



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Робототехника и мехатроника»

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

по дисциплине

«Роботизированные технологические комплексы сборочного производства»

Авторы

Ивацевич Ю.Б.,

Лаврентьев Е.Б.

Ростов-на-Дону, 2015



Аннотация

В учебном пособии рассмотрены основные вопросы проектирования роботизированных технологических комплексов сборки. Изложены особенности проектирования различных типов оборудования. Приведены требования, предъявляемые к сборочным роботам, методики определения усилий, необходимых при выполнении сборочных операций.

Предназначено для студентов вузов, обучающихся по направлению 150306 «Мехатроника и робототехника».

Авторы

к.т.н., доцент
Ивацевич Ю.Б.

ст. преподаватель
Лаврентьев Е.Б.



Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 КЛАССИФИКАЦИЯ СБОРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ	7
2 ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ РОБОТИЗИРОВАННОЙ СБОРКИ	11
3 ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ОБЪЕКТАМ РОБОТИЗИРОВАННОЙ СБОРКИ.....	19
4 МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТОЧНОСТИ СБОРКИ	23
4.1 УСЛОВИЯ СОБИРАЕМОСТИ ДЕТАЛЕЙ	28
5 БАЗИРОВАНИЕ СОБИРАЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ	34
5.1 МЕТОДЫ УЛУЧШЕНИЯ УСЛОВИЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СБОРКИ.....	41
6 РАЗМЕРНЫЕ СВЯЗИ РОБОТИЗИРУЕМОЙ СБОРКИ.....	50
7 ТРЕБОВАНИЯ К СБОРОЧНЫМ РОБОТАМ.....	57
8 ОСНОВНЫЕ КОМПОНОВКИ СБОРОЧНЫХ РТК	67
9 ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ, НЕОБХОДИМЫХ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ СБОРОЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ.....	76
10 СОЕДИНЕНИЯ С ЗАЗОРОМ	77
11 СОЕДИНЕНИЯ С НАТЯГОМ.	83
12 СБОРКА УЗЛОВ С ПОДШИПНИКАМИ КАЧЕНИЯ	86
13 СБОРКА УЗЛОВ С УПРУГИМИ КОЛЬЦАМИ	87
14 ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ ПРИ СБОРКЕ ИЗДЕЛИЙ С ЭЛЕМЕНТАМИ МАЛОЙ ЖЕСТКОСТИ.....	89
15 УСИЛИЯ ПРИ ЗАКРЕПЛЕНИИ СОЕДИНЕНИЙ ПУТЕМ МЕСТНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ.....	93
16 УСИЛИЯ ПРИ ЗАКЛЕПОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ.	95
17 УСИЛИЯ ПРИ СБОРКЕ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ.	97
18 ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ РТК	101



19 СБОРОЧНЫЙ ИНСТРУМЕНТ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА СБОРОЧНЫХ РТК.....	109
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	123
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	124

ВВЕДЕНИЕ

Сборка является завершающим и наиболее ответственным этапом производства различных изделий, однако, в настоящее время технологические процессы сборки являются наименее автоматизированными (до 80% всего объема сборочных работ выполняются вручную). Трудность автоматизации сборочных процессов обусловлена прежде всего тем, что в сборке участвуют сразу несколько деталей (компонентов), которые необходимо захватить, ориентировать, обеспечить их точное сопряжение и закрепление.

К эффективным средствам автоматизации основных и вспомогательных сборочных операций относятся роботизированные сборочные комплексы, которые обладают большой гибкостью и высоким быстродействием при работе по программе в течение длительного времени.

Применение промышленных роботов в качестве основного технологического оборудования в технологических процессах сборки объясняется следующими причинами:

- роботы в наибольшей степени пригодны для выполнения технологических процессов сборки, в структуре которых преобладают операции манипулирования соединяемыми деталями и сборочными единицами;

- использование роботов в сборке дает значительно больший эффект, чем при выполнении их только для вспомогательных операций;

- трудоемкость проектирования и изготовления роботизированных сборочных комплексов значительно ниже, чем проектирование комплексов на основе программируемых автоматов;

- РТК сборки имеют достаточно высокую надежность, высокую производительность при большей гибкости, высокий уровень стандартизации и унификации, простую интеграцию систем управления отдельными компонентами.

Применение роботов в сборочном производстве сдерживается рядом факторов:

- необходимость обеспечения высокой точности позиционирования, достаточной жесткости для восприятия усилий сборки;

- промышленные роботы для сборки должны обладать развитой системой осязания и достаточно высоким уровнем искусственного интеллекта.

Расширение функциональных возможностей роботов за счет оснащения их сенсорными системами, адаптивными захватными устройствами, специальными сборочными механизмами позволяет создавать роботизированные системы для сборки сложных изделий.

Возможности широкого внедрения РТК сборки ограничены такими факторами как сложность и многообразие объектов сборки, сложность сборочной оснастки, малая длительность циклов сборочных операций, необходимость применения регулировочных работ, а также незначительной номенклатурой централизованно выпускаемых средств ориентации и поштучной выдачи собираемых компонентов, специфических сборочных функциональных устройств, агрегируемых с промышленными роботами.

Структура и состав сборочных роботизированных комплексов определяется как технологическим процессом сборки, так и номенклатурой средств подготовки производственной среды, роботами, комплектом устройств управления и информационного обеспечения.

Высокие технико-экономические и эксплуатационные показатели роботизированных сборочных комплексов обеспечиваются при следующих условиях:

- высокая степень унификации и максимальная адаптация конструкций изделий к условиям автоматизированной сборки;
- автоматизация транспортно-загрузочных и других вспомогательных операций по обеспечению комплектующими, оснасткой и т. п.;
- стабильность качества изготовления комплектующих изделий;
- максимальная унификация и стандартизация устройств и механизмов.

1 КЛАССИФИКАЦИЯ СБОРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ

Сборка - образование соединений составных частей изделия. *Изделие* представляет собой предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии. Установлены следующие виды изделий: детали, сборочные единицы, комплекты. В качестве составных частей собираемого изделия могут быть детали, сборочные единицы (соединения, узлы) и комплектующие изделия. *Узел* - сборочная единица, которая может собираться отдельно от других составных частей изделия и выполнять определенную функцию в изделиях одного назначения только совместно с другими составными частями.

Комплектующее изделие - это изделие предприятия-поставщика, применяемое как составная часть изделия, выпускаемого предприятием-изготовителем. *Соединение* - сопряжение при сборке составных частей изделия или заготовок, определяемое заданными в конструкторской документации их относительным положением и видом связи между ними, лишаящей эти части определенного числа степеней свободы. Соединения представляют собой элементарные сборочные единицы.

Сопряжение при сборке - относительное положение составных частей изделия, характеризующееся соприкосновением их поверхностей и (или) зазором между ними, заданными в конструкторской документации. Деталь, имеющая сопряжения с другими деталями, называется сопрягаемой деталью (сборочной единицей). Она имеет сопрягаемую (сопрягаемые) поверхность, образующую сопряжения при сборке. Деталь, с которой начинают сборку изделия, присоединяя к ней детали или другие сборочные единицы, называется базовой деталью.

При выполнении сборки должна достигаться необходимая точность сборки изделия, под которой понимается свойство процесса обеспечивать соответствие значений параметров изделия заданным в конструкторской документации. Необходимая точность достигается применением соответствующего метода сборки изделия - совокупности правил достижения заданной точности замыкающего звена размерной цепи.

Под видом сборки изделия понимается категория сборки, выделяемая по одному из ее признаков. На выбор видов сборки влияют конструкция собираемых изделий и их составных частей; их геометрическая форма, размеры и масса; число модификаций собираемых изделий; тип производства и программа выпуска из-

делий, точность и производительность сборки; режимы процесса сборки; функциональная взаимосвязь элементов изделия и степень их взаимозаменяемости; число мало жестких и легко повреждаемых элементов, затраты на выполнение сборки и т. п. Существующие виды сборки можно классифицировать по различным признакам.

По объекту сборки она подразделяется на узловую, объектом которой является составная часть изделия (узел), и на общую, объектом которой является изделие в целом. Объект сборки - это собираемые в процессе сборки составные части изделия или изделие в целом.

При узловой сборке промышленные роботы применяют: для поиска и распознавания деталей, их транспортирования, ориентации и подачи на сборочную позицию, для контроля размеров, правильности и качества взаимного соединения и закрепления деталей, для транспортирования и укладки (а если потребуется - и упаковки) собранного узла.

Сборка под сварку может рассматриваться как операция узловой сборки и как операция, предваряющая механическую обработку.

При общей, окончательной сборке изделия промышленные роботы используют: для транспортирования, взаимной ориентации и установки узлов, иногда для их соединения, а также для транспортирования готовых изделий.

Промышленные роботы могут применяться и на *операциях разборки изделий*.

По стадии процесса сборка делится на предварительную, промежуточную и окончательную сборку, а также сборку под сварку (пайку, склеивание). По методу образования соединения сборка подразделяется на слесарную сборку, монтаж, электро-монтаж, сварку, пайку, склеивание.

По последовательности сборка подразделяется на последовательную, параллельную и последовательно-параллельную сборку изделия или его составных частей. При последовательной сборке сборочные операции выполняются одна за другой, при параллельной - одновременно, при параллельно-последовательной - одна за другой и одновременно.

По расположению оси сборки в пространстве сборка подразделяется на вертикальную, горизонтальную и наклонную (при создании РТК первые две являются предпочтительными). *По числу одновременно собираемых соединений* различают сборку

одного и одновременно нескольких соединений. *По способу совмещения осей* сопрягаемых поверхностей собираемых компонентов различают сборку без совмещения и с совмещением осей компонентов,

По переналаживаемости технологических процессов различают переналаживаемые и не переналаживаемые процессы сборки. Переналадка может осуществляться: заменой или изменением относительного расположения функциональных элементов оборудования; заменой управляющей программы оборудования; применением комбинированной переналадки.

По виду теплового воздействия на собираемые компоненты различают сборку с тепловым воздействием и без него. Сборка с тепловым воздействием подразделяется на три вида: с нагревом охватываемого компонента, с охлаждением охватываемого компонента, с одновременным нагревом охватываемого и охлаждением охватываемого компонентов.

По характеру действующего сборочного усилия на собираемые компоненты различают сборку под действием гравитационных и внешних сил. Гравитационная сборка обычно не обеспечивает высокой надежности процесса, ее можно использовать в ограниченном числе случаев при сборке соединений с зазором и свободной установке компонентов по плоским поверхностям. Сборка под действием внешних сил может осуществляться под воздействием непостоянной и постоянной по направлению приложения сборочной силы. Последняя может быть постоянной или равномерно изменяющейся по значению, высокочастотной ударно-импульсной, часто ударно-импульсной, редко ударно-импульсной, одноударной.

При сборке можно наносить смазки на сопрягаемые поверхности, однослойные или двухслойные покрытия, поверхностно-активные вещества и т. п.

К основным сборочным операциям, которые могут быть выполнены с помощью ПР, оснащенных соответствующими инструментами и приспособлениями, относятся следующие:

- надеть - вставить;
- наложить - вложить;
- раздвинуть - развернуть;
- установить - снять;
- запрессовать;
- свинтить - развинтить;
- склеить;

склепать; - сжать - разжать.

Для выполнения основных операций требуется реализация ряда вспомогательных операций, к которым относятся транспортирование, ориентирование, измерение и т.п.

Сборочный процесс имеет следующую типовую последовательность операций: извлечение деталей из навала, ориентация детали, транспортирование на позицию сборки, совмещение элементов и их фиксация, контроль и коррекция правильности совмещения, образование соединений, удаление собранного узла.

Наибольшее распространение в сборочных процессах получила операция так называемого бинарного монтажа, при котором соединяются два объекта: первичный, полученный в результате предшествующих элементарных операций, и вторичный, который соединяется с первичным,

Выбор наиболее эффективных видов и способов сборки конкретного изделия, обеспечивающих сборку необходимого количества и заданного качества изделий с минимальными затратами труда и издержками производства, зависит от правильности учета влияния комплекса взаимосвязанных производственных, организационных, технологических и социальных факторов.

2 ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ РОБОТИЗИРОВАННОЙ СБОРКИ

Технологический процесс сборки содержит действия по установке и образованию соединений составных частей изделия или заготовки. Технологические процессы могут подразделяться по объекту сборки, переналаживаемости, виду производства, числу операций, уровню автоматизации и т. п. *Единичным* является технологический процесс сборки изделия одного наименования, типоразмера и исполнения, *типовым* - процесс сборки группы изделий с общими конструктивными и технологическими признаками, *групповым* - процесс сборки изделий с разными конструктивными, но общими технологическими признаками. *Однооперационный* технологический процесс сборки состоит из одной операции, *многооперационный* - из нескольких операций.

Многооперационные технологические процессы сборки могут состоять из основных (сборочных) и вспомогательных технологических операций или только из основных операций. Технологическая *сборочная операция* представляет собой законченную часть технологического процесса сборки, связанную с установкой и образованием составных частей изделий или заготовок и выполняемую на одном рабочем месте. В состав типовых и групповых технологических процессов сборки входят соответственно типовые и групповые технологические операции. Под типовой технологической операцией сборки понимают операцию, характеризующуюся единством содержания и последовательности технологических переходов для сборки группы изделий с общими конструктивными и технологическими признаками. *Технологический переход* - законченная часть технологической операции, характеризующаяся постоянством применяемого оборудования, оснастки при постоянных технологических режимах и установке собираемого объекта. *Групповая технологическая операция сборки* - это операция совместной сборки группы изделий с разными конструктивными, но общими технологическими признаками.

Технологические процессы сборки могут быть различными по содержанию, последовательности выполнения операций, а также составу оборудования, инструмента, приспособлений. Основными операциями при автоматизированной сборке являются операции сопряжения для разъемных (цилиндрических, резьбо-

вых, шлицевых, шпоночных, зубчатых и др.) и неразъемных (заклепочных, вальцовочных, паяных и др.) соединений.

Кроме того, технологический процесс сборки включает также подготовительные операции (расконсервация, контроль, комплектация), вспомогательные (поштучное и партионное деление, транспортирование, переориентация, промежуточный контроль), сопутствующие (гибка, зачистка, рихтовка и др.) и, наконец, послесборочные (испытания, наладка, регулировка, упаковка и пр.).

Структура и содержание ТП сборки зависят от конструкции собираемого изделия, предъявляемых к нему технических требований, массы, размеров и количества собираемых компонентов, программы и длительности выпуска изделий. При этом в состав ТП могут входить различные технологические операции, которые выполняются в определенной технической и экономически целесообразной последовательности.

