ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

СБОРКА В МАШИНОСТРОЕНИИ, ПРИБОРОСТРОЕНИИ

ЖУРНАЛ ВЫХОДИТ ПРИ СОДЕЙСТВИИ МЕЖДУНАРОДНОГО СОЮЗА МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ

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

12 2011 (137)

СОДЕРЖАНИЕ

Экономика и организация сборочного производства

Шабайкович В.А. Сборочное производство машиностроения на современном этапе развития 3

Современные технологии сборки

Козырев Ю.Г. Установка захватных устройств и инструментов на конечном звене манипулятора при сборке изделий машиностроения и приборостроения 11

Матросова Ю.Н., Уколов А.А. Программное обеспечение для автоматизированного проектирования протяжек 21

Сборочно-сварочные работы. Пайка.

Карабанов В.В., Бохоров И.О. Процессы формирования паяного шва 25

Быковский О.Г., Пасько А.Н. Современное состояние технологии сварки цветных металлов и сплавов 32

В помощь конструктору, технологу

Безъязычный В.Ф., Кононов В.А. Повышение эффективности и качества процесса создания изделий машиностроения посредством совершенствования форм его организации 41

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.

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

Редакционный совет

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

Региональные редсоветы

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

Украина
КИЕВ
А.С. ЗЕНКИН
В.А. МАТВИЕНКО
ДОНЕЦК
А.Н. МИХАЙЛОВ
СЕВАСТОПОЛЬ
Е.Л. ПЕРВУХИНА

Беларусь
МИНСК
В.Л. БАСИНЮК
М.Л. ХЕЙФЕЦ
ГОМЕЛЬ
В.Е. СТАРЖИНСКИЙ

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

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

© **Издательство “Машиностроение”, “Сборка в машиностроении, приборостроении”, 2011**

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

12 2011 (137)

CONTENTS

Economy and the organization of assembly

Shabaycovitch B.A. Assembly production of machine building on modern one stage of development 3

Modern technologies in assembly

Kozyrev Yu.G. Installation grippers and tools at the final link rocker in assembly product engineering and instrumentation 11

Matrosova Y.N., Ukolov A.A. Software for automated design of broaches 21

Assembly welding works. Solder

Karabanov V.V., Bohorov I.O. Process of forming the solder joint 25

Bikovski O.G., Pasko A.N. Current state of technology of welding of nonferrous metals and alloys 32

Industrial and design engineer's aid

Bezyazychny V.F., Kononov V.A. Efficiency and quality of product design and development process improvement by enhancing of its organizational forms 41

Journal is distributed on subscription, which can be issued in any post office (index on the catalogue of the "Rospechat" agency – **79748**, the union catalogue "Pressa Rossii" – **84967**, the catalogue "Pochta Rossii" – **60257**) or directly in editorial of the journal.
Ph.: (499) 268-38-42; ph./fax: 268-85-26. Fax: (499) 269-48-97.
http://www.mashin.ru E-mail: sborka@mashin.ru
Labor Red Banner Order Public Corporation "Publishing House "Mashine Building"
107076, Moscow, Stromynsky per. 4
The reference to the Assembling in Mechanical Engineering and Instrument-Making Journal during reprint of the materials is mandatory.
Advertisers are responsible for the content of their advertisements.

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

Editors

MOSCOW

A.S. VASIL'EV (Chief editor)
M.V. VARTANOV
A.M. DALSKY
A.A. GUSEV
I.N. ZININA
Yu.L. IVANOV
Yu.G. KOZYREV
A.I. KUMENKO
A.V. MEDAR'
E.A. MIKRIN
V.V. POROSHIN
B.V. SHANDROV
A.A. SHATILOV
A.G. KHOLODKOVA
G.A. YARKOV

Regional editors

BELGOROD
N.A. PELIPENKO

BRIANSK
O.A. GORLENKO

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

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

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

KAZAN
R.I. ADGAMOV

KOVROV
Yu.Z. ZHITNIKOV

KOLOMNA
Yu.D. AMIROV

KOMSOMOLSK-ON-AMUR
B.N. MARJIN
V.I. SCHPORT
A.M. SHPILEV

NABEREZHNYE CHELNY
S.V. DMITRIEV
R.M. KHISAMUTDINOV

NIZHNY NOVGOROD
S.V. GOLUBEV

OMSK
V.N. KOSTIUKOV

OREL
Yu.S. STEPANOV
G.A. KHARLAMOV

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

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

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

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

TULA
V.V. PREYS

TOLIATI
B.F. KHAZOV
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

© "Mashinostroenie Publishers", "Assembling in Mechanical Engineering and Instrument-Making", 2011

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СБОРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 621.757.65.011.56

В.А. Шабайкович, *д-р техн. наук*
(Луцкий национальный технический университет, Украина)
E-mail: vik_shabajkin@ukr.net

Сборочное производство машиностроения на современном этапе развития

Указаны основные причины современного состояния сборочного производства. Представлено шесть основных направлений развития компьютерно-интегрированного сборочного производства. Намечены пути подъема производства, в частности сборочного, на основании которых можно разработать конкретные мероприятия по отдельным отраслям промышленности, предприятиям, цехам или участкам.

The article indicates principal reasons for the current condition for assembly production. Six main directions for the development of computer-integrated assembly plant are indicated. Measures to raise production in particular assembly one on which to develop specific for measures for individual industries, enterprises, departments or workplaces.

Ключевые слова: сборка, производство, недостатки, квалификация, инвестиции, компьютерно-интегрированное производство.

Keywords: assemblage, production, current system shortcomings, qualification, investment of capital, CIM.

Заключительным этапом любого производства изделий, в ходе которого формируются фактические показатели качества и уровень конкурентоспособности, является их сборка, имеющая характерные отличия в зависимости от конкретных условий производства. Сборочное производство связано с общим производством, которое в свою очередь функционирует в различных отраслях промышленности народного хозяйства, т.е. современное состояние сборочного производства зависит от множества причин, начиная от экономики и заканчивая общим производством (рис. 1). С обеспечением таких показателей качества выпускаемой продукции и ее уровней конкурентоспособности Украина и Россия имеют большие трудности: по данным ООН среди 195 стран мира по рейтингу они находятся на последних местах рядом со слаборазвитыми странами Африки. Исключение составляет военная, авиационная и космическая продукция.

Современное производство в целом, а сборочное в частности, должно быть компьютерно-интегрированным (Computer Integrated Manufacturing – CIM). Сейчас оно является в основном механизированным ручным и незначительно автоматизировано. Поэтому проблема современного сборочного производства комплексная, ее решение лежит в технической, организационной, психологической и юридической плоскостях. В технической плоскости будут решаться вопросы создания новой материально-технической базы. Сборочное оборудование и оснащение давно мо-

Рис. 1. Факторы, влияющие на сборочное производство

рально и физически устарело, требует срочной замены. Для этого необходимо проводить научно-исследовательские, конструкторские, технологические, программные и другие разработки, которые из-за отсутствия значительных финансовых вложений практически не осуществляются, нет реальных планов подъема сборочного производства. Для создания такой материально-технической базы в стране требуются значительные производственные мощности, которых сейчас нет. Необходимое оборудование за рубежом по финансовой причине также не приобретается и вряд ли будет покупаться в ближайшем будущем.

Известно, что положительные результаты развития науки и техники достигаются только целевым финансированием. Так, в США на такое развитие выделяется около 3,5 % национального дохода, Англия тратит 2,4 %, Германия – 2,6 %. Можно предполагать, что страны, выделяющие на эти цели менее 1 %, полностью полагаются на случайность и в этом плане не имеют никаких шансов на успех. Украина выделяет на эти цели гораздо меньше, Россия – несколько больше. Если даже сейчас получить все необходимое для развития производства в целом, а сборочного в частности, то возникнет ряд сопутствующих проблем, острейшей из которых будет отсутствие и материально-технической сборочной базы, и специалистов. Для их подготовки потребуется как минимум 10–15 лет. Сейчас старшее поколение ушло, среднее занимается прагматичным приложением своих сил, которое обеспечивает какое-то безбедное существование, младшее после окончания вузов по этим же соображениям вообще избегает производства. Некоторая часть, и достаточно большая, ушла в бизнес, где показала хорошие результаты деятельности, а лучшие умы выехали или выезжают за границу.

С точки зрения сборочной технологии на данном этапе рациональным решением могло бы быть широкое применение гибкой модульной сборки [4], когда технологический процесс и само изделие представлены отдельными модулями. Как известно, под модульным принципом понимается модульная структуризация технологических сборочных процессов, оборудования и оснастки с использованием базовых модулей. Модульные технологии и конструкции позволяют минимизировать разнообразие технологических сборочных средств, исключать дублирование проектных работ при технической подготовке производства, фактически внедрять поточную организацию сборки в мелкосерийном производстве, многократно использовать сборочное оборудование и оснащение при быстрой смене номенклатуры выпускаемых изделий по требованиям рынка [1].

Организация сборочного производства охватывает вопросы реализации сборочных процессов изделий в пространстве и во времени: это взаимодействие с другими службами, поставка комплектующих, деталей, инструмента, материалов, обеспечение загрузки оборудования и ритмичности сборки, связи с другими процессами [2]. При модульном принципе в организации сборки необходимые работы объединяют в отдельные организационные модули, из которых формируют всю модульную организацию производства разнотипных изделий. При этом следует отметить, что предполагается установление только последовательности состыкованных организационных модулей, внутри которых должна реализовываться идея их логического творческого развития.

Неважно обстоят дела и с психологическим фактором, который сейчас использует советские психологию отношения к труду, гигиене, эстетике, антропометрии, приспособление рабочего к оборудованию и, наоборот, к внешней среде и т.д. В будущем должна быть выработана совершенно новая психология труда, которая будет отвечать современному CIM, где работник является свободным участником процесса, испытывает от работы удовлетворение и не рассматривает ее лишь как источник средств к существованию, хотя в современных условиях сделать это пока невозможно. По

всем таким вопросам имеются положительные зарубежные наработки, которые можно успешно использовать. Очень много интересного и полезного в этом направлении было сделано в Японии, США и других странах. Известны системы Just-in-Time (JIT), TQM, TQC, CAM, CAP, CAQ, LM, SWOT, VE, Buiness Process Reengineering, MRP, FI, CE, направленные на улучшение не только сборочного производства, но и общего, но которые почему-то не используются.

Юридический фактор формирует правовое поле, в котором функционирует производство. Пока такое поле не способствует ни росту производства, ни выпуску качественной и конкурентоспособной продукции. Макроэкономическая политика, в сущности, не дает возможности развития производства вообще. Действующие законы фактически направлены против производства, особенно в малом и среднем бизнесе, против упрощенной системы налогообложения и других полезных решений, которые широко и успешно используются в мире. Отрицательное влияние оказывают низкая заработная плата, высокие налоги, коррупция, всевозможные взятки и откаты, необоснованно высокая бесконтрольная прибыль, закладываемая в цену продукции и многое другое. Правовой ошибкой является допущение существования множества посреднических паразитирующих фирм, фирм-однодневок, которые ничего не производят, а только поднимают в разы цены на продукцию. К тому же само государство дополнительно провоцирует такое поднятие цен на продукцию путем повышения стоимости энергоносителей, акцизных сборов и пошлин, введения дополнительных налогов и т.п. Повышение цен на энергоносители и увеличение налогов является вредным для производства, в том числе сборочного, вызывает повышение цен на всю продукцию, резко снижает ее конкурентоспособность и в итоге приводит к дефолту или революции. Все это объясняется неквалифицированным управлением производством и экономикой в целом, или, возможно, наоборот, высокой квалификацией в получении сверхприбылей. В доказательство можно привести данные о росте числа миллионеров и миллиардеров в России и Украине за время кризиса. Намечаемые планы улучшения ситуации в большинстве являются пропагандистскими. Например, как сообщил Госкомстат Украины, уровень безработицы за январь 2011 г. по сравнению с предыдущим месяцем возрос на 7,4 % – до 585,6 тыс. чел. Особенно отрицательно на состояние экономики влияет коррупция, по уровню которой Украина и Россия вошли в первую десятку стран мира. По данным Института социально-экономических исследований АН РФ, 33,5 млрд долл. США идет на взятки и подкуп чиновников в России. Только за январь–февраль 2011 г. на взятки в Украине было затрачено свыше 12 млн долл. Все это требует, казалось бы, немедленного устранения таких недостатков на законодательном уровне, а не правовой борьбы с ведьмами, прорицателями, знахарями, оракулами и т.п. Чего можно ожидать, если трансляция заседаний парламента Украины иногда воспринимается как настоящее шоу. Все это привело к патовой ситуации в производстве, при этом очень распространено использование будущего времени и сослагательного наклонения. Эту ситуацию можно выправить только на законодательном уровне.

Главной причиной нынешнего состояния производства вообще и сборочного в частности является сплошная неквалифицированность по всем направлениям и на всех уровнях. Наблюдается отставание сборочного производства от современного зарубежного на многие десятки лет, что было вызвано:

• различными "революциями" и политическим пустословием, сверхмерной политизацией;

• разрывом внутренних и внешних производственных связей;

• отсутствием финансирования, малыми инвестициями;

• отсутствием в приборо- и машиностроении рентабельных проектов для инвестиций;

• исчезновением квалифицированного рабочего класса и инженеров;

• приходом к власти разных партий, групп, кланов, олигархов, которые хотели только од-

ного – быстрейшего обогащения без капиталовложений;

• созданием ситуации, когда все рассматривается как источник дохода в виде всевозможных оплат, штрафов, взяток, откатов и коррумпированных связей;

• несовершенным законодательством;

• целенаправленным спланированным разрушением предприятий с их последующим банкротством и "прихватизацией";

• сопутствующими коррупцией, криминализацией и монополизацией;

• отсутствием реальных планов подъема производства, особенно сборочного;

• пренебрежительным отношением к материальному положению большинства работников промышленности, как и остальных, которые оказались за чертой бедности;

• духовным упадком и изменением шкалы человеческих ценностей;

• отсутствием патриотизма, который вошел в противоречие с действительностью, когда от тебя ничего не зависит;

• появлением олигархата, маскируемого под национальную демократию;

• полной безответственностью и безнаказанностью, породившими вседозволенность и др.

Некоторые из указанных недостатков возможно устранить путем дальнейшего развития компьютерно-интегрированного сборочного производства по шести основным направлениям [2]: научно-теоретическому, конструкторскому, технологическому, программному, организационному и эксплуатационному при использовании концепции многомерного компьютерного интегрирования на базе объединенных сетевых и интеллектуальных технологий (рис. 2). Все эти вопросы необходимо решать в едином комплексе с другими проблемами CIM. Невозможно их устранение без изменения правового поля производства.

В научно-теоретическом направлении основной задачей является создание научно-технических основ гибкого автоматизированного сборочного производства в CIM. Эти основы должны охватывать три составляющие части: конструкторскую, технологическую и эксплуатационную, в которых будут отражены полученные теоретические решения указанных практических задач. Необходимо, чтобы эти проблемы обеспечивали научную базу развития в других направлениях и охватывали полную цепочку сборочного производства: конструкция изделий – высокие технологии – сборочное оборудование с оснащением – программное управление – организация производства – эксплуатация.

При обеспечении высокого качества продукции сейчас основополагающими считаются системы качества, созданные на базе международных стандартов серии ГОСТов, ISO. Эти разработки значительно бюрократизированы, носят описательный характер, способствуют созданию армии "разработчиков", политик качества и т.п. К сожалению, сертификаты качества мало влияют на его повышение, а сама процедура их выдачи часто сводится к бумажной волоките и взяткам. Поскольку потребителю нужно качество, а не его сертификат, то внимание должно сосредоточиваться на разработках и исследованиях механизмов и методики направленного формирования показателей качества собираемых изделий. Как известно, качество в целом – это в первую очередь золотая голова инженера и золотые руки рабочего, а не чиновников, систем, сертификатов, прочих сопроводительных документов. Следует обратить внимание, что многие страны мира (например, Япония) вообще не имеют государственных систем качества, а качество их продукции является наилучшим в мире. Интересны и перспективны вопросы интеллектуального управления процессами формирования качества, принятия решений в условиях неопределенности, нечеткой среды (метод максимультипликативной свертки), синергетического подхода при анализе динамических процессов сборки, методологических аспектов их моделирования, информационной поддержки управления, повышения конкурентоспособности изделий, направленные на повышение качества продукции.

Конструкторское направление охватывает проблемы автоматического проектирования конструкций изделий, сборочного оборудова-

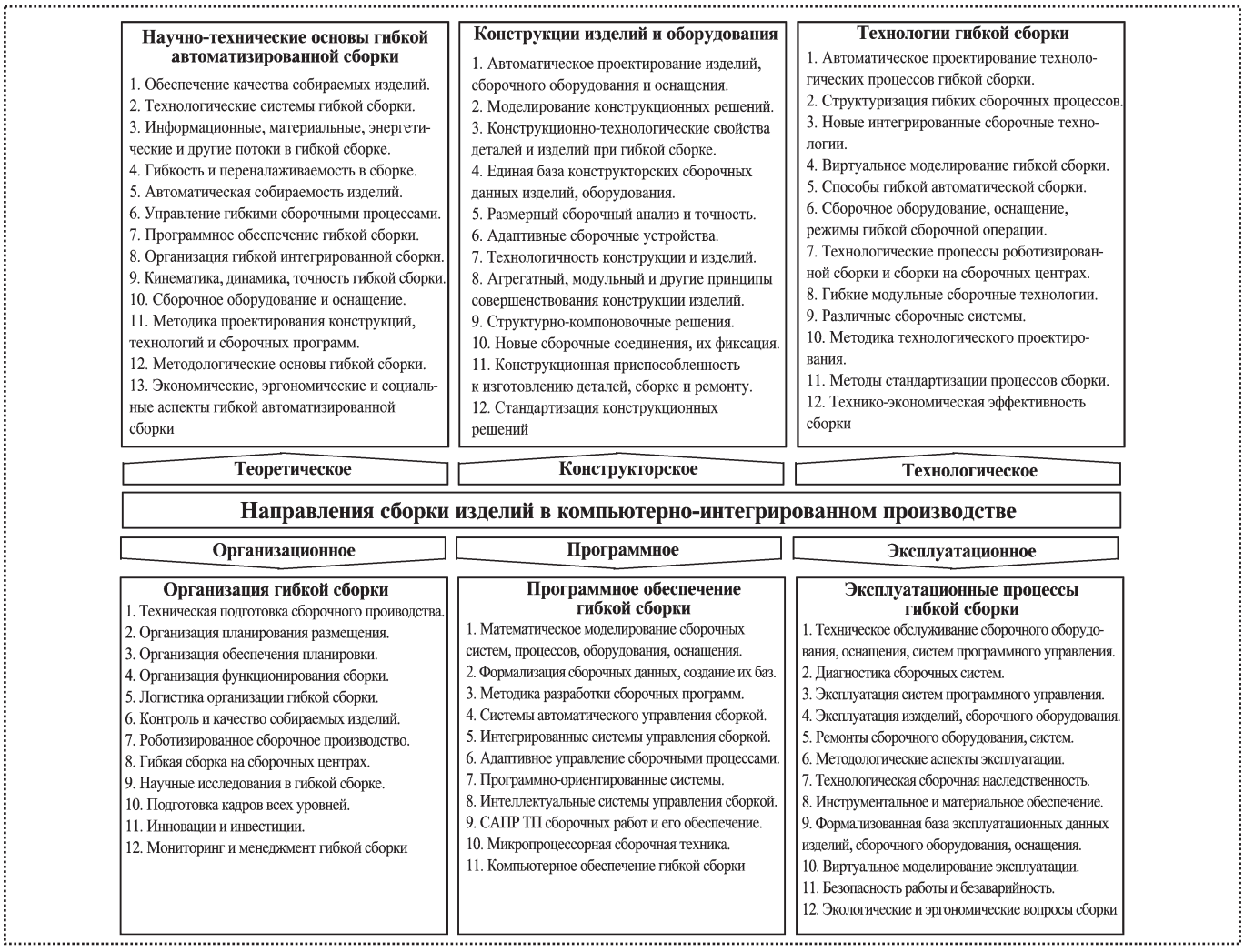


Рис. 2. Направления развития компьютерно-интегрированного сборочного производства

ния и оснащения [5]. Методика автоматического проектирования изделий должна быть четко ориентирована на CIM. Одна из таких методик – DMA – предполагает широкое использование проблемно-ориентированных систем QFD, DFM и ряда других. При этом большое значение имеет быстрое изготовление моделей, образцов методом Rapid Prototyping, дополненный новыми методами LOM, SLS, FDM, SQC, MJM, которые позволят сократить время изготовления на 30 %. Расширяется возможность получения стальных и чугунных деталей изделий методами Rapid Tooling, Rapid Prototyping Manufacturing, в которых применяются методы лазерной и лазерно-синтеринговой плавки. Должное внимание следует уделять проектированию изделий многофункционального назначения, типизации сборочных соединений, единой структуре конструкторско-технологической информационной базы, применению методик типа Virtual Reality, Digital Prototyping с их дальнейшим совершенствованием и др., которые сейчас появляются.

В технологическом направлении прогнозируется дальнейшее развитие высоких сборочных технологий (CALS, ИПИ, их гибриды и т.д.), концепции виртуального моделирования гибких сборочных процессов, нового поколения технологического оборудования и оснастки, гибкой модульной сборочной технологии, наиболее полно отвечающей требованиям

CIM. Необходимо дальнейшее совершенствование модулей CALS, таких как модули концептуального проектирования, конструирования и сборки, КЭ-анализа, оптимизации и др. Должны получать развитие новые способы автоматической сборки изделий, отдельные элементы гибких модульных сборочных операций (транспортирование, базирование, ориентирование, сопряжение и т.п.), в том числе по выполнению типовых сборочных соединений. Предполагается более тесная увязка гибких интегрированных сборочных процессов не только с конструкцией изделия или условиями его эксплуатации, но и с используемым сборочным оборудованием, системами управления, диагностирования, обслуживания.

В программном направлении главным будет дальнейшая разработка программного обеспечения гибкой сборки в CIM. Необходимо дальнейшее совершенствование систем программного обеспечения – объектно-ориентированных, таких как функциональные, объектно-независимые, инвариантные, математические, лингвистические, информационные, программные, технические, методологические, организационные и др. Для этого будут создаваться современные инструментальные средства компиляционного типа. Получат развитие автоматические системы программного управления гибкими сборочными системами, технологическими процессами с оборудованием (интеллектуальные, адаптивные, программно-ориентированные и т.п.). Заслуживает внимания использование Интернет-систем в WEB-интегрированном сборочном производстве. На основе сети Интернет в среде CALS-технологий можно среди всех прочих преимуществ обеспечить оптимальную аппаратную комплектацию средств автоматизации гибкого сборочного производства.

