенных температур происходит устранение дефек-

Изменение удельной плотности металлов в результате термовакуумной обработки

Материал	Режим химической обработки			Деформация, %	Относительное изменение плотности, %
	P , МПа	T , °С	t , мин		
Медь МВ	–	850	20	–	–
	7	850	20	–	–
Сплав 29НК	–	1050	30	–	–
	25	1050	20	1	5
Сталь Х18Н9Т	–	1050	30	–	–
	25	1050	20	1,2	3
Молибден МЧВП	–	1100	30	–	–
	25	1100	20	1,5	1

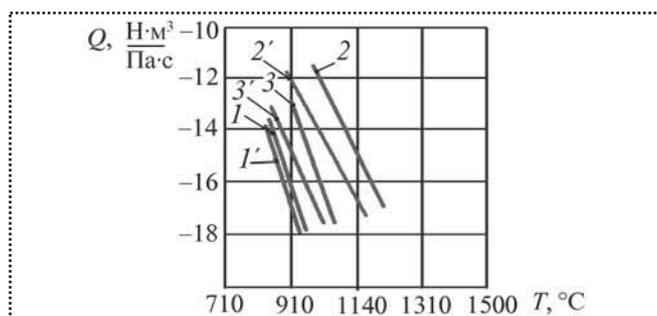


Рис. 5. Зависимость водородопроницаемости монолитных образцов из меди МВ (1, 1'), сплава 29НК (2, 2') и стали Х18Н9Т (3, 3') от температуры. Позициями 1'–3' отмечены кривые для соединений, обработанных по режиму ДС

тов пор, приводящее к уменьшению водородопроницаемости металлов.

Выводы

1. Теоретическим и экспериментальным путями показано, что в соединениях металлов не могут существовать сквозные дефекты с линейным размером по диаметру менее $1 \cdot 10^{-6}$ м, а потоки газов – менее $133,3 \cdot 10^{-14}$ Па·м³/с.

2. Разработан метод активного контроля формирования термовакуумных характеристик диффузионных соединений и электровакуумных материалов за счет продувания через зону сварки потока газов из смеси гелия и водорода. Прекращение потока гелия свидетельствует о начальном моменте возникновения вакуумной плотности (закрытии сквозных каналов) и формировании полного фактического контакта, а стабилизация потока водорода – о моменте завершения формирования термовакуумных характеристик соединения и диффузионного взаимодействия.

3. С применением методов математического планирования экспериментов выявлены соотношения параметров ДС, которые обеспечивают в их широком интервале получение гарантированно вакуумноплотных термостойких соединений многих применяемых в электронике материалов. Получены регрессионные модели, позволяющие для соединений медь МВ + медь МВ, медь МВ + сталь 10895, медь МВ + сталь Х18Н9Т рассчитывать соотношение параметров процесса, обеспечивающих наперед заданную прочность соединений при контролируемом уровне деформации и гарантированной вакуумной плотности.

4. При обработке металлов по режимам ДС наблюдаются уменьшение их водородопроницаемости на 1–2 порядка в диапазоне 200...700 °С, вызываемое адсорбцией водорода на возникающих при пластическом деформировании микродефектах структуры, и уменьшение степени дислокации его молекул на поверхностях деталей после обработки в установках с "масляными" средствами откачки.

Библиографический список

1. Вакуумная техника: справочник / Е.С. Фролов и др. М.: Машиностроение, 1985. 360 с.
2. Гутри А., Уокерхин Р. Вакуумное оборудование и вакуумная техника. М.: Иностранная литература, 1951.
3. Дэшман С. Научные основы вакуумной техники. М.: Мир, 1964. 715 с.
4. Казаков Н.Ф., Конюшков Г.В., Маренко Б.А., Рудин Г.А. Масс-спектрометрическое исследование газопроницаемости диффузионных, паяных и аргонодуговых соединений // Обмен опытом в электронной промышленности. 1969. № 4. С. 89–93.
5. Левин Г. Основы вакуумной техники. М.: Энергия, 1969. 273 с.
6. Теория технологии и оборудования диффузионной сварки / В.А. Бачин, В.Ф. Квасницкий, Д.И. Котельников и др. М.: Машиностроение, 1991. 352 с.
7. Фридель Ж. Дислокации. М.: Мир, 1967. 627 с.



УДК 627.9+658.562

А.М. Камалдинов, канд. техн. наук, М.С. Сурженко, Е.Г. Аксенов, инженеры (НПО "Техномаш")
E-mail: info@tmnpo.ru

Измерение малых вращающих моментов силы для контроля качества сборки изделий ракетно-космической техники

Уменьшение габаритов и массы, увеличение точности и ресурса систем стабилизации, ориентации и навигации требуют создания нового поколения технологического оборудования с расширенными информационными возможностями для измерения малых вращающих моментов силы при контроле качества сборки изделий ракетно-космической техники.

Показаны современные моментомеры на упругих подвесах, обеспечивающие изготовление гироскопических приборов различного назначения массой от 20 г до 5 кг и предельными моментами от 0,001 до 0,25 Н·м (минимальный измеряемый момент – 1 мкН·м).

Decrease of gabarits, weights, and the increase of accuracy and of the resource of stabilization, orientation and navigation systems require the creation of the new generation equipment with expanded informational possibilities for low force torques measurement during rocket and space technology work piece assembly quality control.

Showing modern torquemeters on the elastic suspensions providing the manufacturing of gyroinstruments of different functions, which weight varies from 20 g to 5 kg and which limit torques vary from 0,001 to 0,25 N·m (the minimum measured torque is 1 μ N·m).

Ключевые слова: измерения, момент, моментомер, вращение, оборудование, контроль, качество, гироскоп, производство, сборка.

Keywords: measurements, torque, torquemeter, twirl, equipment, control, quality, gyroscope, manufacture, assemblage.

Постоянно растущие требования к эксплуатационным характеристикам изделий ракетно-космической техники (РКТ) приводят к необходимости расширять и углублять знания, используемые в процессе производства гироскопов. Так, уменьшение габаритных размеров и массы, увеличение точности и ресурса систем стабилизации, ориентации и навигации требу-

ют создания нового поколения технологического оборудования с расширенными информационными возможностями для измерения малых вращающих моментов силы при контроле качества сборки изделий РКТ.

Специалисты имеют большой опыт создания технологического оборудования для производства гироскопических приборов. С 1970-х гг. разработано и внедрено разнообразное оборудование для измерения моментов (рис. 1), в том числе:

- система измерения моментов разбалансировки (СИМР);
- установки для измерения параметров подшипников (УИПШ и УИПП);
- измерители моментных характеристик гироскопических приборов (моментомеры) М-100, М-300, МЗ-300, УИЗМ.

Подвесы подвижных частей данных измерителей момента либо подшипниковые, либо газостатические.

Разработаны и испытываются в условиях производства современные моментомеры на упругих подвесах (рис. 2): М-50М, М-10М, М-2500 – для гироскопических приборов различного назначения массой от 20 г до 5 кг и предельными моментами от 0,001 до 0,25 Н·м (минимальный измеряемый момент – 1 мкН·м), а также моментомер-привод МП-2000 – для контроля качества сборки гироскопических платформ и устройств, устанавливаемых по осям стабилизации (подшипники, редукторы, токоподводы).

В состав каждого современного моментомера входят (рис. 3):

- блок преобразования моментов 1;
- электронный блок измерения моментов 2;
- персональный компьютер (ПК) 3 с аналого-цифровым преобразователем (АЦП) и специальным программно-математическим обеспечением;
- комплект приспособлений для калибровки.

Все разработанное оборудование для измерения моментов реализует компенсационный метод измерения. Измерения осуществляются по току в обратном преобразователе момента магнитоэлектрического типа. Блок-схема моментомера приведена на рис. 4.

Момент, действующий на подвижную часть блока преобразования моментов, вызывает смещение от нейтрального положения расположенных на ней роторов фотоэлектрических датчиков углового положения.

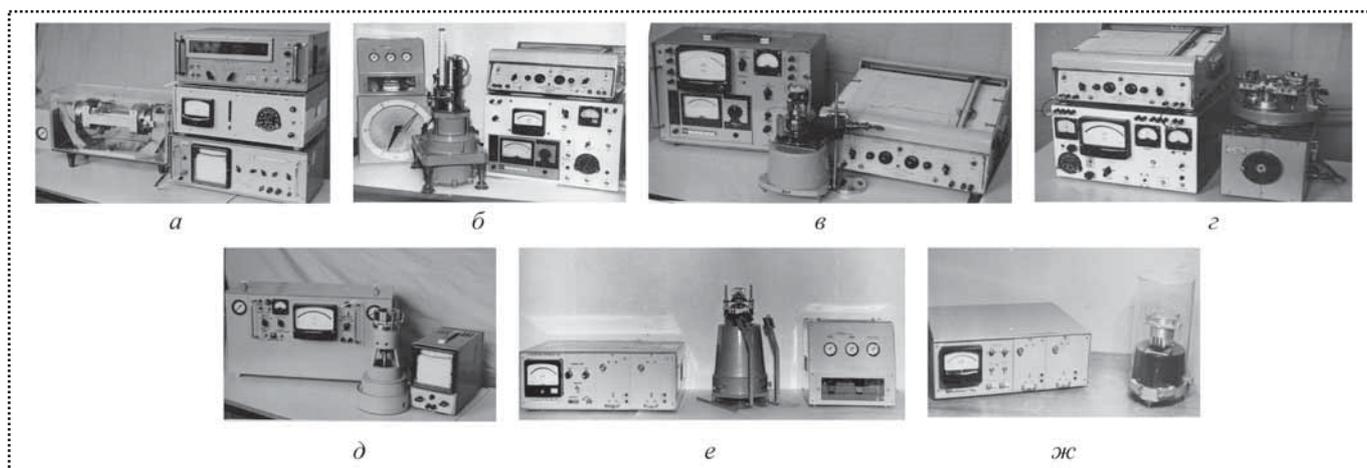


Рис. 1. Ранее разработанное технологическое оборудование для контроля качества сборки гироскопов:
a – СИМР; *б* – УИПШ; *в* – М-300; *г* – М3-300; *д* – УИПП; *е* – М-100; *ж* – УИЗМ

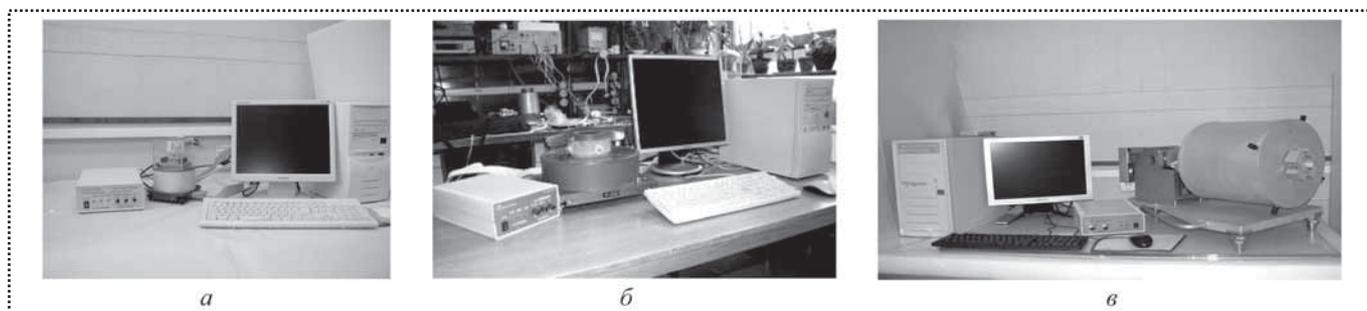


Рис. 2. Современное технологическое оборудование для контроля качества сборки гироскопов:
a – 50М, М-10М; *б* – М-2500; *в* – МП-2000

Фотоэлектрические датчики углового положения выработывают фототок, пропорциональный возникшему смещению. Фототок преобразуется блоком измерения моментов в напряжение, которое подается на катушки магнитоэлектрических датчиков момента таким образом, что создаваемый ими (датчиками момента) момент компенсирует действующий измеряемый момент.

Перемещение подвижной части блока преобразования моментов прекратится в том случае, если создаваемый моментомером компенсирующий момент станет равным действующему внешнему моменту.

Протекающий в катушке датчика момента ток (в состоянии равенства измеряемого и компенсирующего моментов) пропорционален компенсирующему моменту и, следовательно, измеряемому моменту.