К основным этапам разработки технологических процессов роботизированной сборки относят следующие:

- 1) сбор и анализ исходных данных для разработки технологического процесса сборки;
- 2) расчет такта и ритма сборки, определение типа производства и организационной формы сборки;
- 3) отработка конструкции собираемого изделия на технологичность;
- 4) выбор действующих типового, группового технологических процессов или поиск аналога единичного процесса сборки;
- 5) проведение размерного анализа конструкции собираемого изделия, выбор технологических баз и схем базирования, установление рациональных методов сборки;
- 6) составление технологического маршрута сборки изделия;
- 7) определение числа операций, их содержания, параметров сборки (усилия запрессовки, моменты затяжки резьбовых соединений, точность позиционирования и т.п.);
- 8) выбор автоматизированного сборочного оборудования, инструментов и приспособлений;
- 9) уточнение содержания операций и определение оптимальных режимов их выполнения;
- 10) разработка технического задания на конструирование специальной сборочной технологической оснастки;
- 11) определение состава систем контроля параметров изделий в процессе сборки;

- 12) установление схемы межоперационных связей и выбор транспортно-накопительных устройств;
- 13) определение требований техники безопасности;
- 14) расчет экономической эффективности вариантов технологического процесса сборки;
- 15) оформление документации на технологический процесс сборки.

К исходным данным для разработки технологического процесса относятся программа выпуска изделия и конструкторская документация на изделие, технические требования. Для действующего производства к исходным данным относятся также сведения об имеющихся сборочном оборудовании и оснастке, производственных площадях и т. п.

Во время разработки технологического процесса роботизированной сборки необходимо: соблюдать принцип последовательности сборки, в соответствии с которым должны отсутствовать промежуточная разборка, смещение установленных в сборочной единице компонентов; обеспечить условие собираемости сборочных единиц по кратчайшей размерной цепи; широко использовать возможности интенсификации процесса сборки, совмещая операции и переходы, увеличивая режимы сборки. Следует планировать совместную работу всех составляющих РТК.

При разработке технологического процесса роботизированной сборки следует исходить из условия простого конструктивного исполнения средств автоматизации, наименьшего числа изменений положений базовых и других деталей и узлов в пространстве, а также параллельности выполнения различных приемов. Разветвление и сходимостъ потоков усложняют конструкцию сборочного оборудования и снижают надежность его работы.

Основная задача, которая решается при разработке технологического процесса роботизированной сборки, – наиболее эффективно вписать промышленный робот в конкретную технологическую среду и организовать эту среду для наиболее выгодного использования в ней промышленного робота. Технологический процесс роботизированной сборки для конкретного изделия необходимо разрабатывать в нескольких вариантах, а затем, оценивая сложность реализации каждого варианта, можно выбрать оптимальный.

Разработка технологического процесса роботизированной сборки обычно проводится в три этапа. На первом этапе, на основании изучения собираемого изделия, составляют техноло-

гические схемы общей и узловой сборки, которые в наглядной форме отражают маршрут сборки изделия и его составных частей. Технологические схемы общей и узловой сборки составляют отдельно, выделяя не только технологические, но и вспомогательные операции. На этих схемах следует выделять участки ручной или механизированной сборки, на которых роботизированная сборка затруднительна или невозможна.

За исходное звено принимается базовая деталь 1-1, к базовой детали присоединяются по две детали 1-2 и 1-3, в результате чего образуется "сборка" Сб-1; к этой сборке присоединяется сборка, образованная из деталей 2-1, 2-2, 2-3 и т. д. На схеме детали обозначаются прямоугольниками, внутри которых дается индексация и в нижней части - наименование деталей, причем сборочные единицы обозначаются символом Сб с присвоением порядкового номера ступени сборочной единицы (узла). Этим же номером отмечаются и отдельные детали, входящие в данную сборочную единицу. На этом этапе рекомендуется составить схему расположения сборочных элементов с указанием технологической последовательности сборки (см. рисунок 3).



Рисунок 1. Состав микроэлементарных перемещений

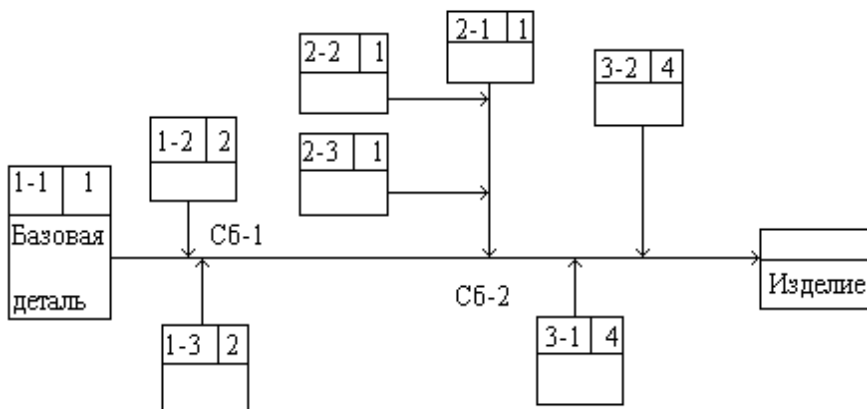


Рисунок 2. Схема расположения сборочных элементов

Технологические схемы сборки служат основой для разработки маршрутной и операционной технологии (рисунок 2). На этапе разработки маршрутной технологии уточняют последовательность и содержание операций сборки, устанавливают структуру РТК и типы входящих в их состав роботов, технологического и транспортного оборудования, выявляют операции с большой вероятностью отказов и предусматривают на этих этапах сборки производственные заделы.

Операционная технология – наиболее сложный и трудоемкий этап разработки технологического процесса роботизированной сборки. Отличительной особенностью технологического процесса роботизированной сборки является необходимость его разработки более подробно, с указанием, наряду с входящими в него операциями и переходами, состава и характера микроэлементных перемещений каждой детали (см. рисунок 1).

Такое представление позволяет сформулировать требования к промышленному роботу, технологическому оборудованию, средствам загрузки, правильно распределить функции между роботом и другими составляющими РТК, выполнить разработку управляющих программ для роботов и системы в целом, оптимизировать режим работы РТК. При разработке операционной технологии уточняют детально содержание операций (включая микроэлементные перемещения), оценивают необходимость дифференциации или концентрации сборочных операций, выполняют

все необходимые технологические расчеты, определяют штучное время по элементам и в целом.

Здесь же устанавливают конкретные модели промышленных роботов и технологического оборудования, встраиваемого в РТК. Составляют технические задания на проектирование захватов, приспособлений, специального оборудования. Устанавливают типы блокировочных устройств и сигнализации для предупреждения аварийных ситуаций и брака при сборке, типы диагностических устройств для быстрого выявления отказов, разрабатывают мероприятия по технике безопасности. Для сложных операций строят циклограммы работы роботов в РТК в целях выявления возможности повышения производительности.

На основе операционной технологии составляют исходные данные для подготовки управляющих программ для промышленных роботов, определяют траекторию движения рабочих органов манипуляторов, назначают скорости перемещения, рабочие и вспомогательные команды, выявляют траекторию обхода возможных препятствий. Составляют управляющие программы и проверяют их на графопостроителе.

Такт (темп) сборки представляет собой интервал времени, через который производится сборка изделий определенного наименования, типоразмера и исполнения. При заданном режиме работы сборочного производства такт сборки T зависит от числа собираемых изделий за определенный промежуток времени и определяется из выражения

$$T = F / N,$$

где F - фонд времени (годовой, месячный, сменный), ч.; N - программа выпуска изделий за этот промежуток времени, шт.

Действительный фонд времени F_d сборочного оборудования определяется как

$$F_d = F \cdot K_n,$$

где K_n - коэффициент, учитывающий потери времени на ремонт сборочного оборудования. Для автоматизированного сборочного оборудования при значении коэффициента потерь 0,94 значения F_d будут соответственно равны 1900, 3725 и 5465 ч в год при работе соответственно в одну, две, три смены.

Ритм сборки определяется количеством изделий

определенных наименований, типоразмеров и исполнений, собираемых в единицу времени. Действительный ритм сборки

$$R_d = 1 / T_d.$$

Тип производства определяется номенклатурой, регулярностью, стабильностью и объемом выпуска изделий; он характеризуется коэффициентом закрепления операций

$$K_{з0} = Q/P,$$

где Q - число всех различных технологических операций, подлежащих выполнению в течение месяца; P - число рабочих мест, на которых выполняются данные операции. В зависимости от числа изделий в партии или серии и значения коэффициента $K_{з0}$ различают мелкосерийное ($20 < K_{з0} < 40$), среднесерийное ($10 < K_{з0} < 20$) и крупносерийное ($1 < K_{з0} < 10$) сборочные производства.

Тип производства определяется отдельно для изделия и его узлов, так как он может быть разным.

Ориентировочно тип производства можно определить также по темпу сборки изделия или его составных частей. Если темп значительно превышает предварительно найденную длительность операций, то сборку ведут по принципам серийного производства. Если темп близок к средней длительности операций или меньше ее, то сборку ведут по принципам массового производства (поточным методом). При малом темпе (2-3 мин.) процесс сборки дифференцируют, выделяя небольшие по своему содержанию операции.

При недостаточно продуманной технологии нередко выявляется малая (по сравнению с ручной) производительность роботизированной сборки. Ее можно увеличить путем применения многозахватных роботов, многоместных захватов и приспособлений, совмещением во времени элементов рабочего цикла, а также повышением безотказности работы РТК и сокращением времени на устранение отказов.

В процессе проектирования технологии необходимо особое внимание уделить качеству изделий. Качество изделий определяется совокупностью свойств материалов, размерных и силовых параметров. Эта совокупность определяется в процессе проектирования машины и реализуется процессом ее изготовле-

ния (сборки).

В результате сборки неподвижного соединения должно быть обеспечено: требуемое положение присоединенной детали относительно базовой, требуемая прочность соединения, характеризующаяся значениями передаваемых соединением сил и моментов.

В подвижных соединениях должны обеспечиваться требуемые параметры движения (перемещения или вращения). Таким образом, показатели качества собранного изделия можно разделить на размерные и силовые.

На все показатели качества изделия устанавливают предельные отклонения. Если показатели находятся в пределах допустимых отклонений, то изделие соответствует нормам точности и является качественным. В ряде случаев силовые параметры качества изделия достигаются через размерные (например, холостой ход редуктора регулируется величиной натяга подшипников).

3 ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ОБЪЕКТАМ РОБОТИЗИРОВАННОЙ СБОРКИ

Эффективность роботизации процессов сборки во многом зависит от характеристики объектов сборки. Анализ узлов изделий показывает, что их технико-экономические характеристики являются исходными данными для определения технологического процесса сборки, структуры и состава роботизированного комплекса.

К техническим характеристикам объекта сборки относятся конструктивно-технологические признаки узла и его отдельных элементов. Структура и характеристики собираемого узла, взаимосвязь между его элементами определяются видом поверхности сопряжения, видом соединения и типом закрепления деталей, видом расположения элементов, количеством деталей в узле.

Требования к конструкции изделия прежде всего определяются его назначением. Однако наряду с этим к изделию, предназначенному для автоматической роботизированной сборки, предъявляется целый ряд дополнительных требований, которые определяют технологичность собираемого узла. Эти требования можно определить как общие, предъявляемые к изделию, собираемым узлам и деталям с точки зрения загрузки, ориентирования, захвата их манипулятором и условий сборки.

Улучшением технологичности конструкции можно снизить трудоемкость сборки на 12-20% и снизить себестоимость изготовления изделия на 5-10%.

К основным факторам, влияющим на технологичность изделия, можно отнести следующие:

Расчленение конструкции изделия (декомпозиция) на самостоятельные части приводит к снижению трудоемкости сборки - изделие должно состоять из отдельных сборочных единиц, каждая из которых содержит не менее четырех и не более 15-20 деталей (оптимальным считается 4-7 деталей). Сокращение числа деталей достигают следующими способами:

1) объединением нескольких деталей в одну, что может быть достигнуто путем использования современных методов получения деталей литьем под давлением, применением пластмассовых деталей сложной формы и т.п.;

2) исключением ряда деталей – изготовлением крепежных элементов непосредственно на соединяемых деталях, соединении

деталей стопорами различного вида;

3) рационализацией конструкции изделий.

- детали должны быть простой конфигурации, без острых кромок и больших выступов, с минимальным числом ребер жесткости;

- деталь должна иметь возможно большее число плоскостей и осей симметрии;

- необходимо обеспечить совмещение направляющих координатных осей деталей с осями координат системы робота;

- объект роботизации должен иметь минимальное количество устойчивых положений;

- сборочная единица должна содержать базовую деталь, на которой производится сборка; форма базовой детали должна облегчать ориентирование и обеспечивать устойчивость положения для предотвращения смещения в процессе сборки;

- базовые детали всех изделий, собираемых в РТК, должны иметь конфигурацию, допускающую закрепление их с использованием одного и того же приспособления;

- сборочная единица должна допускать объединение деталей в подузлы;

- схемы базирования должны обеспечить собираемость по кратчайшей размерной цепи;

- любая точка собираемого изделия должна быть доступна всем необходимым инструментам для выполнения всех запрограммированных операций;

- допуски на размеры деталей должны обеспечивать возможность осуществления сборки методом полной или частичной взаимозаменяемости;

- для роботизированной сборки необходима замена, где возможно, шлицевых и шпоночных соединений коническими, сопряжение которых облегчает процесс сборки;

- желательно все детали одной сборки приспособлять для перемещения единственным захватом;

- необходимо соблюдать принцип последовательности сборки, т.е. отсутствие промежуточной разборки, смещения установленных деталей;

- при необходимости использования резьбовых соединений ассортимент применяемых винтов сводить к минимуму;

- качество собираемых деталей должно быть гарантированным;

- следует избегать длинных путей соединения, особен-

но при прессовых посадках; образования воздушных подушек, например, в глухих отверстиях;

- при разработке изделий и узлов следует избегать таких соединений, автоматизация которых трудно осуществима;

- желательно использование в конструкции изделия технологичных деталей и сборочных единиц, уже освоенных промышленностью;

- ограничение использования деталей, которые теряют свою форму в процессе воздействия на них в бункерах и лотках;

- ограничение применения деталей, изготовленных из хрупких материалов;

- деталь должна иметь такую форму, чтобы сопряжение ее могло быть выполнено при минимальной длине рабочего хода исполнительного органа;

- деталь должна сохранять устойчивое положение во время присоединения (по отношению к ранее установленной);

- детали должны обладать податливостью и самоцентрировкой, для чего предусматриваются фаски, конусные заходы и центрирующие выступы.

Повышение технологичности конструкций собираемых деталей при роботизированной сборке может достигаться за счет выполнения следующих требований:

- унификацией и стандартизацией деталей и сборочных единиц, особенно однородных изделий (резьбовые соединения, диаметры отверстий, посадки, шлицевые соединения и пр.);

- изготовлением собираемых деталей с направляющими элементами в виде направляющих фасок, центрирующих уступов и расточек, конусов, углублений и т. д., с помощью которых обеспечивается компенсация суммарной погрешности относительной ориентации деталей на позиции сборки до допустимых пределов за счет относительного скольжения собираемых деталей по их направляющим элементам до начала соединения сопрягаемых поверхностей;

- изготовлением центрирующей поверхности базовой детали, используемой в дальнейшем для центрирования присоединяемой детали с помощью направляющих элементов сборочных головок.