Организационное направление предусматривает совершенствование известных форм и разработку новой организации гибкой автоматизированной сборки, в том числе и модульной, в CIM и CIMS. Модульная структура организации формируется из триады: планирование, обеспечение и функционирование [5]. Модули планирования – это размещение основного и вспомогательного оборудования, обеспечение подачи всего необходимого для его работы и функционирования – собственно осуществление самой сборки при данной организации работ. В первую очередь важна организация рабочих мест сборщиков, всех видов автоматического проектирования, ориентированных на безлюдное сборочное производство и безбумажное представление конструкций, технологий и организации. Особое внимание должно уделяться обеспечению эффективности применения сборочных средств и обмена информацией, организации формализованных баз данных, отвечающих требованиям CIM. Дальнейшее развитие получит организация работ по системе DSS (Decision Support System), которая реализует технологию OLAP (On-Line Analytical Processing), обеспечивающую доступ к базам данных и выдачу их в удобной форме для анализа. Будет разрабатываться организация средств интеллектуального анализа данных, их информационных хранилищ, гибридных систем планирования гибкого сборочного производства, систем управления персоналом Personnel как процессов целенаправленной адаптации потенциала гибкого сборочного производства к специфике рынка и другим возможным требованиям.

Поскольку организация и управление в гибком сборочном производстве следуют из реализации противоречивых целей рыночной ориентации (качество, разнообразие, конкурентоспособность, скорость выполнения заказов) и эффективности, то внимание должно уделяться концепции маркетинга. Поэтому к тенденциям развития можно отнести: планирование производственных средств (MRP), стратегию "точно во времени" (JIT) и их развитие в направлении "экономной продукции" (Lean Production) и управления (Lean Management), концепцию управления узкими местами (OPT); системы: "толкания" – push (MRP-II и др.), "высасывания" – pull, "выдавливания" – squeeze (OPT и т.п.). Система управления WMS (Warehouse Management System) за счет активного модуля

диспетчера задач обеспечивает комплексное решение задач автоматизации управления складскими процессами: операционных нужд, получения, контроля качества и количества изделий, их размещения, пополнения, комплектации заказов, упаковки и отгрузки. Складом управляет система, а не люди, что имеет существенные преимущества. Эти системы предусматривают компьютерную интеграцию средств и потребностей на общей информационной базе с многократным согласованием и повторением. Поэтому важными вопросами можно считать организацию внутреннего и полного внешнего компьютерного интегрирования в сборочном производстве, использование организационных сетей, базирующихся на минимальных организационных элементах и информационных технологиях.

Сборочное производство в CIM потребует повышения качества подготовки инженеров-сборщиков. Известный проект подготовки инженеров 5PR GEM охватывает Австралию, Европу, Корею, США и Японию. Он базируется на модульном плане обучения инженеров (семь модулей), который включает наряду с традиционными дисциплинами такие, как работа с моделированием, цифровой техникой и технологией, виртуальной средой, планированием цикла жизни изделия, деловыми играми, операциями и стратегиями конкуренции, интеллектуальными процессами изготовления изделий, принятия решений в интерпредметных многоплановых коллективах. Сначала на базе общего проекта можно будет придать ему сборочное компьютерно-интегрированное направление, а затем разработать чисто сборочный проект подготовки квалифицированных инженеров-сборщиков.

Эксплуатационное направление охватывает вопросы, возникающие при эксплуатации нового сборочного оборудования и оснащения, систем программного управления, а также предполагаемой виртуальной эксплуатации изделий в целях обеспечения обратной связи при необходимости внесения ее результатов в конструкцию и технологию. Важны также проблемы технологической сборочной наследственности, самоорганизации и создания единой формализованной базы эксплуатационных данных по изделиям и сборочному оборудованию для осуществления виртуального моделирования. Необходимо создание информационной среды обмена данными между эксплуатируемым сборочным оборудованием, системами управления и диагностирования на основе CALS-стандартов (ISO 10303 STEP, ISO 13584 PLIB, ISO 15531 MANDATE и др.).

При реализации разработок по основным направлениям развития гибкого сборочного производства необходимо применять инновационный подход, который предусматривает использование существенно новых технических решений, дающих больший дополнительный технический и экономический эффект. Примером может служить японский подход и достигнутый современный уровень развития производства. При этом Япония умело пользовалась в основном зарубежными патентами и решениями из-за фактического отсутствия своих. В Украине иная ситуация, на полках по-прежнему пылится множество замечательных отечественных патентов, которые никого как раньше, так и сейчас просто не интересуют, хотя очевидно, что их внедрение принесло бы миллиардные прибыли, но на это нужно желание, время и затраты, а в данный момент все хотят получить деньги уже сейчас, прямо из воздуха, а не потом, в перспективе.

К основным задачам современного гибкого автоматизированного сборочного производства, в том числе и модульного, можно отнести:

• необходимость полного обновления материально-технической базы, в первую очередь сборочного оборудования с оснащением, транспортной структуры, систем управления, которые отвечали бы критериям CIM;

• привлечение инвестиций как частичную замену недостаточного финансирования сборочного производства путем создания рентабельных проектов;

• возобновление научно-исследовательских разработок теоретического, конструкторского, технологического, программного, эксплуатаци-

онного направлений, в первую очередь гибкой автоматизированной модульной сборки изделий;

• организацию подготовки через лицеи и технические колледжи как квалифицированных рабочих-производственников сборщиков, так и через институты – инженерно-технических работников для их использования в условиях CIM;

• применение передового мирового опыта современного производства, в частности сборочного, таких стран, как Япония, США, Великобритания, Германия, патентного резерва и инновационных методик;

• коренное изменение внешней среды путем разработок принципиально новых законодательных актов, которые бы полностью устранили сегодняшние недостатки;

• создание новой внутренней среды за счет разработки и использования психологии работников в компьютерно-интегрированном производстве;

• надлежащее финансирование на уровне не менее 2 % национального дохода производства в целом, с выделением достаточной части для сборки.

В качестве примера решения подобных задач можно привести заводы, выпускающие зарубежные модели автомобилей, купленные "под ключ", которые целиком работают на зарубежных конструкциях, автоматизированных технологиях и устаревшем сборочном оборудовании. Такие закупки очень дорогостоящи, но через годы они окупятся и будут приносить неплохую прибыль. Не следует упускать примеров интенсивного развития сборочного производства в Китае. Правда, пока там есть количество, но со временем придет и качество, поэтому их подход нуждается в детальном изучении и распространении.

Выводы

Можно наметить общие меры подъема производства, в частности сборочного, на основе которых необходимо разработать конкретные мероприятия по отдельным отраслям промышленности, предприятиям, цехам или участкам. Организация и управление производством – это искусство, и далеко не каждый им обладает, что подтверждает современное его состояние. К общим мероприятиям в первую очередь следует отнести создание благоприятной внешней и внутренней среды путем принятия соответствующих законов. Учитывая недостаточную квалификацию законодателей, сначала можно будет временно напрямую использовать проверенные законы развитых производств стран мира. Далее необходимо создавать новую материально-техническую базу и обеспечивать производство квалифицированными кадрами с психологией CIM. Очевидно, что сначала будет нужна закупка за рубежом необходимого современного технологического оборудования и оснастки. И только после возобновления научно-исследовательских работ по гибкому сборочному производству и получения результатов можно будет рассчитывать на отечественные разработки. Безусловно, что такие мероприятия потребуют значительных усилий высококвалифицированных специалистов как на государственном, так и местном уровнях. Очень жаль, что это все пока никого не интересует. Теперь поставлены совсем другие цели и задачи, изменена шкала человеческих ценностей, наблюдается духовный упадок, и, вероятно, странам потребуется определенное время на прохождение этого этапа, хотя его необходимо и можно сократить. Остается сожалеть, что с такими потенциальными возможностями наши страны занимают последние места по качеству и конкурентоспособности продукции, но находятся в числе первых по коррумпированности.

Библиографический список

1. **Базров Б.М.** Модульная технология в машиностроении. М.: Машиностроение, 2001.

2. **Божидарник В.В., Григорьева Н.С., Шабайкович В.А.** Автоматическая сборка изделий: учеб. пособие. М.: Надстир′я, 2005. 388 с.

3. **Григорьева Н.С.** Модульная организация сборочного производства. // Сб. тр. XVIII Междунар. конф. "Машиностроение и техносфера XXI века" / ДНТУ. Донецк, 2011.

4. **Григорьева Н.С.** Научно-технологические основы гибкой модульной автоматической сборки изделий: монография. М.: Надстир′я, 2008. 520 с.

5. **Технология** автоматической сборки. / А.Г. Холодкова, М.Г. Кристаль, Б.Л. Штриков и др. М.: Машиностроение, 2010. 560 с.

УДК 621.757

Ю.Г. Козырев, *канд. техн. наук, доцент*
E-mail: yurikozyrev@yandex.ru

Установка захватных устройств и инструментов на конечном звене манипулятора при сборке изделий машиностроения и приборостроения

Рассмотрены способы установки рабочих органов на конечном звене руки манипулятора при сборке изделий и конструкции устройств для их реализации.

The article discusses how to set the working bodies for final link manipulator arm in the assembly of products and construction devices for their implementation.

Ключевые слова: захват, захватное устройство, инструмент, взаимное ориентирование и установка, сборка, промышленный робот, манипулятор.

Keywords: capture, capture device, instrument, relative orientation and installation, assembly, industrial robot, manipulator.

Установка захватных устройств (ЗУ) и инструмента на конечном звене манипулятора во многом определяет точность и саму возможность выполнения технологической операции. Особенно это относится к операциям сборки. Анализу видов установки ЗУ посвящено достаточное число опубликованных работ. В данной статье предлагаются краткие выводы из этих публикаций, которые могут быть полезны конструкторам и технологам при разработке средств автоматизации сборочных работ с привлечением промышленных роботов (ПР) и манипуляторов.

Виды установки и закрепления ЗУ и инструментов к конечному звену манипулятора. Установка и закрепление ЗУ и инструментов к руке манипулятора может быть жестким, не допускающим относительных перемещений ЗУ относительно руки на всех этапах работы при любых условиях, или упругим (подвижным), допускающим малые относительные перемещения на всех или некоторых этапах в зависимости от действующих сил или специальных сигналов (команд).

Жесткая установка и закрепление ЗУ и инструментов к руке манипулятора относятся исключительно к типу неподвижных разъемных соединений (ГОСТ 23887—79) и к классу IV разъемных соединений, осуществляемых различными крепежными и фиксирующими деталями (винтами, болтами, шпильками, цилиндрическими и коническими штифтами и т.п.). Чаще всего требование жесткости выдвигают при установке на руке манипулятора обрабатывающих инструментов (сверл, разверток, резьбонарезных головок, фрез и пр.), а также при манипулировании тяжелыми (свыше 100 кг) и крупногабаритными объектами.

Во всех случаях основным является требование надежного закрепления, исключающего самоотвинчивание, появление люфта и пр. Дополнительным, но практически очень важным является требование простоты сборки и разборки соединения, которое вытекает из необходимости оперативной замены ЗУ. Вследствие этого нежелательны большие усилия затяжки соединений, исключаются также некоторые способы предотвращения самоотвинчивания. Требуется, чтобы разборка и сборка могли производиться без применения специального инструмента и тем более без средств контроля. В тех случаях, когда после установки ЗУ предусматривается подналадка с целью более точного согласования ПР с обслуживаемым оборудованием, в точном базировании ЗУ (например, с помощью штифтов) нет необходимости.

Такая необходимость возникает тогда, когда требуется взаимозаменяемость ЗУ: при за-

мене ЗУ на другое, такое же, точность позиционирования должна сохраняться без подналадки, компенсирующей различия их параметров и погрешности базирования. Точное базирование ЗУ требуется при аналитическом программировании движения ПР, если при этом обеспечено достаточно точное базирование ПР относительно остального оборудования. Заметим, что во всех случаях не требуется высокой точности базирования ЗУ: по-видимому, всегда допустимыми будут погрешности порядка 0,1 мм, а часто они могут быть еще больше. Однако необходимо, чтобы такая точность сохранялась при многократной замене ЗУ.

Нежесткая установка и закрепление ЗУ и инструментов к руке манипулятора могут преследовать различные цели:

• уменьшение сил и моментов взаимодействия объекта с внешними приспособлениями и устройствами;

• исключение застревания и заклинивания при сборке;

• приспособление к изменениям положения и формы поверхностей объекта;

• уменьшение вероятности поломки механизма ПР в аварийных ситуациях.

Задачи уменьшения сил и моментов взаимодействия объекта, зажатого в ЗУ, с зажимными приспособлениями станков (например, направляющими или стенками гнезд тары), возникают при существенных линейных и (или) угловых рассогласованиях ЗУ относительно требуемого положения. Повышение упругой податливости механизма за счет упругого крепления ЗУ к руке, естественно, приведет к снижению сил и моментов при заданных рассогласованиях. При аварийных ситуациях с ударами упругое соединение ЗУ с рукой играет роль амортизатора, который может предотвращать поломки. При использовании ПР для операций сборки пар с малыми гарантированными зазорами правильный выбор характеристик упругого соединения ЗУ с рукой исключает застревания и заедания.

Нежесткое закрепление чаще всего требуется при установке шлифовальных и сборочных головок, измерительных инструментов, захватных устройств для выполнения сборочных операций и обслуживания обрабатывающего оборудования.

Таким образом, можно сформулировать одно из важных требований к взаимодействию ЗУ (инструмента), предмета производства (ПП) и оснастки – *необходимость компенсации погрешностей их взаимного расположения*, в случае наличия которых возникают нежелательные, а иногда и опасные нагрузки, воспринимаемые элементами робота, деталью и оснасткой. Уменьшить эти нагрузки и компенсировать погрешность положения руки робота наиболее просто введением в конструкцию манипулятора переходного *механизма корректировки погрешностей взаимного положения* ЗУ и объекта манипулирования. Механизм корректировки обычно располагают между конечным звеном манипулятора и ЗУ или инструментом. Его конструкция состоит из упругих элементов и (или) силовых датчиков, реагирующих на относительное смещение ЗУ и ПП и формирующих сигналы на работу дополнительных приводов ПР.

Взаимное положение ЗУ и объектов манипулирования. Корректируют его за счет упругого соединения ЗУ с рукой манипулятора, которое можно осуществить пассивными и активными способами.

При ***пассивном способе*** используют упругие элементы – пружины. На рис. 1 показаны схемы крепления захватного устройства при помощи пружин с предварительным натягом. До тех пор, пока сила предварительного натяга не преодолена, упругий элемент работает как же-

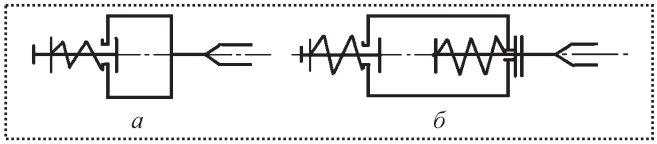


Рис. 1. Схемы упругого крепления захватных устройств: *а* – с одной пружиной; *б* – с двумя пружинами

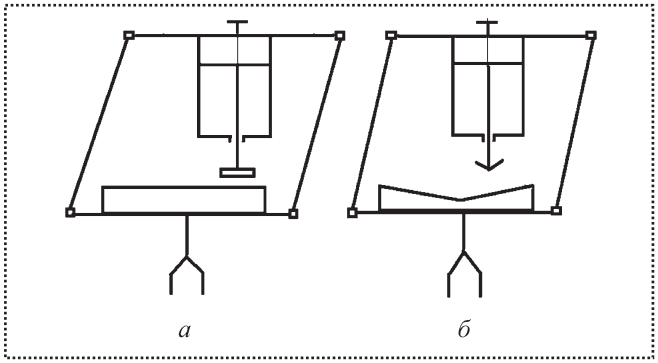


Рис. 2. Схемы активного соединения захватных устройств с рукой манипулятора:
а – закрепление (фиксация) захватного устройства в любом положении; *б* – приведение в определенное положение с последующим закреплением

сткий, при преодолении первоначального натяга – как упругий.

При ***активном способе*** в дополнение к пружинам (или без них) используют силовые и силомоментные датчики и дополнительные приводы. Выходные звенья приводов активных устройств могут выполнять функции закрепления (фиксации) захватного устройства в любом положении (рис. 2, *а*) или приведения в определенное положение с последующим закреплением (рис. 2, *б*).

Особое значение корректировка взаимного положения ЗУ и ПП приобретает при автоматизации сборочных операций.

Автоматизация сборочных операций, помимо погрешностей взаимного расположения ЗУ, ПП и оснастки, может затрудняться наличием малых зазоров между сопрягаемыми деталями, когда требуется проводить особо точные движения. Погрешности возникают по разным причинам. Основные из них:

• случайные ошибки в определении точных размеров собираемых деталей (наличие "допусков" на размеры, несущественные для вида и свойств конечной конструкции);

• случайные ошибки в определении начальных положений собираемых деталей (погрешности исполнительного устройства, удерживающего первичный объект) и манипулятора, подающего вторичные объекты к месту сборки;

• погрешности в позиционировании робота (систематические ошибки, недостаточная разрешающая способность, заедание под действием внешних возмущений, вибрации и т.д.).

Используемые при пассивном способе кинематические элементы и приспособления устанавливаются обычно непосредственно на сборочном захватном устройстве или инструменте. Эти элементы обеспечивают "автопоиск" сопрягаемых поверхностей.

Для "автопоиска" на сопрягаемых деталях необходимо иметь соответствующие вспомогательные поверхности: фаски, скосы и т.п.

Активный способ более универсален, однако требует оснащения сборочного оборудования широким набором средств адаптации. Пассивный способ менее универсален, но требует меньших затрат времени на выполнение сборочной операции, а сенсорное оснащение ограничивается устройствами поиска детали и контроля ее наличия на сборочной позиции.

Во время сборки силы реакции, возникающие при контакте первичного (базового) и вторичного (вставляемого) объектов, оказывают влияние на все элементы кинематической цепи манипулятора, расположенные до вторичного объекта. При этом, в зависимости от размещения сенсорных элементов, возможны три следующих типа технических решений.

1. Решение, связанное с определением усилий в соединении "вторичный объект – захватное устройство" ("кисть"). Чувствительные элементы (тактильные датчики, искусственная кожа и т.д.) размещаются на "пальцах" или на "ладони". Этот способ редко применяют в производственных условиях, так как необходимо уметь определять усилия, возникающие при взаимодействии двух собираемых объектов, и корректировать перемещения руки робота по результатам измерения усилий в соединении "вторичный объект – захватное устройство". Это довольно сложно, поскольку связь между этими двумя величинами зависит от конструкции ЗУ, формы удерживаемого предмета и т.д.

2. Определение сил и моментов сопротивления с помощью приводов манипулятора. В данном способе используются соотношения между определяемыми величинами, пропорциональными силам и моментам в приводах, и некоторыми их рабочими характеристиками, такими, как ток в якоре электродвигателя постоянного тока, разность давления в камерах гидроцилиндра и т.д.

3. Определение усилий в соединении "кисть – манипулятор" ("запястье"). Такое промежуточное решение нашло наибольшее распространение. Чувствительные датчики размещаются непосредственно на элементах, соединяющих ЗУ со звеньями манипулятора. Можно сказать, что исполнительный орган образован из двух различных (часто съемных) модулей с разграниченными функциями захвата и самокорректировки положения.

Даже рассмотрены несколько устройств, относящихся к решениям 3-го типа. Эти устройства являются промежуточными узлами между конечным звеном руки манипулятора и его рабочим органом (инструментом или захватным устройством).

Принцип действия устройств пассивной корректировки положения за счет упругих связей заключается в том, что ЗУ соединяется со звеном кинематической цепи манипулятора с помощью системы стержней с шарнирами. При этом можно проводить перемещение захвата для изменения положения центра тяжести и переориентацию удерживаемой детали (например, штифта). В этом случае во избежание заклинивания штифт нужно не "вталкивать" в отверстие, а вводить (т.е. постоянно корректировать его направление).

Геометрически такое устройство должно обеспечить компенсацию:

• отклонений от коаксиальности отверстия и штифта за счет поступательного движения штифта (две поступательные степени подвижности в плоскости, перпендикулярной оси);

• угловых отклонений за счет поворота штифта до совпадения обеих осей (две вращательные степени подвижности вокруг взаимно ортогональных осей, перпендикулярных оси штифта).

Динамические показатели системы обусловливают, что ее упругость не может быть произвольной, так как:

• устройства с повышенной жесткостью могут проводить корректирующие движения лишь при больших контактных усилиях;

• устройства с малой жесткостью чрезвычайно чувствительны к случайным возмущениям (силам инерции, вибрациям). В результате перемещение штифта может выйти из-под контроля еще до начала монтажа. Более того, для различных направлений ввода оптимальные коэффициенты жесткости неодинаковы и могут варьироваться в зависимости от вида осуществляемого соединения (монтаж с зазором, монтаж с натягом) и свойств соединяемых объектов (размеров, масс, упругости, состояния поверхности и т.д.).

Устройство податливости с удаленным центром корректировки (УПУЦ или Remote Compliance Center – RCC) представляет собой типовую конструкцию пассивного устройства, сопряженного с ЗУ и предназначенного для упрощения сборки. Принцип действия этого устройства, запатентованного в США в 1979 г. Дж.Л. Невинсом и Д.Е. Уитни, основан на геометрических свойствах шарнирного четырехугольника, обобщенных на случай трехмерного пространства (рис. 3):

• конструкция из трех параллельных стержней позволяет осуществлять поступательное перемещение (пространственная аналогия шарнирного параллелограмма);

• конструкция из трех стержней с пересекающимися осями позволяет получить подобие сферического шарнира, обеспечивающего повороты с небольшой амплитудой вокруг точки пересечения осей стержней, которая в данном устройстве называется центром корректировки и расположена в конце стержня.

Подобное устройство позволяет разграничить поступательное и вращательное перемещения стержня, которые вызваны усилиями, приложенными в центре корректировки *C*.