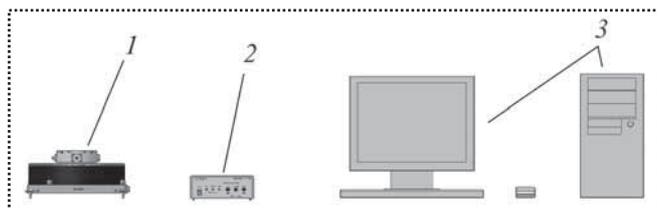


Рис. 3. Состав современного моментомера

Протекающий в катушке датчика момента ток преобразуется в напряжение, которое при помощи аналого-цифрового преобразователя преобразуется в цифровой вид и накапливается. Полученная информация обрабатывается специальным программным обеспечением, выводится на экран в единицах вращающего момента, представляется в виде графика и записывается в файл для хранения. Сигналы с датчиков углового положения также обрабатываются и выводятся на экран в виде значений углового положения, соответствующего значению момента в момент времени.

Для стабилизации динамических свойств измерительной системы используется специальный контур, создающий демпфирование.

Действие контура аналогично действию жидкости и приводит к потере кинетической энергии подвижной части, т.е. к затуханию ее колебаний. Эффективность демпфирования зависит от коэффициента усиления контура (рис. 5, *a* и *б*).

Для компенсации действия вредных моментов, имеющих постоянный характер, в блоке измерения моментов предусмотрен канал установки нуля. Информацией для регулировки нуля является величина момента, измеряемого моментомером в покое.

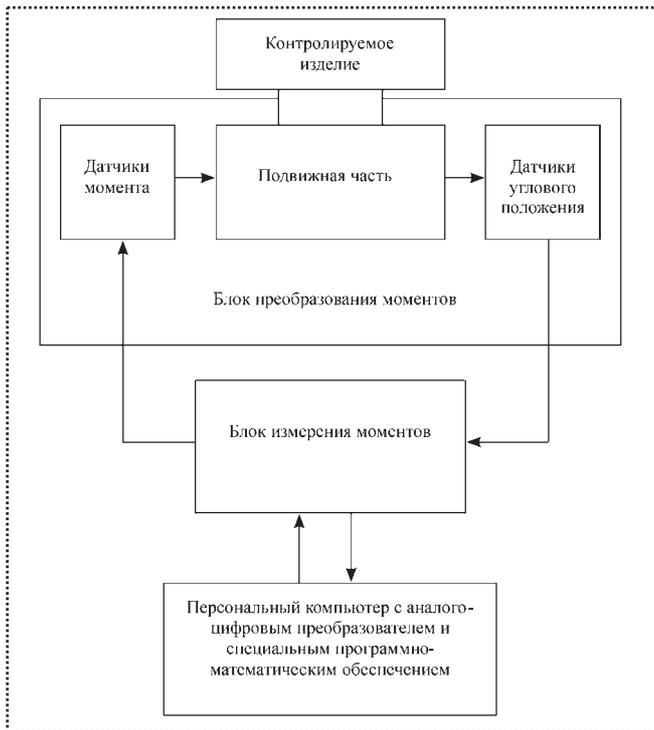


Рис. 4. Блок-схема моментомера

В целях приведения в соответствие действующего момента и показаний моментомера проводят калибровку.

При калибровке используют принцип "известная сила на известном плече". Подготовку моментомера

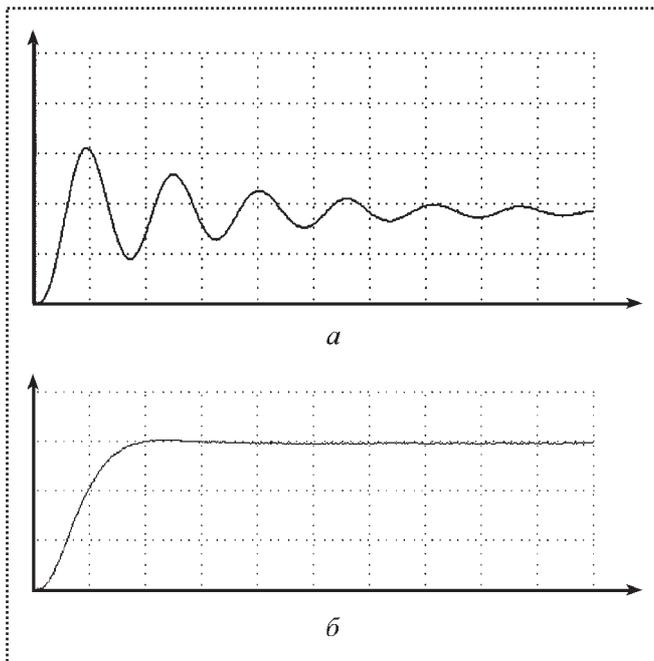


Рис. 5. Примеры регулирования демпфирования: *a* – с постепенным уменьшением амплитуды колебаний; *б* – с устранением колебаний

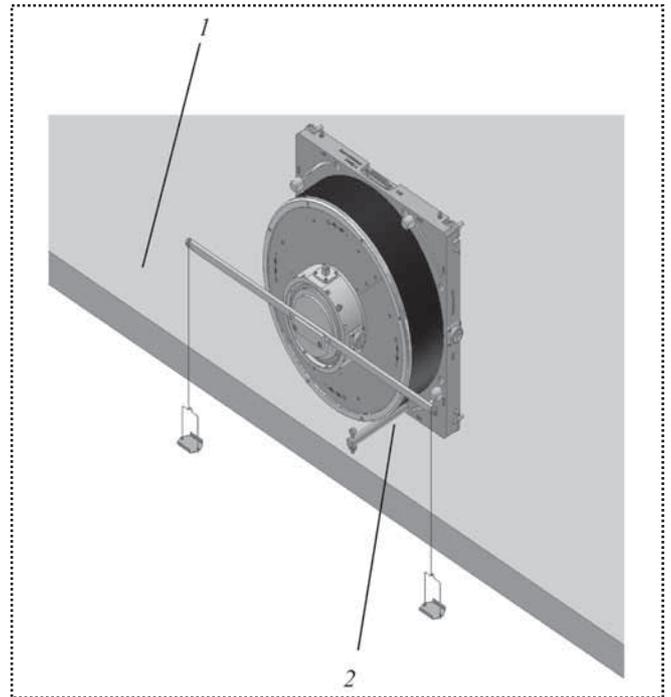


Рис. 6. Установка блока преобразования моментов с калибровочным приспособлением на поверочной плите

к калибровке производят в следующем порядке (рис. 6):

- закрепляют калибровочное приспособление 1 с нитями для пробных грузов на подвижной части блока преобразования моментов 2;
- устанавливают блок преобразования моментов в горизонтальное положение при помощи стойки.

Собственно калибровка состоит из следующих действий, выполняемых по указаниям программы:

- регулирование коэффициента преобразования (калибровка);
- проверка линейности показаний моментомера грузами различной массы (для М-2500 используются грузы массами 100, 50, 20 и 10 г);

• печать протокола калибровки.

Погрешность измерения моментов по годам менялась от 5 % в 1970-х гг. до 0,1 % в 2010 г. (рис. 7). Накопленный практический опыт разработки измерителей вращающих моментов силы позволяет приступить к разработке рабочего эталона момента

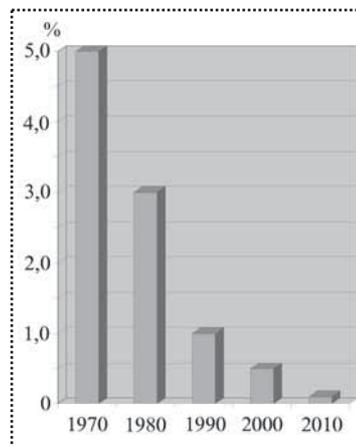


Рис. 7. Изменение точности измерения моментов по годам

1 Н·м с погрешностью 0,1 %.



УДК 621.757.83

В.Г. Карабань, канд. техн. наук, **М.Г. Кристаль**, д-р техн. наук, **А.В. Коротков**, аспирант,
Д.В. Марчук, студент (Волгоградский государственный технический университет)
 E-mail: crysmar@mail.ru

Обеспечение точности при сборке клиновых механизмов свободного хода бесступенчатых передач

Предложен метод повышения качества сборки клиновых механизмов свободного хода, основанный на компенсации погрешностей изготовления с помощью дискретных элементов, позволяющих обеспечить контакт рабочих поверхностей.

Method for improving the quality of the assembly wedge-type overrunning mechanism based on compensation of manufacturing errors using discrete elements is offered, allowing providing contact of working surfaces.

Ключевые слова: сборка, механизм свободного хода, компенсация погрешностей, дискретный элемент, обеспечение точности.

Keywords: assembly, the mechanism of free running, the compensation of errors, discrete element, ensuring accuracy.

Одним из путей обеспечения рациональной точности изготовленных деталей для получения требуемых показателей качества изделия является применение методов виртуальной сборки и методов конструктивной компенсации [1, 2].

Рассмотрим схему клинового механизма свободного хода, выполненного на базе конструкции проф. А.А. Благодравова [3] со сплошным клином и крестовой муфтой (рис. 1). Качество сборки такого механизма в значительной степени определяется точностью изготовления каждой из деталей механизма. Наибольшее значение имеют сопрягаемые поверхности клина 5, контактные поверхности ведомой обоймы 8 и внутреннего кольца 4. Снижение погрешностей при сборке механизма может быть достигнуто повышением точности сопрягаемых поверхностей с помощью методов подбора или методов компенсации. Из-за высоких требований к жесткости механизма и износостойкости рабочих поверхностей использование упругих деформаций и методов пригонки затруднено. Авторами предложен модифицированный метод регулирования, суть которого заключается в том, что сплошной клин 5 заменяют дискретными элементами, например набором пластин, которые в

собранном состоянии образуют клин. На рис. 2 показана схема такого механизма со снятым хвостовиком 1 во фронтальной проекции, остальные позиции аналогичны указанным на рис. 1. Таким образом, клин 5 выполнен не сплошным, а составным из дискретных элементов (пластин) – рис. 3 [4].

Пластины изготавливают по отдельности, каждая из которых обладает своими свойствами и показателями точности. Их комплектуют в пакет, реализующий при сборке механизма клин, что позволяет обеспечить максимальный контакт рабочих поверхностей пластин с ведомой обоймой 8 и внутренним кольцом 4. При этом, обладая относительной свободой внутри пакета, дискретные элементы клина компенсируют погрешности формы по контактным поверхностям. Пластины дискретного клина могут сохранять возможность относительных перемещений при работе механизма, при размещении в сепараторе, или при размещении в упругой связке, сохраняющей для набора пластин форму клина.

Для определения размеров и допусков на них каждой из пластин с учетом гарантированного их контакта с рабочими поверхностями внутреннего кольца и ведомой обоймы механизма в сечении, перпендикулярном базовой оси (рис. 4), рассмотрим совокупность размерных цепей.