Фаски на поверхностях сопрягаемых деталей как вспомогательные позиционирующие элементы облегчают установку деталей в отверстие. Ширина фаски должна быть больше или равна ожидаемой величине позиционного отклонения. Для фаски

угол конусности выбирается в пределах $5...45^\circ$, ширина фаски $0,5...2$ мм. Фаски располагаются на обеих поверхностях сопряжения. Применяют также направляющие фаски с закруглением кромок валов и отверстий, двухступенчатые конические фаски с разными углами для валов и отверстий. Применение двухступенчатых фасок особенно эффективно при роботизированной сборке деталей с натягом при большом значении суммарной погрешности относительного ориентирования. При этом двухступенчатую фаску выполняют только на одной сопрягаемой детали, на другой – одну направляющую фаску. Рекомендуемые значения углов $\varphi_1 = 30-45^\circ$, $\varphi_2 = 10-15^\circ$.

Для деталей с центрирующими выступами или расточками должен быть обеспечен гарантированный зазор при посадке в диапазоне $0,02...0,08$ мм; длина центрирующего выступа составляет обычно $1...10$ мм. Центрирующие выступы или расточки могут быть выполнены на одной из сопрягаемых деталей, на другой обычно выполняется одна направляющая фаска. В ряде случаев изменение конструкции отдельных деталей приводит к уменьшению количества деталей в узле.

Важным требованием является обеспечение кинематической замкнутости отдельных узлов и изделия в целом, при которой манипулирование ими не ведет к распадению изделия на части.

4 МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТОЧНОСТИ СБОРКИ

Под методом сборки изделия понимается совокупность правил достижения заданной точности замыкающего звена размерной цепи при сборке. Достигаемая в процессе сборки точность должна обеспечивать соответствие значений параметров изделия заданным в конструкторской документации. Обеспечение заданной точности сборки путем использования наиболее экономичных методов сборки достигается на основе расчета и анализа сборочных размерных цепей, с помощью которых определяется точность относительного положения поверхностей или осей деталей, входящих в сборочную единицу или технологическую систему «собираемые детали - сборочное оборудование».

Точность сборки характеризуется значением замыкающего звена размерной цепи, к которому предъявляется требование точности, определяющее качество изделий в соответствии с техническими условиями. Номинальный размер замыкающего звена (размера) A_{Δ} размерной цепи A

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} \xi_{A_i} A_i ,$$

где $i=1,2,\dots, m$ - порядковый номер звена; m - число звеньев размерной цепи; $(m-1)$ - число составляющих звеньев; ξ_{A_i} - передаточное отношение i -го звена размерной цепи, характеризующее расположение звеньев по величине и направлению.

Для линейных размерных цепей (звенья которых расположены на параллельных прямых) $|\xi_1| = |\xi_2| = \dots = |\xi_{m-1}| = 1$; при этом для увеличивающих и уменьшающих составляющих звеньев ξ_i соответственно равно 1 и -1. Для плоских (звенья которых расположены произвольно в одной или нескольких параллельных плоскостях) и пространственных (звенья которых расположены произвольно в пространстве) размерных цепей $\xi_i = \frac{\partial A_{\Delta}}{\partial A_i}$ - частная

производная функция замыкающего звена по i -му составляющему размеру.

Расчеты сборочных размерных цепей могут проводиться двумя методами: *методом максимума-минимума*, при котором учитываются предельные отклонения составляющих звеньев, и *вероятностным методом*, при котором учитываются законы рассеяния размеров деталей и случайный характер их сочетания при сборке.

Для достижения точности замыкающего звена применяются следующие методы сборки: с полной, неполной и групповой взаимозаменяемостью, с регулированием, с пригонкой. При роботизации сборочных операций последние два метода практически не применяются.

Метод полной взаимозаменяемости обычно применяют в условиях массового и серийного производства, а также в единичном производстве при сборке стандартных деталей. Этот метод находит преимущественное применение при небольшом числе звеньев размерной цепи и достаточном размере допуска на замыкающее звено. Метод обуславливает высокую стабильность размерных и физико-технических параметров исходных сборочных компонентов, поступающих на сборку, а это вызывает необходимость стабилизации технологического и производственного процессов. При его использовании исключаются объективные причины нарушения процесса сборки. Целесообразность практического использования метода полной взаимозаменяемости при роботизации сборки должна быть обоснована экономически.

Структурная схема роботизированной сборки методом полной взаимозаменяемости показана на рисунке 3.

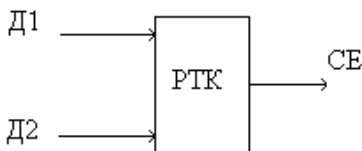


Рисунок 3. Структурная схема сборки методом полной взаимозаменяемости.

РТК, осуществляющий сборку двух деталей D_1 и D_2 , которые поступают на его вход, обеспечивает получение сборочной единицы СЕ. Гарантированное обеспечение требуемого размера замыкающего звена при полной взаимозаменяемости позволяет отказаться от контроля замыкающего звена, получающегося в результате сборки.

При методе сборки с полной взаимозаменяемостью расчет линейной сборочной размерной цепи проводится методом максимума-минимума, при котором допуск замыкающего размера ТА определяется арифметической суммой допусков составляющих

размеров, т. е.

$$TA_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} TA_i,$$

где TA_i - допуск i -го составляющего звена размерной цепи.

При способе назначения допусков одного качества средней число единиц допуска a_{cp} составляющих звеньев линейной цепи

$$a_{cp} = TA_{\Delta} / \sum_{i=1}^{m-1} i_i.$$

При использовании метода неполной взаимозаменяемости возникает вероятность того, что при определенном сочетании размерных или других параметров не будет обеспечена собираемость изделия или не будет получено изделие данного качества, т. е. имеется некоторый риск "несобираемости". Это обусловлено тем, что в основу расчета положен вероятностный метод расчета размерных цепей, основанный на том, что при сборке одновременное сочетание наибольших увеличивающих и наименьших уменьшающих размеров сопрягаемых поверхностей является маловероятным, так как отклонения размеров группируются в основном около середины поля допуска.

Поскольку заранее неизвестно, в каком именно изделии требуемый размер замыкающего звена не обеспечивается, то замыкающее звено размерной цепи, образующейся при сборке, необходимо контролировать в каждой сборочной единице. Поэтому приходится осуществлять 100% контроль деталей.

Структурная схема РТК, реализующего сборку методом неполной взаимозаменяемости, показана на рисунке 4.

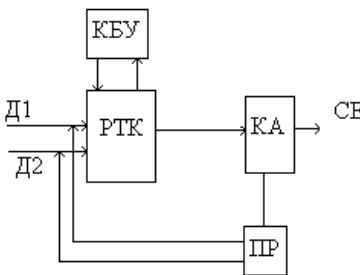


Рисунок 4. Структурная схема сборки методом неполной вза-

имозаменяемости.

Допуск замыкающего размера размерной цепи в этом случае рассчитывают по зависимости

$$TA_{\Delta} = t \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \lambda_i^2 (TA_i)^2},$$

где t - коэффициент риска, зависящий от процента риска P ; λ_i - коэффициент относительного рассеяния i -го составляющего размера ($\lambda_i=1/3$; $1/\sqrt{3}$; $1/\sqrt{6}$ - соответственно для нормального закона, закона равной вероятности и закона треугольника).

Значения коэффициента t при нормальном законе распределения замыкающего звена для различных процентов риска P приведены ниже:

$P, \%$	0,01	0,05	0,1	0,27	0,5	1	2	3	5	10
t	3,89	3,48	3,29	3	2,81	2,57	2,32	2,17	1,96	1,65

Расчет TA_{Δ} для малозвенных цепей, в которых число составляющих звеньев менее шести и погрешности размеров которых распределены по закону, отличному от нормального, выполняют по формуле

$$TA_{\Delta} = \frac{1}{\lambda_{\Delta}} \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \lambda_i^2 (TA_i)^2},$$

где λ_{Δ} - коэффициент относительного рассеяния замыкающего звена. Рассеяние размеров замыкающего звена часто можно считать подчиняющимся нормальному закону, для которого $\lambda_{\Delta} = 1/3$.

Преимущества данного метода сборки такие же, как и у метода полной взаимозаменяемости, однако, этот метод позволяет расширить допуски на составляющие звенья (для малозвенных цепей на 30-40%, для многозвенных в 2 раза и более), что снижает себестоимость изготовления изделий. Недостаток - дополнительные затраты на подгонку тех изделий, у которых значения замыкающих звеньев вышли за установленные пределы. Для исключения нарушения стабильности автоматической сборки дополнительно предусматривают контрольные, контрольно-

сортировочные и блокировочные устройства контроля качества собираемых компонентов.

Метод групповой взаимозаменяемости (селективная сборка) применяют в тех случаях, когда требуется обеспечить при сборке точное сопряжение поверхностей с малым зазором или строго ограниченным натягом, а изготовление компонентов необходимой точности затруднено. Требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается тем, что после изготовления сопрягаемых деталей со сравнительно широкими технологическими допусками их сортируют на равное число $n_{гр}$ групп с более узкими групповыми допусками. При сборке соединяют детали соответствующих (одинакового номера) групп, что позволяет в n раз повысить точность соединений при одновременном расширении допусков на изготовление деталей до экономически целесообразных размеров.

Сборка деталей методом групповой взаимозаменяемости схематично показана на рисунке 5.

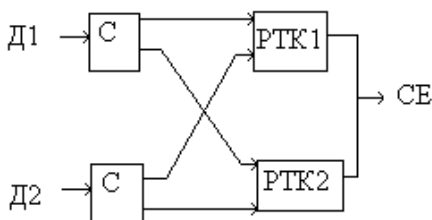


Рисунок 5. Структурная схема сборки методом групповой взаимозаменяемости.

При таком методе детали должны быть предварительно рассортированы по размерам на две группы сортировочным автоматом СА. Далее детали D_1 и D_2 первой размерной группы собираются в РТК1, аналогично собираются детали второй размерной группы в РТК2.

При селективной сборке расчет размерных цепей обычно выполняют методом максимума-минимума. Число групп, на которые рассортированы детали, при заданном допуске $T_{A\Delta}$ замыкающего звена

$$n_{\text{гр}} = \frac{\sum_{i=1}^{m-1} TA'_i}{TA_{\Delta}},$$

где TA'_i - экономически приемлемые допуски составляющих размеров.

Групповой допуск составляющего размера

$$Ta_{\text{гр}} = TA'_i n_{\text{гр}}.$$

Для обеспечения однотипности собранных соединений, для которых предельные размеры замыкающих звеньев в различных группах совпадают, рекомендуется соблюдать равенство сумм технологических TA и групповых $Ta_{\text{гр}}$ допусков увеличивающих и уменьшающих звеньев

$$\sum_1^n TA_{\text{ув}} = \sum_1^p TA_{\text{ум}}; \sum_1^n TA_{\text{гр.ув}} = \sum_1^p TA_{\text{гр.ум}},$$

где n и p - число увеличивающих и уменьшающих звеньев цепи.

К недостаткам этого метода сборки относятся: увеличение незавершенного производства; дополнительные затраты на проверку, сортировку и маркировку деталей; необходимость хранения деталей по группам до сборки. Метод используется в массовом и крупносерийном производстве для малозвенных (три-четыре звена) размерных цепей при сборке соединений высокой точности, когда дополнительные затраты окупаются высоким качеством собранных изделий.

4.1 УСЛОВИЯ СОБИРАЕМОСТИ ДЕТАЛЕЙ

Основным фактором осуществления автоматической сборки является точность совмещения сопрягаемых элементов. Существуют два основных типа совмещения деталей: плоскость – плоскость и вал – отверстие (рисунок 6). При анализе сборочных размерных цепей используют уравнение номиналов

$$\sum_{i=1}^m \xi_i A_i = 0 \quad \text{или} \quad A_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} \zeta_i A_i;$$

$$\text{и допусков} \quad \delta_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} \delta_i,$$

где A_{Δ} , δ_{Δ} – размер и поле допуска замыкающего звена сборочной размерной цепи; A_i , δ_i – соответственно размер и допуск звеньев, составляющих размерную цепь; m – число звеньев размерной цепи; ξ – передаточное отношение, показывающее влияние i -го звена на суммарную погрешность замыкающего звена A_{Δ} .

Рассмотрим систему уравнений, решенных относительно соответствующих замыкающих звеньев, характеризующих точность положения вала 1 и втулки 2 в пространстве для совмещения типа «вал-отверстие» (рисунок 6, б.), приняв $\xi_i = 1$;

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} A_i; B_{\Delta} = \sum_{i=1}^{n-1} B_i; B_{\Delta} = \sum_{i=1}^{k-1} B_i; \varphi_{\Delta} = \sum_{i=1}^{q-1} \varphi_i, \text{ где } n, k, q$$

- число звеньев соответствующих сборочных цепей.

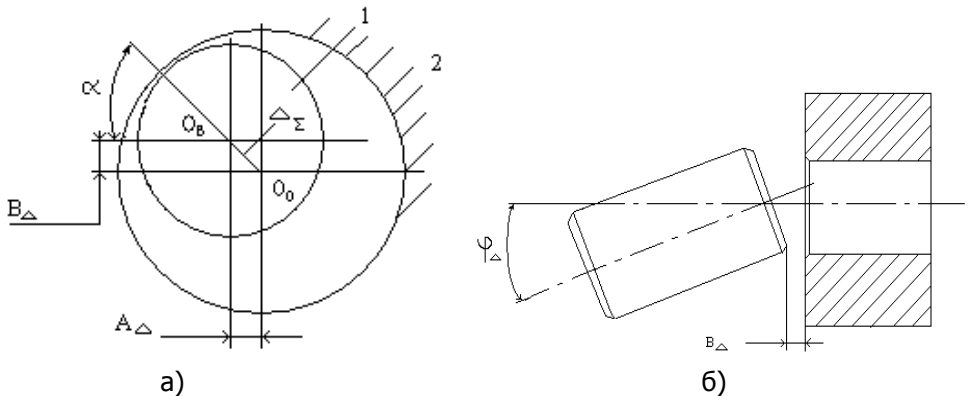


Рисунок 6. Основные типы совмещения деталей: а) вал-отверстие; б) плоскость-плоскость.