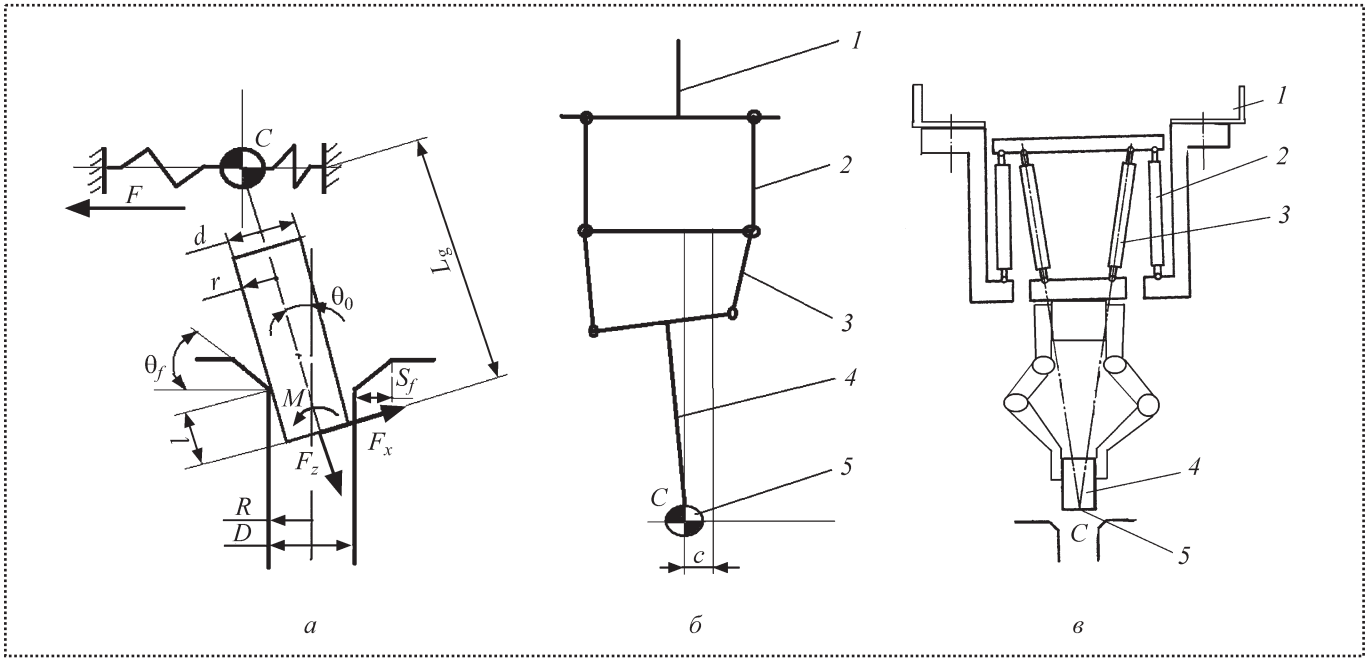


Рис. 3. Устройство податливости с удаленным центром корректировки (УПУЦ):
а – штифт, подвешенный на УПУЦ; *б* – схема работы УПУЦ; *в* – пример конструкции УПУЦ, в котором стержни, составляющие его структуру, подвижно закреплены на основаниях с помощью шаровых цапф (точка *C* является удаленным центром корректировки положения); *1* – рука манипулятора; *2* – стержни линейной части УПУЦ; *3* – стержни вращательной части УПУЦ; *4* – деталь; *5* – удаленный центр

Очевидно, что при сборке эти усилия совпадают с силами и моментами реакции, возникающими при контакте штифт – отверстие. В данном случае центровка обеспечивается за счет скольжения фаски стержня по фаске зенковки отверстия.

Двухмерная схема УПУЦ, в которой предусмотрена только податливость в направлении бокового смещения, представлена на рис. 3, *а*. Штифт диаметром $d = 2r$ закреплен в УПУЦ на расстоянии L_g от своего торца. Он вставляется в отверстие диаметром $D = 2R$ с перекосом под углом θ_0 так, что при продвижении в отверстие на глубину l возникают силы сопротивления F_x и F_z и момент M. Отверстие имеет зенковку с параметрами θ_f и s_f. Штифт смещен влево от оси отверстия и при вхождении в зенковку отверстия наклоняется, деформируя пружины УПУЦ с силой F. Связь силы F с силами, действующими на торец штифта при его вставлении в отверстие, выразится в виде следующих зависимостей:

$$F_x = -F;$$

$$M = L_g F = -L_g F_x.$$

Разделив обе части уравнения на rF_z, получим:

$$\frac{M}{rF_z} = -\frac{L_g}{r}\left(\frac{F_x}{F_z}\right),$$

из чего следует, что M, F_x и F_z будут лежать на линии, проведенной под наклоном – L_g/r и проходящей через начало координат. Эта линия пересекает параллелограмм при

$$\frac{F_x}{F_z} = \frac{w}{L_g / r - l(1+w)}$$

или, если пересекаются его вертикальные стороны, при

$$\frac{F_x}{F_z} = \pm\frac{1}{f},$$

где $w = l/(2rf)$, f – коэффициент трения.

На рис. 3, *б* разъясняется схема работы УПУЦ: одна из частей устройства (вращательная – *3*) удерживает штифт так, что он может совершать угловые перемещения в пространстве вокруг некоторой определенной точки (удаленного центра – *C*), а другая часть (линейная – 2) обеспечивает смещения штифта в боковых направлениях. При выполнении типовой операции часть *3* работает при прохождении штифтом зоны зенковки, а часть *2* – непосредственно при вставлении в отверстие.

На рис. 3, *в* показан вариант конструктивного оформления УПУЦ.

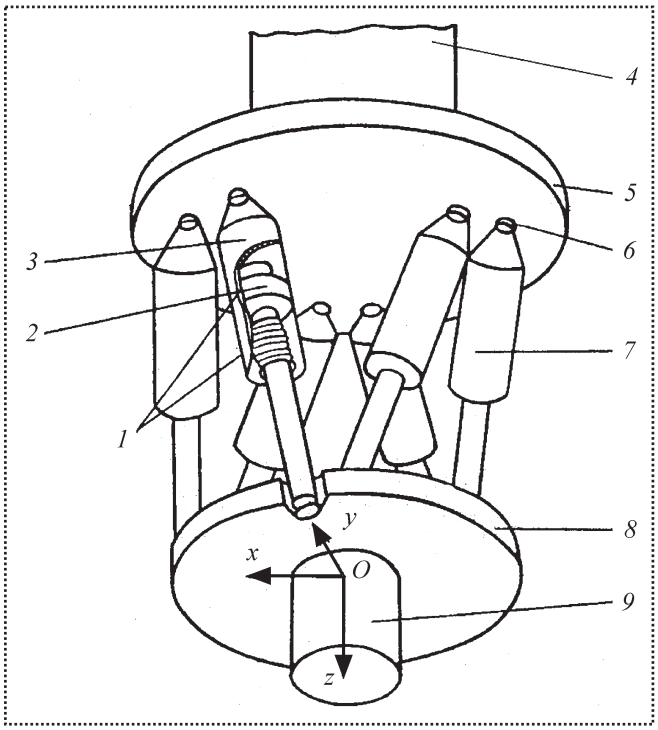


Рис. 4. Устройство податливости с пассивной самокорректировкой положения:
1 – пружины; *2* – поршень; *3* – цилиндр; *4* – соединение с рукой манипулятора; *5* – верхняя плита; *6* – шаровая цапфа; *7* – составной стержень; *8* – нижняя плита; *9* – цилиндрический упор (соединение с ЗУ)

С помощью такого устройства можно очень быстро (за несколько долей секунды) осуществлять вставку штифта в отверстие с малым зазором (сотые доли миллиметра); например, сборка автомобильного генератора с его помощью производится за 2 мин 42 с.

Устройство податливости с пассивной корректировкой положения (Passive Compliance device – PCD), разработанное в Новой Зеландии в Университете Canterbury, по конструкции напоминает устройство с удаленным центром корректировки, однако принципы их работы различаются (рис. 4). Оно представляет собой деформируемую конструкцию из жестких, но с изменяемой длиной составных стержней, которые образуют две группы параллельных соединений, шарнирно закрепленных на двух пластинах. При поступательном движении удерживаемого предмета соединительные стержни поворачиваются, а при его вращении (с малой амплитудой) они незначительно удлиняются или укорачиваются. Представляют интерес некоторые оригинальные идеи, лежащие в основе создания этого устройства:

• изменение длины соединительных элементов осуществляется с помощью поршней, размещенных на пружинах;

• соединительные элементы крепятся с помощью шаровых цапф.

Самокорректирующееся по положению устройство с изменяемой структурой разработано в Лаборатории автоматики г. Безансона (Франция) и изготовлено фирмой Sormel. Устройство обеспечивает вставку штифта в отверстие втулки или корпусной детали. Корректировка движения ЗУ производится с помощью системы с упругими связями, осуществляющими поворот ЗУ и его поступательное движение, а также датчиков и приводов, работающих по принципу прерывателей релейного типа (рис. 5). Стратегия действий робота вырабатывается на основе анализа последовательности операций при выполнении данной задачи человеком вручную. Особое внимание обращается на предварительный наклон встав-

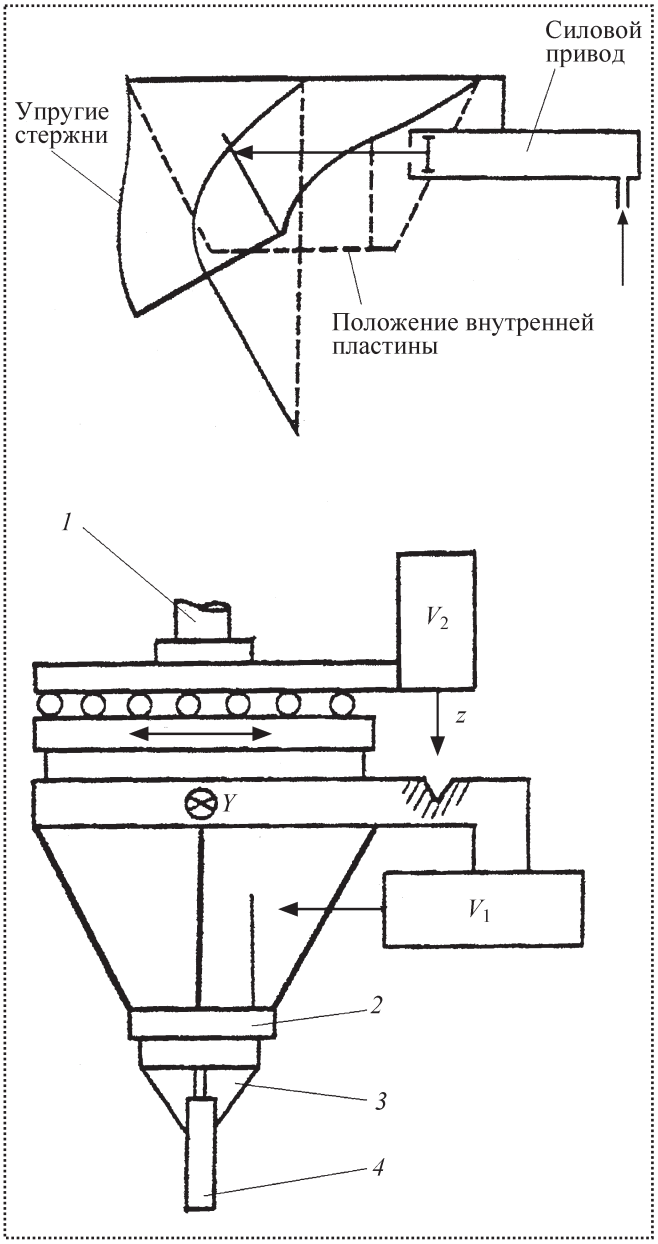


Рис. 5. Принцип действия самокорректирующегося по положению устройства с изменяемой структурой:
1 – место крепления к руке манипулятора; *2* – датчик усилий; *3* – губки ЗУ; *4* – деталь

ляемого штифта относительно оси отверстия. При этом отпадает необходимость в изготовлении фаски, но может быть увеличена погрешность при установлении штифта (в данном способе зона приемлемой погрешности позиционирования фактически равна площади отверстия). Наклон проводится с помощью силового привода V_1, который создаст первоначальную деформацию стержней упругой структуры устройства. При вертикальном сближении обеспечивается неподвижность по направлениям *x* и *y* (гидропривод V_2). О возникновении контакта в паре "наклоненный штифт – отверстие" сигнализирует миниатюрный датчик усилий *2*, помещенный между упругими стержнями и губками ЗУ *3*. ЗУ продолжает вертикально опускать штифт до полной остановки движения (возникновение контакта в трех точках), обнаруживаемой по превышению некоторого порога усилий. На данном этапе штифт перецентровывается по отношению к отверстию за счет малой дополнительной деформации упругой структуры стержней устройства. В результате становится возможным обеспечить перемещения по направлениям *x* и *y*. За счет энергии упругой деформации штифт выпрямляется, что обеспечивает правильное смещение всей системы "штифт – структура устройства корректировки – ЗУ". После этого временно прерванное опускание ЗУ возобновляется и производится до окончания вставки. В течение этого времени упругая система компенсирует случайные угловые отклонения. На различных этапах выполнения сборки датчик вертикальных усилий также выполняет функцию предохранительного устройства системы, которое сигнализирует об отклонениях усилий от нормы и таким образом позволяет при возможных нарушениях в работе избежать повреждений деталей *4* и органов робота.

На рис. 6 представлен вариант схемы ЗУ, работающего по описанному принципу. Корпус *4* устройства самокорректировки через специальный фланец *12* устанавливается в месте крепления *1* к руке манипулятора. К соединенной с корпусом *4* верхней плите *5* через упругие *6* и составные *11* стержни подсоединена нижняя плита *10*, где закреплен корпус захватного устройства *7*, в котором с помощью цангового зажима *9* удерживается вставляемая деталь – штифт *8*. Энергоподводы *2* и *3* обеспечивают подачу сжатого воздуха к пневмоцилиндрам силовых приводов, предназначенных

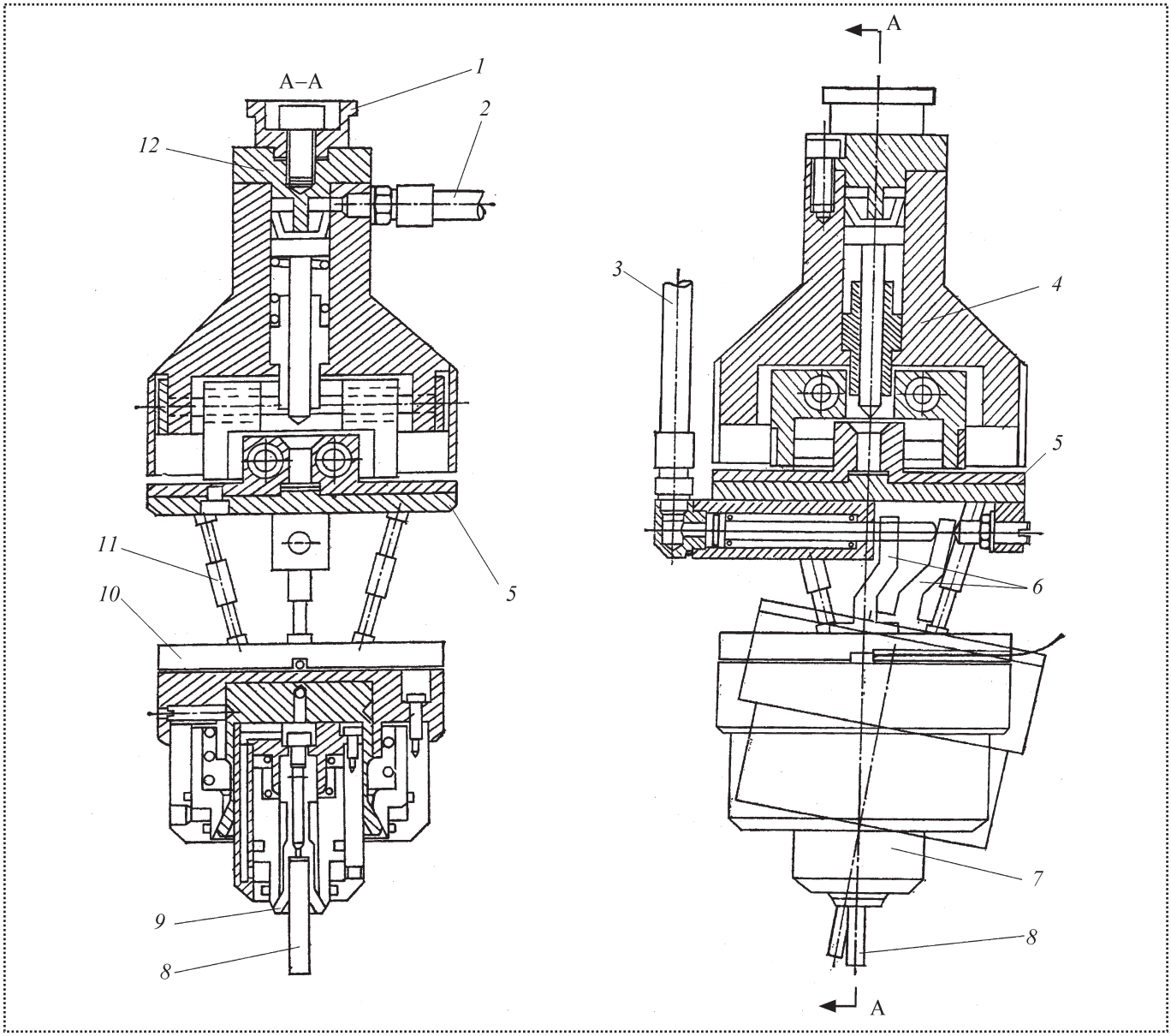


Рис. 6. Пример конструкции самокорректирующегося по положению устройства с изменяемой структурой:
1 – место крепления к руке манипулятора; *2* – энергоподвод силового привода для корректировки положения; *3* – энергоподвод привода для деформации упругих стержней; *4* – корпус устройства самокорректировки; *5* – верхняя плита; *6* – упругие стержни; *7* – захватное устройство; *8* – штифт (вставляемая деталь); *9* – цанговый зажим; *10* – нижняя плита; *11* – составные стержни; *12* – фланец

для корректировки положения устройства и деформации упругих стержней *6*.

Подобное ЗУ обеспечивает вставку стального штифта диаметром 2 мм в расточное отверстие из того же материала с зазором 0,01 мм, при этом допустимо первоначальное отклонение оси захвата от оси отверстия до 1,2 мм. Такое устройство особенно пригодно для монтажа мелких деталей, так как в данном случае фаска (если она существует) всегда выполнена с низким качеством и имеет малую величину. Диапазон работы – штифты диаметром 0,5...8,0 мм.

В основе **конструкции устройства с активной самокорректировкой положения за счет упругих связей** лежит принцип проведения корректирующих движений в соответствии с точно измеренными усилиями в контакте пары

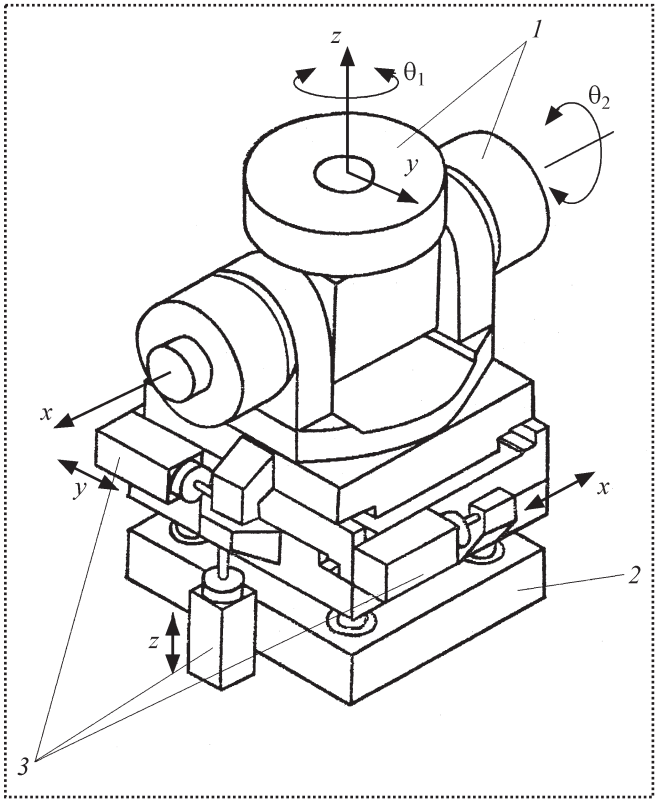


Рис. 7. Механизм соединения с рукой манипулятора активного самокорректирующегося захватного устройства:
1 – модули вращения; *2* – плита; *3* – модули сдвига по координатам *x*, *y*, *z*

"штифт – отверстие". Поэтому эти устройства должны оснащаться датчиками усилий на исполнительном органе, системой обработки информации, определяющей по измеряемым усилиям величину необходимых перемещений, и специальными приводами для проведения корректирующих движений.

Подобные устройства более громоздки и работают медленнее, чем системы с пассивной корректировкой, однако их возможности более универсальны.

Активное самокорректирующееся устройство, показанное на рис. 7, создано в Лувенском католическом университете (Бельгия). Корректирующее устройство представляет собой плиту *2*, к которой крепится ЗУ. На плите установлены два программируемых модуля вращения *1* и три программируемых модуля сдвига *3*, которые обеспечивают корректирующему устройству пять степеней подвижности. Перемещение корректирующего устройства по каждой координате производится по сигналам датчиков контроля внутренних усилий. Таким образом, искусственно достигается регулируемая корректировка движений в течение всего времени (даже во время ввода), что обусловливает широкие возможности данной системы.

При сборке движение захвата осуществляется с помощью алгоритма, определяющего для каждого момента времени наилучшее перемещение, исключающее заклинивание. При самообучении вставка штифта повторяется несколько раз, при этом в каждом случае определяются силы реакции и другие регулируемые параметры.

Для уменьшения габаритных размеров исполнительных органов робота можно размещать приводы и датчики на сборочном столе [1, 2, 5], точнее на стойке вспомогательного исполнительного органа, удерживающего первичный объект для его сопряжения со вторичным объектом (рис. 8, *а*). Подобная система, разработанная фирмой Hitachi (Япония), представляет собой двухкоординатный стол, вокруг которого расположены два манипулятора *1* и *5*. Она оснащена датчиками сил и имеет шесть степеней подвижности. Функции ее исполнительных органов различны. Основной манипулятор *1* (удерживающий вторичный объект) предназначен для больших перемещений. Корректировку движения объекта с высокой точностью осуществляет вспомогательный манипулятор *5*, имеющий систему звеньев и ориентирующее ЗУ (губки).