Номинальный размер l_{1i} дискретного элемента определится из выражения:

$$l_{1i} = r_2 - r'_{1i},$$

где r_2 – радиус ведомой обоймы;

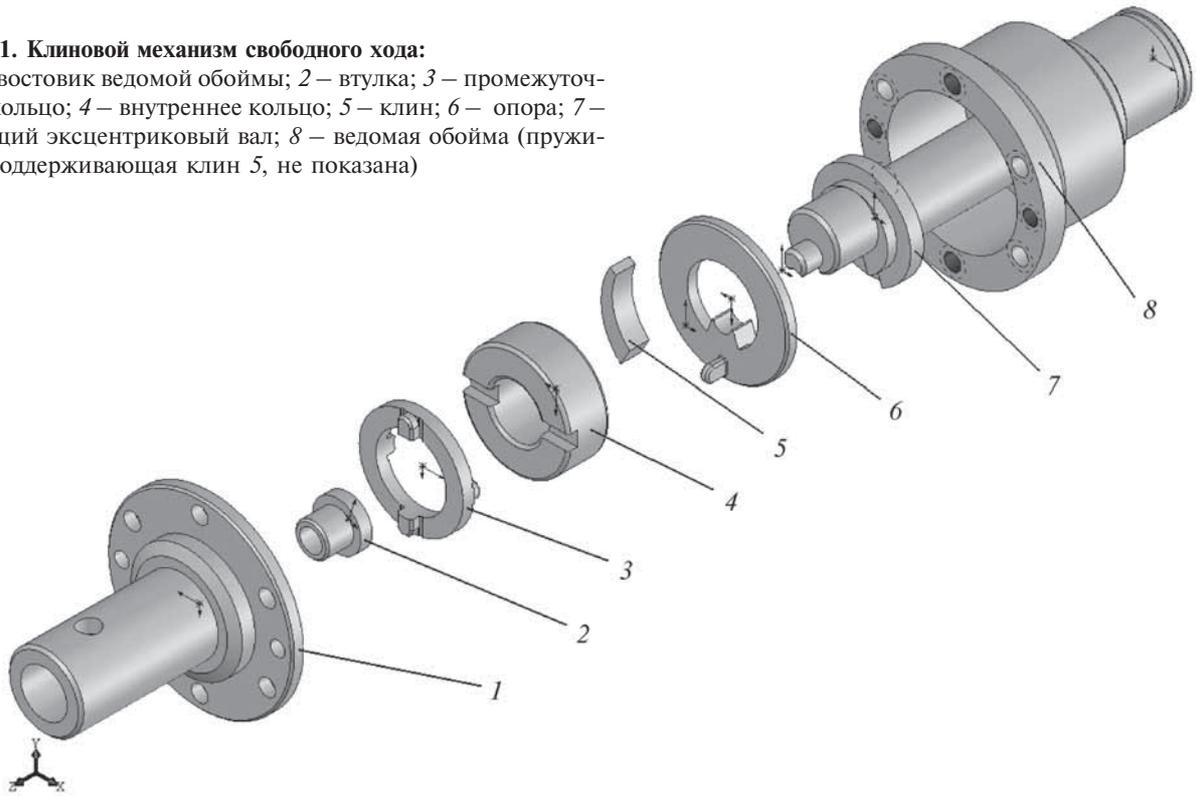
r'_{1i} – расстояние от O_1 до точки касания с ведомой обоймой номинально расположенного дискретного элемента,

$$r'_{1i} = \frac{r_1 \sin(\pi - \arcsin\left(\frac{e \sin \beta_i}{r_1} - \beta_i\right))}{\sin \beta_i}.$$

Здесь r_1 – радиус внутреннего кольца; e – эксцентриситет; β_i – номинальное угловое положение i -го дискретного элемента; O_1, O_2 – центры ведомой обоймы и внутреннего кольца; l_{1i} – номинальный размер дискретного элемента.

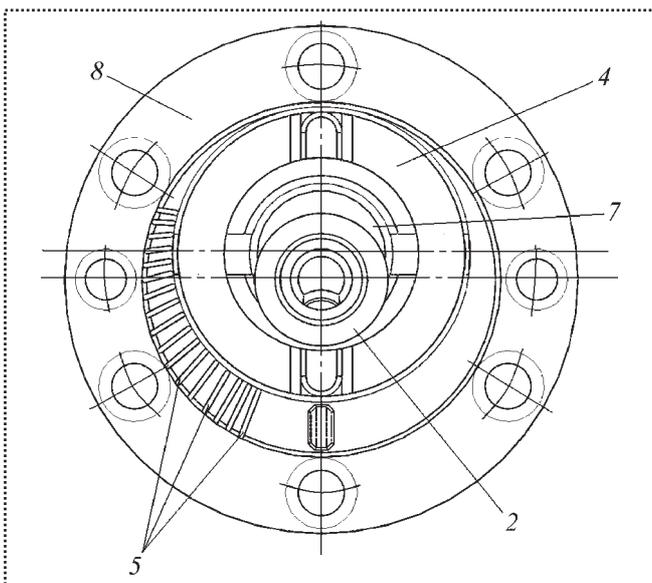
Рис. 1. Клиновой механизм свободного хода:

1 – хвостовик ведомой обоймы; 2 – втулка; 3 – промежуточное кольцо; 4 – внутреннее кольцо; 5 – клин; 6 – опора; 7 – ведущий эксцентриковый вал; 8 – ведомая обойма (пружина, поддерживающая клин 5, не показана)



Обычно при проектировании на вал и отверстие назначают допуски как основные (T_{r_1} , T_{r_2}). Тогда $r_2^{\max} = r_2 + T_{r_2}$, $r_1^{\min} = r_1 - T_{r_1}$.

$$\text{Здесь } r_1^{\min} = \frac{(r_1 - T_{r_1}) \sin(\pi - \arcsin(\frac{e \sin(\beta_i)}{r_1}) - \beta_i)}{\sin(\beta_i)}.$$

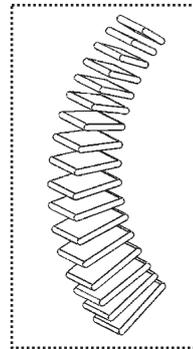

Рис. 2. Схема механизма со снятым хвостовиком

Для обеспечения гарантированного касания дискретного элемента с контактными рабочими поверхностями ведомой обоймы и внутреннего кольца при максимальном расстоянии между ними минимальное значение его размера определяют согласно выражению:

$$l_{1i}^{\min} = r_2^{\max} - r_{1i}^{\min}.$$

Очевидно, что при уменьшении расстояния l_{1i}^{\min} между

ведомой обоймой и внутренним кольцом компенсация размера пластины может быть обеспечена либо за счет деформации, либо за счет ее поворота на угол ψ_{1i} (рис. 4). Учитывая, что допуск T_i на пластину из условий гарантированного контакта может быть отложен в сторону увеличения размера l_{1i}^{\min} , введем понятие "зона компенсации" для дискретного элемента z_i . Она может быть представлена в виде сектора с центрами в O_1 или O_2 , а также длиной дуги на r_1 , r_2 или средней окружности клина $-r_k(\beta_i)$, например, для компенсатора в виде сепаратора.


Рис. 3. Дискретный клин из набора пластин

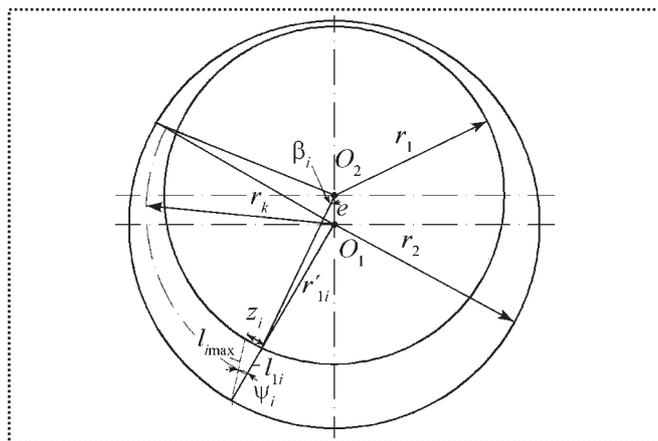
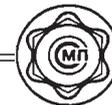


Рис. 4. Расчетная схема

Зону компенсации определяют согласно выражению

$$z_i = \sin \left(\arccos \frac{l_{1i}}{l_{1i}^{\max}} \right) l_{1i}^{\max},$$

где $l_{1i}^{\max} = l_{1i}^{\min} + T_i$.

Рассмотрим механизм с размерами $r_1 = 29$ мм, $r_2 = 35$ мм, $e = 5$ мм $с i \in [1, 17]$, при допусках по IT6 на

изготовление внутреннего кольца, по IT7-ведомой обоймы. Расчет с помощью предложенного подхода позволяет получить значения допусков T_i пластин, которые при округлении до стандартных значений допусков позволяют снизить точность изготовления дискретных элементов до 9-го качества при сохраненном качестве сборки всего механизма в целом.

Таким образом, предложенный метод существенно повышает качество сборки механизма. А при комбинации с методами виртуальной сборки имеются дополнительные резервы этого повышения.

Библиографический список

1. **Безъязычный В.Ф., Непомилуев В.В.** Технология виртуальной сборки // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2011. № 6. С. 3–15.
2. **Осетров В.Г., Федоров Б.Г.** Сборка машин с компенсаторами. М.: Машиностроение, 1993. 96 с.
3. **Карабан В.Г., Митина Е.И.** Коррекция допусков клиновых механизмов свободного хода механических импульсных передач при воздействии температуры // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2008. № 10. С. 30–32.
4. **Патент 2156897 РФ**, F 16D41/06. Клиновой механизм свободного хода / В.Г. Карабань, А.И. Скребцов // БИ. № 27. 27.09.2000.

Читайте в следующем номере:



- ✓ **Вартанов М.В., Осипов А.С., Безручкин В.В.** Автоматизация расчета производственной технологичности крупногабаритных изделий машиностроения
- ✓ **Микаева С.А., Железникова О.Е., Сеницына Л.В.** Оборудование для световых измерений
- ✓ **Жарков Г.Е., Прилуцкий В.А.** Саморегулирование положения подвижной детали при сборке
- ✓ **Сорокин М.Н., Ануров Ю.Н.** Алгоритм решения задачи комплектования при селективной сборке изделий типа "вал-втулка" по методу межгрупповой взаимозаменяемости
- ✓ **Набатников Ю.Ф.** Метод селективной сборки соединений деталей машин в условиях мелкосерийного производства

УДК 621.396.6.002.72

В.Г. Ковалёв, д-р техн. наук, **С.В. Ковалёв**, канд. техн. наук (МГТУ им. Н.Э. Баумана)
Тел. служебный: (499) 263-61-45

Предельные величины силовых и геометрических параметров при электромонтаже методом накрутки

Представлены результаты решения задачи, связанной с определением допустимых величин силовых и геометрических параметров при электромонтаже методом накрутки. Решение задачи основано на физических процессах, возникающих при пластическом деформировании проводника на выходе.

The results of solving the problem related to the definition of allowable values of power and geometrical parameters for the method of wiring churning. Solution of the problem based on the physical processes that occur during plastic deformation of the conductor at the outlet.

Ключевые слова: электромонтаж, накрутка, надежность, расчет.

Keywords: wiring, churning, reliability, calculation.

Электромонтаж накруткой используют для получения электрических соединений с помощью одножильных проводов, штырей-выводов и необходимых для этого устройств. Способ применяют для электрического монтажа блоков, панелей и рам электронной аппаратуры. Применение данного способа позволяет:

- исключить нагрев, использование припоев и флюсов;
- повысить надежность соединений по сравнению с паяными при механических и климатических воздействиях;
- ускорить процесс электрического монтажа аппаратуры;
- создать условия автоматизации монтажа;
- повысить производительность.

Контактное соединение накруткой представляет собой соединение неизолированного провода (или участка изолированного провода без изоляции) с выводом, имеющим острые кромки, при котором провод наматывается на вывод с определенным усилием. Электрическое соединение возникает в зонах контакта провода с острыми кромками вывода. Натяжение провода при накрутке позволяет разрушить пленку окси-

дов на контактирующих поверхностях металлов, способствует вдавливанию острых кромок вывода в провод и образованию газонепроницаемого соединения. Возможно соединение накруткой провода с тонкой изоляцией. В этом случае изоляция прорезается острыми кромками вывода. Концентрация напряжения в зонах контакта и среднее давление обуславливают и взаимную диффузию металлов. Соединение накруткой обеспечивает:

- минимальные номинальное и переходное сопротивление;
- газонепроницаемость, исключаящую коррозию;
- электрическую стабильность во времени при механических и климатических воздействиях.

Указанные свойства соединений накруткой обеспечивают выбором соответствующих материалов вывода и провода, конструкцией соединения и технологическими условиями его получения. Материал провода должен обладать достаточной пластичностью для образования поверхностей контакта в результате деформирования на острых кромках. Необходима определенная упругость и прочность вывода для сопротивления скручиванию его в процессе накрутки провода. От состояния поверхностного слоя материала вывода зависят электрические параметры соединения. Для изготовления выводов применяют медь, латунь, плакированную сталь, никелево-серебряные сплавы, бериллиевую и фосфористую бронзы. Последние имеют наилучшие физико-механические свойства: высокий модуль упругости; низкое остаточное напряжение; коэффициент линейного расширения близкий к коэффициенту линейного расширения медного провода.

Выводы покрывают оловом или сплавом олово–свинец толщиной 0,35...040 мкм, которые предохраняют поверхности от окисления, способствуют процессу диффузии металлов и определяют значения переходного сопротивления.

Выводы из латуни и бронзы, предназначенные для специальной электронной аппаратуры, покрывают гальваническим золотом с предварительным серебрением. Применяют серебрение по никелевому покрытию. Для обычной аппаратуры выводы получают из меди с покрытием оловом или сплавом олово–свинец.