Суммарная погрешность Δ_{Σ} , связанная с несоосностью вала O_B и отверстия O_0 (втулки) в этом случае может быть выражена через размеры замыкающих звеньев:

$$\Delta_{\Sigma} = \frac{A_{\Delta}}{\cos \alpha} \quad \text{или} \quad \Delta_{\Sigma} = \frac{B_{\Delta}}{\sin \alpha}.$$

Основные точностные параметры рассчитываются из условий собираемости деталей, сопрягаемых по цилиндрическим поверхностям. Минимальный зазор в сопряжении

$$\Delta_{\min} = D_{\min} - d_{\max},$$

где D_{min} , d_{max} соответственно диаметры втулки и вала. Предельно допустимый угол перекоса (рисунок 7,а)

$$\varphi_n = \arctg \frac{\Delta_{min}}{l} \quad \text{или} \quad \varphi_n = \arctg \frac{d}{D},$$

где l – длина вала.

Допустимое отклонение от соосности без перекоса осей (рисунок 8):

$$\varepsilon = \frac{\Delta_{min}}{2} \quad \text{– при отсутствии фаски;} \quad \varepsilon = \frac{\Delta_{min}}{2} + c \quad \text{– при}$$

наличии фаски, где c – размер фаски.

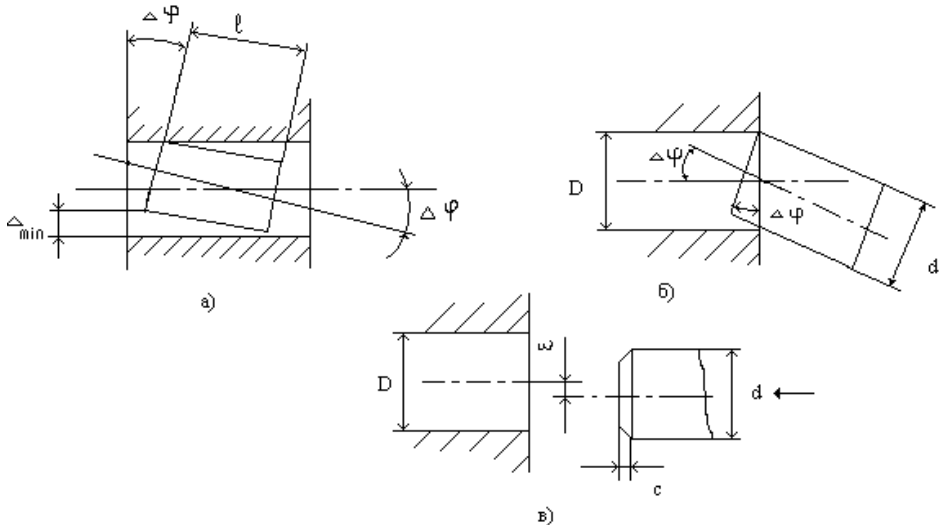


Рисунок 7. К расчету допустимых отклонений

Условия свинчивания деталей при сборке резьбовых соединений (винт-гайка):

$$l \geq 1,35 d_{cp}; \quad tg \varphi_n = \frac{0,5s}{d_{cp}}; \quad \varepsilon = \frac{\Delta_{min}}{2} + c_B + c_r - h,$$

где l – длина винта; d_{cp} – средний диаметр резьбы; s – шаг резьбы; c_B , c_r – соответственно размеры фасок на винте и гайке; h – высота профиля резьбы. Для основных метрических резьб допустимый угол перекоса равен $\varphi_n = 1...3,5^\circ$.

При автоматической сборке совмещение деталей некруглого сечения (рисунок 8) может быть выполнено путем перемещения центров O_1 и O_2 сечений сопрягаемых элементов на величину Δ_{Σ} поворота этих сечений на угол $\Delta\beta$ и поворота оси вала на угол $\Delta\varphi$ (на рисунке не показано).

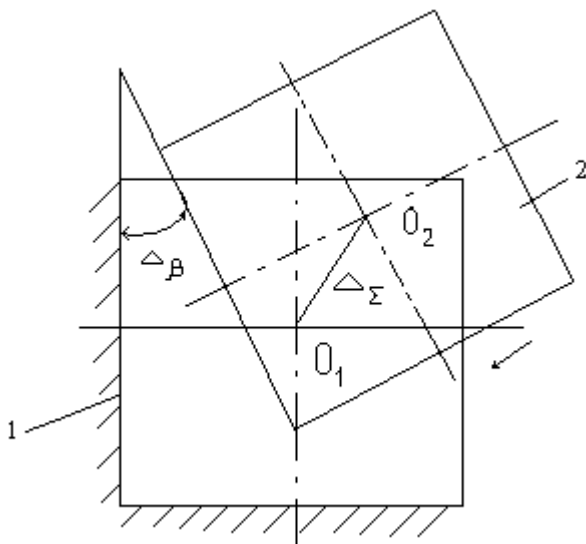


Рисунок 8. Сборка деталей некруглого сечения.

Таким образом, аналитические условия сборки имеют вид

$$\Delta_{\Sigma} \leq \varepsilon_n; \Delta\beta \leq \beta_n; \Delta\varphi \leq \varphi_n,$$

где ε_n , β_n , φ_n – соответственно линейные и угловые предельно допустимые смещения сопрягаемых элементов.

Величина суммарной погрешности Δ_{Σ} связана с конструктивными параметрами сборочного РТК уравнением

$$\Delta_{\Sigma} = f(\Delta\delta, \Delta\kappa),$$

где $\Delta\delta$, $\Delta\kappa$ – погрешности базирования деталей и сборочного комплекса.

В свою очередь, величина $\Delta\kappa$ может быть выражена следующей функциональной зависимостью:

$$\Delta_k = f(\delta_c, \delta_n, \delta_p, \delta_f, \delta_k)$$

где δ_c - погрешность изготовления деталей и сборки приспособления, δ_n - погрешность позиционирования транспортных средств, δ_f - погрешность фиксации соединяемых деталей.

В структуру Δ_Σ входят систематические и случайные погрешности.

Оценку точности совмещения деталей типа плоскость-плоскость без центрирующих поверхностей проводят путем вычисления линейных смещений Δx , Δy центра O конкретной детали 5 относительно центра O идеально установленной детали 3 и углового смещения $\Delta\beta$ (рисунок 9).

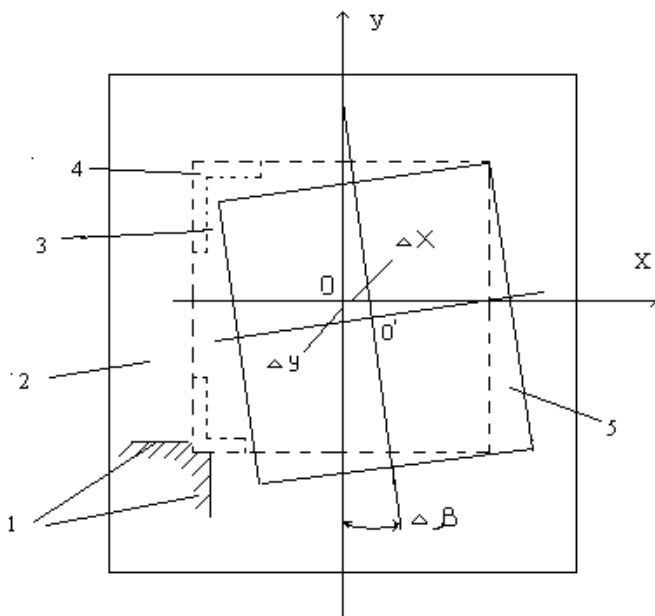


Рисунок 9. Установка по реперным знакам.

Координаты центра O определяются через координаты x_c и y_c центра O правильно установленной детали:

$$x'_c = x_c + \Delta x; \quad y'_c = y_c + \Delta y.$$

Установку плоских деталей с заданной точностью производят по элементам топологии, например, совмещая реперные зна-

ки 4 детали 3 с визирными линиями 1 на базовой детали 2. Процесс совмещения обычно осуществляется позиционированием детали 5 относительно подложки 2. Значения Δx , Δy , $\Delta \beta$ обычно устанавливают по среднему качеству точности.

5 БАЗИРОВАНИЕ СОБИРАЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ

Выбор технологических баз является одним из важных вопросов проектирования роботизированной сборки. От него зависит качество собираемых изделий и безотказность работы РТК. Выбор баз должен быть взаимосвязанным на всех этапах сборки изделия. Поданная на сборочную позицию деталь должна занять вполне устойчивое определенное положение и быть лишенной всех шести степеней свободы.

Под базой сборочного компонента понимают совокупность его поверхностей, линий или точек, по отношению к которым определены другие поверхности данного компонента. Поверхности сборочного компонента, непосредственно участвующие в его базировании, называются базирующими. Различают главную базирующую поверхность имеющую три опорные точки, направляющую базирующую поверхность, имеющую две опорные точки, и упорную базирующую поверхность с одной опорной точкой.

По назначению базы делятся на конструкторские (основные, вспомогательные), технологические и измерительные. Конструкторской является база, используемая для определения положения детали или сборочной единицы в изделии. Технологической является база, используемая для определения положения изделия при сборке. Измерительной является база, используемая для определения относительного положения детали и средств измерения. По лишаемым степеням свободы базы подразделяются на установочные, направляющие, опорные, двойные направляющие и двойные опорные.

При роботизированной сборке сборочные компоненты базируют по сопрягаемым и вспомогательным поверхностям. Базирование должно обеспечить совокупность базирующих элементов (поверхностей, линий, точек), обуславливая решение задач автоматической сборки. По правилу шести точек базируют в основном корпусные компоненты, и то сравнительно редко. В большинстве случаев при сборке изделий используют комбинации схем базирования для соединяемых компонентов. Один компонент, как правило, устанавливают (а следовательно, и базируют) неподвижно, второй имеет относительную подвижность.

Базирование деталей на сборочных позициях производится так же, как и в приспособлениях для механической обработки, - по правилу шести точек. Но при этом возникает дополнительное требование наибольшей стабильности положения сопрягаемых

поверхностей при колебании размеров детали в пределах допуска.

Основные способы базирования деталей перед сборкой: по одной наружной цилиндрической поверхности; по двум наружным цилиндрическим поверхностям с пересекающимися осями; по одной внутренней цилиндрической поверхности; по двум внутренним цилиндрическим поверхностям с параллельными осями; по одной наружной и одной внутренней поверхности с перпендикулярными осями; по плоскостям; по одной плоскости и одной наружной цилиндрической поверхности.

Выбор схем базирования для роботизированной сборки производят в следующей последовательности:

1. Производят проверку правильности технических требований собираемого объекта. При этом проверяют правильность расстановки размеров, относительного положения поверхностей и их допусков и при необходимости вносят соответствующие коррективы.

2. Определяют условия собираемости, которые в значительной мере предопределяют расчет и выбор наиболее выгодных схем базирования. В ряде случаев приходится повторно пересматривать технические условия объекта сборки и составляющих деталей, включая пересмотр размеров и допусков.

3. Выбирают метод достижения точности собираемого изделия.

4. Выбирают наиболее выгодные схемы базирования. При этом необходимо по возможности использовать в качестве технологических баз поверхности, по которым должно происходить сопряжение; наметить принципиальную конструкцию базирующих устройств; выявить принципиальные схемы размерных цепей системы сборочное устройство – собираемые детали; назначить допуски на звенья размерных цепей исходя из условий собираемости и принятого метода достижения точности сборки; по возможности использовать свойства самоустановки деталей в процессе сопряжения, для чего одна из деталей должна иметь возможность перемещения и поворота в любой из плоскостей, проходящей через ось симметрии перемещаемой детали, для компенсации погрешностей ее первоначального положения на исполнительных поверхностях базирующего устройства.

На первом этапе выбирают базу, определяющую положение детали в загрузочно-транспортном устройстве (для базовой детали изделия). Формулируют требования по точности обработки

выбранной базы, максимально возможным зазором на позиции захвата промышленным роботом.

На втором этапе выбирают базу для захвата детали рабочим органом промышленного робота. База должна быть достаточно протяженной для устойчивости детали в захватном устройстве, точно выполненной и точно расположенной относительно первой базы.

На третьем этапе определяют технологическую сборочную базу. Различают базирование базовой детали изделия и сопрягаемых с ней деталей при узловой и общей сборке. Базовые детали изделия устанавливают в приспособление робота, выдерживая принцип совмещения и постоянства баз. Первый принцип заключается в том, что технологическая база, на которую ставят базовую деталь изделия, совмещается с измерительной. В этом случае погрешность базирования равна нулю, и положение поверхности сопряжения с другими деталями собираемого изделия будет постоянным для всей партии изделий. Это повышает собираемость сопрягаемых деталей и безотказность процесса сборки.

На четвертом (заключительном) этапе сборки изделие снимается для укладки в тару готовой продукции или передается рабочим органом робота на транспортирующее устройство для перемещения на последующие операции. На этом этапе используют прежнюю базу для захвата изделия роботом; если она оказывается закрытой установленными при сборке деталями, то выбирают новую базу, обеспечивающую точное положение на следующей операции сборки.

Базирование собираемых деталей при сборке является непрерывно меняющимся процессом по пути перемещения от грузочных устройств до окончания непосредственного соединения. Задачей базирования является нахождение и применение наиболее простых и надежных схем базирования собираемых деталей, при которых обеспечивается выполнение условий их собираемости.

Выбор способа базирования основан на учете технологии и специфики построения сборочного процесса; конструкции, массы, габаритов и точностных параметров собираемых деталей; конструкции и точности сборочного оборудования; необходимого усилия зажима собираемых деталей; вида и точности соединения и других факторов.

При выполнении операций сборки базовый компонент обычно базируется в приспособлении с приложением сил

зажима и остается неподвижным (неподвижное базирование) относительно подвижного (вдоль оси сборки) присоединяемого компонента, базирование которого осуществляется без приложения или с приложением сил зажима. В некоторых случаях применяется базирование базового компонента со свободной установкой в приспособление (например, на плоскую поверхность и пальцы, на оправке и т. п.), что позволяет упростить конструкцию базирующего приспособления.

Базирование деталей в приспособлениях может быть неподвижным или подвижно-упругим. В последнем случае в приспособлениях применяют упругие компенсаторы, обеспечивающие подвижность компонентов в процессе сборки в направлении компенсации суммарного относительного смещения Δ_{Σ} . Базирование деталей на позиции сборки может осуществляться без обеспечения и с обеспечением регулирования положения, занимаемого деталями на базирующих устройствах. В последнем случае детали могут изменять занимаемые положения в базирующих устройствах за счет соответствующего регулирования установочных элементов.

На выбор схемы базирования, число и форму установочных элементов базирующих приспособлений непосредственное влияние оказывают конструкция и материал собираемых деталей, а также размеры, форма и взаимное расположение их базирующих поверхностей.

Базирование собираемых деталей может осуществляться как по их сопрягаемым, так и по вспомогательным поверхностям. При этом для базирования используют цилиндрические, плоские, резьбовые, конические, комбинированные и другие поверхности (рисунок 10).