Шестикомпонентный силомоментный датчик (рис. 8, *б*) используют при формировании сигналов коррекции положения адаптивного сборочного стола, оснащенного точными приводами. Основу конструкции силомоментного датчика составляют два П-образных упругих элемента, соединенных взаимно перпендикулярно между собой с помощью общего фланца. Нижняя часть устройства, представляющая собой плоскую упругую крестовину, обеспечивает измерение компонент M_x, M_y и M_z. С помощью верхних упругих элементов, параллельных оси датчика, определяют остальные три компоненты F_x, F_y и M_z. Тензорезистивные

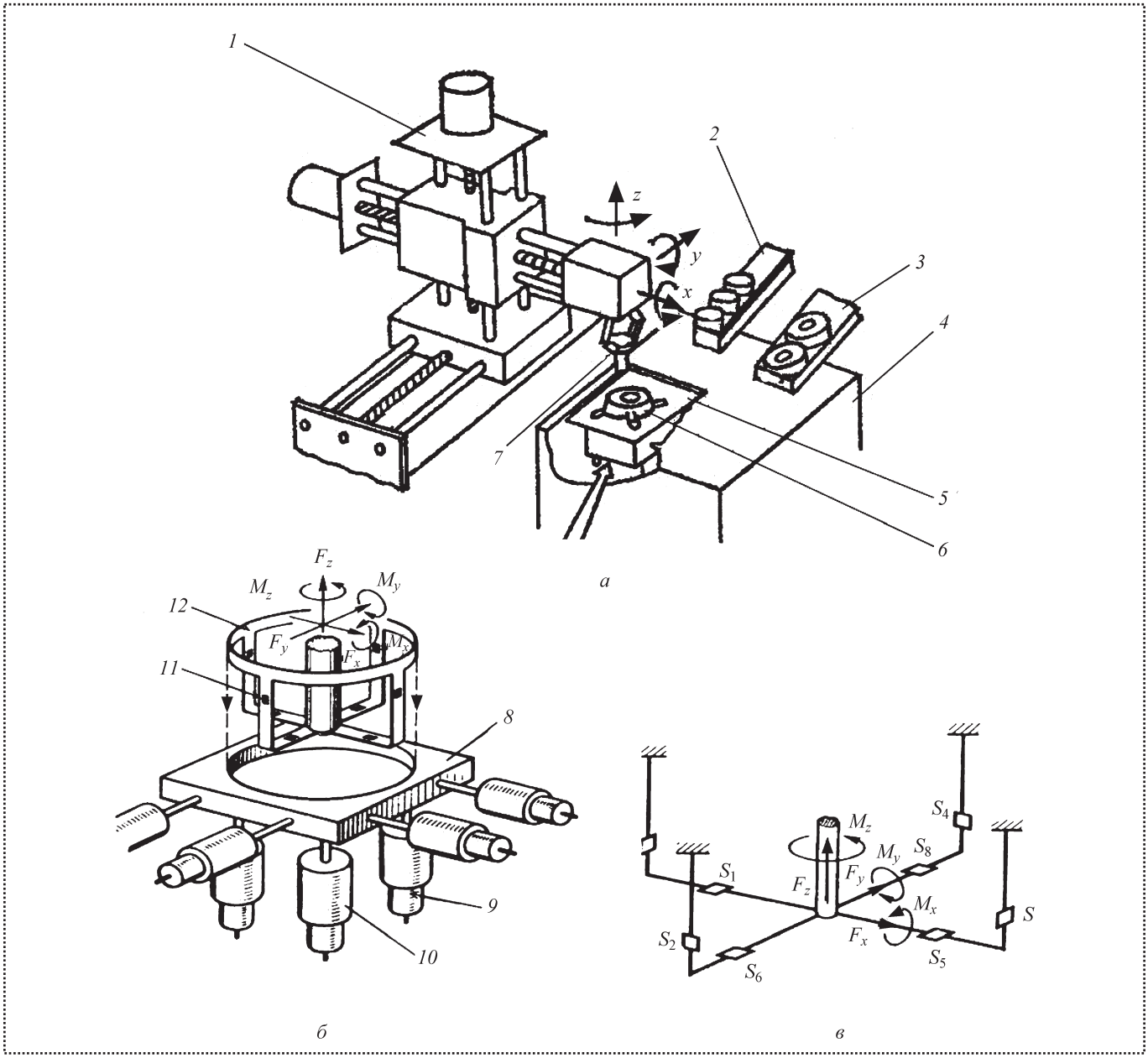


Рис. 8. Сборочный рабочий стол (*а*) с шестью степенями подвижности, оснащенный силомоментным датчиком (*б*), и схема измерения сил (*в*):
1 – основной манипулятор; *2* – лоток-накопитель, подающий вторичные детали *7*; *3* – лоток-накопитель, подающий первичные детали *6*; *5* – вспомогательный манипулятор, ориентирующий первичную деталь по показателям тензорезисторов *11* (датчиков линейных деформаций); *8* – основание подвижного ориентирующего звена вспомогательного манипулятора; *9* – дифференциальные поворотные трансформаторы; *10* – двигатели линейных силовых приводов; *12* – датчик

мостовые схемы, размещенные на плоской крестовине, регистрируют деформацию изгиба, в то время как тензорезисторы *11* вертикально расположенных элементов фиксируют возникающие в них сдвиговые деформации.

Основные соотношения, позволяющие выделить измеряемые проекции главного вектора сил и моментов (рис. 8, *в*), для этого датчики могут быть представлены в следующем виде:

$$F_x = S_2 - S_4; \qquad M_x = S_6 - S_8;$$
$$F_y = S_1 - S_3; \qquad M_y = S_5 - S_7;$$
$$F_z = S_5 + S_6 + S_7 + S_8; \qquad M_z = S_1 + S_2 + S_3 + S_4.$$

На основании известных соотношений, описывающих деформации сдвига и изгиба в балке прямоугольного сечения

$$|S|_{\text{изг}} = 6l\,F/bh^2\text{E};\ |S|_{\text{сдв}} = 3F(1+\text{v})/2\text{E}\,bh,$$

где F – главный вектор сил; l – расстояние от точки приложения силы до точки установки тензорезисторов; b – ширина упругого элемента; h – его толщина; E – модуль упругости; v – коэффициент Пуассона, равный для большинства упругих элементов 0,3, можно заключить, что конструктивным параметром, влияющим на деформацию сдвига упругого элемента, является только площадь его поперечного сечения $|S|_{\text{изг}}$, в то время как на деформацию изгиба упругого элемента кроме площади поперечного сечения оказывают влияние также его длина и высота. Последнее обстоятельство позволяет, используя упругие элементы деформации изгиба, более гибко подходить к проектированию силомоментных датчиков, которые должны обеспечивать измерение различных номинальных сил или моментов по отдельным координатам.

Библиографический список

1. **Козырев Ю.Г.** Промышленные роботы: справочник. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1988. 392 с.

2. **Козырев Ю.Г.** Программно-управляемые системы автоматизированной сборки. М.: Издательский центр "Академия", 2008. 302 с.

3. **Козырев Ю.Г.** Применение промышленных роботов: учебн. пособие. М.: КноРус, 2011. 488 с.

4. **Козырев Ю.Г.** Захватные устройства и инструменты промышленных роботов: учебн. пособие. М.: КноРус, 2011. 312 с.

5. **Конструирование** роботов: пер. с франц. / П. Андре, Ж-М. Кофман, Ф. Лот, Ж-П. Тайар. М.: Мир, 1986. 360 с.

6. **Справочник** по промышленной робототехнике. В 2 т.: пер. с англ. / под ред. Ш. Ноф. М.: Машиностроение. 1989.

УДК 519.85

Ю.Н. Матросова, *канд. техн. наук,* **А.А. Уколов,** *инженер*
(Ковровская государственная технологическая академия имени В.А. Дегтярёва)
E-mail: mjn78@mail.ru

Программное обеспечение для автоматизированного проектирования протяжек

Разработано программное обеспечение для автоматизированного расчета конструктивных параметров и построения моделей и чертежей протяжки.

Developed software for automated calculation of design parameters and construction models and drawings of broach.

Ключевые слова: заготовка, протяжка, круглое отверстие.
Keywords: half-finished product, broach, round hole.

В современном машиностроении актуальна задача внедрения автоматизированного проектирования технологической оснастки и инструмента, позволяющего выполнять расчет их конструктивных и геометрических параметров, формировать 3D-модели и чертежи.

Одним из наиболее сложных по конструкции инструментом является протяжка для обработки цилиндрических отверстий.

Для автоматизации ее проектирования разработана структурная схема (рис. 1), основными этапами которой являются выбор геометрических параметров инструмента на основе исходных данных об обрабатываемом материале и параметрах отверстия, расчет конструктивных параметров протяжки в нескольких вариантах, выбор оптимального варианта, коррекционный расчет [1, 2], формирование отчета в MS Excel, модели и чертежа в САПР "Компас-3D".

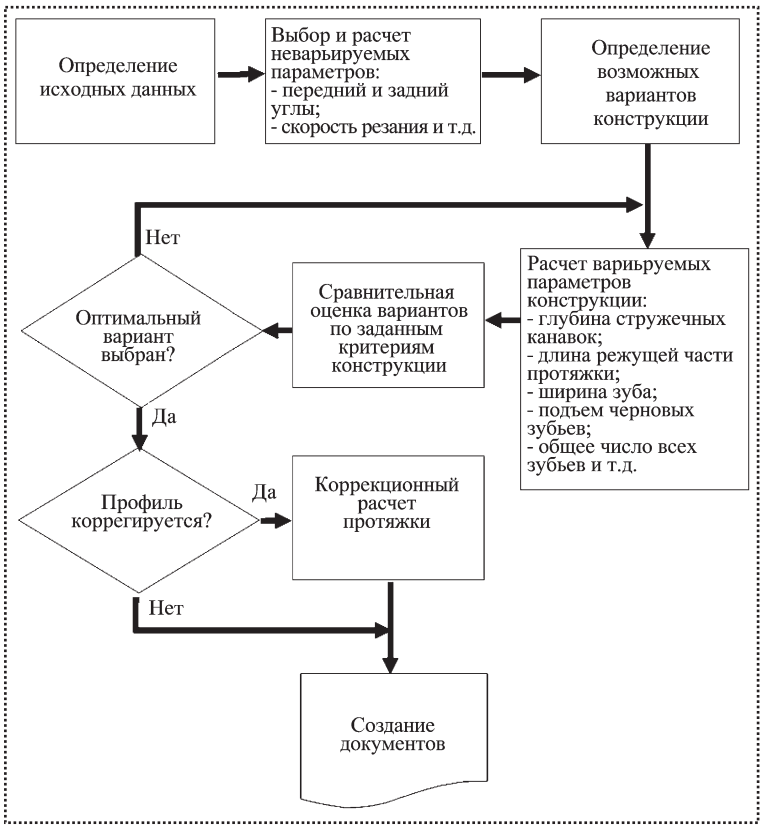


Рис. 1. Структурная схема процесса проектирования круглой внутренней протяжки

На основе структурной схемы были разработаны алгоритм и программное обеспечение для автоматизированного проектирования протяжки.

Программное обеспечение разработано в среде Borland Delphi с использованием инструментальных средств разработки приложений (библиотек конструктивов, прикладных САПР) на базе системы "Компас-3D". Для расчета были использованы стандартные библиотеки среды Delphi, включающие в себя математические, визуальные средства, стандартные компоненты.

После ввода исходных данных (марка материала и его твердость, параметр шероховатости поверхности отверстия и квалитет обработки) программа назначает группу обрабатываемости материала, предоставляет возможность выбора из базы данных материала режущей части протяжки, материала хвостовика и его исполнения. Исходя из группы обрабатываемости и вида зубьев протяжки, программа выбирает значения переднего и заднего углов черновых, чистовых, переходных и калибрующих зубьев. Пользователь на свое усмотрение имеет возможность изменить передний угол при необходимости или вернуть изменение.

В зависимости от введенных на начальном этапе типа производства, групп качества и обрабатываемости программа назначает скорость резания. Возможна проверка по данным станка на случай, если он не предусматривает требуемую скорость. В этом случае расчетная скорость резания не совпадает с табличной.

Затем назначается наработка черновой и чистовой частей и рассчитывается средняя наработка между отказами с учетом поправочных коэффициентов для различных условий работы в зависимости от вида протягиваемых поверхностей, схемы резания, вида заготовки и подготовки поверхности, доводки зубьев протяжки, используемой смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) – рис. 2, рассчитываются глубина стру-

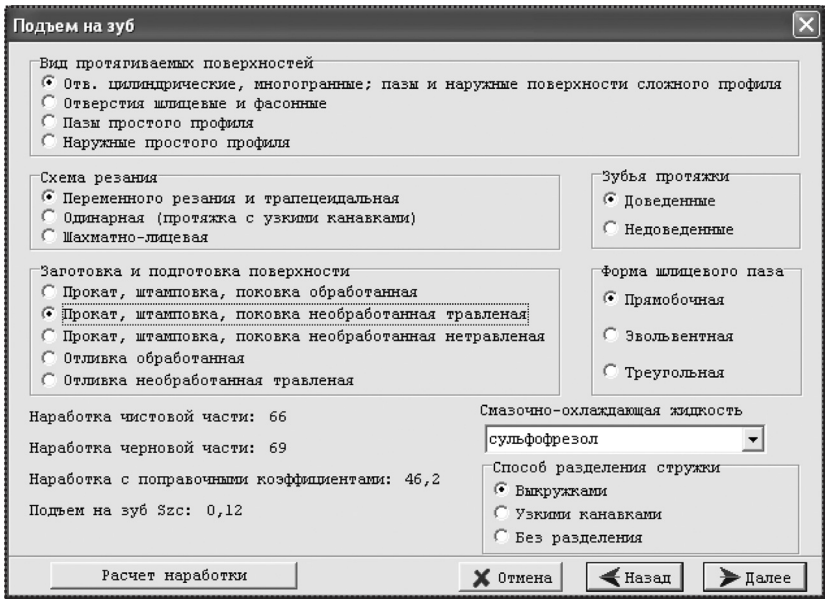


Рис. 2. Назначение параметров протяжки

Варианты

	Вариант 1	Вариант 2
Число одновр. участв. в работе зубьев, Zp	7	6
Шаг черновых зубьев, to, мм	7	8
Глубина стружечной канавки, ho, мм	3	3
Ширина зуба, bo, мм	2,3	3,3
Подъем на зуб черновых зубьев, Szo, мм	0,052	0,052
Число зубьев в группе, Zc	3	2
Сила протягивания, P, Н	20187,87	25955,84
Полный припуск, A, мм	0,918	0,918
Припуск на переходные зубья, Ап, мм	0,04	0,04
Припуск на чистовые зубья, Ач, мм	0,14	0,14
Припуск на черновые зубья, Ао, мм	0,738	0,738
Остаточный припуск, Аост, мм	0,01	0,01
Число групп черновых зубьев, io	7	7
Число черновых зубьев, Zo	21	14
Число переходных зубьев, Zп	2	2
Число чистовых зубьев, Zч	14	14
Число калибровочных зубьев, Zк	7	7
Общее число зубьев, Z	44	37
Подъем на зуб, Szn на 1 гр	0,02	0,02
Подъем на зуб, Szn на 2 гр	-	-
Szч, мм (число групп)	0.02 (2)	0.02 (2)
Szч, мм (число групп)	0.01 (2)	0.01 (2)
Szч, мм (число групп)	0.005 (2)	0.005 (2)
Шаги зубьев, tч, мм	5,5;6;6,5	6;6,5;7
Шаги зубьев, tк (t3,t2), мм	5,5;6;6,5	6;6,5;7
Глубина стружечной канавки, hч, мм	1,8	2
Ширина зуба, bч, мм	2,7	3
Длина черновой части протяжки, lo, мм	147	112

Для дальнейшего расчета выбираем вариант: 2

Выбрать свой вариант: 2

Отмена | Назад | Далее

Рис. 3. Результаты расчета протяжки

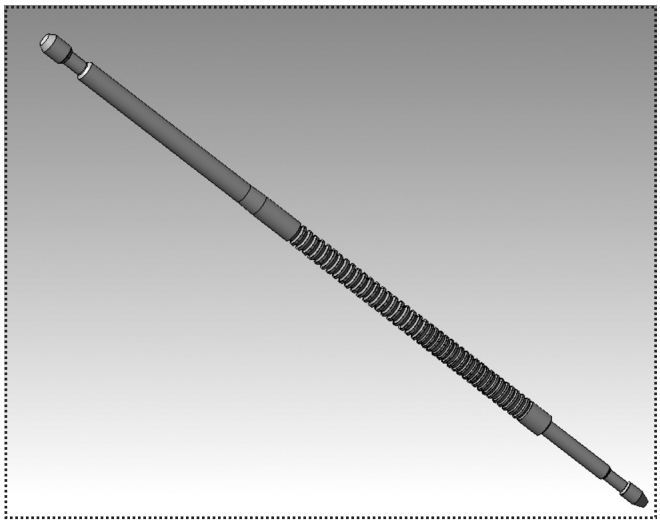


Рис. 4. 3D-модель протяжки

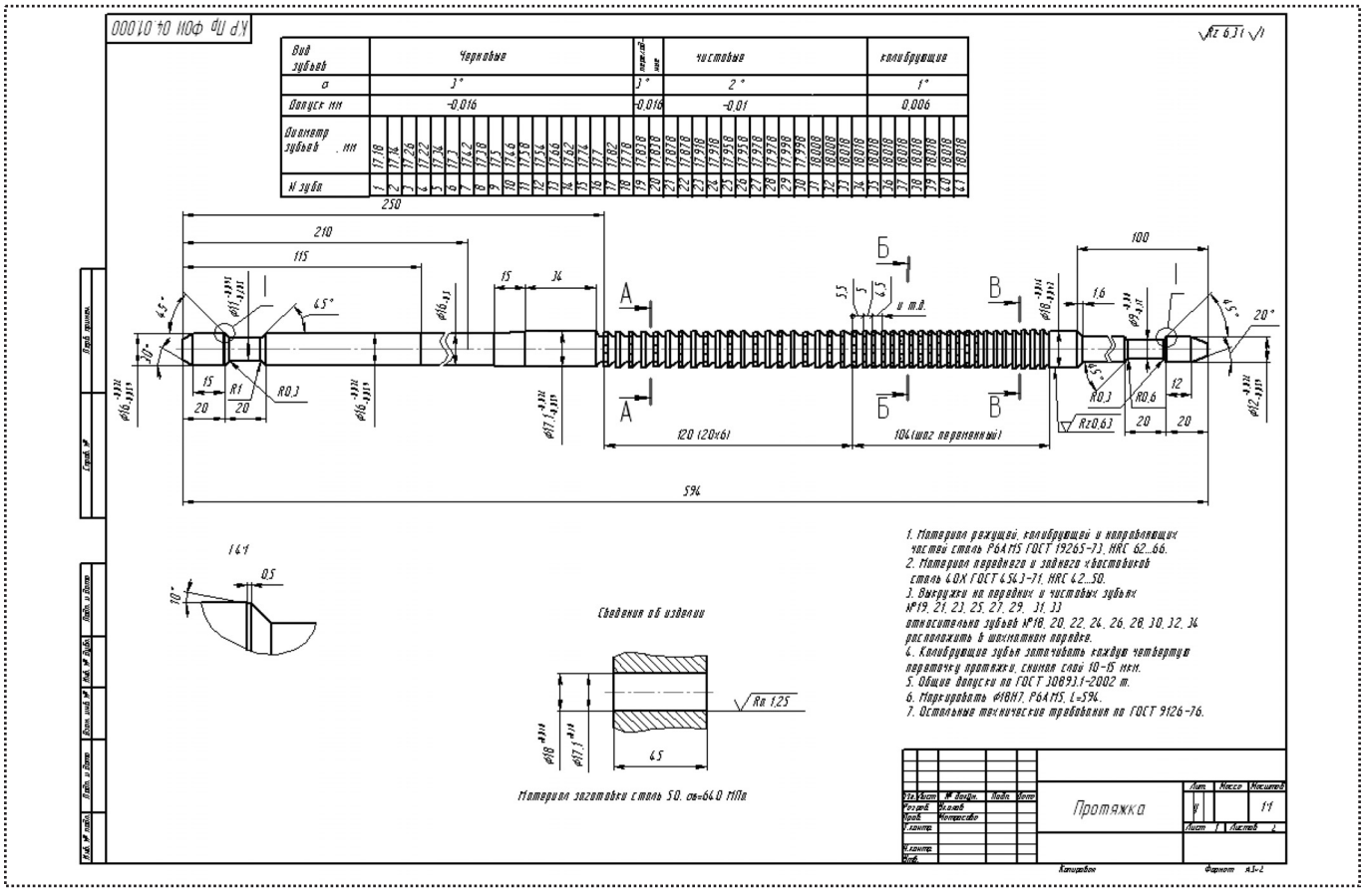


Рис. 5. Чертеж протяжки

жечной канавки, шаг черновых зубьев, сила резания, количество черновых зубьев в группе и число групп, сила протягивания, припуски на протягивание, число черновых, чистовых, переходных, калибрующих зубьев, длина режущей части и т.д. Расчет производится в 12 вариантах, результаты сводятся в таблицу (рис. 3).

Программа выбирает оптимальный вариант исходя из критериев оптимальности: минимальные число зубьев, длина режущей части, подъем черновых зубьев; максимальная ширина зуба. Выбранный вариант программа предлагает использовать для дальнейшего расчета, однако пользователь имеет возможность выбрать вариант, отличный от предлагаемого программой.

После выбора варианта программа рассчитывает диаметры зубьев протяжки, параметры выкружек, конструктивных параметров инструмента. Затем все расчетные данные о протяжке выводятся в MS Excel и автоматически строятся ее 3D-модель (рис. 4) и чертеж (рис. 5).

Таким образом, разработанное программное обеспечение автоматизированного проектирования протяжки для обработки круглых отверстий позволяет значительно сократить время проектирования инструмента и повысить уровень автоматизации процесса формирования конструкторско-технологической документации на изделие.

Библиографический список

1. **Романов В.Ф.** Расчеты зуборезных инструментов. М.: Машиностроение, 1969. 251 с.

2. **Протяжки** для обработки отверстий. / Д.К. Маргулис, М.М. Тверской, В.Н. Ашихмин и др. М.: Машиностроение, 1986. 232 с.

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

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

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

107076, г. Москва, Стромынский пер., д. 4,
тел.: (499) 269-6600, 269-5298,
факс: (499) 269-4897,
e-mail: realiz@mashin.ru. www.mashin.ru

УДК 621.791.048

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

Процессы формирования паяного шва

Рассмотрены процесс затекания расплава припоя в паяльный зазор под действием межатомных сил взаимодействия и силы, удерживающие расплав припоя в паяльном зазоре. Предложены способы удержания расплава в высоких зазорах.

Considered the process of flowing the melt solder in to the soldering gap under the influence of interatomic interaction forces and the forces that hold the melt solder in the solder gap. The methods of holding the melt at higher dearances.

Ключевые слова: пайка, расплав припоя, затекание расплава припоя в зазор, силы межатомных связей, удержание расплава в зазоре.

Keywords: the soldering, solder melt, the numb a melt of a solder into the gap, the strength of atomic bonds, holding the melt in the gap.

Свойства паяных соединений в решающей степени зависят от качества заполнения припоем паяльного зазора. При капиллярной пайке такое заполнение происходит самопроизвольно, под действием сил межатомного взаимодействия жидкого и твердого металлов, при некапиллярной пайке – под действием сил тяжести.

Заполнение капиллярного зазора расплавом припоя и растекание его по плоской металлической поверхности происходит под действием одних и тех же межатомных сил, возникающих при межатомном взаимодействии жидкого и твердого металлов на границе растекания. Межатомные силы связи и поверхностная энергия у твердого металла значительно выше, чем у жидкого, в результате чего происходит непрерывный захват атомами твердого металла прилегающих атомов жидкого металла и перенос их на свободную поверхность, что и приводит к растеканию расплава по плоской поверхности и к увеличению его свободной поверхности.

При затекании расплава припоя в вертикальный зазор эти же силы перемещают более прочный поверхностный слой расплава, за которым перемещается его остальная масса. Под действием силы тяжести поднимаемого расплава происходит прогиб несущего поверхностного слоя, принимающего форму мениска (рис. 1). Высота подъема расплава в капиллярном зазоре определяется прочностью этого слоя, т.е. силой его поверхностного натяжения, с увеличением которой возрастает высота подъема расплава.