Для накрутки используют медный одножильный провод, имеющий относительное удлинение не менее 20 %. Рабочий участок провода освобождают от изоляции и облуживают. Кроме меди, используют латунь, никелевое железо и никелевую проволоку.

Для обеспечения качества соединения элементов необходимо соблюдать определенное соотношение площадей контакта провода с выводом и площади поперечного сечения провода. Это, как показывает опыт, обеспечивается 16...20 точками контактирования (в зависимости от диаметра провода). Следовательно, соединение должно быть многовитковым.

Соединение обычно состоит из 5–6 витков луженого медного провода, навитого на вывод из фосфористой бронзы с золотым или серебряным покрытием, и имеет номинальное сопротивление 0,001...0,003 Ом. После электрических, механических и климатических испытаний оно увеличивается не более чем на 0,001 Ом. Переходное сопротивление контакта в накрутке составляет 0,0004...0,0008 Ом.

Большое значение в обеспечении электрической и механической стабильности соединения имеет процесс диффузии контактирующих металлов, сопровождающий накрутку.

Механическое напряжение в проводе снижается в процессе эксплуатации на 20...50 % в зависимости от температурного воздействия. Диффузия металлов покрытия увеличивает механическую прочность и обеспечивает сохранение электрических параметров соединения во времени. Срок службы соединения накруткой при нормальных климатических воздействиях составляет 15...20 лет.

Для накрутки применяют одножильный провод диаметром 0,17...1,20 мм. Провод большего диаметра требует увеличения усилия натяжения и более прочных выводов.

Вывод должен иметь минимум две острые кромки. В соответствии с этим условием применяют выводы с квадратной, прямоугольной, ромбовидной, U-образной и V-образной формами поперечного сечения. Наибольшее распространение получили квадратные и прямоугольные выводы, причем квадратные предоставляют ряд преимуществ при автоматизации монтажа накруткой. U-образные и V-образные выводы обладают большей упругостью по сравнению с прямоугольными при одинаковой площади поперечного сечения. Их применяют в ламповых панелях и реле, а также для монтажа аппаратуры, работающей при температуре 120...180 °С. При такой температуре напряжение в проводнике в течение 3 ч снижается вдвое, а напряжения разгрузки позволяют сохранить электрические и механические параметры соединения.

Для обеспечения сопротивления скручиванию при накрутке площадь поперечного сечения вывода долж-

на быть не меньше площади сечения провода. Обычно отношение диаметра жилы провода к стороне квадратного вывода составляет 0,5...0,6, а к стороне прямоугольного вывода – 0,3...0,5. Отношение сторон вывода прямоугольного сечения должно быть не более 1:3. Радиусы острых кромок выводов по покрытию должны быть в пределах 0,05...0,08 мм, параллельность сторон – 0,05...0,06 мм на длине 10 мм, отклонение от плоскостности – не более 0,25 мм.

Длина вывода составляет 12...38 мм и определяется диаметром провода, числом витков в соединении и числом соединений на выводе. Чтобы обеспечить оптимальное число контактных поверхностей с площадью газонепроницаемых участков, превышающей площадь поперечного сечения провода, соединение накруткой должно иметь от четырех до восьми витков для проводов диаметром 0,2...1,2 мм. При расчете числа витков следует учитывать, что вывод квадратной, прямоугольной и ромбовидной форм сечения имеет четыре точки контактирования на виток, V-образной и треугольной – три, U-образной – 2,5. Две первые и две последние точки контакта на первом и на последнем витках не дают надежного соединения. Поэтому число эффективных зон контакта с выводом определяют как сумму всех точек соприкосновения навитого провода за вычетом четырех.

Соединение накруткой должно быть самозапирающимся, чтобы провод не мог сойти с вывода. Осесимметричные поперечные сечения – круглые или имеющие в поперечном сечении эллипс, – не подходят с этой точки зрения. Самозапирание обеспечивается за счет упругих деформаций разгрузки контактирующих элементов: провод, растягиваемый при накрутке, в процессе разгрузки уменьшается по длине и охватывает вывод, а сжимаемый в поперечном сечении при накрутке вывод в процессе разгрузки увеличивается по ширине и при этом увеличивает контактное напряжение с проводом. После прекращения накрутки у одного из углов провод должен касаться стороны вывода, а чтобы он не отходил от другого угла положение его должно быть зафиксировано в положении, близком к его параллельному расположению по отношению к оси провода и стороне вывода. Провод при этом самоблокируется. При монтаже накруткой применяют три вида соединений: обычное (немодифицированное), модифицированное и бандажное (рис. 1).

Наибольшее применение нашло модифицированное соединение, особенно в аппаратуре, подвергающейся механическим воздействиям. При малом шаге между выводами и больших сечениях монтажного провода применяют обычное соединение накруткой.

Бандажное соединение рекомендуется для образования контактных соединений с выводами навесных элементов, шинами питания и при использовании

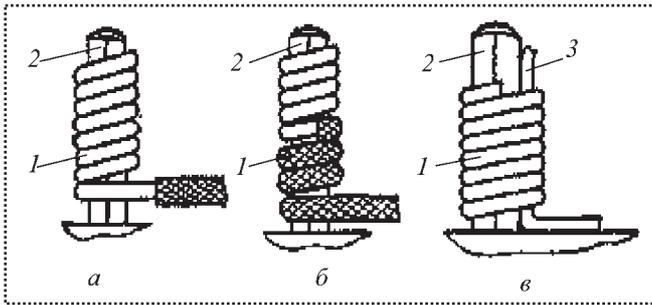


Рис. 1. Виды соединения проводов методом накрутки:
a – немодифицированное соединение; *б* – модифицированное соединение; *в* – бандажное соединение; 1 – провод; 2 – вывод; 3 – бандажируемый элемент

для монтажа многожильных проводов, не пригодных к накрутке.

Выводы следует встраивать и закреплять в панели впрессовыванием, завинчиванием или пайкой так, чтобы они прочно, без повреждений сопротивлялись возникающему во время накрутки крутящему моменту, а в дальнейшем – различным механическим нагрузкам.

Надежность соединений тем больше, чем больше прочность штырей на скручивание.

Во время накручивания провода давление, возникающее на контактирующих поверхностях, достигает значительной величины. Вследствие деформации разгрузки это давление непосредственно после накрутки провода снижается (ориентировочно до 200 МПа) и становится постоянным. Соединение может ослабиться и дальше за счет явлений релаксации (в данном случае – холодной текучести). Испытания на долговечность демонстрируют, что в соединениях накруткой давление не опускается ниже 50 % от исходного состояния спустя годы. И такое давление контактирующих поверхностей достаточно для обеспечения необходимой постоянной высокой проводимости.

Если на штыре производится не одна, а три накрутки, то каждая из последующих накруток ослабляет предыдущую на 10...20 %. Если соотношение размеров поперечного сечения вывода и диаметра и пластичности провода выбраны неправильно, первая (нижняя) накрутка может оказаться настолько ослабленной, что сойдет с вывода. Однако и при правильном выборе соотношения этих размеров первая накрутка ослабляется из-за деформации вывода второй накруткой на 20 %, третьей накруткой – на 30 %. Но оставшиеся напряжения, удерживающие на выводе первую накрутку, достаточны для обеспечения прочности и надежности соединения.

Процесс накрутки состоит из следующих операций:

- выбор наматывающего валика, соответствующего конфигурации вывода и размеру провода;
- нарезка проводов заданных длин;
- очистка провода от изоляции на заданной длине;
- укладка провода разной длины в соответствующие ячейки кассы;
- установка провода в отверстие наматывающего валика на глубину, определяемую длиной очищенного от изоляции провода;
- изгиб провода вокруг фасонного углубления валика так, чтобы он не закрывал отверстие, предназначенное для вывода, (для этого свободный конец провода придерживают);
- поиск по таблице соединений адреса вывода, с которого начинается цепь соединений;
- насаживание накручивающего валика с проводом на вывод, соответствующий началу цепи, и включение вращения наматывающего валика;
- поиск второго адреса электрической цепи и прокладка провода между выводами по направлению ко второму адресу;
- повторение операции накрутки.

Сегодня накрутку широко используют для реализации переменной части монтажа на унифицированных платах, когда нужно создавать модификации изделий за счет добавления связей к общей для всех модификаций массе соединений. Доля соединений, добавляемых накруткой, в этом случае не превышает 10 %. Соединения накруткой хорошо сочетаются с технологией впрессовывания штырей в отверстия. В этом случае электромонтаж выполняют без процессов пайки или сварки.

В процессах электромонтажа методом накрутки (рис. 2, *a*) возникают следующие силовые и деформационные процессы. Провод 1 без усилия свободно вытягивается из бокового отверстия наматывающего валика 2 и с определенным осевым усилием изгибается при входе на тороидальную кромку со средним радиусом r_{cp} наматывающего валика, затем с определенным осевым усилием выпрямляется (изгибается) при сходе с него. Далее провод изгибается под углом 90° на каждом ребре вывода 3 при вращении наматывающего валика 2 вокруг оси этого вывода, при этом в наматываемый провод врезаются острые кромки вывода 3 под действием растягивающего осевого усилия накрутки. Так как в проводе при изгибе возникают осевые растягивающие и, как их следствие, контактные напряжения между проводом и наматывающим валиком, то возникают силы трения на тороидальной поверхности наматывающего валика и провода.

Контакт острых кромок вывода с проводом начинается с того момента, когда ось бокового отверстия наматывающего валика при накрутке смещается с

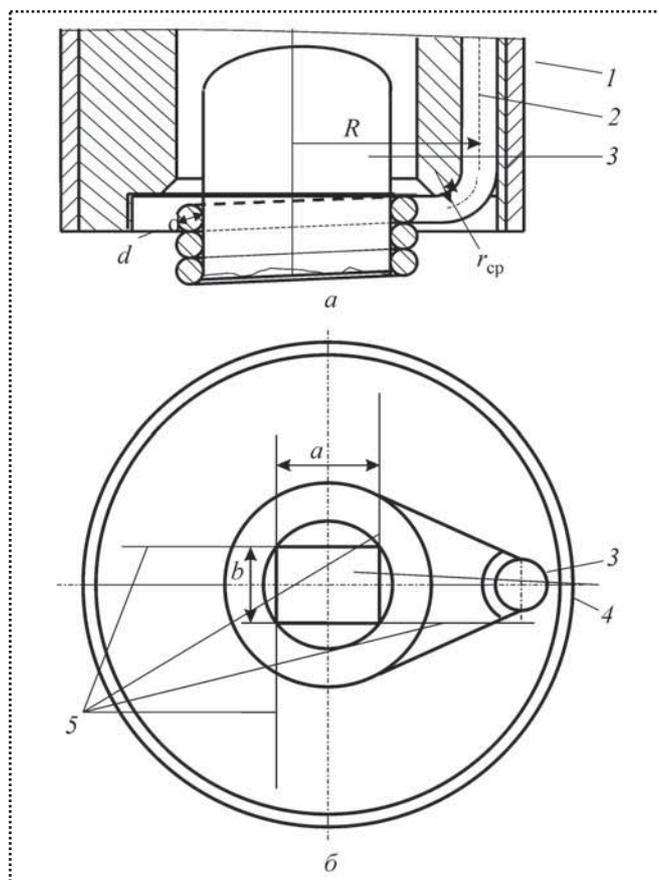


Рис. 2. Схема электромонтажа методом накрутки:
 а – продольно-осевой разрез; б – вид снизу (без провода);
 1 – провод; 2 – наматывающий валик; 3 – вывод; 4 – втулка;
 5 – линии продолжения сторон вывода

осевой линии провода параллельной одной из линий 5 (рис. 2, б), являющейся продолжением сторон вывода. Составляющая усилия натяжения провода, параллельная стороне вывода, увеличивается от некоторого значения до максимальной величины при подходе оси бокового отверстия наматывающего валика к линии продолжения стороны вывода. Вторая составляющая, перпендикулярная ей, увеличивается от некоторого значения до максимальной величины при совпадении оси бокового отверстия наматывающего валика с осью симметрии вывода в поперечном сечении, а затем уменьшается до некоторой величины при совпадении оси бокового отверстия наматывающего ролика с линией продолжения стороны вывода. Если первая составляющая обеспечивает врезание вывода в провод, то вторая составляющая прижимает провод к выводу, а ее увеличение способствует пластическому деформированию провода в месте контакта его с выводом и увеличению поверхности контакта.