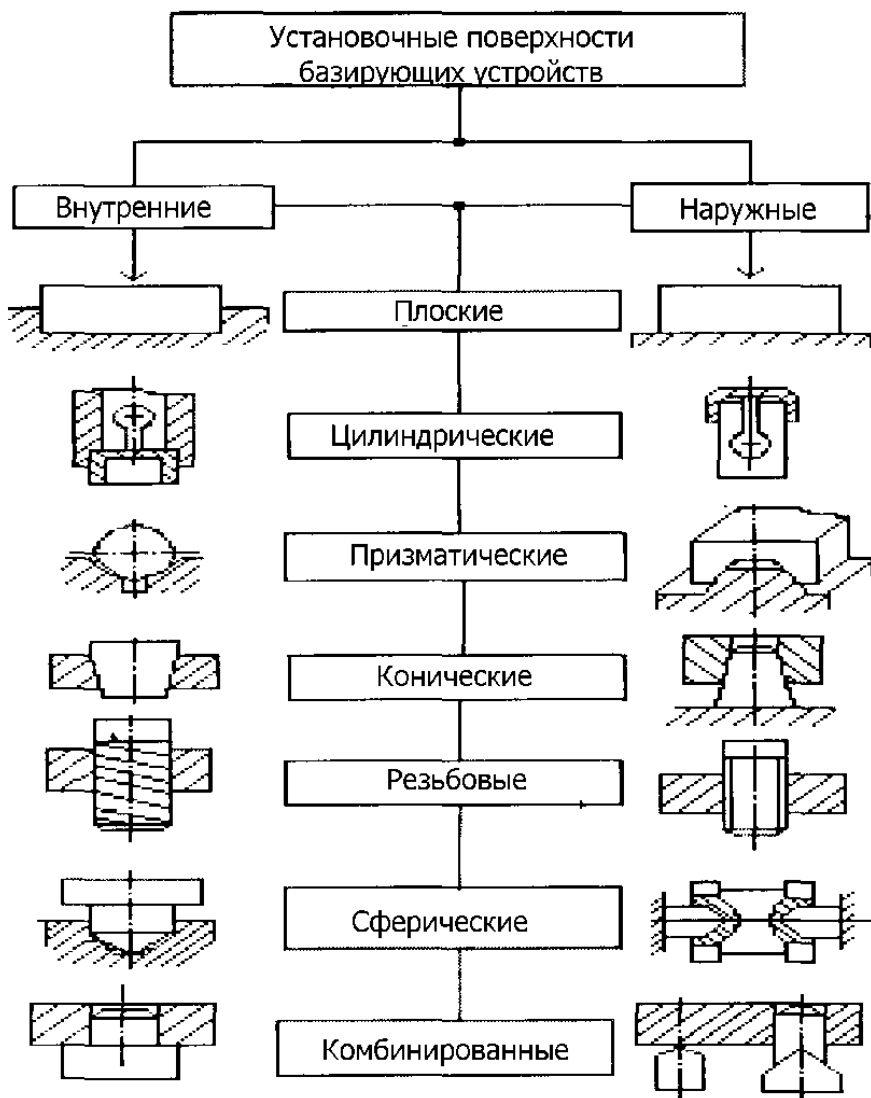


Рисунок 10. Виды установочных поверхностей базирующих устройств

При базировании основных деталей должны обеспечиваться беспрепятственная установка и фиксация их в базирующие приспособления, расфиксация, транспортирование и съем сборки

раемых изделий. Предпочтительным является такое базирование основной детали, при котором обеспечивается возможность проведения сборки при неизменном ее положении за счет последовательной установки всех присоединяемых деталей простейшими движениями рабочих органов сборочного оборудования. Предпочтительным является такое базирование, при котором сборка осуществляется сверху вниз при вертикальном положении осей сопрягаемых поверхностей деталей. Основные схемы базирования деталей на позиции сборки показаны на рисунке 11.

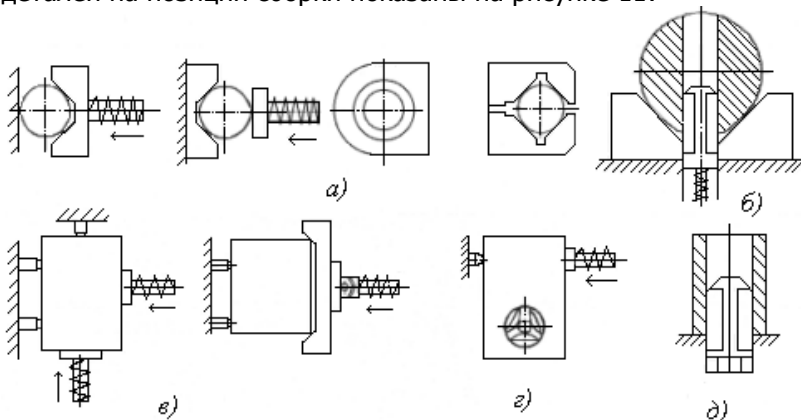


Рисунок 11. Характерные схемы базирования собираемых деталей на позиции сборки:

а – вал; б – вал с отверстием; в – плоская деталь; г – плоская деталь с отверстием; д – втулка

Базирование деталей на сборочных позициях производится так же, как и в приспособлениях для механической обработки – по принципу шести точек. Но при этом возникает дополнительное требование наибольшей стабильности положения сопрягаемых поверхностей при колебании размеров детали в пределах допуска.

При установке собираемых деталей в базирующие устройства возникают погрешности, которые являются одним из составляющих суммарного относительного смещения Δ_{Σ} осей сопрягаемых поверхностей собираемых деталей.

Погрешность установки Δ_{ε} собираемых деталей в приспособлениях включает погрешность базирования Δ_{δ} , погрешность

закрепления Δ_3 и погрешности положения деталей $\Delta_{пр}$, вызываемые неточностью приспособлений. Погрешность базирования Δ_6 представляет собой разность предельных расстояний от измерительной базы базового компонента до поверхности присоединяемой детали, положение которой задано выполняемым при сборке размером. При совмещении измерительных и технологических баз погрешность Δ_6 равна нулю.

Погрешностью закрепления Δ_3 называется разность предельных расстояний от измерительной базы собираемой базовой детали до заданной поверхности присоединяемой детали в результате смещения деталей под действием сил закрепления. Погрешность можно свести к нулю за счет настройки технологической системы.

При одновременном закреплении на позиции базовой и присоединяемой деталей погрешность закрепления будет определяться суммой погрешностей закрепления базовой Δ_{31} и присоединяемой Δ_{32} деталей. Эти погрешности можно рассматривать как поля рассеяния случайных величин; в этом случае их сложение осуществляется по правилу квадратного корня, т.е.

$$\Delta_3 = \sqrt{\Delta_{31}^2 + \Delta_{32}^2}.$$

Погрешность положения собираемой детали $\Delta_{пр}$ вызывается неточностью базирующего приспособления и определяется суммой погрешностей изготовления и сборки его установочных элементов $\Delta_{ис}$, обусловленных износом приспособления $\Delta_{из}$, установки и фиксации приспособления на позиции сборки. В зависимости от конструкции и размеров приспособления $\Delta_{ис}$ обычно равна 0,01...0,03 мм; размер $\Delta_{из}$ регламентируют в пределах 0,01...0,02 мм. Погрешность $\Delta_{из}$ может быть сведена до минимума (в пределах 0,01 мм) или полностью компенсирована за счет соответствующей настройки оборудования.

Значение $\Delta_{пр}$ можно определить по формуле

$$\Delta_{пр} = t \sqrt{\lambda_1 \Delta_{из}^2 + \lambda_2 \Delta_{уф}^2 + \Delta_{ис}^2},$$

где $t=3$ – коэффициент, зависящий от процента несоблюдения предельных значений Δ_{Σ} ; λ_1 и λ_2 – коэффициенты относительного рассеяния погрешностей, зависящие от закона распределения погрешностей (для закона равной вероятности $\lambda_1=1/3$ и

нормального закона $\lambda_2=1/9$). Погрешность $\Delta_{\text{ус}}$ рассматривают как постоянную величину, которая учитывается и компенсируется настройкой технологической системы.

Погрешность установки Δ_{ε} при методе сборки с неполной взаимозаменяемостью

$$\Delta_{\varepsilon} = \sqrt{\Delta_{\delta}^2 + \Delta_{\Delta}^2 + \Delta_{\text{пр}}^2};$$

При методе с полной взаимозаменяемостью определение погрешностей Δ_{δ} , Δ_{Δ} и $\Delta_{\text{пр}}$ производится путем арифметического суммирования составляющих этих погрешностей.

5.1 МЕТОДЫ УЛУЧШЕНИЯ УСЛОВИЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СБОРКИ

Для обеспечения благоприятных условий автоматической сборки применяют различные захватно-сборочные устройства пассивно и активно-компенсирующего типа, механизмы автопоиска или промышленные роботы с адаптивными системами управления.

К пассивным методам компенсации (коррекции) погрешностей ориентации собираемых деталей относятся: введение упругих элементов в приспособления для крепления базовых деталей; введение упругого звена при креплении захватного устройства к руке манипулятора; применение специальных захватных устройств с компенсирующими элементами (чаще всего устройства с удаленным центром податливости). Принципиальные схемы введения упругих элементов в захватные устройства приведены на рисунке.12. Пружины должны иметь предварительный натяг.

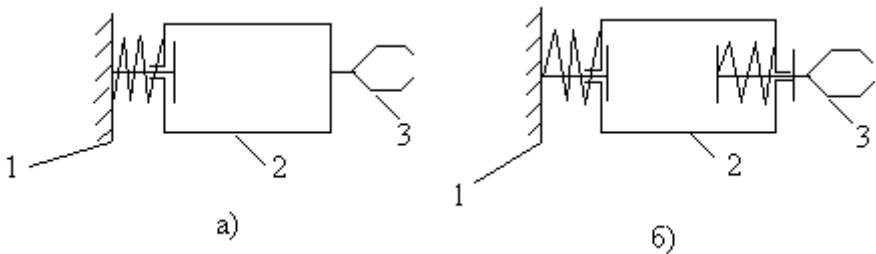


Рисунок 12. Конструкция захватных устройств с компенсирующими звеньями:

а – с одной пружиной; б – с двумя пружинами.

В качестве компенсирующих элементов могут быть использованы мембраны, пружины и другие элементы, обладающие податливостью. Податливость – это способность захватного устройства реагировать на контактные усилия в процессе автоматической сборки. Наличие у промышленного робота определенной податливости наделяет его способностью воспринимать и реагировать на внешние контактные усилия.

Центр податливости – это точка, в которой уравнения для отношений сила/ момент и отклонение/ поворот становятся развязанными, т.е. матрица жесткостей или податливостей в центре податливости становится диагональной. При сборке деталей необходимо, чтобы центр податливости был как можно ближе к точкам начального контакта. Устройства с удаленным центром податливости можно считать пассивными сборочными датчиками, которые не вносят каких либо изменений в положение руки манипулятора, а только в положение сборочного или захватного устройства. Обычно устройство с удаленным центром податливости устанавливается на последнем звене манипулятора и состоит из набора двух звеньев – одного для легких поворотов, второго – для небольших линейных перемещений. Принципиальная конструкция устройства приведена на рисунке 13.

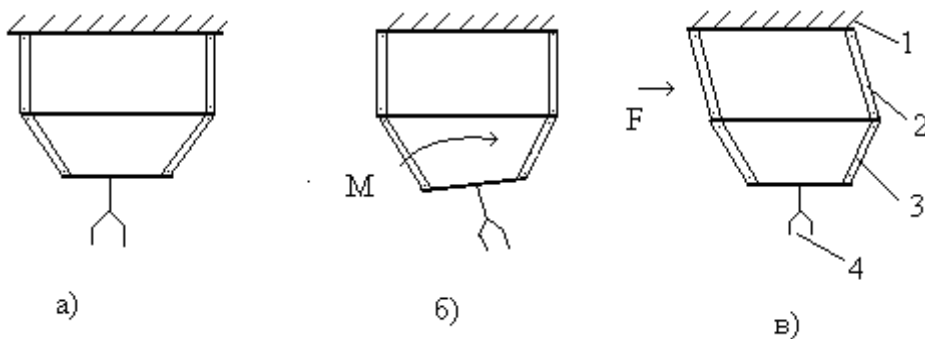


Рисунок 13. Устройство с удаленным центром податливости: 1 – рука манипулятора; 2 – первое звено; 3 – второе звено; 4 – захватное устройство.

а) нейтральное положение; б) действие крутящего момента; в) действие бокового усилия.

Функцией устройства является обеспечение необходимой податливости для того, чтобы избежать задиrow, заклинивания,

общего повреждения поверхностей деталей при сборке. Основной особенностью данного устройства является то, что наиболее эффективно оно работает в тех случаях, когда точки контакта находятся в точке расположения удаленного центра податливости. Недостатки: набор операций ограничен, сборка горизонтальных валов затруднена, устройства такого типа не могут эффективно функционировать при отсутствии фасок на собираемых деталях, не позволяют осуществлять высокоскоростные операции из-за динамических эффектов.

Методы активной коррекции подразделяются на поисковые и адаптивные. К поисковым относятся применение пневмовихревых сборочных головок, различных механизмов траекторного поиска, вибрационных устройств.

Примером стохастического поискового устройства является ориентация деталей с помощью вращающегося потока газов (сжатого воздуха). Метод основан на газодинамических процессах, происходящих во вращающемся потоке сжатого воздуха. Принципиальная схема устройства показана на рисунке 14.

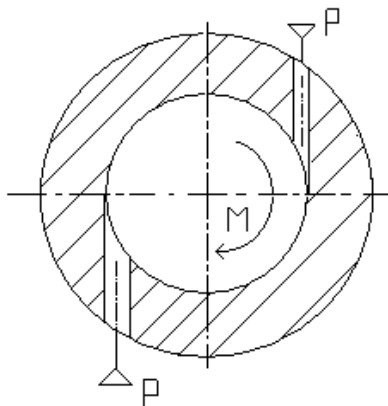


Рисунок 14 Пневмовихревая головка.

В результате воздействия потока сжатого воздуха происходит совмещение присоединяемой и базовой детали соответствующих масс под действием центробежной силы, создающей крутящий момент. Метод позволяет осуществлять сборку резьбовых и шлицевых соединений, обеспечивая высокую производительность сборки.

Другим эффективным методом активной коррекции относительного положения объектов сборки является траекторный автопоиск. Сущность этого метода заключается в том, что одной из сопрягаемых деталей (иногда обеим) при упругом базировании сообщается перемещение по заданной траектории, т.е. происходит процесс сканирования области рассогласования относительного положения объектов сборки, конечной целью которого является компенсация погрешности и совмещение контуров или геометрических осей сопрягаемых поверхностей.

Параметры траектории (амплитуда и шаг) поиска зависят от величины погрешности, точности соединения, допустимого смещения и этапов сборки. Активными силами служат движущая сила механизма поиска, являющаяся функцией времени и изменяющаяся по определенному закону, сборочное усилие, а также упругая сила базовых элементов, определяемая их жесткостью и величиной деформации при смещении от соответствующей координатной оси.