С увеличением диаметра зазора возрастает сила тяжести, действующая на несущий поверхностный слой, – высота подъема расплава в зазоре снижается.

Из приведенного следует, что механизм подъема расплава в вертикальном капиллярном зазоре подобен механизму заполнения

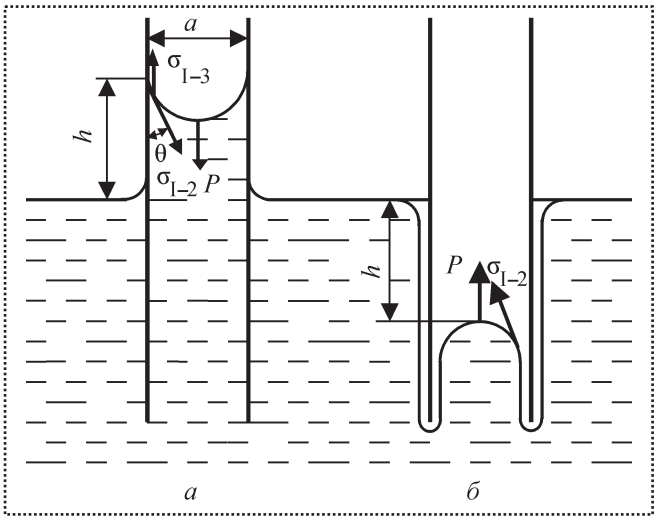


Рис. 1. Положение уровня жидкости в капиллярном зазоре между пластинами, погруженными в смачивающую (*а*) и не смачивающую (*б*) пластины жидкость

жидкостью вертикальной трубки любого диаметра с использованием поршня. В этом случае жесткий поршень выполняет роль поверхностного слоя расплава. Сила, перемещающая поршень в трубке, действует подобно силе межатомного взаимодействия, поднимающей поверхностный слой расплава в капиллярном зазоре.

Если монолитный поршень заменить на кольцевой с тонкой эластичной пленкой, перекрывающей отверстие, то по мере подъема поршня в прозрачной трубке можно наблюдать, как под действием силы тяжести поднимаемой жидкости возрастает прогиб перекрывающей поршень пленки.

Произвольное затекание жидкости в узкие зазоры и каналы является природным явлением и играет решающую роль в существовании окружающей природы, в жизнеобеспечении животного и растительного мира, в котором живые организмы и растения представляют, по существу, системы капиллярных сосудов.

Знание закономерностей капиллярных процессов позволяет успешно разрабатывать и совершенствовать технологию пайки различных конструкций и материалов.

Закономерности процесса самопроизвольного заполнения узких капиллярных зазоров при капиллярной пайке можно рассматривать с использованием двух теорий – статической и динамической. Статическая теория рассматривает форму жидкости, находящейся на поверхности или в зазоре. Динамическая теория рассматривает кинетику течения жидкости. В первой теории оцениваются силы, под действием которых происходит течение припоя в процессе пайки. По второй теории устанавливаются причины, от которых зависит заполнение зазоров припоем.

Согласно статической теории высота подъема жидкости в капилляре прямо пропорциональна ее поверхностному напряжению и смачивающей способности, т.е. силам межатомного взаимодействия жидкого и твердого металлов и обратно пропорциональна диаметру капилляра и плотности (массе) жидкости. При капиллярном течении жидкости в зазоре между вертикальными поверхностями высота подъема вдвое меньше, чем при подъеме в капилляре и выражается формулой [8]

$$h = \frac{2\sigma_{1-2}\cos\theta}{a\rho g},$$

где σ_{1-2} – поверхностное натяжение жидкости на границе с газовой средой; θ – краевой угол смачивания (см. рис. 1, *а*); a – величина зазора, ρ – плотность жидкости; g – ускорение силы тяжести.

Зная величину поверхностного натяжения расплава [5], можно определить возможную высоту подъема жидкости или при заданной высоте подъема определить допустимую величину зазора.

При движении расплава в капиллярном вертикальном зазоре возрастает сила тяжести P, препятствующая подъему расплава и при достижении равновесия между этой силой и силой поверхностного натяжения расплава его подъем в зазоре прекратится, что выражается формулой

$$P = \sigma_{1-2} = a\rho gh.$$

При оценке капиллярных свойств припоев необходимо иметь в виду, что прямой зависимости между высотой подъема припоя в зазоре и краевым углом смачивания нет. Меньшему углу смачивания не всегда соответствует большая высота подъема припоя в зазоре. Припои, имеющие большой краевой угол смачивания, обычно лучше текут при увеличенных зазорах. Течение припоев улучшается в водородной среде по сравнению с течением в вакууме.

Течение расплава припоя в капиллярных зазорах в реальных условиях значительно отличается от течения идеальных жидкостей. Это отличие состоит в том, что припои при пайке вступают в сложные атомные взаимодействия с паяемым материалом, флюсом и газовыми средами, с массообменом между ними. В результате расплав припоя изменяет свой состав, физи-

ческие и технологические свойства. В случае термического или концентрационного переохлаждения в расплаве припоя происходит образование твердых кристаллов, нарушающих общую закономерность течения припоя в зазоре или происходит изотермическая кристаллизация расплава. Поэтому высоту капиллярных зазоров назначают обычно не выше 20 мм.

С уменьшением зазора интенсивность растворно-диффузионных процессов возрастает. Поэтому в реальных условиях пайки с уменьшением капиллярного зазора глубина затекания в него расплава припоя может не возрастать и даже снижаться. Кроме того, с уменьшением зазора повышается неравномерность затекания расплава, возрастает вероятность образования в шве замкнутых полостей и раковин. Сложность подготовки к точному сопряжению соединяемых деталей, ухудшение условий качественного заполнения слишком узких зазоров (менее 0,1 мм) делает их применение в большинстве случаев нерациональным. Такие зазоры назначают при пайке небольших изделий с применением жидкотекучих припоев, слабо взаимодействующих с паяемым металлом. Так, при пайке медью стальных изделий подготовку соединяемых элементов могут проводить с допускаемыми погрешностями по прессовой посадке.

Припои, используемые при капиллярной пайке, должны иметь минимальный температурный интервал плавления или эвтектический состав. Для изготовления и ремонта мелких изделий машиностроения был разработан шестикомпонентный самофлюсующийся припой эвтектического состава ГФК (авторское свидетельство № 667345) на основе меди, содержащий никель, железо, марганец, кремний и имеющий температуру плавления 935 °С. Припой обладает высокими жидкотекучестью и степенью смачивания, диффузионной подвижностью составляющих элементов. Сборочный зазор при пайке не должен превышать 0,04 мм. Вследствие быстрого протекания в таком зазоре растворно-диффузионного процесса, получаемые при незначительной выдержке при температуре пайки паяные соединения из промышленных сталей обладают механическими и пластическими свойствами паяемых металлов.

Из приведенного следует, что при прочих равных условиях заполнение капиллярного зазора расплавом припоя будет тем больше, чем больше его поверхностное натяжение, чем менее активен растворно-диффузионный процесс и чем меньше величина зазора.

Если жидкость (расплав) не смачивает поверхности, образующие капиллярный зазор, то жидкость в него затекать не будет. При погружении пластин, образующих капиллярный зазор, в несмачивающую их жидкость ее поверхностный слой не будет взаимодействовать с поверхностью пластин, а начнет прогибаться, с образованием у основания зазора выпуклой формы (см. рис. 1, *б*). По мере погружения пластин в жидкость будет снижаться и ее уровень у основания зазора, до момента достижения равновесия между силой тяжести жидкости, вытесненной из зазора ее поверхностным слоем и силой поверхностного натяжения этого слоя. При дальнейшем погружении пластин жидкость начнет заполнять зазор, не смачивая образующие его поверхности. При этом достигнутый уровень жидкости в зазоре будет сохраняться. Глубину h поверхности несмачивающей жидкости в капиллярном зазоре можно рассчитывать по формуле расчета высоты подъема жидкости в капиллярном зазоре.

Поведение несмачивающей жидкости в капиллярном зазоре наглядно подтверждает решающую роль несущего поверхностного слоя и поверхностного натяжения расплава припоя в процессах капиллярной пайки.

Течение расплавленного припоя в зазоре зависит также от состояния паяемой поверхности после механической обработки, состава атмосферы, чистоты подготовки поверхности и т.д. Так как влияние всех этих факторов учесть очень трудно, то на практике высоту поднятия расплава припоя в зазоре для каждых конкретных условий определяют экспериментально, с использованием приспособления [1], изготовленного из паяемого металла [8].

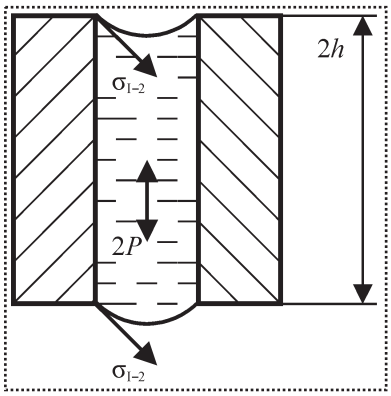


Рис. 2. Схема удержания расплава в капиллярном зазоре

К возрастанию движущих сил процесса затекания припоя в зазор приводит наличие на паяемых поверхностях насечки (риски), образующей капиллярные каналы и обеспечивающей направленное движение расплава припоя при заполнении зазора.

Как правило, при сборке изделий под капиллярную пайку припой размещают над зазором в объеме, достаточном для его полного заполнения. Затекание расплава припоя в зазор осуществляется под действием сил межатомного взаимодействия на границе растекания и сил тяжести затекаемого расплава. При слабой активности растворно-диффузионного процесса глубина затекания расплава припоя в зазор может быть достаточно протяженной. При полном заполнении зазора расплавом припоя он удерживается в нем силами поверхностного натяжения поверхностных слоев расплава в верхней и нижней частях зазора (рис. 2). При этом необходимо принимать меры по предупреждению растекания расплава по поверхности изделия, примыкающей к нижним кромкам зазора.

Следовательно, высота капиллярного зазора, в котором может удерживаться расплав припоя от вытекания, вдвое превышает высоту его поднятия, определяемую по общепризнанной методике [8]. При этом особенно важным является соблюдение температуры пайки, превышающей температуру плавления припоя на 20...30 °С. При более высоких температурах снижаются вязкость расплава и его поверхностное натяжение.

В настоящее время проводится активное освоение космического пространства, в котором проводятся работы по ремонту и сборке различных металлоконструкций. В условиях естественного вакуума улучшаются условия пайки и отпадает необходимость применения защитных средств. При отсутствии сил тяжести значительно возрастает глубина затекания припоя в зазор, возрастают его допустимые значения. Проведенные в ИЭС им. Е.О. Патона исследования и разработки показывают, что у пайки как одного из способов сборки имеются широкие перспективы применения и развития в космическом пространстве [4].

При индукционной пайке промышленных трубопроводов прослойка припоя зажимается между коническими поверхностями труб при их сборке, что гарантирует заполняемость паяльного зазора припоем. Однако индукционный нагрев не обеспечивает равномерности нагрева по толщине и периметру соединения. При неодновременном плавлении припоя в сохраняющемся широком зазоре возможно его вытекание из отдельных областей зазора, особенно при использовании порошкового припоя.

С целью предупреждения вытекания припоя из сборочного зазора расплав должен сохранять высокую вязкость в процессе его неравномерного плавления и сближения паяемых поверхностей, до образования капиллярного зазора. Такому требованию отвечают припои, имеющие широкий температурный интервал плавления. В процессе перехода припоя из твердо-жидкого в жидко-твердое и жидкое состояние он сохраняет высокую вязкость и не препятствует сближению паяемых поверхностей до образования капиллярного зазора. При согласованных величинах температурного интервала плавления припоя и допускаемого перепада температуры при пайке вытекания расплава припоя при формировании паяного соединения труб не происходит. При индукционной пайке косостыковых соединений промышленных трубопроводов диаметром до 168 мм применялся припой на железо-марганцевой основе

П87 [9] (температура пайки 1 200 °С), имеющий температурный интервал плавления 30...40 °С. Формирующийся в процессе пайки паяльный зазор составлял 0,3...0,4 мм.

Если паяный шов, формируемый путем затекания расплава припоя в капиллярный зазор, характеризуется неравномерностью состава и структуры вследствие протекания растворно-диффузионного процесса при затекании, то при внесении припоя между паяемыми поверхностями при сборке изделия, процессы формирования шва происходят одновременно по всему зазору, вследствие чего паяный шов характеризуется однородностью состава и структуры по всему соединению. При этом независимо от размеров паяного шва в нем исключается появление дефектов несплошности – раковин, непропаев.

Процесс сближения паяемых элементов при плавлении припоя между ними используется для автоматизации процесса индукционной пайки крупных изделий – трубопроводов. Вследствие больших допусков на размеры и форму труб больших диаметров время индукционного нагрева стыков до температуры пайки трубопроводов одного номинального диаметра изменяется в широких пределах и применяемые традиционные принципы автоматизации процесса пайки становятся неэффективны. Сигнал о начале сближения труб, т.е. о страгивании присоединяемой трубы, служит достоверным и надежным параметром при автоматизации процесса индукционной пайки трубопроводов и используется для ограничения времени дальнейшего нагрева и его прекращения [1].

Увеличение высоты расплава припоя, удерживаемого в вертикальном зазоре, возможно путем его односторонней изоляции от атмосферы, что можно наглядно продемонстрировать на простейшем, давно известном опыте.

Если чайный стакан до края наполнить водой и накрыть его ровным листом бумаги до соприкосновения с краем стакана и поверхностью воды, а затем, прижимая его ладонью руки, быстро перевернуть стакан вверх дном, то после удаления ладони вода не выльется из стакана, а будет удерживаться в нем листком бумаги, находящимся под прижимающим атмосферным давлением. Учитывая, что величина атмосферного давления соответствует 1 кгс/см^2, максимальная высота водяного столба в протяженном стакане может составить 10 м. Как известно, высота столба ртути, удерживаемой в подобных условиях, составляет 760 мм. При более высоком столбе жидкости, когда сила тяжести начнет превышать силу атмосферного давления, жидкость начнет вытекать из емкости (зазора).

Способ односторонней изоляции паяльного зазора особенно эффективен при заполнении его припоем в процессе сборки изделия. При индукционной пайке промышленных трубопроводов больших диаметров с внесением в стык колец припоя при его сборке, на кромки стыка наносят тугоплавкие и вязкие защитные покрытия, изолирующие наружную кромку припоя от окислительного и силового воздействия атмосферы. При возрастании диаметра паяемого трубопровода необходимо применять покрытия, имеющие большую вязкость при температуре пайки. Со стороны внутренней поверхности трубопровода расплав припоя удерживается от вытекания силами поверхностного натяжения. При капиллярной пайке подобного эффекта можно достигнуть путем одностороннего понижения атмосферного давления, т.е. путем вакуумирования.

Плотное зажатие прослойки припоя между паяемыми поверхностями также обеспечивает ее надежную защиту от воздействия атмосферы, что особенно важно при пайке в полевых условиях, в которых выбор средств защиты паяемого изделия ограничен. Защиту внешних кромок прослойки припоя осуществляют с использованием защитно-технологических покрытий. В этих условиях высокие требования должны предъявляться к плотности и чистоте припоя. Выход газовых пор и неметаллических включений из расплава припоя в этих условиях затруднен. Партии припоя должны проходить

контроль на содержание в нем шлаковых включений и на чистоту поверхности. При высокой чистоте припоя и паяемых поверхностей пайку трубопроводов можно проводить без применения флюса.

При сооружении крупных промышленных изделий (полевых трубопроводов) широко применяется некапиллярная пайка с широкими и глубокими вертикальными зазорами, которые заполняются припоем перед пайкой или расплавом припоя в процессе пайки. В первом случае прочность паяного шва будет определяться свойствами припоя. Во втором случае в процессе затекания происходит перемешивание расплава припоя и равномерное распределение продуктов его взаимодействия с паяемым металлом и очистка расплава от газовых и неметаллических включений. Паяный шов имеет высокую плотность и прочность по сравнению с исходным припоем.

Такой процесс наблюдался при экспериментальной пайке телескопического соединения "вал–втулка" (сталь 20, 36Г2С) высотой 40 мм и с диаметром вала 50 мм [6]. Порошок припоя П65 (ОСТ 34 13-198–80) на медно-марганцевой основе (Cu = 66 %, Ni = 28 %) помещался в узкий асбестный козырек над зазором. В процессе пайки припой плавился и затекал в зазор узкой локальной струей. Заполнение зазора происходило путем подъема уровня расплава припоя на высоту зазора.

При пайке с капиллярными зазорами (0,1...0,3 мм) в паяном шве отмечались многочисленные несплошности, ослабляющие паяный шов. При широких зазорах (1...3 мм) отмечались высокая плотность и чистота паяного шва. Микрорентгеноспектральный и металлографический анализы показали, что паяный шов по всему объему был предельно насыщен железом и содержал крупные кристаллы избыточной фазы на основе железа. Предел прочности паяного шва на срез вдвое превысил нормативный предел прочности припоя. Угол сдвига при испытаниях кольцевых паяных образцов на срез составил 30°.

С использованием метода заливки расплава припоя в широкие зазоры в институте ИЭС им. Е.О. Патона (Киев) разработана технология изготовления крупных 100-тонных биметаллических обечаек для изготовления сосудов, предназначенных для перевозки отработанного топлива атомных электростанций [2].

Необходимое количество порошкового специального припоя марки ПАН 7 или ПАН 7М на марганцево-никелевой основе размещается в специальном кольцевом питателе над зазором между несущей и плакирующей обечайками и производится их герметизация сваркой. Собранное изделие помещается в специальную печь, при нагреве в которой припой плавится и плотно заполняет широкий зазор (1 мм). Высота и диаметр обечаек может превышать 2 000 мм. Площадь паяного шва превышает 20 м^2.

Исследования показали, что если при капиллярной пайке глубина затекания расплава припоя в зазор шириной 0,1 мм не превышает 150 мм, то при зазорах 0,5...1,0 мм глубина проникновения расплава в зазор может превысить 2 000 мм, что значительно расширяет возможности пайки как способа соединения металлов.

Ввиду большой длительности нагрева металлоемкого изделия в паяльном зазоре проявляется автовакуумный эффект его очищения от остаточных в нем газов путем их растворения в паяемом металле, что создает условия, подобные условиям вакуумной пайки.

Железо, содержащееся в составе указанного припоя, стабилизирует структуру твердого раствора и придает припою пластические свойства, снижает растворяемость паяемого металла. Стабилизацию механических и пластических свойств паяных швов обеспечивает размещение в паяльном зазоре при сборке изделия металлической сетки. В этом случае в зазоре появляются дополнительные поверхности кристаллизации припоя, происходит расчленение всей прослойки припоя на множество микрообъемов, ограниченных ячейками сетки. При этом необходимо сохранять величину некапиллярного паяльного зазора.

Диаметр проволоки сетки может колебаться в пределах 0,25...0,5 мм, размер ячейки – в пределах 0,5...1,0 мм.

В промышленности применяется и совершенствуется способ автовакуумной пайки крупных изделий (компрессорных колес) с широкими зазорами, заполняемыми при сборке изделий порошком тугоплавкого наполнителя. Частицы наполнителя, имеющие различные размеры, составы и конфигурации, образуют в зазоре разветвленную сеть капиллярных каналов, заполняемых в процессе пайки расплавом припоя, который, взаимодействуя с частицами наполнителя, приобретает необходимые свойства и создает прочный и плотный паяный шов, механические свойства которого сопоставимы со свойствами паяемого металла.

Размеры и форма частиц наполнителя должны рассчитываться исходя из необходимости создания таких зазоров между ними, в которых растворно-диффузионные процессы завершаются в установленный период нагрева. Целенаправленно подбирая наполнитель и припой по составу и свойствам и, зная закономерности их взаимодействия, можно управлять свойствами и структурой паяного шва [7].

Создание давления инертного или защитного газа на расплав припоя, заполняющего зазор с порошковым наполнителем, увеличивает скорость и глубину затекания припоя.

Библиографический список

1. **Алёшин Н.П., Медведев В.А.** Ультразвуковой контроль процесса пайки. Неразрушающие физические методы и средства контроля. М., 1987.

2. **Атрощенко М.Г.** Высокотемпературная автовакуумная пайка крупногабаритных изделий / Реферат дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. Киев, 1988.

3. **Голованенко С.А., Меандров А.Б.** Производство биметаллов. М., 1966.

4. **Космос**, технологии, материаловедение, конструкции. Сборник научных трудов. Киев, 2000.

5. **Ниженко В.И., Флока Л.И.** Поверхностное натяжение жидких металлов и сплавов. Справочник. М., 1981.

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

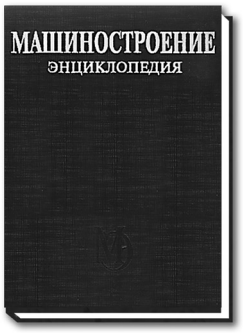
7. **Радзиевский В.Н.** Исследование физико-металлургических процессов создания технологии и материалов высокотемпературной пайки крупногабаритных стальных конструкций при широком зазоре / Реферат дисс. на соиск. уч. степ. д-ра техн. наук. М., 1990.

8. **Справочник** по пайке / Под ред. С.Н. Лоцманова и др. М., 1975.

9. **Справочник** по пайке / Под ред. И.Е. Петрунина. М., 2003.

ИЗДАТЕЛЬСТВО МАШИНОСТРОЕНИЕ

ЭНЦИКЛОПЕДИЯ "МАШИНОСТРОЕНИЕ"



Том IV-24 ГОРНЫЕ МАШИНЫ

Ю.А. Лагунова, А.П. Комиссаров, В.С. Шестаков и др.; под общ. ред. **В.К. Асташева**

2011 г. 496 с. ISBN 978-5-94275-567-6 **Цена 1000 р.**

Рассмотрены вопросы проектирования и эксплуатации горных машин и оборудования. Приведенный материал охватывает всю цепочку использования горной техники: от горно-проходческих работ до методов добычи, рудоподготовки и обогащения полезных ископаемых. Представлены технические характеристики, схемы, описание конструкций, методы расчета и испытаний горных машин.

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

УДК 621.79:669.2

О.Г. Быковский, *д-р техн. наук,* **А.Н. Пасько,** *магистр*
(Запорожский национальный технический университет, Украина)
E-mail: ershov@zntu.edu.ua

Современное состояние технологии сварки цветных металлов и сплавов. (Обзор*). *Продолжение***

Проанализированы основные трудности, связанные со свариваемостью композитных материалов, матрицей которых являются цветные металлы, а также разнородных цветных металлов алюминий + медь, алюминий + титан, титан + медь (наличие оксидной пленки, пористость, склонность к потере упрочняющих волокон и частиц, образование интерметаллидных соединений, обеспечение равнопрочности) и пути их преодоления как на стадии предварительной подготовки изделий под сварку, так и во время сварочного процесса.

Приведены технические приемы и технологические рекомендации по сварке этих материалов, рассмотрены современные тенденции совершенствования свариваемости, технологии и техники изготовления сварных металлоконструкций из композитных и разнородных цветных металлов.