Рассмотрим силовые параметры процесса накрутки. При выходе прямого провода из бокового отвер-

стия наматывающего валика провод изгибается на границе тороидальной поверхности с радиусом r_{cp} . Дальнейшее перемещение провода по тороидальной поверхности происходит с преодолением только сил трения без изменения кривизны срединного сечения провода в меридиональном сечении. При выходе и спрямлении провода с тороидальной поверхности на границе криволинейного и прямолинейного торцового участков наматывающего валика возникает дополнительное растягивающее меридиональное напряжение. Величину его определим на основе равенства работ. Согласно этому положению работа растягивающего напряжения, возникающего при изгибе провода на угле его поворота, должна быть равно произведению осевого напряжения в нем с учетом трения на площадь сечения заготовки и пути перемещения элемента заготовки.

В технологической системе электромонтажа накруткой главным элементом процесса, определяющим силовые параметры процесса является упругопластический контакт провода с выводом. Эти силовые параметры являются основой при расчете геометрических и силовых параметров накручивающего устройства.

Для определения силовых параметров контакта провода с выводом на рис. 3 приведена схема, по которой справа и слева от ребра вывода представлено взаимодействие провода с ним и показаны приближенные эпюры распределения контактных напряжений. Можно предположить, что для обеспечения надежного контакта с минимальным переходным электрическим сопротивлением напряжения равномерно распределены по поверхности контакта и величина их должна несколько превышать предел текучести материала провода с учетом некоторого его упрочнения. При этом возникают нормальные – σ_k и касательные – $\mu\sigma_k$ напряжения (μ – коэффициент трения медного провода по валику). Минимальные и максимальные напряжения натяжения определим на основе следующих соображений. Минимальная средняя

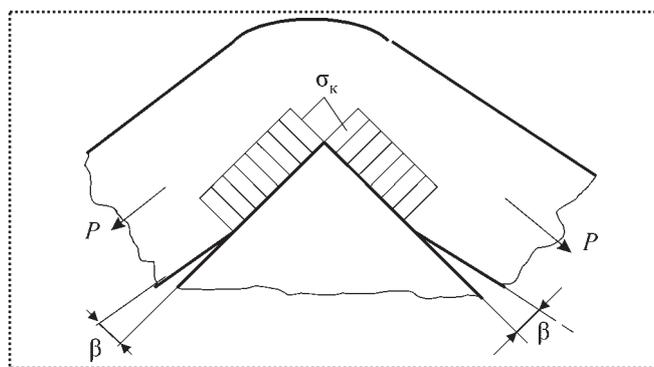


Рис. 3. Эпюры контактных напряжений к определению напряжения в проводе при накрутке

величина контактного напряжения может быть равна пределу упругости – начальной величине предела текучести $\sigma_y \approx \sigma_T$ (или его части, например, $0,5\sigma_T$). При этом некоторая часть микронеровностей вывода и провода испытывает упругие напряжения в пределах $0 \dots \sigma_T$, другая часть микронеровностей при этом пластически деформируется. Максимальная величина контактных напряжений должна быть не более величины предела прочности – σ_B материала провода.

Определим соответствующие этим величинам контактных напряжений минимальную и максимальную величины напряжения натяжения и другие параметры.

Соответственно действию минимальных и максимальных напряжений получаем минимальную и максимальную деформации (внедрения) h_y и h_T вывода в провод:

$$h_y = \frac{\sigma_T}{E} d; \quad h_T = \frac{\sigma_B}{E} d, \quad (1)$$

где σ_T и σ_B – пределы текучести и прочности материала провода;

E – модуль упругости первого рода материала провода;

d – диаметр провода.

Из прямоугольного треугольника (рис. 4) также определим значение этого внедрения:

$$h = d(1 - \cos \alpha / 2) / 2. \quad (2)$$

Поочередно приравняв каждое из составных частей выражения (1) выражению (2), получим уравнение, из которого можно определить угол контакта провода с выводом:

$$\begin{aligned} 2 \frac{\sigma_T}{E} d &= d \left(1 - \cos \frac{\alpha_T}{2} \right); \\ 2 \frac{\sigma_B}{E} d &= d \left(1 - \cos \frac{\alpha_B}{2} \right). \end{aligned} \quad (3)$$

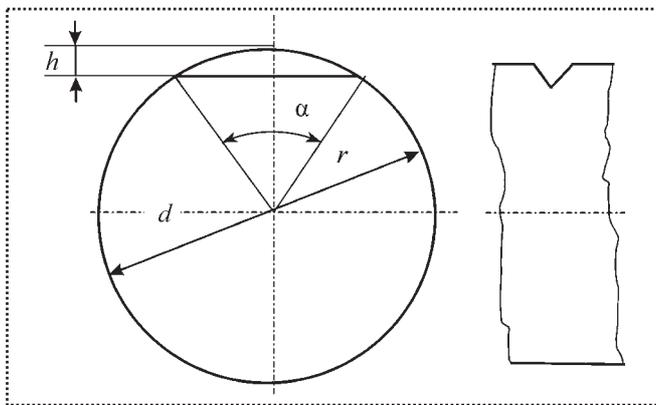


Рис. 4. Схема к определению площади контакта провода с выводом

Из выражений (3) определяем значение косинуса и необходимую для дальнейших расчетов величину угла α :

$$\begin{aligned} \cos \frac{\alpha_T}{2} &= 1 - \frac{2h_T}{d}; & \cos \frac{\alpha_B}{2} &= 1 - \frac{2h_B}{d}; \\ \alpha_T &= 2 \arccos \left(1 - \frac{2h_T}{d} \right); & \alpha_B &= 2 \arccos \left(1 - \frac{2h_B}{d} \right), \end{aligned} \quad (4)$$

где α_T и α_B – соответственно угол контакта провода с выводом при напряжении, меньшем пределов текучести и прочности материала провода, т.е. предельные значения угла.

Для определения значения силовых параметров накрутки провода на вывод рассмотрим взаимодействие провода с выводом при начальном и минимальном их пластическом взаимодействии. Наибольшее контактное усилие провода с выводом будет в тот момент, когда ось провода при накрутке и сторона вывода будут на одной линии. Распределение нормальных σ_k и касательных (трения) – $\mu \sigma_k$ напряжений (см. рис. 3) на контактных поверхностях провода и вывода приблизительно примем равномерным. На основе этих соображений принимаем по всей контактной поверхности напряжение равным напряжению текучести материала провода: $\sigma_y \approx \sigma_T$.

Усилие натяжения проводника при накрутке вблизи острой кромки вывода при проектировании сил на направление натяжения

$$P = \sigma_\Sigma f_k (1 + \mu), \quad (5)$$

где σ_Σ – контактное напряжение, которое принимаем равным σ_T ;

f_k – площадь поверхности контакта провода с выводом, которая представляет собой проекцию поверхности кругового сегмента f_{cr} на поверхности, расположенные под углом 45° к оси провода (поперечное сечение вывода – прямоугольник);

μ – коэффициент трения медного провода по валику.

Площадь поверхности сегмента f_{cr} определим по приближенной формуле (угол α меньше 50°):

$$f_{cr} = \frac{2}{3} a h = \frac{4}{3} r^2 \sin(\alpha / 2) [1 - \cos(\alpha / 2)].$$

Площадь поверхности двух наклоненных под углом 45° сегментов

$$f_k = \frac{16}{3\pi\sqrt{2}} r^2 \sin(\alpha / 2) [1 - \cos(\alpha / 2)]. \quad (6)$$



При этом минимальное и максимальное усилие натяжения равны:

$$P_{\text{мин}} = \sigma_{\text{т}} (1 + \mu) \frac{16}{3\pi\sqrt{2}} r^2 \sin(\alpha/2) [1 - \cos(\alpha/2)],$$

$$P_{\text{макс}} = \sigma_{\text{в}} (1 + \mu) \frac{16}{3\pi\sqrt{2}} r^2 \sin(\alpha/2) [1 - \cos(\alpha/2)]. \quad (7)$$

Максимальное среднее контактное напряжение должно быть не больше предела текучести $\sigma_{\text{т}}$ (при этом некоторая часть микронеровностей вывода и провода испытывает упругие напряжения в пределах $0 \leq \sigma_{\text{т}}$).

Минимальное и максимальное натяжение в проводе с учетом увеличения напряжения при входе и сходе с тороидальной кромки за счет изгиба и спрямления его у выхода с тороидальной поверхности наматывающего ролика (напряжения между наматывающим роликом и штырем-выводом, на который наматывается проводник) равны:

$$\sigma_{\text{мин}} = \frac{4P_{\text{мин}}}{\pi d^2} = \sigma_{\text{т}} (1 + \mu) \frac{16}{3\pi\sqrt{2}} r^2 \sin(\alpha/2) \times [1 - \cos(\alpha/2)];$$

$$\sigma_{\text{макс}} = \frac{4P_{\text{макс}}}{\pi d^2} = \sigma_{\text{в}} (1 + \mu) \frac{16}{3\pi\sqrt{2}} r^2 \sin(\alpha/2) \times [1 - \cos(\alpha/2)], \quad (8)$$

т.е. наименьшее напряжение обеспечивает такое натяжение провода, которое обеспечивает формование его по контуру вывода и герметичный контакт провода с выводом; наибольшее напряжение — это натяжение в проводе, при котором возможен его разрыв.

Напряжение натяжения $\sigma_{\text{н}}$, обеспечивающее формование витка и нужный контакт вывода с проводом, создается на тороидальной поверхности накручивающего валика на радиусе $r_{\text{сп}}$ при изгибе и спрямлении провода с учетом трения:

$$\sigma_{\text{н}} = \frac{\sigma_{\text{т}} d}{6r_{\text{сп}}} e^{\pi/2} + \frac{\sigma_{\text{т}} d}{6r_{\text{сп}}} = \frac{\sigma_{\text{т}} d}{6r_{\text{сп}}} (1 + e^{\mu \frac{\pi}{2}}), \quad (9)$$

где $\sigma_{\text{т}}$ — напряжение натяжения провода, вызываемое изгибом при входе на тороидальную поверхность натяжного валика.

На основе равенств напряжений по выражениям (8) и (9):

$$\frac{\sigma_{\text{т}}}{4} \frac{d}{r_{\text{сп}}} \left(1 + e^{\mu \frac{\pi}{4}} \right) =$$

$$= \sigma_{\text{тк}} \frac{16}{3\pi\sqrt{2}} (1 + \mu) \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \left(1 - \cos\frac{\alpha}{2} \right),$$

$$\frac{\sigma_{\text{т}}}{4} \frac{d}{r_{\text{сп}}} \left(1 + e^{\mu \frac{\pi}{4}} \right) =$$

$$= \sigma_{\text{вк}} \frac{16}{3\pi\sqrt{2}} (1 + \mu) \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \left(1 - \cos\frac{\alpha}{2} \right)$$

определим отношения минимального и максимального радиусов тороидальной поверхности накручивающего ролика к диаметру провода:

$$\frac{r_{\text{сп}}^{\text{мин}}}{d} = \frac{\sigma_{\text{т}}}{\sigma_{\text{тк}}} \frac{3\pi\sqrt{2} \left(1 + e^{\mu \frac{\pi}{4}} \right)}{64 (1 + \mu) \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \left[1 - \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right]};$$

$$\frac{r_{\text{сп}}^{\text{макс}}}{d} = \frac{\sigma_{\text{т}}}{\sigma_{\text{вк}}} \frac{3\pi\sqrt{2} \left(1 + e^{\mu \frac{\pi}{4}} \right)}{64 (1 + \mu) \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \left[1 - \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right]}. \quad (10)$$

Из этих выражений следует, что относительная величина радиуса тороидальной поверхности накручивающего валика увеличивается с увеличением трения между валиком и проводом и увеличением предела текучести материала провода, т.е. с увеличением его прочности и наоборот.

Определим другие параметры, необходимые для проектирования процесса накрутки и технологического оснащения.

Число витков можно определить на основе равенства площадей поверхности поперечного сечения провода и суммы площадей n поверхностей контакта проводника $f_{\text{к}}$ из формулы (6) с выводом:

$$\frac{\pi d^2}{4} = n f_{\text{к}} = n \frac{16}{3\pi\sqrt{2}} r^2 \sin(\alpha/2) [1 - \cos(\alpha/2)],$$

где n — необходимое число поверхностей контакта $f_{\text{к}}$ провода с выводом.

Число витков $N_{\text{в}}$ равно отношению числа точек контакта к числу контактных ребер $n_{\text{в}}$ на выводе: $N_{\text{в}} = \frac{n}{n_{\text{в}}}$. Число контактных ребер вывода $n_{\text{в}}$ равно для

квадратных и прямоугольных выводов — 4, V-образных и треугольных — 3, U-образных — 2,5.