Все системы автопоиска можно разделить на две группы: без обратной связи и с обратной связью. Системы без обратной связи включают только приводной механизм для относительного перемещения детали по заданной траектории. Траектория поиска может быть различной: прямая, спираль Архимеда, роза Гранди и другие. Для этой цели могут применяться различные механизмы, отдельные из них приведены на рисунках 15,16.

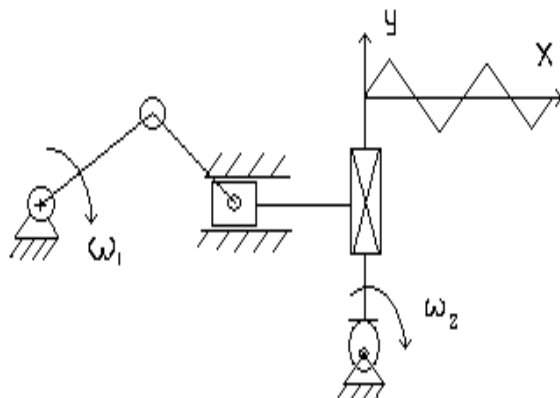


Рис.15. Кривошипно-шатунный механизм.

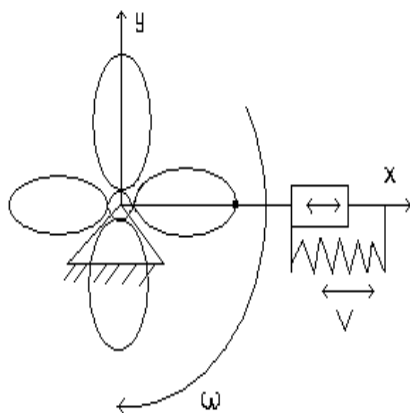


Рис.16. Кривошипно-ползунный механизм.

Для осуществления траекторного поиска часто применяют вибрационные механизмы. Различные варианты установки вибраторов приведены на рисунке 17.

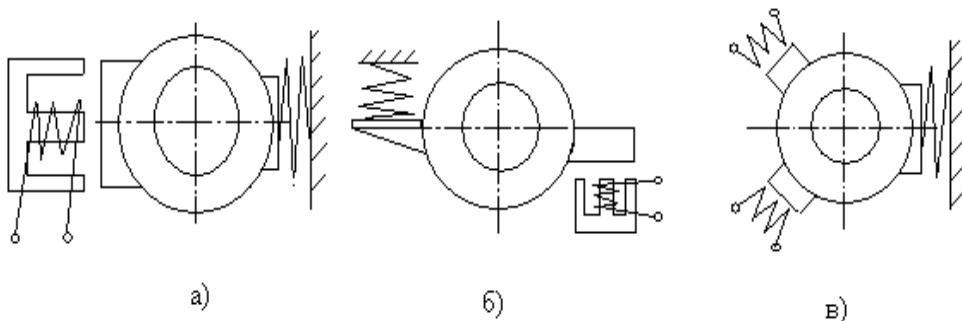


Рисунок 17. Схемы электромагнитных вибраторов.

В этих случаях базовое приспособление довольно часто устанавливается на упругом стержне. (рисунок 18) Для создания вибраций могут быть использованы пневматические, гидравлические, электромагнитные, комбинированные вибрационные механизмы.

Время осуществления автопоиска зависит от следующих основных факторов: суммарная погрешность относительного ориентирования соединяемых деталей; закон распределения этой погрешности; траектория колебательного движения инерционного

элемента; величина амплитуды колебаний; шаг сходимости кривой (траектории).

Распределение суммарной погрешности близко к закону нормального распределения. При независимых X и Y сечение поверхности нормального распределения в плоскости XOY образует эллипс ориентированный главным образом по осям координат. Площадь эллипса представляет собой площадь, на которой должен быть обеспечен автопоиск. Начальная амплитуда определяется зависимостью:

$$A_{0_x} \geq \frac{\Delta_{\Sigma_x}}{2}; \quad A_{0_y} \geq \frac{\Delta_{\Sigma_y}}{2}.$$

Шаг сходимости выбирается из условия $a_0 < q_0$, где q_0 – допустимое значение погрешности.

С достаточной для практики степенью точности необходимое число шагов траектории определяется по формуле

$$n \geq \frac{\Delta_{\Sigma}}{a_0} = \frac{2A_0}{a_0}.$$

Задаваясь частотой вынужденных колебаний v_b находят максимально необходимое время автопоиска:

$$t = n/v_b.$$

Работоспособность вибрационной системы автопоиска будет обеспечена в том случае, если восстанавливающая сила упругого звена (стержня или пружины) будет по абсолютному значению превышать силу сопротивления (силу трения), т.е. $sx > F_{тр}$.

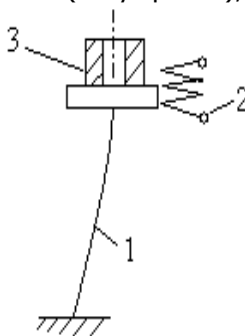


Рисунок 18. Установка приспособления на упругом элементе.

Расчет упругого стержня заключается в определении его диаметра при заданной частоте вынужденных колебаний и требуемой жесткости системы из условия минимума потребления мощности электромагнитами, т.е. при работе системы в условиях близким к резонансу. Практически соотношение частот

$$\frac{V_6}{\omega} = 1,2...1,4.$$

Жесткость стержня при заданной частоте определяется по формуле

$$C = (k_v \omega)^2 m,$$

где m – масса упругого элемента, $k_v = v_B / \omega$.

Диаметр стержня определяется, как

$$d = 4 \sqrt{\frac{4 \pi k_v^2 m l^3 v_B^2}{3E}}$$

Необходимо также проверить условие

$$(k_v m)^2 > F / A_0.$$

Системы автопоиска с обратной связью включают чувствительный элемент для определения текущего смещения (контрольно-опознающее устройство). И исполнительные механизмы для коррекции взаимного положения деталей перед их сопряжением. Для контроля взаимного положения собираемых деталей применяют различные типы датчиков.

Выбор датчиков информационной системы производится по технологическим, экономическим и организационным признакам. Процесс выбора состоит из нескольких этапов. На первом этапе применительно к задачам сборки выявляется необходимость проведения контроля. Далее вырабатывается стратегия контроля, а затем – выбираются альтернативные методы контроля.

Информационная система сборочного робототехнологического комплекса решает следующие задачи:

- контроль изделия – проверка наличия, идентификации, проверка комплектности, контроль параметров изделия, проверка положения и ориентации, размерный контроль;
- контроль процесса – измерение параметров процесса, контроль сопряжения, контроль функционирования, контроль параметров среды;

Необходимость использования информационной системы

обусловлена следующими факторами:

- изменением параметров среды, не учтенных при планировании действий промышленного робота или меняющихся по случайному закону;
- отклонением значений текущих параметров движения робота от значений, предусмотренных программой из-за погрешностей аналитического расчета и воспроизведения роботом заданного закона движения;
- погрешностями в задании целевой информации, поступающей с более высокого уровня управления, обусловленными искажениями в каналах передачи информации;
- изменением состояния робота, включая сбои и отказы в работе, смещением базовой системы координат и т.п.

Выделяют два этапа процесса очувствления:

- получение сигналов от датчиков;
- обработку сигналов для получения необходимой информации.

Второй этап делится на два подэтапа: предварительную обработку с целью «улучшения» сигнала и анализ для получения необходимой информации. Первый подэтап рекомендуется реализовать аппаратными средствами, второй – программным путем.

Если полученной информации недостаточно, робот пытается дополнить сенсорные данные, модифицируя процессы восприятия и анализа, а именно:

- используя кроме фиксированных датчиков сенсоры, установленные на руке робота для исследования объекта с других точек;
- вводя сигналы сначала с «грубым», а затем с все более точным разрешением;
- задействуя дополнительные сенсоры другого типа.

При подборе датчиков следует учитывать следующие требования к их характеристикам и параметрам:

- допускать длительные перегрузки;
- обеспечивать усиление и преобразование первичного сигнала;
- располагаться вблизи мест измерения;
- осуществлять первичную обработку информации;
- обладать жесткой противоударной конструкцией, быть защищенными от воздействия окружающей среды;
- проектироваться в модульном исполнении;
- иметь возможность регулировки чувствительности;

- допускать легкое и удобное встраивание в узлы промышленного робота.

Для контроля процесса роботизированной сборки и управления этим процессом могут быть реализованы одна из трех стратегий:

- контроль с коррекцией – предусматривает автоматическое устранение выявленного дефекта при управлении от центрального процессора;

- контроль с прерыванием – требует автоматического останова выполнения действий;

- контроль с оперативным воздействием – предусматривает выявление и фиксацию неисправностей с вызовом специалистов для их устранения без остановки технологического процесса.

6 РАЗМЕРНЫЕ СВЯЗИ РОБОТИЗИРУЕМОЙ СБОРКИ

Размерный анализ роботизированной сборки проводится для обеспечения требуемого качества изделия и обеспечения возможности роботизировать сборку. Основные задачи анализа: выявление размерных связей на всех этапах реализации сборочного процесса; выбор методов и средств осуществления сборочного процесса; определение требований к собираемым деталям, к точности работы отдельных узлов роботизированного комплекса.

Основные этапы размерного анализа:

Исходя из служебного назначения собираемого изделия, определяют требования точности положения и движения его исполнительных поверхностей аналитически или экспериментально.

1. Определяют конструкторские размерные связи построением размерных цепей.

2. Выбирают метод достижения точности с учетом экономично достижимой точности изготовления отдельных компонентов при заданном объеме производства.

3. Рассчитывают допуски соединяемых размеров деталей, которые необходимо выдержать при изготовлении деталей для того, чтобы было возможно достичь требуемую точность при сборке выбранным методом достижения точности.

4. Выбирают методы и средства транспортирования и ориентирования собираемых деталей.

5. Определяют требуемую точность относительного положения сопрягаемых перед сборкой деталей с учетом возможности увеличения допусков благодаря использованию фасок.

6. Выбирают способ достижения требуемой точности относительного положения деталей (при необходимости оценивают возможность одного из методов адаптации).

7. Выбирают схему базирования собираемых деталей и разрабатывают устройства, реализующие требуемую схему с учетом обеспечения свободы перемещений и поворотов деталей по отдельным координатным осям.

8. Выбирают компоновку роботизированного комплекса и строят сборочные размерные цепи, исходными звеньями которых являются допустимые отклонения относительного положения координатных систем сопрягаемых деталей.

9. Рассчитывают допуски размеров составляющих звеньев

размерных цепей, которыми в том числе могут быть: пространственные отклонения положения сопрягаемой поверхности каждой детали относительно ее технологических баз при сборке; размеры приспособлений, координаты установки вспомогательного оборудования.

Расчет сборочных размерных связей производят в следующей последовательности: представляют процесс роботизированной сборки эскизами и вычисляют предельно допустимые отклонения в положении устанавливаемой детали относительно базовой, при которой обеспечивается установка; строят размерные цепи, в которых допустимые отклонения являются исходными звеньями; составляют уравнения размерных цепей и определяют возможные поля рассеяния составляющих звеньев; выбирают метод достижения точности исходных размерных цепей с учетом его реализации в роботизированном производстве; производят расчет допусков составляющих звеньев и выбирают методы и средства автоматической реализации процесса с учетом требуемой точности составляющих размеров размерной цепи. Чаще всего погрешность положения сопрягаемых поверхностей собираемых деталей определяют как замыкающее звено размерной цепи.

На рисунке 19 показан процесс установки валика во втулку промышленным роботом.

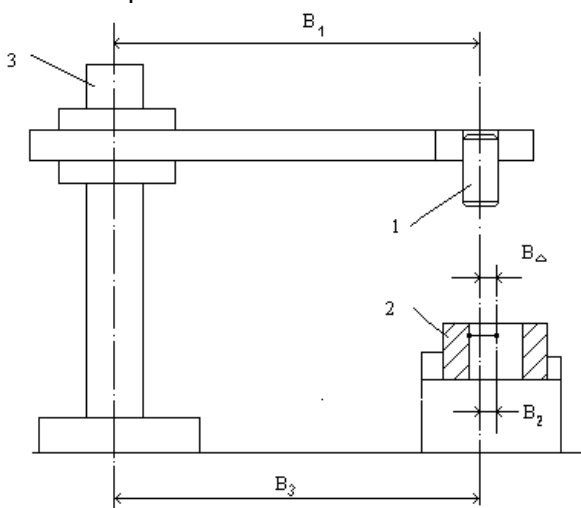


Рисунок 19. Размерные цепи при автоматической установке валика во втулку.

Валик 1 захватывается роботом, позиционируется соосно с отверстием втулки 2, далее робот опускает вал в отверстие втулки и осуществляется сборка. Для того, чтобы вал попал во втулку, необходимо обеспечить соосность валика и отверстия во втулке. Максимально допустимое отклонение от соосности определяется по формуле

$$\Delta_{\max} = (D_{\min} - d_{\max})/2 + C_b + C_o,$$

где D_{\min} - минимальный диаметр отверстия втулки; d_{\max} - максимальный диаметр валика; C_b и C_o ширина фаски соответственно вала и отверстия.

Размерную цепь можно описать следующим выражением:

$$V_{\Delta} = V_3 + V_2 - V_1,$$

где $V_{\Delta} = \Delta_{\max}$.

Обычно во время настройки робота размер V_{Δ} достигается методом обучения или методом регулирования упоров робота вручную. При использовании робота с ЧПУ размер V_1 заносится в память УЧПУ. Точность размера V_{Δ} должна обеспечиваться методом полной взаимозаменяемости. В случае начальной настройки номинальные значения составляющих звеньев не важны. Уравнения допусков в этом случае записывается в следующем виде:

$$T_{\Delta} = T_1 + T_2 + T_3,$$

где T_{Δ} - допуск замыкающего звена V_{Δ} , T_1 , T_2 , T_3 - допуски звеньев V_1 , V_2 , V_3 .

Если иметь величины допусков T_{Δ} , T_2 (допуск соосности), T_3 (допуск на тепловые деформации), то можно определить T_1 - допуск на точность позиционирования робота.

При анализе размерных цепей и уравнений допусков следует анализировать другие методы базирования втулки. Например, при ориентации втулки по внутреннему диаметру из размерной цепи исключается размер V_2 и, следовательно, допуск T_2 . Уравнения размерной цепи позволяют определить требуемые размеры фасок на собираемых деталях, требования к точности позиционирования робота, установке вспомогательного оборудования. Уравнения размерных цепей необходимо рассматривать, как правило, по двум осям координат.

На рисунке 20 показана схема установки детали в базовое приспособление.