In this article the main problems connected with welding capacity of composite materials with matrix from nonferrous metals and heterogeneous nonferrous metal aluminium + copper, aluminium + titanium, titanium + copper (oxide film, weld porosity, losses of strengthen fibres and particles, formation of intermetallic compositions, equivalent solid) and the ways that help to overcome them both on stage to preliminary prepare of wares before welding and during of the welding process are analyzed.

The technical methods and technological recommendations by the welding this materials are given too.

Modern tendencies on perfection welding capacity, technology and technique of manufacture from composite and heterogeneous nonferrous metals welded constructions are examined.

Ключевые слова: сварка, композитные материалы, матрица из цветных металлов, разнородные соединения из цветных металлов, оксидная пленка, свариваемость, промежуточная прокладка, равнопрочность.

Keywords: welding, composite materials, matrix from nonferrous metals, heterogenious joints from nonferrous metals, oxide film, welding capacity, equivalent solid.

7. Цветные металлы в составе композитных материалов

Композитные материалы (КМ) позволяют реализовать комплекс противоположных свойств – высокую прочность и жесткость при растяжении и сжатии с высокими показателями выносливости и работы разрушения в сочетании с низкой плотностью. Металлическая матрица передает нагрузку на несущие волокна, нитевидные кристаллы, частицы и т.п., препятствует распространению трещин, формирует волокна и защищает их от внешнего воздействия.

В качестве матриц для металлических КМ чаще всего используется алюминий, магниевые сплавы, титан, никель и кобальт. В качестве наполнителей применяются высокопрочные высокомодульные волокна, нитеподобные усы, частицы карбидов и оксидов металлов, дисперсионно-упрочняющие компоненты, псевдосплавы и т.д. Они отличаются высокой температурой плавления, минимальной растворимостью в матрице и придают КМ специальные свойства. Дисперсионно-упрочняемые КМ (ДУКМ) имеют в матрице равномерно распределенные мелкодисперсные частицы другого вещества. При нагружении все усилия воспринимает матрица, в которой множество практически нерастворимых частиц упрочняющей фазы создает структуру, эффективно противостоящую пластической деформации. Среди металлических КМ наибольшее распространение получили: алюминиевые и магниевые сплавы, армированные борными волокнами марок ВКА-1, ВКА-2, ВКМ-1, углеродными волокнами ВКУ-1, стальными проволоками марок КАС-1, КАС-1А; КМ на медной основе с волокнами ниобия, арматуры из вольфрама или молибдена; КМ с матрицей из титана и его сплавов, армированной волокнами карбида кремния, бора, углерода, стальными проволоками и т.д.

При создании современных объектов в авиамашиностроении, ракетной и космической технике возникает необходимость использования не только отдельных узлов, изготовленных из КМ, которые часто сами получают методами сварки, но и соединения их между собой, а также с однородными материалами, что связано с определенными трудностями.

1. Температура плавления матрицы лежит в пределах 600...1 700 °С, а упрочнителя – 1 500...2 500 °С, что при сварке плавлением приводит к нарушению целостности упрочнителя, протеканию реакции между ним и матричным сплавом, следствием чего воз-

* Составлен на основе анализа рекомендованной литературы и статей в периодических изданиях за последние 25 лет.

** Начало в № 9, 10, 11, 2011 г.

можно насыщение сварного шва газами и создание хрупких интерметаллидных фаз.

2. Армирование матричного сплава изменяет характер распространения в нем тепла; последнее зависит от расположения волокон и их объемной доли. Это требует строгого контроля введения тепла при сварке, что достигается присадкой электродного металла, который, расплавляясь, защищает верхние слои упрочнителя от действия высокотемпературного источника нагрева, проникает и смачивает нижележащие волокна. Некоторые волокнистые материалы – бор, графит, Al_2O_3 – не смачиваются присадочными металлами, совместимыми с матричным сплавом. Сварка таких КМ ведется с зазором и соответствующими присадками. Проблема плохой смачиваемости углеродных волокон решается путем дополнительного введения в сварочную ванну цинка или хрома, взаимодействующих с углеродными волокнами с образованием карбидов, обладающих лучшей смачиваемостью.

3. Значительное отличие в коэффициентах теплоемкости, теплопроводности и линейного расширения матрицы и упрочнителя приводит к образованию температурных напряжений. Последние возникают даже при сварке давлением без подогрева вследствие разных значений модулей упругости составляющих компонентов.

4. В отличие от традиционных материалов прочность КМ зависит от беспрерывности волокон по всей площади в направлении, поперечном основной оси напряжений. При нарушении этого условия в процессе сварки почти полностью теряются механические свойства КМ.

5. При сварке деталей с накладками или внахлестку вследствие концентрации напряжений снижаются механические свойства и увеличивается масса изделия.

Поэтому способ, технология и техника сварки должны обеспечить получение беспористого сварного соединения без потери прочности и расплавления упрочнителя, без взаимодействия компонентов КМ между собой.

Сварка плавлением является наиболее технологичным соединением КМ, но и очень сложным в связи с расслоением в околошовной зоне и пористостью. Поэтому условия сварки должны предусматривать следующие мероприятия:

• способы и параметры режима сварки должны обеспечивать минимальное тепловложение;

• сварка плавлением должна применяться только для КМ, которые составлены из совместимых компонентов (легкие сплавы, армированные керамическими наполнителями или имеющими барьерные покрытия);

• присадочные материалы или промежуточные прокладки применяются с легирующими добавками, ограничивающими растворение армирующего компонента и создание хрупких продуктов межфазного взаимодействия в процессе сварки и дальнейшей эксплуатации сварных узлов. Так, при сварке композитных узлов системы Al–SiC, Al–C целесообразным является использование присадок с большим содержанием кремния, циркония, титана или других карбидообразующих элементов, устраняющих образование карбида Al_4C_3, а при сварке КМ Al–Al_2O_3 – присадок с магнием;

• для получения равнопрочности при сварке ДУКМ целесообразно использовать присадки с соответствующими керамическими компонентами с объемной долей 15...25 %;

• волокнистые и слоистые КМ целесообразно сваривать внахлест при соотношении величины покрытия к толщине материала более 20, такие швы можно дополнительно усилить болтовыми или заклепочными соединениями.

Композитные материалы, армированные частицами, короткими волокнами, нитевидными кристаллами можно сваривать встык при условии, что они изготовлены методами жидкофазной технологии. Если же они изготовлены методами порошковой металлургии, то в зоне сварки образуются участки повышенной пористости, и прочность таких соединений снижается. Поэтому перед сваркой необходимо проводить вакуумную дегазацию для удаления водорода. В зависимости от особенностей межфазного взаимодействия компонентов можно установить критерии свариваемости КМ.

Так, если компоненты КМ при плавлении создают однородную жидкость, а в твердом состоянии взаимно практически нерастворимы (системы Al–Be, Ti–Mg), то после кристаллизации в этом КМ образуется однородная гетерогенная структура с чередующимися частицами матрицы и упрочнителя. При сварке плавлением таких материалов получается сварной шов со свойствами, практически не отличающимися от основного металла.

Если компоненты при расплавлении и кристаллизации имеют ограниченную или неограниченную растворимость (системы Ni–W, Al–Si), то в таких КМ образуются твердые растворы с эвтектикой, перитектикой или с плавно изменяющейся концентрацией. Как и в предыдущем случае, свойства сварного шва близки к свойствам основного металла.

Если компоненты КМ вообще не взаимодействуют при сварке в связи с большой разницей в температурах плавления (системы Al–Be–Mg, Fe–Cu–Pb), они свариваются плохо, и необходимо использовать специальные приемы для устранения испарения более легкоплавкого компонента.

Если компоненты КМ не смешиваются в жидком состоянии (системы Al–Pb, Fe–Cu–Pb), сварка их

невозможна, сварные соединения легко разрушаются по зоне сплавления.

Дуговая сварка вольфрамовым электродом в среде защитных газов – чаще всего используемый способ. При сварке стыковых соединений КМ типа ВКА эффективно использование специальных промежуточных расплавляемых проставок из алюминиевых сплавов типа АМг6, 1420, 1201, которые часто имеют ⊥-образную форму. Сварка ведется вдоль волокон в среде гелия на формирующей медной подкладке с канавкой специальной формы, при этом обеспечивается необходимое проплавление вставки на всю высоту шва, уменьшается зона термического влияния, обеспечивается высокая скорость нагрева и охлаждения металла, улучшается структура шва, а прочность составляет 80...95 % от прочности матричного материала.

Сварку КМ ВКА-2, КАС-1А можно вести импульсно-дуговым способом с присадочным материалом СвАК5, который размещается в разделке с углом раскрытия 90°. Это позволяет увеличить жидкотекучесть сварочной ванны при одновременном увеличении упрочняющих частиц и получить надежный провар корня шва.

Сварка плавящимся электродом в среде защитных газов позволяет лучше регулировать состав сварного шва. Свариваемые детали из КМ Al + 18,4 % SiC (карбид кремния) по объему собираются встык с зазором для обеспечения полного провара. Сварка ведется на постоянном токе обратной полярности в аргоне, но в процессе вследствие действия сварочной дуги некоторое количество волокон выбрасывается из сварочной ванны. Поэтому для компенсации потерь армирующий материал следует дополнительно подавать в низкотемпературную хвостовую часть ванны с помощью специального устройства. Другие варианты предполагают предварительное нанесение на свариваемые кромки смеси армирующего материала, порошка матрицы, связующего вещества и легирующих добавок, которые способствуют или наоборот сдерживают смачивание волокон. В качестве связующего используются клеи, пасты, этиловый спирт в количестве 50...80 % по объему относительно волокон. Можно также использовать специальный плавящийся электрод, содержащий металл матрицы или подобный ему, смесь металла матрицы и волокна, по своей конструкции напоминающий порошковую проволоку.

Электронно-лучевая сварка предполагает использование промежуточных прослоек, например, в стыковом соединении из КМ магниевый сплав + 20 % Al_2O_3 применяется прослойка толщиной 0,5 мм из матричного сплава. При сварке КМ алюминий + 22 % SiC используются промежуточные проставки таврового или двутаврового профиля с 5...10 % дополнительных элементов кремния, никеля, хрома и др. Часто применяются комбинированные способы сварки. Так, при стыковом соединении борволокнистых труб используются гомогенные переходники из сплава марки 01980, которые вначале диффузионной сваркой привариваются к трубам, после чего выполняется сварка электронным лучом гомогенной вставки с формированием корня шва на подкладке, предотвращающей вытекание расплавленного металла из сварочной ванны.

Способ сварки диспергированным металлом предполагает расплавление электронным лучом присадочного металла в виде диска из сплава необходимого состава, вращающегося с частотой 1 800...3 100 мин$^{-1}$. Мелкие капли расплавленного металла переносятся на предварительно подогретые до температуры 0,5...0,6 $T_{пл}$ подложки, формирующие поверхности, где и происходит их кристаллизация на соответственно подготовленных кромках. Управление пучком луча осуществляется прибором дискретной развертки с набором траекторий сканирования, что создает разные условия распределения плотности энергии пучка в зоне нагрева и получения необходимого объема расплавленного металла и размеров жидких капель, переносимых центробежной силой к изделию. В отличие от сварки с оплавлением кромок в матричном материале частицы упрочнителя не распадаются, а их связь с матричным материалом не нарушается.

Плазменное напыление может быть использовано при сварке КМ алюминиевый сплав + 10...20 % SiC.

Предварительно V-образно разделанные и подготовленные под напыление кромки собираются без зазора. Напыление ведется порошкообразным материалом на основе алюминиевого сплава с объемной долей 15 % SiC в виде гранул до заполнения всей разделки, после чего соединение подвергается изостатическому прессованию и термической обработке – закалке и старению.

Способы сварки давлением позволяют достичь хороших результатов вследствие меньшей подводимой энергии, благодаря чему можно уменьшить смещение или дробление армирующих компонентов.

Для устранения деформации изделий применяются специальные термофиксирующие устройства, в которых часто производится и термическая обработка.

При электрической контактной сварке КМ имеет место снижение тепло- и электропроводности сравнительно с материалом матрицы, что препятствует формированию литого ядра. Это обстоятельство преодолевается выбором электродов с разной проводимостью, обжатием периферийной зоны, сменой диаметра и радиуса закругления электродов, использованием промежуточных прокладок. В отличие от однородных металлов при прохождении сварочного тока через КМ ВКА имеет место растекание силовых линий тока на большей площади из-за влияния сетки бора, а это приводит к рассеянному тепловыделению. Поэтому нужно увеличивать контактную площадку электрод–деталь, используя электроды с радиусом сферы 150...200 мм,

что обеспечит более равномерное распределение линий тока в сечении контакта и полностью ликвидирует внешние выплески. Для предотвращения внутренних выплесков сварку нужно вести на режимах средней жесткости, используя электроды с обжатием, особенно при толщине плакирующего слоя 50...150 мкм.

Композитные материалы системы Al–B можно сваривать на параметрах режима, рекомендованных для алюминиевых сплавов типа Д16Т, при этом в ядре сварной точки трещины не образуются, приложение ковочного усилия не обязательно, оно необходимо лишь для снижения остаточных напряжений в металлоконструкции. При толщине плакирующего слоя больше 200 мкм необходимо использовать мягкие режимы сварки и умеренные усилия сжатия. Прочность сварного соединения определяется только прочностью материала матрицы. При соответствующем выборе параметров режима и геометрии электродов за счет нагрева и неравномерности усилий сжатия металла плакирующего слоя можно обеспечить его интенсивное вдавливание в зазор соединения практически без образования зоны расплавления. При этом соединение приобретает композиционные свойства и способно передавать значительную часть нагружения на расположенные рядом волокна бора. Однако эти свойства в наиболее полной мере проявляются только в многоточечных соединениях или одноточечных, выполненных в специальных устройствах, включающих изгиб.

В связи с меньшей усадкой КМ ВКА-1 по сравнению с алюминиевыми сплавами в точечных соединениях отсутствуют дефекты в виде пор и трещин. Прочность сварных соединений из этого КМ на срез в 1,2–1,5 раза, а на отрыв в 2–3 раза меньше по сравнению с теми же толщинами из сплава Д16Т; однако показатели усталостной прочности у этих материалов близки.

Диффузионная сварка в вакууме или инертной атмосфере КМ возможна как встык, так и внахлестку с образованием соединения в твердой фазе или напоминающая процесс сварки-пайки. В последнем случае предусматривается сварка через прокладку (фольгу).

Дисперсионно-упрочняемые КМ – системы алюминиевые сплавы + частицы SiC, Al_2O_3, TiC – свариваются через промежуточные прослойки из меди, серебра; сплавы системы Al–Li – с теми же упрочнителями при использовании фольги из меди, цинка, серебра. Принцип выбора состава прокладок такой: они должны иметь температуру плавления эвтектики (550 °С – медь и 560 °С – серебро) ниже температуры плавления алюминия или же температура солидуса сплава (АД1) должна быть ниже, чем у сплава типа АД-31. Сварку нужно вести в области температур выше температуры эвтектики и солидуса при образовании жидкой фазы.

Сварка с прокладкой обеспечивает большую прочность и меньшую степень деформации. Еще лучше осуществлять сварку КМ АМг5 + 27 % Al_2O_3 через нанослойную фольгу на основе системы Ni–Al, которая наносится методом послойного электронно-лучевого осаждения металла на вращающуюся подложку; толщина слоя составляет 0,05...0,07 мкм.

В процессе сварки прослойка фрагментируется на отдельные дисперсионные частицы вследствие твердофазной реакции в условиях интенсивного пластического деформирования материала. Прослойки с такой структурой не только активируют диффузионные процессы, но и не снижают существенно прочностные свойства сварного соединения.

Волокнистые ДУКМ на никелевой основе с упрочнителями из нитевидных кристаллов, проволок из тугоплавких металлов, керамических или углеродных волокон свариваются с промежуточной прокладкой толщиной 0,1–0,3 мм состава: Co + 28 % Cr + + 25 % W + 0,9 % Ti + 0,4 % Zn + 2 % Re + 0,15 % C. Этот способ сварки пригоден и для соединения разнородных материалов, таких как титановый сплав + КМ КАС-1А без образования интерметаллидных фаз на границах Ti–Al и сталь–Al и сохранения начального расположения армирующих стальных проволок.

Наиболее эффективным типом соединения КМ с титаном является сварка в замок типа "ласточкиного хвоста", которое обеспечивает передачу нагрузки на боралюминий за счет сдвига в условиях сжатия.

Соединение внахлестку не обеспечивает полноценной передачи нагрузки на слои КМ, соединение усложняет для слоистых КМ обеспечение равномерности распределения давления, а высокая жесткость и хрупкость борных волокон способствует образованию дефектов на границе раздела Ti–Al.

Клинопрессовая сварка изделий из КМ боралюминия с законцовками из обычных конструкционных сталей выполняется в специальном приспособлении, где оправка изготовлена из титанового сплава ВТ6, а обойма – из молибденового сплава. На внутренней поверхности алюминиевой законцовки предварительно наносится мелкая резьба, а сама законцовка посажена с обоймой на скользящей посадке. Давление прессования получается за счет термических напряжений, возникающих при нагреве двух коаксиально собранных жестких цилиндров с разными коэффициентами термического расширения. Нагрев осуществляется в среде аргона. Оправка из титанового сплава увеличивается в диаметре при нагревании, и, надавливая на внутреннюю поверхность конуса, упруго деформируется. Ее назначением является увеличение стойкости стенки конуса при впрессовании плакирующего слоя выступов резьбы законцовки в плакирующий слой трубы, а молибденовая обойма в процессе нагрева препятствует расширению алюми-

ниевой законцовки и фактически осаждает ее по внешнему диаметру. При испытании на сдвиг разрушение происходит по плакирующему слою алюминия.

Сварка трением ДУКМ сопровождается разрушением армирующих частиц, интенсивной пластической деформацией матрицы и возрастанием твердости, а в зоне термического влияния – наоборот, снижением твердости из-за отжига матричного сплава. Поэтому целесообразно производить старение алюмоматричных ДУКМ, после чего прочность таких соединений достигает 80 % прочности основного материала.

8. Разнородные сварные соединения

Часто оптимальные эксплуатационные свойства изделий можно получить лишь при условии использования отдельных сварных узлов из разнородных цветных металлов. Так, путем сварки алюминия с медью можно существенно сократить расход дефицитной меди при изготовлении токоподводящих деталей электромашин и аппаратов, шинопроводов: в электрохимической промышленности – это титаномедные катоды и титаноалюминиевые аноды электролизеров, а также трубчатые переходники, биметаллические кронштейны и т.п.

Использование подобных комбинированных сварных узлов вообще позволяет создавать принципиально новые виды конструкций, ранее отсутствовавшие.

Дополнительно к ранее рассмотренным трудностям сварки цветных металлов появляются новые, связанные с особенностью их взаимодействия при сварке. Уже на стадии рассмотрения бинарных диаграмм состояния соединяемых металлов выясняется наличие ограниченного их взаимного растворения в жидком и твердом состояниях с образованием интерметаллидов с высокой твердостью и хрупкостью и разрушающихся самопроизвольно под действием температурных напряжений при охлаждении сварного шва. Эти интерметаллиды выделяются по границам сплавления в виде диффузионных прослоек разной толщины. При небольшой толщине (2...3 мкм) прослойка не влияет существенно на прочность, при большей – резко ее уменьшает. Поэтому при сварке металлургическое воздействие должно быть направлено не только на уменьшение толщины прослойки, но и на формирование не сплошного, а прерывистого ее строения.

Существуют и технологические трудности, обусловленные значительной разностью плотности соединяемых материалов, их температур плавления, теплоемкостей, теплопроводности, коэффициентов линейного расширения. Последнее обстоятельство особенно существенно, поскольку невозможно снять сварочные напряжения путем термической обработки: нагрев после сварки еще больше их увеличит.

В этом случае нужно использовать более высокий предварительный подогрев металла с меньшим коэффициентом линейного расширения или промежуточные металлы-компенсаторы, наплавленные или напыленные на свариваемые кромки или в виде вставок.

Последнее широко практикуется при сварке в твердой фазе – диффузионной в вакууме, трением и т.д.

Лучшие результаты достигаются при условии ведения процесса при температуре не более 0,4 $T_{пл}$ более легкоплавкого металла при достаточной активации поверхности более прочного металла.

При сварке плавлением необходимо использовать технологию и технику, при которых тепловая мощность источника нагрева смещалась бы в сторону более теплопроводного материала, а более тугоплавкий металл защищался от расплавления охлаждающим устройством.

Такие приемы лежат в основе способа соединения разнородных металлов – сварки-пайки, когда один из металлов имеет значительно меньшую температуру плавления. Необходимые прочностные связи в таком соединении создаются в процессе смачивания жидким металлом поверхности твердого металла и дальнейшей диффузией. Надежность такого соединения обеспечивается лишь при условии строгого соблюдения параметров режима и времени контактирования между жидким и твердым металлом. Нанесение на поверхность твердого тела покрытий из третьих металлов, которые не создают химических соединений со свариваемыми материалами, способствуют торможению диффузионных процессов на границе их контакта или повышают взаимную растворимость элементов, способствует улучшению качества изделий.

При сварке разнородных металлов применяются те типы соединений, что и для однородных – стыковые, внахлестку и угловые, но для максимального уменьшения тепловложения угол разделки кромок уменьшается, а предпочтение отдается стыковым швам.

Свариваемые поверхности деталей подготавливаются соответственно рекомендациям для каждого из металлов.

Следует иметь в виду, что как условия эксплуатации, так и технология и техника сварки биметаллических разнородных переходников предусматривают пребывание сварного шва при температуре не выше 400 °С, иначе вследствие протекания диффузионных процессов будет возникать промежуточная прослойка из интерметаллидов, которая разупрочнит металлоконструкцию.

Пара металлов **алюминий + медь** характеризуется ограниченной взаимной растворимостью: при комнатной температуре содержание меди в алюминии не превышает 8 %, а алюминия в меди – 9 %.

Вследствие перенасыщения излишнее количество элементов выделяется в виде интерметаллидов типа Al_mCu_n и эвтектики $Al_2Cu + \chi$, расположенных по границам сплавления, имеющих низкую прочность и хрупкость. Кроме того, температура плавления меди в 1,6 раза, плотность в 3,3 раза выше этого показателя для алюминия, а коэффициент линейного расширения почти в 1,5 раза ниже, чем у алюминия.

Сварка плавлением этих металлов ведется с применением третьих металлов, наносимых на медь гальваническим методом толщиной 50...60 мкм – серебра, цинка, кремния, которые более-менее удовлетворительно растворяются как в меди, так и в алюминии, улучшая свойства сварного шва и зоны сплавления. Такое покрытие является барьером, препятствующим взаимодействию алюминия с медью, вследствие того, что перед движущейся сварочной ванной образуется жидкая прослойка цинка, улучшающая смачивание поверхности меди алюминием. Процесс сварки надо вести так, чтобы в основном расплавлялся алюминий, а медь почти не плавилась, что достигается смещением оси электрода от оси сварного шва на величину 0,5...0,6 толщины свариваемого металла в сторону медной детали и может быть выполнено только при автоматической сварке. Разделке подвергаются только кромки медной детали.