Общее число витков при накрутке:

$$n = N_{\text{в}} + n_{\text{из}} + n_{\text{к}}. \quad (11)$$



где n_k – число крайних витков с неудовлетворительной проводимостью из-за ненадежного контакта, принимаемое равным 1; $n_{из}$ – число изолированных витков, принимаемое равным 2.

Наружный диаметр втулки наматывающего валика

$$D \leq 2t \geq \sqrt{a^2 + b^2} + 2 \left(\frac{d}{2} + r + c + 0,2 \right), \quad (12)$$

где a и b – длина и ширина поперечного сечения вывода; c – толщина стенки втулки; 0,2 – размер перемишки между каналом провода и наружным диаметром наматывающего валика.

Мощность электродвигателя, кВт, при накрутке

$$N = \frac{Pv}{6120}, \quad (13)$$

где P – усилие натяжения провода; v – скорость накрутки провода, $v = 2\pi R n_H / 1000$; R – радиус накрутки, $R = 0,5 \sqrt{a^2 + b^2} + 1,5 d + r < t$; t – шаг расположения выводов; n_H – частота вращения наматывающего валика, обычно $n_H = 14 \dots 300 \text{ мин}^{-1}$. Знаменатель формулы представляет собой коэффициент перевода в киловатты.

Проверка решения может быть выполнена по известным данным из технической литературы. Известно, что для обеспечения оптимальной проводимости при накрутке должны уложить ориентировочно 3–8 витков модифицированного соединения, из которых 1–2 витка изолированных и еще один виток с учетом ненадежности контакта двух первых и двух последних точек, т.е. расчетное число витков должно быть увеличено на 3.

Возможный интервал изменения силовых параметров процесса накрутки (наибольшего и наименьшего напряжений натяжения) определяется требованиями к качеству соединения накруткой. Наименьшее напряжение натяжения определяется наименьшим пластическим деформированием и его наименьшим электрическим сопротивлением при врезании провода в вывод и укладкой провода по контуру поперечного сечения вывода. При этом наименьшая степень деформации обеспечивает прочно плотный, герметичный контакт провода с выводом, усилие натяжения при котором определяется по формуле (7).

Наибольшее напряжение может быть определено на основе минимального напряжения в "прямолинейной" части провода между местом врезания его в вывод и зоной сопряжения этой части с выходом провода с тороидальной кромки накручивающего валика. Усилие натяжения провода в этом месте должно быть таким, чтобы не возникало значительное упрочнение, т.е. напряжение натяжения было бы не более σ_T . Для связи этого напряжения с геометрическими параметрами процесса накрутки приравняем его напряжению, возникающему на выходе проводника с торои-

дальной кромки наматывающего валика. Для этого записываем неравенство с учетом формулы (7):

$$\sigma_B (1 + \mu) \frac{16}{3\pi\sqrt{2}} r^2 \sin(\alpha/2) \times [1 - \cos(\alpha/2)] < \sigma_T = \sigma_{\max}. \quad (14)$$

Учитывая фактические значения механических свойств проводников (допуск на их значения 3...15 %), в практике проектных работ фактическое напряжение натяжения провода следует выбирать в пределах между минимальным и максимальным натяжениями

$$\sigma_{\min} < \sigma_{\text{факт}} < \sigma_{\max}. \quad (15)$$

Соответственно этому будем определять и числовые значения геометрических параметров процесса, т.е. радиус рабочей тороидальной кромки наматывающего валика, число витков и др.

Пример расчета некоторых параметров. Пусть медный провод имеет силовые характеристики: $\sigma_T = 550 \text{ МПа}$; $\sigma_B = 2200 \text{ МПа}$; $E = 1,1 \cdot 10^6 \text{ МПа}$; $\mu = 0,15$; угол рабочей части тороидальной поверхности накручивающего валика $\beta = 90^\circ$.

По формулам (4) определяем: $\cos(\alpha^{\max}/2) = 0,999$; $\cos(\alpha^{\min}/2) = 0,996$ и соответственно $\alpha^{\max}/2 = 2^\circ 30'$, $\alpha^{\min}/2 = 5^\circ 10'$; $\sin(\alpha^{\max}/2) = 0,0436$, $\sin(\alpha^{\min}/2) = 0,0901$.

По формулам (10) определяем: $r_{\text{ср}}^{\max} / d = 4,98$; $r_{\text{ср}}^{\min} / d = 9,36$.

По формулам (7) определяем: усилие $P_{\max} = 0,390 \sigma_T r^2$, $P_{\min} = 0,189 \sigma_T r^2$.

По формулам (8) определяем напряжения: $\sigma_H^{\max} = 0,124 \sigma_T$, $\sigma_H^{\min} = 0,060 \sigma_T$.

В соответствии с выражением (15), принимаем решение о промежуточном рабочем радиусе тороидальной кромки наматывающего валика, равном 6.

В завершение отметим, что это исследование наиболее полно и обоснованно обеспечивает возможность определения всех необходимых для расчета и проектирования процесса электромонтажа способом накрутки параметров.

Библиографический список

1. Ковалев В.Г., Ковалев С.В., Коновалов В.А. Электрический монтаж накруткой // Сборка в машиностроении и приборостроении. 2008. № 9.
2. Медведев А.М. Непаяные методы неразъемных соединений: накрутка // Технологии в электронной промышленности. 2006. № 3.
3. Технология ЭВА, оборудование и автоматизация / В.Г. Алексеев, В.Н. Гриднев, Ю.И. Нестеров и др. М.: Высшая школа, 1984. 392 с.

УДК 621.9.06:7.077

С.Я. Березин, д-р техн. наук, профессор, **Л.С. Романова**, канд. техн. наук
(Забайкальский государственный университет, г. Чита)
E-mail: Kurlser@yandex.ru

Исторические и технические пути развития вспомогательной оснастки для резьбообразования и сборки

Рассмотрена история изобретения патронной оснастки для операций сборки резьбовых деталей, начиная с изготовления крепежных резьбовых деталей в средневековье. Проанализировано развитие машиностроения в данном направлении в Европе и России. Представлены современные тенденции разработки вспомогательного инструмента.

The history of the invention of cartridge equipment for operations of assemblage of screwing details, since manufacturing of fixing screwing details in the Middle Ages is considered. Mechanical engineering development in the given direction in Europe and Russia is analysed. Modern lines of working out of the auxiliary tool are presented.

Ключевые слова: история, разработка, механизм, патрон, крепежная резьба, инструмент, изобретение.

Keywords: history, working out, mechanism, cartridge, fixing screwing, tool, invention.

В древние времена винты для механизмов, таких как прессы для давления винограда, подъемные и книгопечатные механизмы и др., вначале изготавливались в основном из дерева по предварительной разметке. Крепежные резьбовые детали начали изготавливать только в XV в., в частности, при изготовлении часов [1]. Тогда и начали изобретать первые инструменты для получения винтовых нарезок. До этого применялись клиновые и штифтовые соединения. Леонардо да Винчи разработал много механизмов и устройств, имеющих винтовые нарезки. Он же предложил одну из первых конструкций метчиков для нарезания внутренних резьб (рис. 1). Как видим, в ней он предусмотрел и элемент удерживания метчика с передачей на него крутящего момента.

С появлением крепежных деталей также возникла необходимость

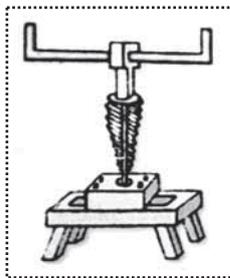


Рис. 1. Метчик с державкой по рисунку Леонардо да Винчи

их удерживания при завинчивании. Так стали появляться первые головки, держатели, ключи, солдатики, воротки и прочие изделия. Машиностроение царской России конца XIX – начала XX в. в значительной степени базировалось на немецких технологиях. В Европе закупали оборудование, оснастку, материалы и специалистов. С тех пор в техническую терминологию России прочно вошли немецкие термины: штихмас, штангенциркуль, крейцмейсель, кронштейн, шабер, клупп, нониус и др. Приобреталось также английское и американское оборудование. В развитии машиностроения XVIII–XIX вв. первенствовала Англия. Винторезные станки фирм Г. Модсли, Дж. Клементы, И. Витворта производились серийно и успешно конкурировали на рынке. В Германии достойными соперниками были предприятия Hartmann (1809–1878), Zimmermann в Хемнице, Gazenklewer в Дюссельдорфе. Известными деятелями немецкой металлопромышленности были Ф. Редтенбахер, К. Кармарш, Г. Цейнер, А.Г. Шютте, В. Функе и др. В конце XIX в. начали лидировать американцы. Появляются мощные компании American Screw Co, William Marples & Sons, Nettlefold & Chamberlain, Japy во французском Бокуре и др. Изобретатели резьбовой оснастки В. Аншель, Т. Слоан, Г. Випль, Д.Г. Рэтбун, Ф.Е. Уэллс и другие успешно патентуют свои изобретения в России, Европе и Соединенных Штатах [2].

Исторический путь конструкций патронной оснастки берет начало от слесарного инструмента, который применялся в ручных операциях резьбонарезания и монтажа резьбовых соединений. Ключи, воротки, солдатики и другие приспособления были весьма примитивны, но достаточно надежны в использовании, что не мешало им "дожить" до настоящего времени и с успехом работать в ремонтном производстве (рис. 2) [5]. Многие особенности приводных и удерживающих механизмов этих инструментов можно найти в будущих патронах.

Разработка станочной патронной оснастки началась предположительно в середине XIX в., когда ручная слесарная обработка резьбы стала заменяться машинной и возникла потребность в закреплении метчиков и плашек на токарных и сверлильных станках. Одной из первых конструкций патронов для резьбонарезания был патрон George T. Chattaway от 1879 г. (патент США № 217062), изображенный на рис. 3. Это реверсивный патрон с удерживающим поводком для метчиков и плашек. В дальнейшем стали

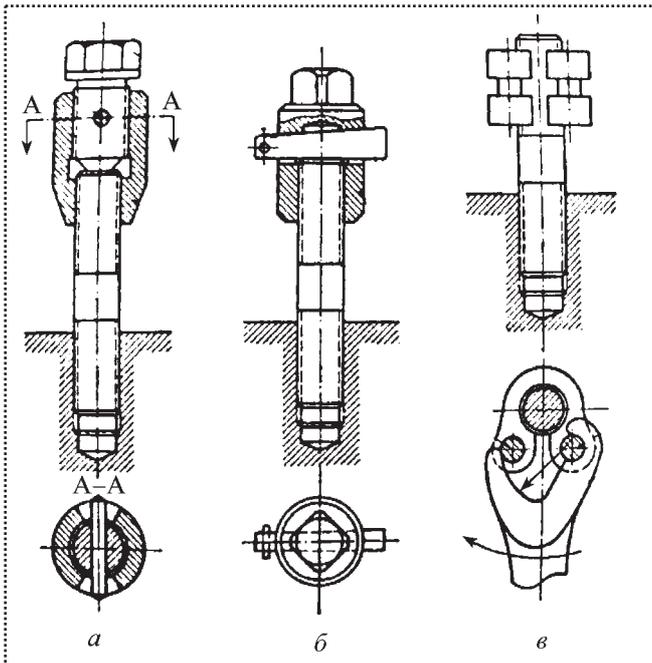


Рис. 2. Солдатики (а и б) и ключи (в) для завинчивания шпилек

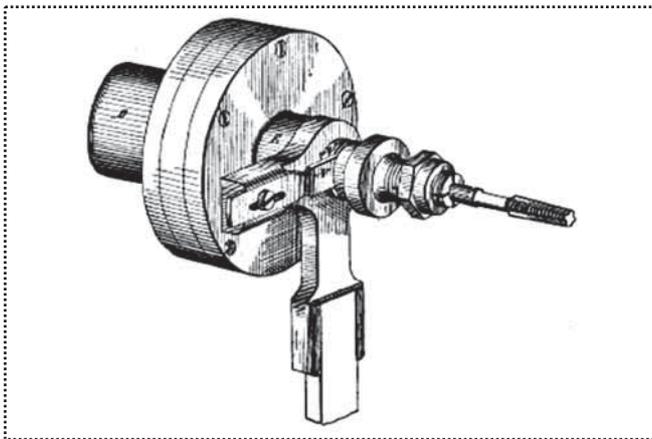


Рис. 3. Один из первых патентованных в США резьбонарезных патронов

известны патроны Milton McAnly (1880 г.), John H. Rathbun (1885 г.), William A. Pearn (1887 г., рис. 4), Henry W. Honeyman (1890 г.), Daniel J. Harley (1892 г.), Frederic E. Wells (1913 г.) и др.