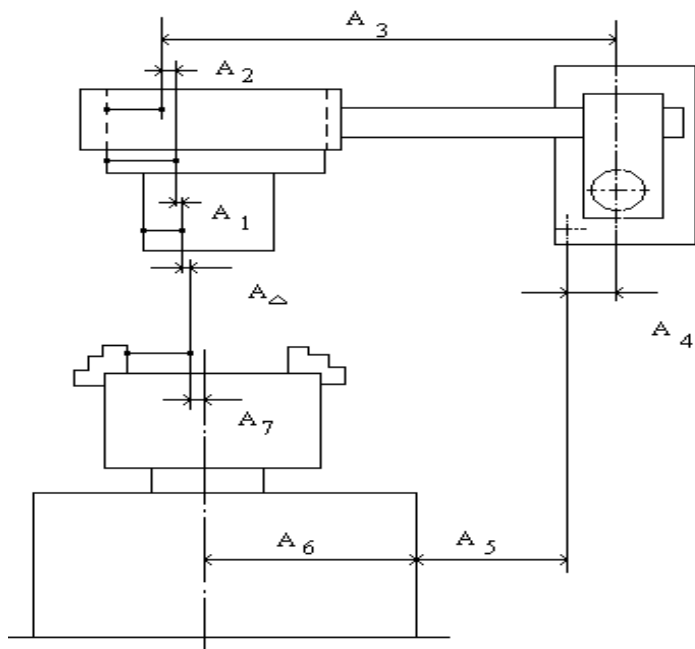


Рисунок 20. Схема установки детали в базовое приспособление.

Робот берет деталь из вспомогательного оборудования, вносит ее в рабочую зону приспособления так, чтобы ось детали совпала с осью раскрытых кулачков патрона. задвигает деталь в патрон, после чего подается команда на зажим кулачков автоматизированного патрона. Ввод детали в патрон возможен, если отклонение A_{Δ} от соосности позиционирования детали относительно оси патрона не превышает значения $A_{\Delta} = \frac{1}{2}(D-d)$, где D – диаметр раскрытия кулачков патрона; d – диаметр детали.

Если в момент установки размер A_{Δ} окажется больше этого предела, то при движении захвата робота вдоль оси деталь торцом упрется в патрон. Рассчитанное значение A_{Δ} является недостаточным для выявления допустимого отклонения. При наличии отклонения от соосности кулачки при закреплении детали будут стремиться переместить деталь в новое положение и возникнут силы при передаче детали от робота в патрон. Сила может быть определена по формуле

$$P = j A_{\Delta},$$

где j – жесткость системы робот – заготовка – патрон.

При заданной жесткости и величине смещения можно сконструировать либо пружинный подвес базового приспособления, либо пружинный подвес захвата робота.

Размерная цепь описывается уравнением

$$A_{\Delta} = A_1 + A_2 + A_3 - A_4 - A_5 - A_6 - A_7,$$

где A_1 – отклонение от технологической базы детали.

Устанавливаемой в патрон, и базы, определяющей положение детали в захвате робота; A_2 – отклонение от соосности поверхности детали в схвате, вызванное погрешностью установки детали в схвате A_{2y} и погрешностью центрирования схвата $A_{2ц}$; A_3 – расстояние от оси захвата робота до базы отсчета размеров при автоматическом перемещении робота по программе; A_4 – расстояние от базы отсчета размеров до основной базы робота, определяющее его положение относительно приспособления; A_5 – расстояние между приспособлением и роботом; A_6 – расстояние от оси патрона до основной базы приспособления; A_7 – отклонение от соосности кулачков патрона по отношению к оси патрона, вызванное погрешностью центрирования кулачков патрона $A_{7ц}$ и погрешностью установки патрона в приспособлении A_{7y} .

Размерная цепь A может быть отображена математически тремя уравнениями: уравнением размерной цепи в номиналах уравнением допусков этих размеров, которое соответствует методу достижения точности; уравнением средних отклонений размеров. При работе РТК значение A_{Δ} будет меняться в основном вследствие погрешностей позиционирования робота, тепловых деформаций, погрешностей установки детали в захвате. При работе РТК в автоматическом режиме необходимо обеспечить, чтобы каждую деталь робот устанавливал в патрон приспособления без поднастройки и регулировки, поэтому соосность A_{Δ} необходимо обеспечивать по методу поной взаимозаменяемости. При полной взаимозаменяемости допуск замыкающего звена должен быть равен сумме полей допусков составляющих звеньев:

$$T_{\Delta} = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6 + T_7,$$

где $T_1 - T_7$ – допуски размеров A соответствующего номера.

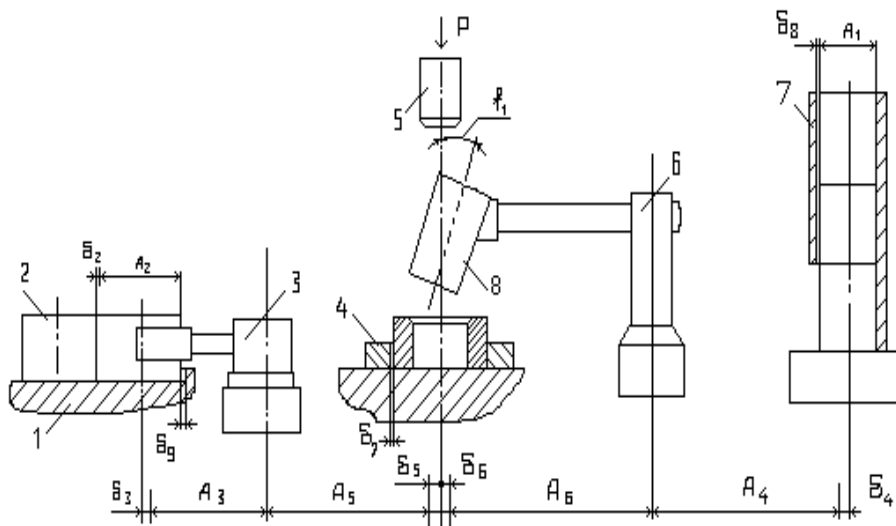


Рисунок 21. Схема определения погрешностей при роботизированной сборке

Рассмотрим структуру суммарной погрешности на примере автоматической сборки двух деталей – вала и втулки, имеющих соответственно размеры A_2 и A_1 . Сборка вала 8 и втулки 2 (рисунок 21) производится двумя промышленными роботами. Робот 3 переносит втулку из загрузочного устройства 1 в приспособление 4, где она базируется. Робот 6 захватывает вал в загрузочном устройстве 7 и перемещает его на расстояние A . При ходе толкателя 5 вниз удерживающее усилие схвата уменьшается и вал 8 направляется в отверстие втулки.

Вероятность сборки деталей 2 и 8 при заданном зазоре в соединении Δ зависит от величины суммарной погрешности $\Sigma\delta_i$. Чтобы обеспечить гарантированную сборку, необходимо соблюдение условия $\Sigma\delta_i \leq \Delta_{\Sigma}$. На рисунке 21 погрешности: δ_1 – изготовления базовой поверхности вала 8; δ_2 – изготовления базовой поверхности втулки 2; δ_3 – позиционирования руки робота 3 при захвате втулки; δ_4 – позиционирования руки робота 6 при захвате вала. δ_5 – погрешность позиционирования робота 3 при сборке; δ_6 – позиционирования робота 6 при сборке, δ_7 – регулировки установки базового приспособления относительно

направления сборки, δ_8 – позиционирования вала в захватном устройстве 7, δ_9 – позиционирования втулки 2 в захватном устройстве 1; f_1 – угол перекоса деталей. Кроме того, необходимо учитывать погрешности изготовления базовых поверхностей приспособления δ_{10} и базирования изделий в схвате δ_{11} , которые являются систематическими погрешностями. Погрешности позиционирования промышленных роботов могут быть случайными и систематическими, возникающими при неправильной установке робота или его элементов.

Вышеприведенный анализ рассмотрен упрощенно, только для смещения оси детали. В общем случае положение одной детали относительно другой характеризуется шестью параметрами: тремя перемещениями и тремя поворотами систем координат. Для анализа каждого из шести параметров должна быть построена размерная цепь.

Расчет точности параметров процесса сборки производится аналитическим или экспериментальным методом. Если после расчета одним из указанных методов окажется, что существующая точность не обеспечивает получения изделий с требуемым качеством, то повысить точность подачи изделий можно, применив роботы с более точным позиционированием, используя корректирующие схваты, повышая точность изготовления приспособлений.

Рассмотренные примеры позволяют сделать следующие выводы:

- при автоматической сборке изделия необходимо обеспечить соответствующие размерные связи, в противном случае автоматическая сборка невозможна;
- обеспечение размерных связей непосредственно не влияет на конечные размерные показатели изделия, т.е. на его качество, но влияет на работоспособность РТК;
- при роботизации процессов сборки необходимо выявить и рассчитать размерные связи, выбрать метод достижения точности и соответствующие средства реализации размерных связей;
- для расчета размерных цепей при автоматической сборке изделия в приспособление, в кассету, в магазин и т.п., а также при автоматической стыковке транспортных средств необходимо пользоваться общей методикой размерного анализа.

7 ТРЕБОВАНИЯ К СБОРОЧНЫМ РОБОТАМ

Промышленные роботы при выполнении сборочных операций должны обеспечивать всю совокупность перемещений, необходимых для нормального выполнения сборки и зависящих от требований к собираемому изделию, номенклатуры и программы выпуска, частоты сменяемости изделий и габаритных размеров технологического оборудования.

Сборочные роботы могут работать как автономные устройства, но могут быть и встроены в линию (возможна параллельная и последовательная работа нескольких роботов). Их целесообразно применять при сборке узлов и деталей, на превышающих по габариту 200 мм, массой до 8 кг, когда необходимы сборочные усилия до 200 Н. Сборочные роботы незаменимы в технологических процессах, когда присутствие человека нежелательно или невозможно.

Конструкция и технологические возможности сборочных роботов в разных типах производства различны. В мелкосерийном и серийном производствах они должны иметь расширенные технологические возможности и гибкую программу; в крупносерийном и массовом - быть более специализированными и иметь жесткую программу.

На выбор рациональной схемы сборочного РТК помимо конструкции робота оказывает влияние множество факторов (размеры, форма, вес и т. д. собираемых за один технологический цикл деталей). Правильный выбор робота для выполнения конкретной сборочной операции обуславливается анализом сборочного процесса и сопоставлением его требований с техническими характеристиками робота.

Для общей оценки возможностей робота необходимо знать его рабочий объем, грузоподъемность, точность позиционирования. Более полно свойства и возможности робота представляют следующие данные: базовая система координат, число степеней свободы, скорость перемещения по координатам, максимальная скорость движения, номинальная нагрузка, тип системы управления, число запоминаемых точек, метод обучения, масса, габаритные размеры, занимаемая площадь, источники питания, уровень шума, время безотказной работы, расчетный срок службы.

Характерной особенностью ПР для сборки, отличающей их от ПР, применяемых в других технологических процессах, является

ся выполнение ими следующих функций: подача и манипулирование деталями; определение относительного расположения деталей; выполнение собственно сборочных операций. В качестве дополнительных особенностей ПР для сборки следует отметить необходимость создания силы или крутящего момента для проведения сборочной операции.

Выполняемые сборочные операции можно подразделить на следующие группы: требующие только давления (тугая посадка, заклепочные соединения); не требующие усилий для проведения операции (сварка, пайка); требуется давление при сохранении ориентации деталей (установка штифтов, тугая посадка валов); операционное усилие невелико, но операция сложная (установка ремней, пружин, манжет); требующие создания крутящего момента (закручивание винтов, гаек, болтов).

К промышленным роботам, предназначенным для выполнения сборочных операций, предъявляется целый комплекс различных, зачастую противоречивых требований, основными из которых являются следующие:

1. Высокая точность позиционирования (в пределах 0,1 мм). По мере расширения возможностей системы адаптации требования к точности позиционирования могут быть снижены.

2. Высокое быстродействие. Роботы для сборки должны удовлетворять двум противоречивым условиям: с одной стороны, уменьшение массы подвижных звеньев, чтобы увеличение скорости перемещения достигалось при меньших затратах энергии, а с другой - увеличение жесткости конструкции для снижения деформаций, влияющих на точность. Предпочтение отдается первому условию, обеспечивающему большое быстродействие. Для обеспечения конкурентоспособности ПР с рабочим по производительности деталь должна быть перемещена между двумя любыми точками рабочей зоны в течение 1 с, что определяет минимальную скорость манипулятора 0,6...0,8 м/с. В лучших по быстродействию моделях сборочных роботов скорость манипуляционных перемещений достигает 10 м/с.

3. Модульный принцип построения.

4. Приемлемая стоимость.

5. Необходимая номинальная грузоподъемность. Грузоподъемность роботов для сборки в 50% случаев должна быть не более 1 кг и только в 10% - свыше 10 кг. Максимальная грузоподъемность используемых в настоящее время сборочных роботов составляет 60 кг, включая захват, имеющий массу до 10 кг.

6. Универсальность и низкая стоимость захватов. Частые смены захватов приводят к снижению производительности. Поэтому число смен захватов должно быть минимизировано одним из следующих способов: установка на кисти ПР нескольких захватов и выбор требуемого поворотом запястья в соответствующее положение; разработка универсального программируемого захвата, пригодного для более широкого диапазона форм и размеров деталей; конструирование деталей собираемых изделий таким образом, чтобы число замен захватов было минимальным.

7. Гибкость системы управления ПР для сборки. Система управления ПР должна допускать быструю и частую переналадку на сборку новых изделий. В системе управления должны быть предусмотрены расширенные возможности стыковки с большим количеством единиц вспомогательного оборудования (тактовыми столами, транспортерами, устройствами поштучной выдачи и т. д.).

8. Размеры рабочей зоны. Большинство узлов в машиностроении имеют размеры, не превышающие 0,5 м. Для обеспечения возможности монтажа сопрягаемых деталей движение манипулятора должно хотя бы в 1,5 раза превышать максимальный размер сопрягаемой детали, т. е. составлять порядка 0,8 м. Размеры рабочей зоны должны быть достаточны для размещения вспомогательных устройств, приспособлений и оснастки, необходимых для сборки, подающих устройств и накопителей собираемых изделий.

9. Малое пространство для установки ПР.

10. Возможность адаптации к определенным условиям захватывания и соединения деталей. Промышленные роботы, последовательно выполняющие несколько различных операций и переходов, должны *иметь устройство, автоматически заменяющее захват и инструмент* и подключающее их к силовой и измерительной сетям (пневматическим или электрическим).

Сборочные роботы (рисунок 22) должны иметь цилиндрическую или прямоугольную систему координат основных движений, поскольку для сопряжения деталей требуется, как правило, их взаимное прямолинейное перемещение; однако, не исключена возможность и более сложного движения, обеспечить которое должен исполнительный орган робота или сборочный инструмент. Промышленный робот должен иметь не менее трех степеней подвижности, причем должна быть предусмотрена возможность получения дополнительных (до 8) степеней в самом роботе или в

сборочном инструменте. Остальные требования являются общими для роботов, используемых в других условиях.