Сварка выполняется либо вольфрамовым электродом в среде аргона на переменном токе либо по слою флюса марки АН-А1 на постоянном токе обратной полярности. В качестве присадки используется специальная алюминиевая проволока, легированная кремнием и цинком. Полученные сварные медно-алюминиевые соединения имеют прочностные характеристики на уровне алюминия.

Сварка в твердой фазе выполняется прокаткой для получения биметаллических листов, полос и плит. При холодной прокатке используются большие обжатия 60...75 %, что с учетом возможностей прокатного оборудования позволяет получить биметалл суммарной толщиной не более 4 мм, в котором медная составляющая равна 0,1...0,8 мм. При горячей прокатке в вакууме, вакуумированных пакетах, в атмосфере аргона можно получить биметалл большей толщины, где медь будет иметь рекристаллизационную структуру.

Холодная сварка меди с алюминием имеет несколько разновидностей. При точечной сварке степень необходимой деформации осуществляется пуансонами с различной площадью их рабочих частей, которые определяются из соотношения разных удельных давлений (для алюминия 280...590 МН/м^2, для меди – 1 960 МН/м^2) в конечный момент сварки в однородном соотношении данных толщины и твердости металлов. Пользуясь теми же соображениями, можно сваривать алюминий с латунями марок ЛС59, ЛС62 при одностороннем вдавливании пуансонов со стороны меди или латуни, когда поверхность алюминия остается гладкой.

Другой разновидностью холодной сварки алюминия с медью является облицовка медью алюминия.

Алюминиевые шины толщиной 3...10 мм облицовываются отожженными медными штабами толщиной 0,3...1,2 м в специальном устройстве одновременно несколькими точками. Лучшие результаты достигаются при использовании прямоугольных пуансонов с шириной, близкой к толщине меди и даже немного большей. Этим достигаются лучшие условия течения металла и равномерного распределения удельного давления в контакте и, как следствие, более высокая прочность. Равнопрочность таких соединений всегда обеспечивает надежную электропроводность.

При стыковой холодной сварке необходимо отжечь медь хотя бы на участке вылета. Припуск на сварку назначается больше для алюминия, чем для меди. При сварке вначале деформируется алюминий, возникает сложная деформация с элементами сдвига алюминия по меди. При сварке встык деталей разных диаметров и толщин, обычно у алюминиевых больших, чем у медных, вначале надо выполнить посадку меди, а потом отжечь припуск на сварку. Свойства таких сварных соединений отличаются высокой статической, динамической прочностью и электропроводностью.

Сварка трением алюминия с медью позволяет получить соединения без микродеформирования более прочного металла благодаря резкой разнице сопротивления деформирования металлов при нагреве в стыке. Граница раздела представляет собой прерывистую интерметаллидную линию толщиной до 1,5 мкм. При приложении ковочного усилия прочность повышается. За счет интенсификации деформации и ее локализации в начале сварки можно ограничить рост прослойки вдоль поверхности контакта и сформировать дисперсную структуру без слоя интерметаллида. Процесс надо вести при минимальном времени нагрева и максимальном времени торможения, давлении при нагреве и проковке. За счет оптимизации времени торможения можно значительно уменьшить усилие проковки.

Диффузионная сварка в вакууме позволяет получить как непосредственное соединение меди с алюминием на оптимальных режимах, так и с применением промежуточных вставок из цинка и серебра, если температурные и временные параметры режима сварки превышают оптимальные. При их использовании из зоны сварки хорошо удаляются оксидные пленки Al_2O_3, однако при превышении температуры выше эвтектических прочность резко снижается, особенно при использовании цинка. Время сварки во всех случаях должно быть минимальным, чтобы не допускать роста интерметаллидной прослойки, толщина которой не должна превышать 10 мкм.

Магнитно-импульсная сварка используется при изготовлении медно-алюминиевых трубчатых переходников. Сущность этого процесса заключается в реализации усилий, возникающих при взаимодействии магнитных полей тока индуктора и наведенного в свариваемых трубках. Свариваемая медная трубка диаметром 6 мм собирается внахлестку с алюминиевой диаметром 8 мм, так что медная находится внутри развальцованной алюминиевой с небольшим зазором.

Для сохранения проходного сечения внутрь медной трубки вводится стальной стержень, впоследствии удаляемый. Собранные трубки вводятся в центральную часть машины-индуктора в зону наибольшей концентрации магнитных силовых линий. Под действием пондермоторных сил развальцованная часть алюминиевой трубки соударяется с медной с образованием прочного герметичного соединения.

Ударная сварка в вакууме применяется при изготовлении биметаллических шайб, собранных внахлестку толщиной 2,4 мм и диаметром 30 мм. Детали, собранные с зазором 2...3 мм, предварительно подогреваются кольцевым электронно-лучевым источником. При импульсном нагружении заготовки перемещаются в холодную деформирующую матрицу, где и происходит сварка с одновременным формированием контакта необходимой конфигурации. При этом деформации медной и алюминиевой детали составляют 10 и 40 % соответственно, а прочное сварное соединение образуется без интерметаллидов.

Алюминий + титан. Согласно диаграммы состояния Al–Ti вследствие практического отсутствия взаимной растворимости при комнатной температуре в алюминии может растворяться только 0,07 % Ti, все остальное – интерметаллидные соединения TiAl, $TiAl_3$ и γ-фаза.

При сварке титана с алюминиевыми сплавами АМг и АМц появляются дополнительные трудности в связи с повышенной концентрацией на границе раздела фаз типа Al_mMg_n, Al_mCu_n и им подобных, так что избежать образования сварных швов с хрупкими фазами невозможно.

Сварка плавлением этих металлов предполагает ведение процесса способом сварки-пайки, где имеет место взаимодействие жидкого алюминия с твердым титаном. Такая технология обеспечивает кратковременное контактирование двух металлов, когда концентрация титана недостаточна для создания γ-фазы, а количество соединений $TiAl_3$ существенно уменьшено. Необходимым условием является предварительное нанесение на свариваемые титановые кромки слоя алюминия, лучше всего алитированием, если размеры деталей невелики. Наплавка слоя алюминия выполняется под слоем флюса Ф-320, а процесс ведется на переменном токе вольфрамовым электродом в среде аргона; толщина наплавленного слоя выбирается в зависимости от глубины проплавления при последующей сварке с алюминиевой деталью. Непроплавленная часть слоя должна быть не менее 2 мм. Основные типы сварных соединений – стыковое, внахлестку и тавровое. Техника сварки предполагает размещение центра пятна сварочной дуги на уровне края титановой детали или со смещением его в сторону алюминиевой детали. При сварке внахлестку процесс ведется с созданием двух отдельных сварочных ванн. Под действием излишнего тепла жидкой титановой ванны плавится алюминиевая деталь, создавая в свою очередь ванну жидкого алюминия, но благодаря слою твердого непроплавленного титана толщиной 0,3...0,4 мм обе ванны не контактируют между собой. Защита плавильного пространства и прилегающих зон металла осуществляется за счет поддува инертного газа в подкладку, специальное "плавающее" сопло и в козырек.

При сварке труб аргон подается в их внутреннюю полость. Обязательным условием качественного процесса является плотное прилегание свариваемых деталей. При сварке "на весу" для уменьшения проплавления алюминиевой кромки путем отведения излишнего тепла применяют специальные холодильники в виде стальных или медных подкладок или колец. Их размеры в каждом случае определяются экспериментально в зависимости от теплопроводящих свойств материалов и параметров режима сварки. В качестве присадки используется алюминиевая проволока СвАК5. При тщательном соблюдении параметров режима и техники сварки обеспечиваются допустимые температурно-временные условия взаимодействия алюминия с титаном. Хотя полностью устранить появление интерметаллидов невозможно, их наличие в виде отдельных разрозненных включений является допустимым с точки зрения работоспособности таких разнородных конструкций.

Другой разновидностью сварки-пайки является ведение процесса в камере с контролируемой инертной атмосферой, когда нагрев соединяемых кромок (чаще всего деталей с компактной формой поперечного сечения) осуществляется электрической дугой переменного тока, горящей в зазоре между деталями. Она равномерно разогревает торцевые поверхности, осуществляет их катодную очистку и формирует слой расплавленного алюминия. После этого осуществляется осадка, при которой жидкий металл вытесняется из стыка, и сварное соединение формируется в твердожидкой фазе. При этом способе сварки отсутствуют непровары, а прочность сварного соединения составляет 95 % прочности алюминия.

Электрическая контактная точечная сварка с управляемым внутренним выплеском позволяет также получить соединение в твердожидком состоянии. Для предупреждения начального внутреннего выплеска передний фронт сварочного импульса модулиру-

ется, а после реализации внутреннего выплеска, во время которого удаляется жидкая часть ядра вместе с интерметаллидными соединениями, детали дополнительно проковываются с повышенным усилием для окончательного вытеснения жидкого металла и механического дробления интерметаллидной прослойки толщиной 2...4 мкм, делая ее дискретной.

Сварка в твердой фазе титана с алюминием выполняется несколькими способами. Изготовление биметалла такого состава осуществляется прокаткой в вакууме с обжатием 68...70 % при температуре 470...500 °С.

Получение состава биметалла ВТ1-0 + АМг6 высокого и стабильного качества обеспечивается в том случае, если на контактирующие поверхности предварительно нанесены тонкие слои алюминия; при этом величина обжатия может быть снижена до уровня 47...50 %.

Холодная сварка такой же композиции производится при изготовлении трубчатых переходников путем совместного формирования заготовок в специальной оправке. Алюминиевая заготовка совмещается с титановой, на поверхности которой выполняются цилиндрические канавки и выступы треугольной формы с углом 60° и глубиной 1 мм. Зажимное кольцо имеет коническую форму, и по его торцу прикладывается особое усилие, которое обжимает алюминиевую заготовку со средней величиной сжатия 37...43 %. Алюминий при этом заполняет канавки, создавая плотный контакт между соединяемыми металлами, так что прочность разнородного соединения равняется прочности алюминия.

Диффузионная сварка титана ВТ1-0 со сплавом АД1 осуществляется при непосредственном контактировании без образования интерметаллидной прослойки, а при сварке пары ВТ1-0 + АМг3 необходимо алитирование титановой детали или размещение промежуточной прослойки из фольги АД1 толщиной 0,4 мм.

Сварка ведется при давлении, большем предела текучести материалов при температуре процесса, а сохранение необходимых геометрических размеров изделия обеспечивается специальной оснасткой, обеспечивающей принудительное формирование металла в зоне контакта. Сварные соединения, полученные на оптимальных параметрах режима, герметичны и имеют прочностные характеристики на уровне алюминиевого сплава.

Титан + медь. Титан и медь также различаются по своим свойствам, образуя систему с ограниченной взаимной растворимостью, которая при температуре 400 °С составляет только 0,4 % по массе. Расплавление этих металлов сопровождается образованием эвтектик и интерметаллидных фаз Ti_2Cu, TiCu и $TiCu_3$, которые и являются ответственными за разрушение сварного соединения уже в процессе охлаждения. Поэтому соединение этих металлов как при плавлении, так и в твердой фазе с нагревом осуществляется, в основном, с использованием промежуточных прокладок из третьих металлов, удовлетворительно сваривающихся как с титаном, так и с медью.

Сварка плавлением титана с медью выполняется по схеме сварки-пайки, приведенной ранее для получения разнородного соединения титан–алюминий. Свариваемые детали собираются внахлестку, их кромки зачищаются и обезжириваются. Используются специальные прижимные механические приспособления для предупреждения смещения кромок, особое внимание уделяется точности установки и поддержания постоянного расстояния оси вольфрамового электрода от торца медной детали по всей длине шва, которое в зависимости от толщины составляет 1,5...4,5 мм в сторону меди. Сварка ведется на постоянном токе прямой полярности. Иногда на разделанную кромку под углом 45° наносится методом плазменного напыления слой меди толщиной 0,15...0,25 мм, а свариваемые детали собираются встык. Сварка ведется вольфрамовым электродом, ось которого смещается в сторону медной детали на 2,5...4,5 мм с использованием медной присадки типа БрХ1 или МСр10.

За счет максимального ограничения длительности взаимодействия этих металлов при высокой температуре можно значительно уменьшить толщину интерметаллидной прослойки и обеспечить удовлетворительные свойства сварного соединения.

В случае применения промежуточной вставки из тугоплавких металлов – ванадия, ниобия, тантала – сварка ведется в два приема: вначале сваривается титановый сплав с тугоплавким металлом, а потом с ним сваривается медный сплав аргонодуговой или электронно-лучевой сваркой. Прочность такого соединения находится на уровне медного сплава, а разрушение происходит по его границе со швом.

Электрическая контактная точечная сварка титана лучше реализуется с медными сплавами, например, с латунью, если процесс ведется с управляемым выплеском, когда сварная точка с удовлетворительными прочностными характеристиками образуется в жидко-твердой фазе с интерметаллидной прослойкой толщиной 2...3 мкм.

Сварка титана с медью в твердой фазе лучше всего реализуется, если процесс ведется по схеме, ранее описанной для пары Ti–Al. На соединяемых поверхностях меди выполняются выступы и соответствующие им впадины на титане. Свариваемые поверхности, находящиеся под углом к направлению действия сжимающего усилия взаимно контактируют, и при вдавливании образуется прочное и плотное сварное соединение.

При сварке трением, которая должна вестись в среде аргона, несмотря на частичное удаление интер-

металлидов вместе с пластичным металлом, зона соединения характеризуется разрозненной прослойкой толщиной около 7 мкм, но разрушение соединения происходит по медной составляющей на расстоянии от сварного шва.

Вообще, непосредственное соединение этих двух металлов невозможно без образования интерметаллидной прослойки. Даже такой быстрореализуемый способ, как сварка взрывом, требует использования промежуточного металла – ниобия толщиной 0,3...1,0 мм при получении заготовки биметалла Ti–Cu для дальнейшей металлообработки прокаткой, где нагрев до температуры 750...800 °С со скоростью 0,75...0,80 °С/с является обязательной операцией. После этого выполняется принудительное подстуживание пакета, так чтобы перепад температур между медью и титаном составлял 70...120 °С для последующей прокатки с обжатием 30...40 % за один проход.

Непосредственная диффузионная сварка титана с медью может быть осуществлена только в узком температурно-временном диапазоне, что иногда практически трудновыполнимо, поэтому используются в качестве промежуточных материалов молибден и ниобий как в виде фольг, и так и в виде напыленных слоев.

Техника диффузионной сварки оказывает существенное влияние на поведение металла в приконтактных зонах под действием термодеформационного цикла. Если сварка ведется в плотной оправке с кольцевой проточкой в месте стыка, происходит локальная деформация, в приконтактном слое меди протекает динамическая рекристаллизация под нагрузкой, металл остается пластичным, сохраняет свой свойства, а разрушение происходит по поверхности контакта.

Если же сварка ведется в плотной жесткой оправке, которая обеспечивает совместную деформацию металлов независимо от их свойств, требуется значительно большее время, чтобы титан продавил медь, деформация рассредоточивается, захватывая не только приконтактный слой, но и последующие участки. Динамическая рекристаллизация обеспечивает полное развитие физического контакта, релаксируя напряжения, залечивает дефекты кристаллической решетки и устраняет поры.

Библиографический список

1. **Металлургия** и технология сварки титана и его сплавов / С.М. Гуревич, В.Н. Замков, В.Е. Блащук и др. 2-е изд., доп. и перераб. К.: Наукова думка, 1986. 240 с.

2. **Сахацкий Г.П.** Технология сварки металлов в холодном состоянии. К.: Наукова думка, 1979. 296 с.

3. **Сварка** алюминия и его сплавов с другими металлами / В.Р. Рябов. К.: Наукова думка, 1983. 264 с.

4. **Сварка** композиционных материалов: обзор / В.Р. Рябов. К.: ИЭС им. Е.О. Патона, 1990. 60 с.

5. **Сварка** разнородных металлов и сплавов. / В.Р. Рябов, Д.М. Рябкин, Р.С. Курочко, Л.Г. Стрижевская. М.: Машиностроение, 1984. 239 с.

6. **Технологія** та обладнання електричного контактного зварювання.: навч. посіб. / О.Г. Биковський, Д.М. Лутов, І.В. Піньковський. К.: Техніка, 2001. 240 с.

ОБРАБОТКА ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ: справочник

С.В. Кирсанов, В.А. Гречишников, С.Н. Григорьев, А.Г. Схиртладзе

2010. – 344 с. ISBN 978-5-94275-521-8 **Цена 600 р.**

Рассмотрены современные конструкции инструментов для обработки глубоких отверстий. Даны рекомендации по их проектированию, изготовлению и эксплуатации. Приведены сведения о технологии обработки глубоких отверстий, используемых станках и приборах для контроля глубоких отверстий.

Предназначен для технологов и конструкторов машиностроительных предприятий, а также студентов вузов.

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

УДК 621.9.015

В.Ф. Безъязычный, *д-р техн. наук,* **В.А. Кононов,** *канд. техн. наук*
(Рыбинская государственная авиационная технологическая академия им. П.А. Соловьева)
E-mail: kononovva@mail.ru

Повышение эффективности и качества процесса создания изделий машиностроения посредством совершенствования форм его организации

Рассмотрены особенности параллельной инженерной разработки изделий машиностроения. Приведены примеры отечественного и зарубежного опыта применения данного подхода. Сформулированы практические рекомендации по организации параллельной инженерной разработки.

Details of concurrent engineering approach for design and development in machine-building are analyzed in the article. Examples of the use in Russia and abroad are delivered. Practical recommendations to organize concurrent engineering are formulated.

Ключевые слова: методы проектирования и разработки, параллельная инженерная разработка, перспективное планирование качества продукции, межфункциональная команда, создание продукта.

Keywords: design and development methods, concurrent engineering, advanced product quality planning, multidisciplinary team, product realization.

Решение задач, стоящих перед нашей страной в области инноваций, развития научно-технического прогресса, перехода на выпуск современной и реально конкурентоспособной продукции с российскими корнями, во многом определяет способность достичь Россией тех долгосрочных целей, которые очерчены в последнее время на высшем государственном уровне. Сама постановка этих целей признает серьезное технологическое отставание отечественных предприятий от ведущих мировых производителей наукоемких и технически сложных изделий, как потребительского назначения (например, бытовая техника и электроника), так и стратегически важной для любой страны продукции авиастроения, судостроения, автостроения. Одним из путей решения этой проблемы является использование российскими производителями лучшего мирового организационно-технического опыта создания новых изделий. И не просто использование, а творческое осмысление и развитие этого опыта с учетом отечественной практики и лучших отечественных достижений в области организационных форм, методов, применяемых структурированных инструментов повышения эффективности и качества процесса создания изделий машиностроения.

В настоящей статье проведен анализ современных подходов к организации проектирования и разработки изделий машиностроения, а именно параллельной инженерной разработки и его разновидности – процесса перспективного планирования качества продукции, а также сформулированы особенности их практической реализации.

Параллельная инженерная разработка (concurrent engineering, simultaneous engineering) – это систематизированный организационно-технический подход, обеспечивающий интегрированное и в значительной степени одновременное проектирование как самих изделий, так и процессов их производства [1]. Обычно он предусматривает формирование межфукциональных команд, что дает возможность инженерам и управленцам различных специальностей работать совместно над решением взаимосвязанных задач.

Данный подход способствует тому, что участники процесса разработки с самого его начала вынуждены в комплексе рассматривать важ-

нейшие элементы всех стадий жизненного цикла изделия, начиная с этапа формирования концепции изделия до этапа его утилизации, включая аспекты качества, затрат, соблюдения дисциплины поставок, требований потребителей, влияния на окружающую среду и т.п. [8].

Параллельная инженерная разработка обеспечивает совершенствование конструкции изделия и технологии его производства, повышает эффективность эксплуатации, упрощает техническое обслуживание и ремонт. Это достигается в значительной мере совместной работой различных специалистов (маркетологов, конструкторов, технологов, управленцев и др.) и интенсивным информационным обменом между ними [7]. Данный подход является альтернативой традиционной последовательной схеме разработки изделий, при которой отдельные этапы разработки выполняются последовательно (рис. 1).

Названия этапов создания новых изделий на рис. 1 несколько отличаются от российских инженерных традиций и нормативной базы (концептуальное проектирование, валидация, разработка и др.). Это отражает зарубежный опыт создания новых изделий, который все шире используется российскими специалистами.

Это естественная тенденция, которая не несет никакой угрозы эффективности конструкторско-технологических работ, тем более, что чаще всего между "новыми" и традиционными подходами существует вполне прослеживаемое соответствие.

Так, в отечественном фундаментальном справочнике [3] жизненный цикл изделия разделен на два процесса: процесс создания и

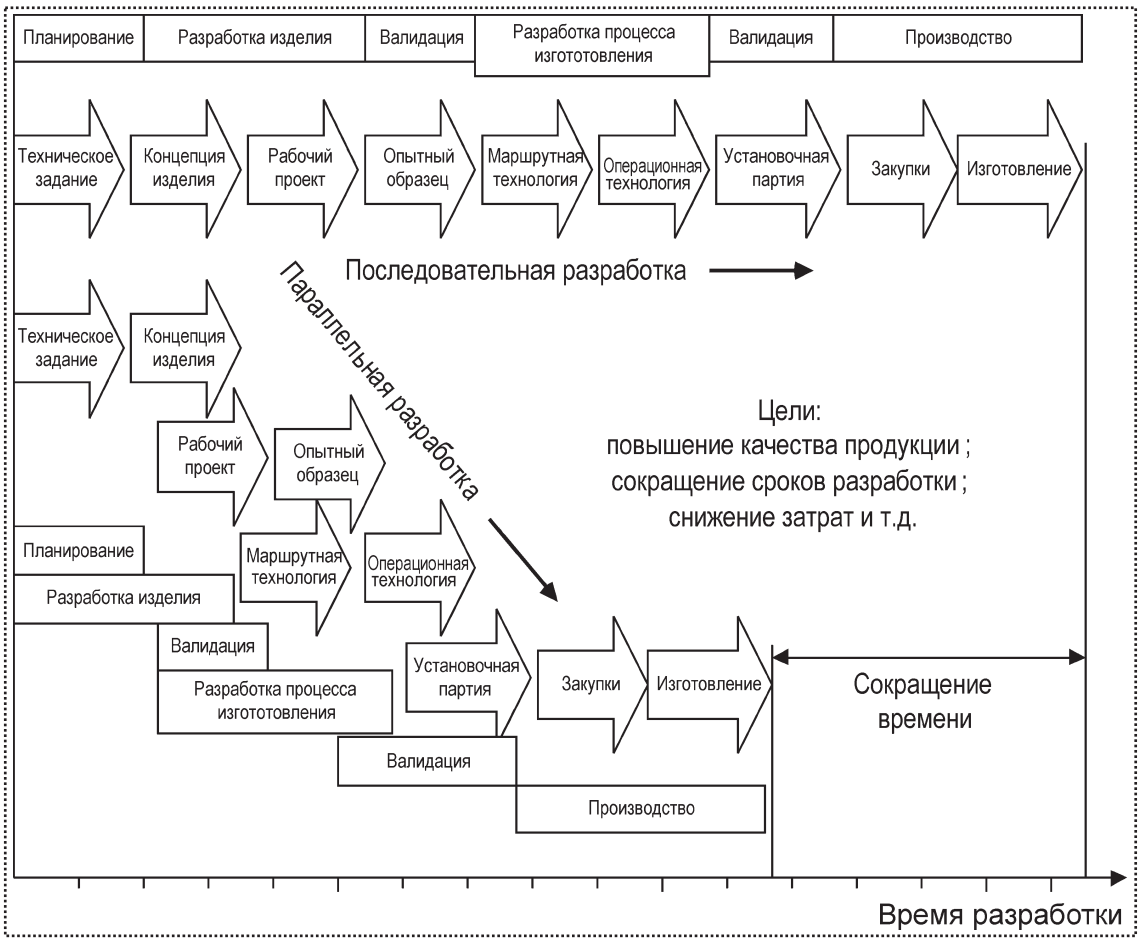


Рис. 1. Особенности последовательного и параллельного подхода к разработке изделий

процесс применения изделия. В свою очередь составными частями процесса создания являются этапы проектирования, изготовления и поставки. Такая трактовка процесса создания изделия близка по смыслу к значению англоязычного словосочетания "product realization", используемого в работе [5] – разработка, создание изделия.