В России того времени успешно действуют иностранные представительства различных фирм, торгующих металлорежущим инструментом, оборудованием. Известная фирма Альфреда Г. Шютте предлагала широкий спектр резьбонарезной, вспомогательной, контрольно-измерительной оснастки [3].

На рис. 5, а представлена конструкция жесткого держателя для метчика (справа) и предохранительный патрон для резьбонарезания с фрикционной дисковой муфтой пре-



Рис. 4. Предохранительный регулируемый патрон по патенту William A. Pearn, 1887 г.

дельного момента (слева). На рис. 5, б) показан реверсивный редукторный патрон для метчиков, автоматически переключаемый на обратное вращение при достижении необходимой глубины резания.

На рис. 5, в) виден выключающийся патрон для плашек, а на рис. 5, г) – предохранительный патрон с кулачковой муфтой. Как видим – есть определенные конструктивные сходства данной конструкции с патроном Виллиама А. Пирна, изображенного на рис. 4. Последняя конструкция оказалась весьма удачной и успешно применялась в промышленности почти до 1970-х гг. и, очевидно, с учетом ее конструктивных особенностей, в 1950-х гг. был создан стандарт ГОСТ 2751–51 "Патроны предохранительные" [4].

С течением времени усложнялась и слесарно-сборочная оснастка.

В ней появлялись дополнительные механизмы, например зажимные губки, осуществляющие автоматический захват резьбы гаечного конца шпилек и освобождение его после заворачивания и затяжки (рис. 6) [5]. На основе такой оснастки в дальнейшем, путем совмещения в едином корпусе разных механизмов, создавались патроны достаточно сложных конструкций. Например, на базе шпилечного ключа, показанного на рис. 6, в 1950-х гг. выпускался предохранительный патрон для механизированной сборки шпилечных соединений [6].

После революции в России и в течение 1920-х гг. особых изменений в конструировании патронной оснастки не наблюдалось. Интенсивное строительство промышленных предприятий происходило с привлечением немецких и американских технологий. Переходный период с 1920 по 1928 г., на который падали последствия первой мировой и Гражданской войн, а также период НЭПа, сказался ослаблением производственного потенциала Советской республики. Нарушенный баланс между производством металла (продукция металлургии) и возможностями металлообработки был восстановлен только к 1922–1923 гг. Это сказалось и на производстве метизной продукции. Соответственно менялась и потребность во вспомогательной оснастке. Производство инструментов в то время входило в состав промышленной группы "Метиз", которая по сравнению с другими производственными группами тяжелой, металлургической и обрабатывающей промышленности находилась в неплохом экономическом положении, в силу огромной потребности в крепеже, проволоке, гвоздях, мелком инструменте. Это, соответственно требовало и завинчивающей оснастки, основной объем которой поставлялся зарубежными фирмами: Нибердинк, Масс-Индастри,

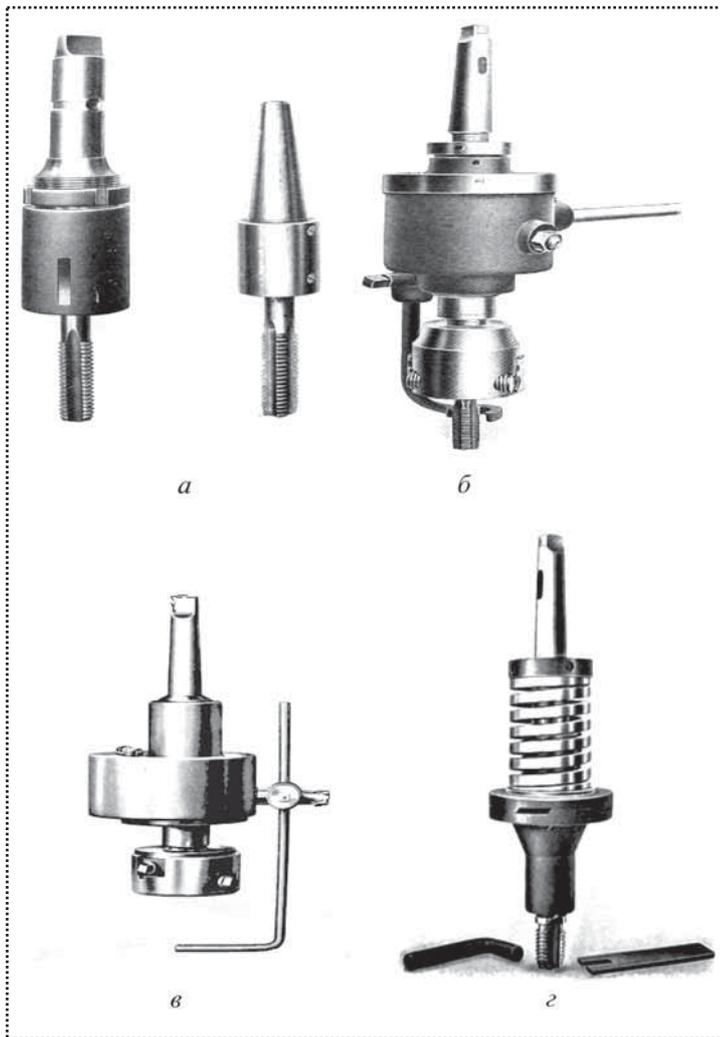


Рис. 5. Патронная оснастка фирмы Альфреда Г. Шютте в России (1911 г.)

Александр Маттисон, Маффа-Верке, А. Шютте, Шмалкальден, Карл Маар и др.

Первые патентованные конструкции вспомогательной оснастки после революции начали появляться только в начале 1930-х гг. Одним из первых патентов того времени был патент Э.С. Павловского № 13671 от 31.03.1930 "Патрон для нарезки резьбы на сверлильном станке". Далее шли патенты П.Н. Рыженко (№ 29325 от 28.02.1933), С.И. Смирнова (№ 54336 от 31.01.1938), Г.А. Гейца (№ 61945 от 9.12.1940), Н.С. Боброва (№ 63941 от 31.08.1944) и др. После Великой Отечественной войны страна начала интенсивно восстанавливать народное хозяйство. Это время носило название периода Сталинских пятилеток. Новаторское движение в производстве выдвинуло огромное количество интересных разработок, в том числе и эффективной вспомогательной оснастки для нарезания резьб и сборки соединений. В это время у патронов появляются механизмы с функциями компенсации погрешностей технологической системы станков, управления высокоскоростной резбобработ-

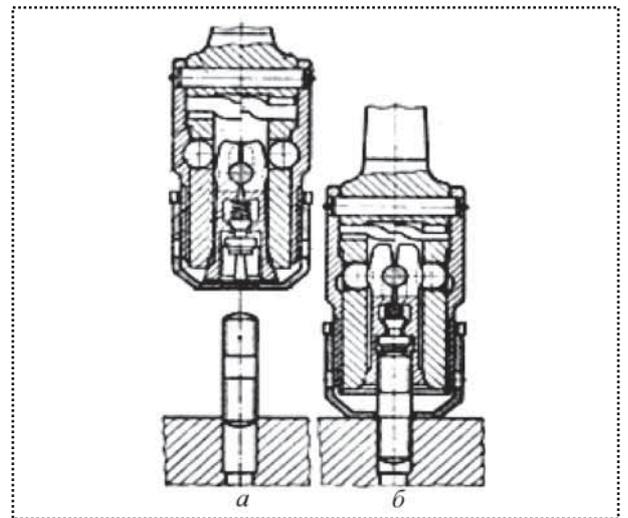


Рис. 6. Шпилечный ключ с раскрывающимися губками

кой, точного выключения и др. Новаторство охватило огромное число машиностроительных предприятий, включая "Ростсельмаш", завод "Фрезер", Ейский станкостроительный и Московский инструментальный заводы, Дмитровский завод фрезерных станков, Ленинградскую "Электросилу" и т.д.

В 1960-х гг. в производство начинают интенсивно внедрять автоматы и автоматические линии. Этот процесс потребовал определенных разработок и в области вспомогательной резбобразующей и сборочной оснастки. Активное использование агрегатных станков требовало определенных подходов к типизации конструкций оснастки по прикрепляемой части (хвостовики), а также по геометрическим параметрам (вылет, межцентровые расстояния, диаметры) и энергетическим возможностям силовых головок. Производству требовались также патроны с автоматической компенсацией погрешностей, патроны для сборки групповых соединений, с автоматическим реверсом, выключающиеся, с устранением подрезания начальных витков резьбы метчиком и другие конструкции.

При нарезании конических резьб возникали ситуации, когда предохранительные патроны, отрегулированные на конкретную величину крутящего момента, не обеспечивали полной длины конической нарезки. Для устранения подобных случаев разрабатывали самовыключающиеся патроны с регулируемыми упорами, касающимися торца детали с нарезаемой резьбой. Внутри патрона при этом срабатывали либо кулачковые муфты, либо муфты обгона [4].

В 1950–1960 гг. и в дальнейшем, в Советском Союзе реализуются мероприятия по специализации инструментальных заводов [7]. Произошли определенные перераспределения и в производстве патронной оснастки. Ее стали производить на Рижском, Московском, Оршанском инструмен-

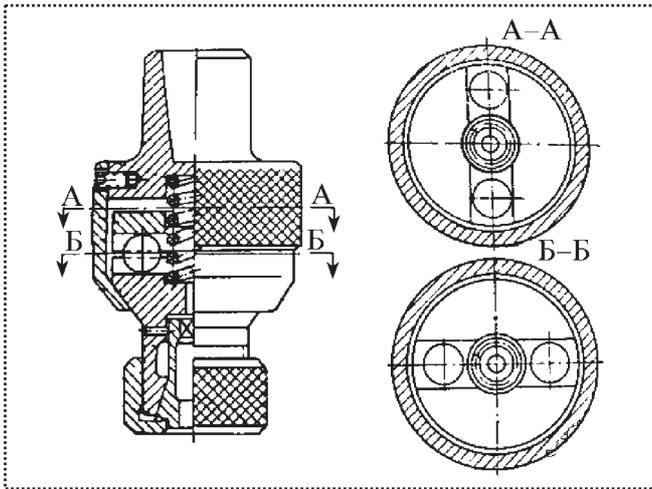


Рис. 7. Самоцентрирующийся патрон с цанговым зажимом

тальных заводах, заводе "Фрезер" (Москва) и других предприятиях.

В эти годы активно разрабатывают новые конструкции патронов с различными компенсаторами погрешностей технологической системы станков. Выделяются конструкции осевых компенсаторов, устраняющих различия между подачей станка и шагом резьбы. Они необходимы для устранения погрешностей осевого хода, когда подача резьбообразующего инструмента не совпадает с величиной шага резьбы. В конце 1960-х гг. разрабатываются первые нормы и стандарты на предохранительные и компенсирующие патроны различных конструкций: МН 5742–65 – МН 5753–65, МН 1170–65 – МН 1180–65, МН 1182–65 – МН 1185–65, ОСТ 23.5.908 – ОСТ 23.5.909–70, ГОСТ 2751–51 и др. В 1968 г. издательство стандартов выпускает сборник нормалей "Инструмент вспомогательный к сверлильным станкам", а в 1970 г. Ю.Л. Фрумин в своей книге "Вспомогательный инструмент к агрегатным станкам и автоматическим линиям" обобщает опыт применения резьбонарезной оснастки на Московском автозаводе им. И.А. Лихачева.

Появляются разработки патронов с радиальной компенсацией (плавающие) и механизмами угловой компенсации, в том числе и самоцентрирующиеся патроны. Последние привели к тому, что были изобретены устройства, у которых эффект центрирования обеспечивался размыкающимся коническим замком при осевой подвижности инструментодержателя [8]. Конструкция подобного патрона приведена на рис. 7.

Цанга 9 служит для закрепления метчика. Плавающий сердечник 6 снабжен наружной резьбой, на которую навинчена зажимная гайка 8. Относительное угловое положение сердечника 6 и цанги 9 зафиксировано штифтом 7. При упоре метчика в край отверстия сердечник 6 приподнимается за счет сжатия пружины 2 и самоустанавливается по оси отверстия путем смещения сердечника относительно корпуса 3 по взаимно перпендикулярным шариковым пазам 4 и 5. Таким образом, до работы метчика патрон замк-

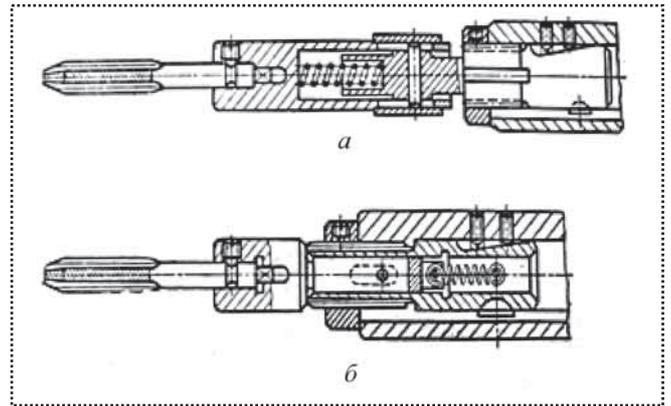


Рис. 8. Схемы осевых компенсаторов:

а – $S_0 > P$ (с превышением подачи); *б* – $P > S_0$ (с преобладанием шага)

нут и представляет жесткую конструкцию, устанавливаемую на шпиндель станка через хвостовик 1.

После создания осевой силы сердечник с метчиком получает радиальную и угловую подвижность.

В 1970–1980-х гг. начинают формироваться научные школы, занимающиеся разработкой эффективной сборочной и резьбонарезной вспомогательной оснастки. Наиболее известные разработки велись в Челябинском политехническом институте (ныне Южно-Уральский государственный университет) под руководством профессоров В.В. Матвеева и И.Я. Мирнова. Тогда же в изобретении по авт. свид. № 834581 В.В. Матвеева, Д.Л. Блюменкранца, Л.И. Зайончика, Г.К. Сафонова впервые была сформулирована идея создания патронов с изменяемой кинематикой компенсирующих механизмов.

В.В. Матвеев разработал станочные наладки для нарезания точных резьб на основе плавающих патронов и патронов с осевыми компенсаторами. При этом рассматривали в основном два случая, когда $S_0 > P$ и $S_0 < P$ (S_0 – величина подачи на один оборот шпинделя). В этих случаях применяют две конструкции осевых компенсаторов (рис. 8, *а* и *б*) [9].

Осевые компенсаторы применяли также в оснастке, работающей по принципу самозатягивания, т.е. со свободным ходом инструментодержателя.

В этом случае инструменту или крепежной детали первоначально передавалось осевое усилие наживления, а затем они свободным ходом заворачивались в деталь, вытягивая при этом подвеску из корпуса патрона.

И.Я. Мирнов, О.А. Анпилогов, В.В. Дунаев, А.Е. Дыхнов разработали серии патронов с изменяемой компенсирующей механикой (а. с. № 914191), с угловой и осевой подвижностями инструментодержателей (рис. 9).

В.Н. Выбойщик изготавливал и испытывал патроны с автоматической компенсацией осевых усилий, вызывающих подрезку резьбового профиля по среднему диаметру [10].

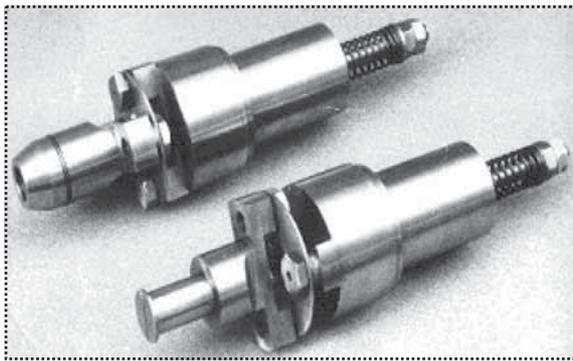
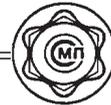


Рис. 9. Патроны с угловой и осевой компенсирующими подвижностями инструментальных наконечников

Разработки вспомогательной оснастки велись также на Московском автозаводе "ЗИЛ" (В.Г. Якухин, Н.А. Моисеев, А.Д. Максимов и др.), Московском НИИТАвтопрома (Б.В. Гусаков, Е.И. Прохвятилов), Всесоюзном заочном институте текстильной и легкой промышленности (А.М. Гирель, Н.М. Карелин, Е.А. Кобзарь, Д.Г. Христофоров), Тольяттинском политехническом институте (Н.М. Пашко, Б.И. Пикалов), Львовском сельскохозяйственном и политехническом институтах (В.А. Яхимович, И.Я. Кулинич, В.Е. Головащенко), Ленинградском заводе "Электроприбор" (К.П. Сабинин, К.И. Агеев), Ташкентском предприятии п/я А-1380 (М.М. Акбаров, Ш.Ф. Ганиханов, С.М. Иоффе), Пермском машзаводе им. Ф.Э. Дзержинского (С.А. Костарев, Ю.А. Рябов), ПО "АвтоВАЗ" (В.В. Загородный), ПО "ГАЗ" (А.Ф. Шкатула, П.С. Петреев), Киевском заводе автоматов М. Горького, Московском СКБ АЛ и АС и в других организациях.

В эти годы наиболее активно проявилась изобретательская работа в области патронной оснастки. Значительное число изобретений было внедрено в промышленность ввиду их эффективности. Можно отметить небольшой ряд авторов изобретений тех лет: А.А. Шаклеин, Д.А. Масиновский, Ю.В. Гушин, Е.Н. Застольский, В.Ф. Канаев, А.Н. Иванов, К.П. Сабинин, К.И. Агеев, В.С. Русаков, Б.Ф. Останин, Н.П. Леошко и др.

В то же время продолжалась работа по стандартизации патронной оснастки. Устанавливался типаж патронов для станков фрезерно-расточной группы в системе вспомогательного инструмента РТМ 2П10-2-84, для станков токарной группы с цилиндрическими хвостовиками по ГОСТ 24900-81, для сверлильных станков с конусом Морзе по ТУ 2035-681-79 и для агрегатных станков с регулируемым цилиндрическим хвостовиком по ГОСТ 26540-85. Стандартами были регламентированы также патроны для метчиков и плашек к токарным станкам (ГОСТ 21938-76), токарно-револьверным станкам (ГОСТ 21941-76, ГОСТ 22627-77), к токарным станкам с ЧПУ (ОСТ 2 У16-2-78), патроны для станков сверлильной группы предохранительные (ГОСТ 8255-86), быстросменные (ГОСТ 14077-83) и для гаечных метчиков (ГОСТ 21827-76).

В автомобильной и станкостроительной промышленности того времени активно использовали разработки и продукцию зарубежных фирм, специализирующихся на производстве вспомогательной оснастки. Это патроны немецких фирм Bilz, Kēlh, Shmalkalden, французской "Рено", японской Nikken, американских компаний Kennametal, Titan Tool и др.

Разнообразие конструктивных исполнений патронной оснастки постоянно расширялось, в том числе развивались их технологические возможности. В патроны начали встраивать различные функциональные устройства: ультразвуковые излучатели, адаптивную механику, пневматику и электронику, системы подвода смазочно-охлаждающих технических средств (СОТС) под давлением, вибрационные активаторы и ориентирующие устройства, системы токоподвода для резания с электронагревом и другие элементы. Многообразие требований вело к постоянному усложнению механики инструментальной оснастки и ее удорожанию. К началу 1990-х гг. многообразие конструктивно-технологических видов оснастки потребовало определенных мер по их систематизации и упорядочиванию. Первым шагом по данному пути было создание модульных конструкций, в связи с чем ведущие фирмы приступили к разработке инструментальной оснастки на принципах модульного построения.

1. Компания D'Andrea (Италия). Одной из последних разработок является Modular d'andrea – высокоточная модульная система крепления инструмента, обеспечивающая максимальную соосность и жесткость системы при операциях растачивания, фрезерования, сверления и нарезания резьбы, гарантирует точную регулировку положения режущей кромки инструмента при использовании головок Testarossa.

2. Фирмы Jacobs Chuck (США) и Bilz Co. (Германия) совместно разработали серию патронов модульной конструкции для метчиков, обеспечивающих подачу СОТС под давлением. Серия включает функциональные блоки с держателями метчиков на разные диаметры. Выпускаются жесткие и компенсирующие патроны с быстросменными адаптерами под различные хвостовики.

3. Фирма Purnory Engineering (г. Челябинск) производит модульную шпиндельную оснастку с базовыми хвостовиками и системой адаптеров для сверлильно-фрезерно-расточных станков.

4. Корпорация Bilz выпускает патроны модульной конструкции с корпусом со сменной механикой, позволяющей устанавливать необходимую функцию, например, предохраняющую от перегрузок, осевую компенсацию по шагу резьбы, осевую и угловую подвижности.

5. Компания Nikken (Япония) применяет конструкции патронов со сменными метчикодержателями, имеющими встроенные предохранительные муфты.

Следующим шагом была разработка систем классификации вспомогательной оснастки. Такая система должна решать следующие задачи:



- обеспечить единство информационного сопровождения резбонарезных и сборочных патронов на всех стадиях жизненного цикла от научного обоснования до вывода их из эксплуатации;

- сформировать унифицированный язык описания данной оснастки как объекта проектирования;

- повысить эффективность создания и изготовления патронов, улучшить их качество и конкурентоспособность.

Попытки создания подобной системы можно найти в работах В.В. Матвеева, Н.М. Пашко, В.Г. Якухина и др.

В.Г. Якухин, основываясь на функциональном назначении патронов, предлагал разделять их на жесткие, с осевой компенсацией, с радиальной компенсацией, быстросменные, с ограничением крутящего момента, интенсифицирующие, самореверсивные, проходные для гаечных метчиков.

Современные патроны, как правило, выполняют не одну, а несколько простых функций, необходимых для производства, и представляют собой многоцелевую или сложнофункциональную конструкцию. Поэтому авторами данной статьи был разработан более подробный классификатор, охватывающий все известные признаки и опубликованный в работе [11]. Морфологические свойства классификатора позволяют синтезировать новые конструкции патронной оснастки с необходимыми показателями.

Развитие вспомогательной оснастки продолжается. Ведущие инструментальные предприятия России и зарубежные компании предлагают массу интересных конструкций под различные условия обработки и сборки. Однако существует и немало проблем, связанных с постоянно усложняющимися факторами производства. Анализ истории развития этого вида техники может облегчить данную задачу и найти оптимальные пути ее решения.

Библиографический список

1. **Пипуныров В.Н.** История часов с древнейших времен до наших дней. М.: Наука, 1982. 496 с.
2. **Промышленность** и техника: энциклопедия промышленных знаний. В 11-ти т. Т. VI. Технология металлов. СПб.: Товарищество "Просвящение", 1901. 456 с.
3. **Альфред Г. Шютте** Инструменты. Каталог фирмы А.Г. Шютте и Э. Краузе. СПб. – Магдебург: Изд-во А. Вольфельда, 1914. 462 с.
4. **Загурский В.Н.** Прогрессивные способы обработки резьбы. М.: Свердловск: Машгиз, 1960. 164 с.
5. **Машиностроение:** энциклопедический справочник в 15-ти т. Т. 5. Технология производства машин / Под ред. акад. Е.А. Чудакова. М.: ГНТИ машиностроительной литературы. 1947. 568 с.
6. **Корона А.Б.** Патрон для ввинчивания шпилек // Станки и инструмент. 1950. № 7. С. 29–30.
7. **Специализация** инструментальных заводов на 1974–1980 гг. Ч. 1. М.: НИИ–МАШ, 1976. 160 с.
8. **Маликов Ф.П.** Патроны для режущих инструментов: краткий справочник. М. – Свердловск: Машгиз, 1963. 104 с.
9. **Матвеев В.В.** Нарезание точных резьб. М.: Машиностроение, 1978. 86 с.
10. **Выбойщик В.Н.** Повышение точности резбонарезания при работе с принудительной подачей инструмента // Исследования в области технологии образования наружных и внутренних резьб, резьбообразующих инструментов, станков и методов контроля резьб: сб. статей. Тула: ТулПИ, 1974. С. 40–48.
11. **Березин С.Я., Курбатова Л.С.** Классификация резбонарезных патронов по конструктивным и технологическим признакам // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2005. № 10. С. 16–19.

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., Сониошкина Л.Е.*

Сдано в набор 14.06.12 г. Подписано в печать 30.07.12 г. Формат 60×88 1/8.

Усл. печ. л. 5,88. Уч.-изд. л. 6,05. 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.