Справочник [3] дает детализацию процесса создания изделия. В общем случае он соответствует отечественной терминологии ЕСКД и включает в себя следующие этапы:

- разработка технического задания;
- разработка технического предложения;
- создание эскизного проекта;
- создание технического проекта;
- подготовка рабочей документации;
- изготовление опытного образца;
- проведение испытаний;
- разработка документации на серийные изделия;
- изготовление установочной партии;
- серийное производство.

Особенностью процесса создания изделия в такой трактовке является последовательное выполнение его этапов.

Очень интересен тот факт, что методология параллельной разработки изделий имеет российские корни. Автором ее можно по праву считать выдающего советского конструктора артиллерийских вооружений В.Г. Грабина. Ярким примером успешного применения параллельного проектирования стал выпуск самого массового орудия второй мировой войны – пушки ЗИС-2, которая была разработана и поставлена на серийное производство всего за три месяца.

В своей книге В.Г. Грабин пишет, что проектирование нового изделия рассматривалось не просто как решение инженерной проблемы, но и как совершенствование организационной структуры, внедрение новых методов инженерно-конструкторского труда, оптимальное выстраивание совместной работы различных специалистов [2]. На инженерном языке ставилась задача создания пушек и постановки их на валовое производство в минимальные сроки, при этом конструкция пушки должна быть не только сама по себе совершенной, надежной и отвечающей тактико-техническим требованиям, но и помимо этого высокотехнологичной, дешевой в изготовлении.

Анализ отечественных и зарубежных публикаций показал, что в целом основными целями организации процесса создания изделия, основанного на принципах параллельной инженерной разработки, являются [9, 10]:

- повышение конкурентоспособности изделий и организации;
- повышение рентабельности производства;
- увеличение объемов продаж и получаемой прибыли от новых изделий;
- сокращение времени создания и вывода новых изделий на рынок;
- сокращение затрат живого и овеществленного труда;
- повышение качества изделий.

При этом параллельная инженерная разработка имеет следующие организационные особенности, которые необходимо учитывать для обеспечения ее результативности:

- одновременное решение нескольких инженерных задач;
- рассмотрение проектирования и разработки изделий как единого процесса;
- частичную или полную трансформацию иерархической структуры организации в командную;
- нахождение баланса между интересами потребителей, поставщиков, служб маркетинга, продаж, производства и требованиями к качеству изделий.

Как показывают зарубежные исследования, применение данного подхода принесло значительные выгоды предприятиям различных отраслей промышленности [9], а именно:

- сокращение сроков инженерной разработки изделий на 30...70 % при общем сокращении времени вывода изделий на рынок на 20...90 %;
- сокращение количества изменений, вносимых в проект, на 65...90 %;

• уменьшение объема бракованной продукции и затрат на ее доработку на 75 %;

• общее снижение потерь от низкого качества изделий в 2–6 раз;

• повышение производительности на 20...110 %;

• увеличение доходности активов на 20...120 %;

• снижение производственной себестоимости на 40 %.

Параллельная разработка совершенствует внутриорганизационные коммуникации, способствует повышению качества изделий и технологических процессов, оказывает положительное влияние на технико-экономические показатели деятельности предприятий в целом. Однако детальный анализ отечественных и зарубежных публикаций показал, что, к сожалению, их авторы в основном ограничиваются только констатацией преимуществ технологии параллельной инженерной разработки, не приводя информации о конкретных формах ее организации, методике применения, общих закономерностях, приводящих к успешному решению конструкторско-технологических задач. В лучшем случае акцент делается на какой-либо один аспект параллельной инженерной разработки, обеспечивающий ее успех в конкретных случаях. Например, в работе [6] приводится описание успешного применения этого метода в компании Фуджи Ксерокс за счет рационального менеджмента информационного обеспечения проектирования и разработки изделий, которое включало в себя следующие элементы:

• внутреннюю техническую информацию, например инженерное "ноу-хау" фирмы;

• внешнюю информацию (патенты, результаты бенчмаркинга, электронные каталоги технических решений и т.п.);

• пакеты программного обеспечения для проведения автоматизированных расчетов;

• данные и результаты компьютерного CAD конструирования;

• программные пакеты для компьютерного моделирования и проведения инженерных расчетов, такие как CAE.

Ощущается острая потребность в детализации методологии параллельного проектирования с учетом особенностей условий деятельности проектно-производственных предприятий, современных достижений в области организации конструкторско-производственной деятельности, развития информационных технологий, средств и методов повышения эффективности и качества инженерного труда.

Наиболее распространенным формальным представлением концепции параллельной инженерной разработки и перспективного планирования качества является процедура APQP (Advanced product quality planning) [4], устанавливающая требования к процессу проектирования и разработки изделий автомобильной промышленности. Отечественным аналогом этой процедуры является ГОСТ Р 51814.6–2006.

Процедура APQP была разработана в конце 1980-х гг. группой экспертов, представляющих так называемую "Большую тройку" ведущих автопроизводителей США, в которую входили компании Форд, Дженерал моторс и Крайслер. Данная группа в течение пяти лет проводила развернутые исследования существующих в то время способов проектирования и разработки изделий, применявшихся в США, Европе и особенно в Японии. В результате исследований были сформулированы основные составляющие успеха японских фирм, которые частично отражены на рис. 2. Анализ кривых затрат, вызванных конструктивными и технологическими изменениями, позволяет сформулировать различия в подходах к инженерной разработке изделий, существовавшие в Японии и США.

Особенности японского подхода:

• внесение изменений в проект изделия по большей части осуществляется в период разработки опытного образца;

• это дает возможность устранить реальные и потенциальные проблемы до начала серийного производства.

Особенности американского подхода:

• мало времени уделяется исследованию альтернативных вариантов технических решений на ранних стадиях проектирования, из-за

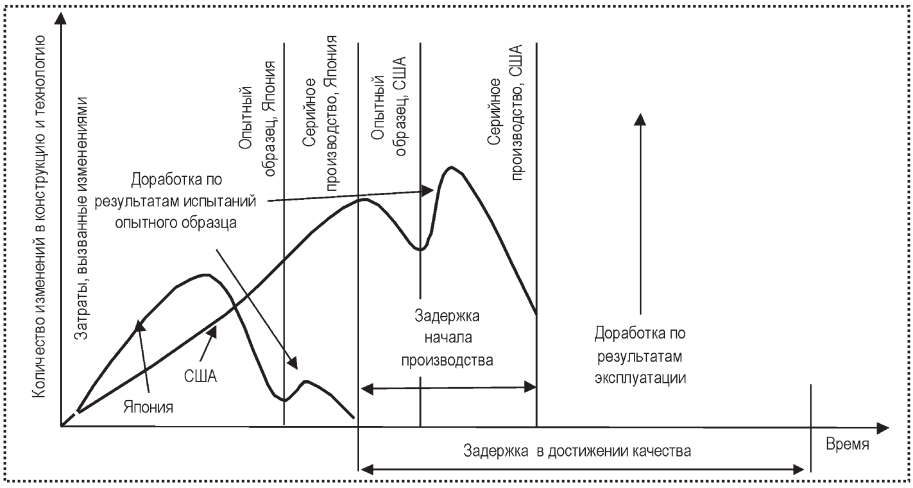


Рис. 2. Сравнение американской и японской практики создания изделий

чего вносятся значительные изменения в конструкцию изделия перед началом серийного производства;

• внесение изменений продолжается после начала производства, что значительно увеличивает затраты, т.е. недостатки конструкции "тиражируются" в массовом масштабе;

• полный цикл разработки значительно дольше, чем в Японии, и, соответственно, требует несоизмеримо больших затрат.

К сожалению, даже на первый взгляд достаточно подробные формализованные руководства по параллельной инженерной разработке не устанавливают четких организационных принципов ее практической реализации, обеспечения механизмов взаимосвязи решаемых задач и интеграции отдельных этапов всего процесса создания новых изделий.

Это приводит к многообразию форм практической реализации параллельной инженерной разработки изделий в различных проектно-конструкторских организациях. Такое многообразие частично может быть оправдано спецификой внутренних и внешних условий для каждой организации, но в целом оно не может претендовать на научную обоснованность и вызывает значительные сложности организации процесса проектирования и разработки по последовательно-параллельной схеме.

Так, в работе [4], механизм параллельности отражен лишь концептуальной схемой взаимодействия этапов параллельной инженерной разработки, и перечислением входов и выходов для каждого этапа (рис. 3).

Такое представление имеет и недостаток, так как в этом руководстве в качестве отдельного постулата констатируется, что выход одного этапа является входом другого этапа разработки изделий [4, разд. 4.3]. Данный постулат частично подвергает сомнению принцип параллельности, поскольку косвенно подразумевает невозможность решения последующих задач без окончательного решения текущих, и вызывает определенные сложности при организации самого процесса проектирования и разработки.

Это подтверждает и опыт работы авторов статьи в качестве аудиторов систем менеджмента качества, в том числе и систем менеджмента предприятий автомобильной отрасли, соответствующих требованиям технической спецификации ISO/TS 16949:2009. Как правило, практическая реализация требований, указанных в работе [4], является специфической для каждо-

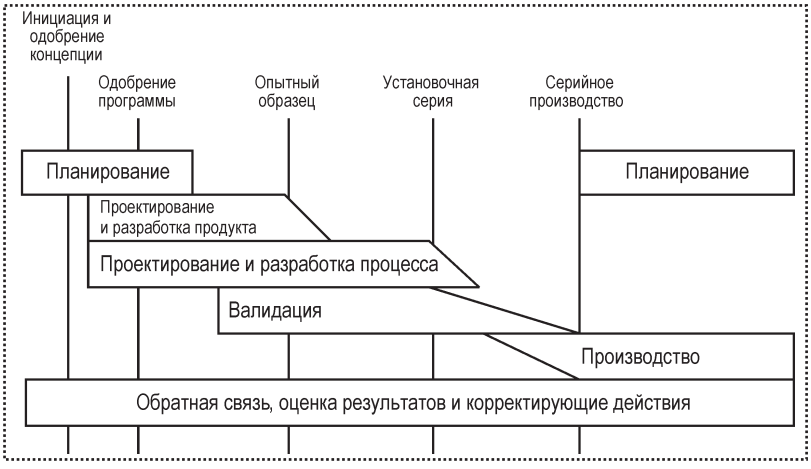


Рис. 3. Временной график APQP-процесса

го отдельного предприятия и выражается в различающихся по форме и содержанию организации проектной работы, применяемых методах и технических средствах. Это объясняется несколькими причинами:

• спецификой выпускаемой продукции и сложившимися традициями выполнения конструкторско-технологических работ на предприятии;

• субъективным пониманием содержания формальных руководств по организации разработки изделий;

• принятыми стандартами по документальному описанию системы менеджмента качества предприятия;

• использованием специфических компьютерных программных средств как для решения чисто инженерных задач (CAE, CAD, CAM и т.п.), так и задач, обеспечивающих функционирование системы менеджмента качества (например, Microsoft Office Project);

• применением конкретных структурированных средств и методов решения инженерно-технических задач и повышения качества изделий (QFD, DFMEA, PFMEA, DOE, FTA, анализ надежности, функционально-стоимостной анализ и т.п.).

Соответственно, становится очевидным – многообразие вариантов организации параллельной инженерной разработки дает возможность поиска наиболее оптимального из них. Хотя, безусловно, перечисленные особенности отдельных предприятий позволяют говорить только лишь о выборе направлений оптимальной организации параллельной инженерной разработки.

Тем не менее, представляется целесообразным сформулировать эти направления и обосновать основные принципы, позволяющие на практике в полной мере реализовать преимущества данного подхода.

Основная особенность параллельной разработки, определяющая ее преимущество – одновременное выполнение взаимосвязанных задач. Практическое воплощение этого принципа возможно только в случае наличия последовательности или алгоритма их решения. В терминологии систем менеджмента качества такая последовательность или алгоритм попадают под определение "процесса" [5], где он определен как "совокупность взаимосвязанных или взаимодействующих видов деятельности, преобразующих входы в выходы". Таким образом, для детализации принципа параллельности необходимо в рамках общих стадий перспективного планирования качества (см. рис. 3) четко определить необходимые процессы, их отдельные шаги и целевое содержание решаемых на каждом шаге задач (видов деятельности). Это касается как процессов в целом, так и их отдельных шагов или подпроцессов.

Возможность одновременного выполнения различных процессов, подпроцессов и отдельных шагов определяется содержанием решаемых на них задач и степенью взаимосвязи между этими задачами. Возможны следующие варианты:

• рассматриваемые задачи *не взаимосвязаны*. Это идеальный, но редко встречающийся вариант. Наличие таких задач дает возможность их параллельного независимого решения без жестких временных ограничений. В качестве примера можно привести размерный анализ конструкции и выбор способа доставки изделия потребителю;

• рассматриваемые задачи *взаимосвязаны достаточно жестко*, и конкретные решения для них можно получить, рассматривая их в совокупности и по возможности одновременно. Пример – назначение допусков на линейный размер, задание шероховатости поверхности и определение вида заключительной технологической операции по обеспечению установленной точности и шероховатости с учетом имеющегося в наличии обрабатывающего оборудования. Это случай параллельной зависимой связи;

• рассматриваемые задачи *связаны последовательно*. Возможность решения последующей задачи определяется наличием решения для предыдущей. Так, выбор средств управления процессом производства определяется только после задания требований к результатам этого процесса, таким как уровень качест-

ва выпускаемых изделий или требуемая производительность процесса. Для таких ситуаций возможна лишь последовательная реализация отдельных задач.

Сама классификация задач, исходя из возможности их решения в разрезе временной последовательности, близка по своей сути к широко известному методу календарного планирования или, в современной трактовке, – управления проектами. Однако общность в обоих случаях проявляется только лишь в определении последовательности выполнения отдельных работ, определении критического пути, оптимизации затрачиваемых ресурсов. Принципиальное отличие от ранее упомянутого подхода связано с тем, что при параллельной инженерной разработке речь идет не только о задачах в целом, но и об отдельных их параметрах, как входных (независимые переменные), так и выходных (зависимые переменные) и, в большинстве случаев, их сложной взаимосвязи.

В общем случае целесообразна следующая последовательность действий для обеспечения принципа параллелизма при организации разработки изделий:

1) определить перечень решаемых задач на каждом этапе (в большинстве – это выходы отдельных этапов процедуры APQP [4]);

2) для каждой задачи определить перечень входных и выходных переменных параметров, значения которых нужно определить с точки зрения нахождения оптимальных решений;

3) провести анализ наличия одинаковых переменных в разных задачах;

4) провести анализ связи между переменными в разных задачах и определить взаимно зависимые переменные;

5) составить структуру переменных параметров решаемых задач при проектировании и разработке, определенных в пунктах 3 и 4, которая и устанавливает последовательность решения задач и, соответственно, определяет степень возможного параллелизма.

Приведенная последовательность позволяет определить уровни и сформулировать организационные принципы интеграции в зависимости от важности принимаемых решений, а также от степени необходимого участия в принятии конкретных решений субъектов процесса создания продукции (отдельных специалистов, руководителей, подразделений, временных творческих групп и т.п.).

Первый уровень необходимой интеграции определяют стратегические вопросы эффективности инновационных процессов. В частности это касается составления прогнозов состояния и перспектив рынка планируемой к выпуску новой продукции, определения основных конкурентов и тенденций их деловой активности в части реализации маркетинговой и технической политики, сегментирования рынка и определения основных категорий потребителей.

Второй уровень интеграции связан с решением общих организационно-технических задач, решаемых в процессе создания нового продукта, и требует совместной деятельности функциональных специалистов или подразделений, например, обеспечение технологичности изделия или привязка технологии его производства к имеющимся техническим возможностям предприятия.

Третий уровень интеграции определяется набором узких, по большей части специализированных вопросов, рассмотрение которых должно быть поручено узким специалистам в конкретной предметной технической области, например, касающихся метрологического обеспечения процесса производства, проведением особых видов испытаний, расчетов по надежности конструкции и т.п. Связанная с третьим уровнем интеграции деятельность реализуется при работе, например, QFD, FMEA, MSA-команд.

Концептуально принцип интеграции в параллельной инженерной разработке отображен на рис. 4.

Центральным звеном в интеграционном процессе является деятельность функциональных подразделений, в частности тех, которые несут основную ответственность за конструкцию изделия, технологию и организацию его производства, технико-экономическое обоснование принимаемых решений. В практической плоскости

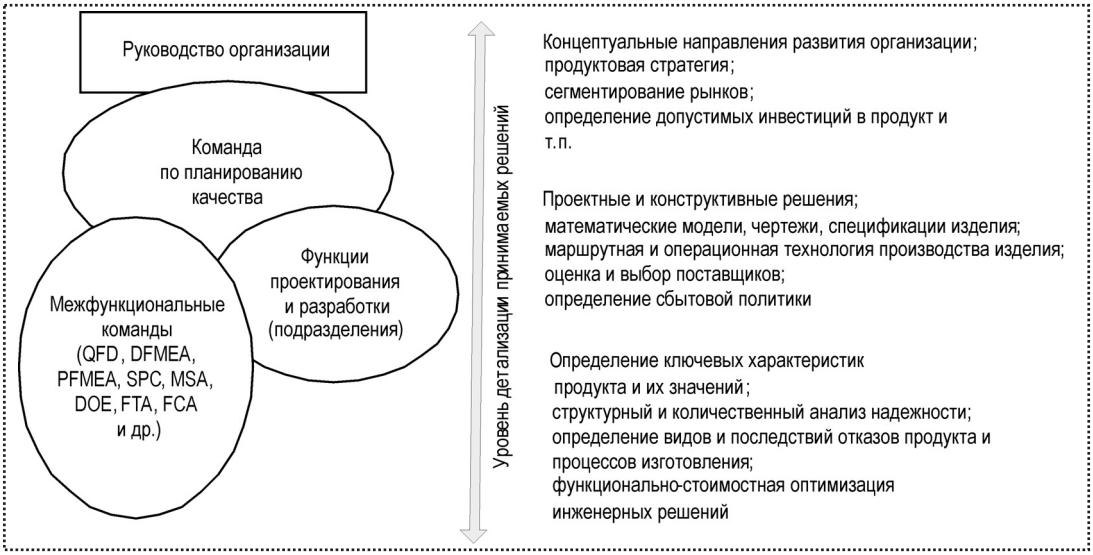


Рис. 4. Концепция интеграции участников параллельной инженерной разработки

эта интегрирующая роль может проявляться в следующих организационных формах:

• делегирование специалистов подразделений для работы в межфункциональных командах, решающих специальные задачи (см. рис. 4), такие как QFD – развертывание функции качества, FMEA – анализ видов и последствий отказов, SPC – статистическое управление производственными процессами, FCA – функционально-стоимостной анализ и др.;

• делегирование специалистов подразделений для работы в APQP – команде, принимающей комплексные решения, влияющие на весь жизненный цикл изделия.

Таким образом, предложенные конкретные решения по реализации принципов параллелизма и интеграции при создании новых изделий машиностроения дают возможность сделать переход от концептуальных постулатов, определяющих преимущества параллельной инженерной разработки и перспективного планирования качества продукции, к рациональной организации этих процессов.

Библиографический список

1. **Безъязычный В.Ф., Кононов В.А.** О влиянии терминологических аспектов на эффективность анализа видов и последствий отказов технических объектов в условиях параллельной инженерной разработки // Справочник. Инженерный журнал. 2008, № 8. С. 46–51.

2. **Грабин В.Г.** Оружие победы. М.: Политиздат, 1989. 133 с.

3. **Надежность** и эффективность в технике: справочник в 10 т. Т. 1.: Методология. Организация. Терминология / под ред. А.И. Рембезы. М.: Машиностроение, 1986. 224 с.

4. **Advanced** product quality planning (APQP) and Control plan reference manual, second printing february. Chrysler corp., Ford motors company and General motors corp. 1995.

5. **ISO 9001:2008.** Quality management systems. Requirements.

6. **Katsuhiro U., Atsushi E., Marcelo M.** From sashimi to zen-in: the evolution of concurrent engineering at Fuji Xerox. Journal of Knowledge management. Tokyo, V. 8. 2004, № 4.

7. **Nordland K.E.** Information flow between tools early in the engineering design process. Rochester institute of technology rochester. New York. July, 2007.

8. **Thomas F.S.** The simultaneous performance of product design and process design in Managing quality: an integrative approach. Upper Saddle River New Jersey: Prentice hall, 2001.

9. **Stark J.** A few words about concurrent engineering. URL: http://www.johnstark.com/default.html. 2009.

10. **Syan C.S.** Introduction to concurrent engineering. Concurrent engineering – concepts, implementation and practice. New York, 1994. P. 9.

ООО "Издательство **Машиностроение**", 107076, Москва, Стромынский пер., 4
Учредитель ООО "Издательство **Машиностроение**".
Адрес электронной почты издательства: **E-mail: mashpubl@mashin.ru**;
редакции журнала: **sborka@mashin.ru, http://www.mashin.ru**
Телефон редакции журнала: (499) 268-38-42; тел./факс (499) 268-85-26; факс 269-48-97.
Технический редактор *Жиркина С.А.* Корректоры *Сажина Л.И., Сонюшкина Л.Е.*
Сдано в набор 05.10.11 г. Подписано в печать 07.11.11 г. Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 5,88. Уч.-изд. л. 6,21. Заказ 821. Свободная цена.
Оригинал-макет и электронная версия подготовлены в ООО "Издательство Машиностроение".
Отпечатано в ООО "Подольская Периодика", 142110, Московская обл., г. Подольск, ул. Кирова, д. 15.