Роботы со звеньями поступательных перемещений в направлении трех взаимно перпендикулярных осей отличаются наибольшей простотой и высокой надежностью. Роботы этой группы легко программируются, обладают достаточно высоким быстродействием, сравнительно высокой грузоподъемностью, умеренной стоимостью. Простые кинематика и программирование позволяют легко компоновать на базе подобных роботов сборочные позиции с большой концентрацией операций.

Роботы портално-мостового типа способны развивать вертикальные усилия до сотни и тысячи ньютонов, что при сборке значительного числа изделий машиностроения позволяет исключить применение прессов.

Роботы, действующие в цилиндрической системе координат, имеют горизонтальную руку, которая может перемещаться параллельно основанию, перемещаться вверх и вниз по вертикальной стойке, а основание вместе с рукой и стойкой может поворачиваться вокруг вертикальной оси. Программирование перемещений в декартовой системе координат сопряжено с применением управляющих устройств большей вычислительной мощности.

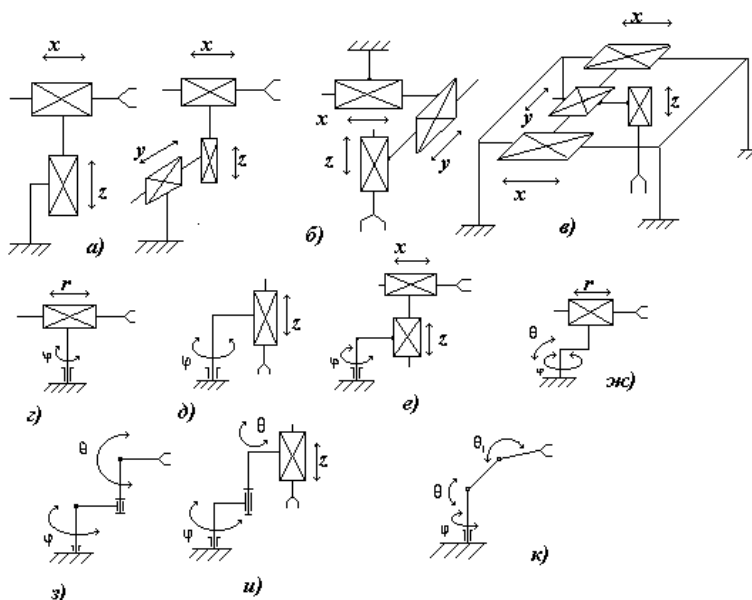


Рисунок 22. Структурно-кинематические схемы роботов, применяемых при сборке:

а, б, в – прямоугольные системы координат: плоская (а) и пространственная (б, в); г, д, е, ж – полярные системы координат соответственно плоская, цилиндрическая поверхностная, цилиндрическая обычная и сферическая; з, и, к – ангулярные системы координат соответственно плоская, цилиндрическая и сферическая

Шарнирно-многозвенные роботы обладают повышенным быстродействием.. Преимуществом является очень большая рабочая зона, что позволяет рационально использовать производственные площади.

На основе данных о типовых собираемых изделиях сформулированы следующие требования к исполнительным органам ПР: вертикальное перемещение обеспечивается только одним силовым приводом; должна быть предусмотрена возможность поворота вокруг вертикальной оси; необходима податливость в горизонтальном направлении; определение наличия детали в ЗУ осуществляется установленными в нем простыми сенсорными устройствами; контроль операции сопряжения деталей осуществляется путем анализа их вертикального перемещения (например, датчиками проскальзывания).

Сборочные операции связаны с необходимостью удержания двух объектов (первичного и вторичного) и их монтажа. Существует три подхода к решению этой проблемы: использование периферийного оборудования; использование нескольких ПР; придание роботу нескольких исполнительных органов (использование многоруких ПР).

При определении целесообразности применения того или иного типа ПР необходимо учитывать следующие факторы: при сборке изделий с помощью одноруких ПР значительно чаще возникает необходимость в использовании специальной оснастки; однорукие ПР для сборочных комплексов с ограниченным кругом задач обычно не требуют такой высокой степени маневренности, сложности, интеллектуальных возможностей, как многорукие ПР; удельная стоимость многорукого ПР на одну сборочную задачу намного выше. Оптимальными для использования на сборке являются ПР с двумя манипуляторами, имеющими по четыре степени свободы. Более сложные конструкции резко увеличивают стоимость сборки.

В современном сборочном производстве используются ПР в основном трех типов конструкций: ПР с линейным перемещением манипулятора; с горизонтально-шарнирным исполнением манипулятора и ПР универсального типа.

ПР с линейным в прямоугольной системе координат перемещением элементов манипулятора наиболее рациональны в исполнении с тремя или четырьмя степенями подвижности. Они обладают высокой точностью позиционирования, имеют относительно простой алгоритм управления и могут легко приспособиваться к окружающей среде. Наиболее подходящая область применения таких роботов - сборка малогабаритных изделий, включающих хрупкие и легко деформируемые элементы. Однако из-за большого вылета руки такие ПР имеют ограничения по ускорению. Кроме того, при исполнении таких ПР в шестиосной системе их преимущества утрачиваются, так как управление значительно усложняется, что, в свою очередь, отрицательно влияет на достижение высокой точности и бесперебойности в работе.

ПР с горизонтально-шарнирным исполнением манипулятора, как и ПР с линейным перемещением элементов, выполняются с тремя и четырьмя степенями подвижности. Они предназначаются для быстрого и точного совмещения сопрягаемых элементов в вертикальном направлении. Наиболее удачным решением конструкций таких ПР являются роботы типа SCARA. Однако

такие системы управления ПР имеют ограниченные по своим возможностям математическое обеспечение и сенсорные (сканирующие) устройства, а также ограниченное рабочее пространство. При переходе на шестиосную систему конструкция таких ПР значительно усложняется.

ПР универсального типа, с круговыми перемещением манипулятора в основном предназначены для дуговой сварки. Они представляют собой гибкую, подвижную конструкцию, однако, широкое применение их в сборочных процессах сдерживается целым рядом причин: сложностью конструкции и алгоритма управления, что обуславливает трудности при достижении необходимой в сборке точности; достаточно большой массой манипулятора, что вызывает возникновение больших инерционных сил при переходе на перемещение с достаточно высоким ускорением; относительно невысоким КПД использования рабочего пространства; низким темпом сборки, обусловленным большой продолжительностью производственного цикла.

Наиболее совершенной с позиций гибкой автоматизации конструкцией сборочного ПР, учитывающей требования серийного и мелкосерийного производств, особенно малогабаритных изделий, является ПР маятникового типа (рисунок 23).

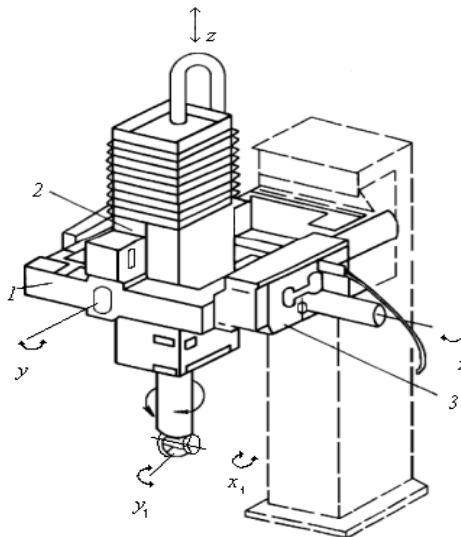


Рисунок 23. Промышленный робот маятникового типа:
 1 - рама; 2 - корпус манипулятора; 3 - несущая конструкция
 робота

ПР маятникового типа включает раму, закрепленную подвижно с вращением относительно оси Y , удерживающую корпус манипулятора, имеющего также возможность вращения относительно оси X . Рука манипулятора имеет возможность перемещения как вдоль, так и вокруг (относительно) оси Z . Помимо этого кисть манипулятора имеет две степени подвижности и может вращаться относительно осей X_1 и Y_1 .

Такая конструкция, а также система управления дает ПР маятникового типа ряд дополнительных, по сравнению с рассмотренными выше типами ПР, преимуществ: возможность достижения большой скорости перемещения рабочих органов с большими значениями ускорений, так как кинематическая схема ПР позволяет исключить большие значения моментов инерции; высокую точность перемещений при относительно простом управлении; высокую гибкость (шесть степеней подвижности и возможность осуществления любой комбинации перемещений); обширную и одновременно компактную рабочую зону действий.

Сочетание ПР маятникового типа с универсальным хватом, а также с механизированным и автоматизированным рабочим инструментом и системой технического зрения позволяет осуществить компоновку гибких автоматизированных сборочных комплексов, в которых система технического зрения интегрирована в общую систему управления по программе "человек - машина - коммуникация". Подобные комплексы, оснащенные комплектом сменного инструмента для автоматического завинчивания винтов и установки заклепок, устройствами для маркировки и контроля изделий, транспортным модулем для перемещения паллет с собираемым изделием, набором загрузочных устройств и магазинов для хранения и накопления паллет и деталей, могут обеспечить автоматическую сборку значительной номенклатуры изделий без применения ручного труда.

Одним из перспективных видов оборудования для сборки изделий в условиях гибкой автоматизации являются сборочные центры (рисунок 24), в состав которых входят: манипулятор ПР, сборочные головки, транспортное устройство подачи базовой детали, загрузочные устройства для компонентов, захватные устройства и устройства для подготовки компонентов к сборке.

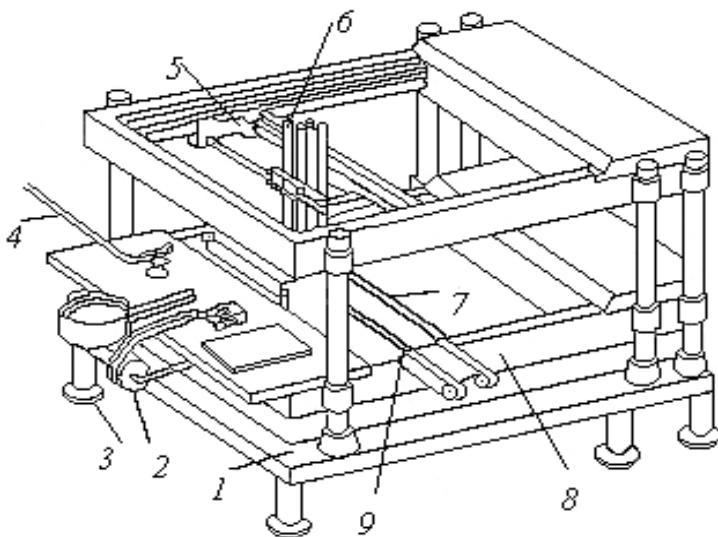


Рисунок 24. Сборочный центр:
 1 - станина; 2, 3,4 - загрузочные устройства; 5 – манипулятор;
 6 - блок монтажных головок; 7 - платы;
 8 - координатный стол; 9 - транспортное устройство

Сборочные центры можно различать по числу манипуляторов и применяемых головок; типу головок и транспортных устройств для подачи базовой детали; виду и количеству загрузочных устройств. По числу манипуляторов и головок сборочные центры можно разделить на следующие группы: с одним манипулятором и одной сборочной головкой; с двумя манипуляторами и двумя сборочными головками (по одной на каждый манипулятор); с двумя манипуляторами и четырьмя сборочными головками (по две на каждый манипулятор); с двумя манипуляторами и 12 сборочными головками (по шесть на каждый манипулятор).

Сборочные центры для сборки электронных узлов по видам АЗУ можно разделить на следующие группы:

1) с несколькими многокассетными АЗУ с наклонным транспортным лотком для интегральных схем и рулонными АЗУ для подачи элементов, вклеенных в ленту;

2) с набором лотковых магазинов для подачи ИС и вибробункерных АЗУ для подачи элементов;

3) с несколькими вибробункерными АЗУ для подачи элементов и магазинами сотового типа для компонентов сложной формы;

4) с лотковым магазином для подачи ИС, вибробункерным АЗУ для подачи сложных элементов и рулонным АЗУ для подачи элементов, вклеенных в ленту.

Наличие в сборочном центре нескольких головок, установленных в блоке на одном манипуляторе (все головки имеют автономные приводы для выполнения захватных действий и вертикального перемещения), позволяет одновременно осуществлять захват различных компонентов и одновременно или в различной последовательности устанавливать их на плату.

8 ОСНОВНЫЕ КОМПОНОВКИ СБОРОЧНЫХ РТК

РТК сборки - автономно функционирующий комплекс, представляющий собой совокупность робота, технологического оборудования (или без него), средств оснащения, предназначенный для выполнения одной или нескольких сборочных и других технологических операций. В качестве средств оснащения РТК применяются устройства накопления, ориентации и поштучной выдачи собираемых элементов, транспортные и другие устройства, обеспечивающие функционирование РТК.

В отличие от традиционных устройств автоматизации сборки характерным для РТК такого типа является наличие роботов, которые могут обслуживать сборочные автоматы, сами выполняют сборочные операции и осуществляют связь между сборочным автоматом и вспомогательным оборудованием, а также устройств управления на базе средств микропроцессорной техники или микроЭВМ.

Можно выделить три основные тенденции построения РТК сборки.

Первая связана с расчленением сборочной операции на элементарные операции, каждая из которых выполняется узкоспециализированным манипулятором или промышленным роботом, выполняющим простые операции типа "взять-положить". В данном случае не требуется разработка сложного периферийного оборудования для подачи и ориентации детали, а также средств адаптации робота. Она нашла применение в массовом производстве, характеризующимся стабильностью последовательности операций.

Вторая тенденция связана с использованием центрального промышленного робота, обладающего системой адаптивного управления и обеспечивающего необходимую гибкость РТК. Вокруг робота в этом случае создается необходимый запас деталей. Промышленный робот может идентифицировать, извлекать детали и осуществлять сборку на одном рабочем месте, используя стандартные монтажные приспособления и оснастку.

Третья тенденция заключается в расчленении сборочного процесса на группы элементарных операций и использовании роботов, способных выполнять сборочные операции отдельных групп. В этом случае РТК включает несколько промышленных роботов с небольшим числом степеней подвижности и относительно простой конструкцией, рабочий цикл которых организует-

ся центральной ЭВМ.

Для обеспечения автоматической сборки деталей с помощью промышленного робота могут быть использованы различные способы их соединения. Автоматическое соединение может выполняться двумя руками одного промышленного робота или двумя роботами непосредственно в захватных устройствах (рисунок 25,а), в этом случае отпадает необходимость в использовании базирующих устройств, так как их функции выполняют сами захватные устройства. Сборка может осуществляться роботами путем соединения присоединяемой детали, расположенной в захватном устройстве, с базовой деталью, установленной в базирующем устройстве (рисунок 25,б), или дополнительно с использованием толкателя, создающего необходимое усилие сборки для обеспечения сопряжения деталей (рисунок 25,в).

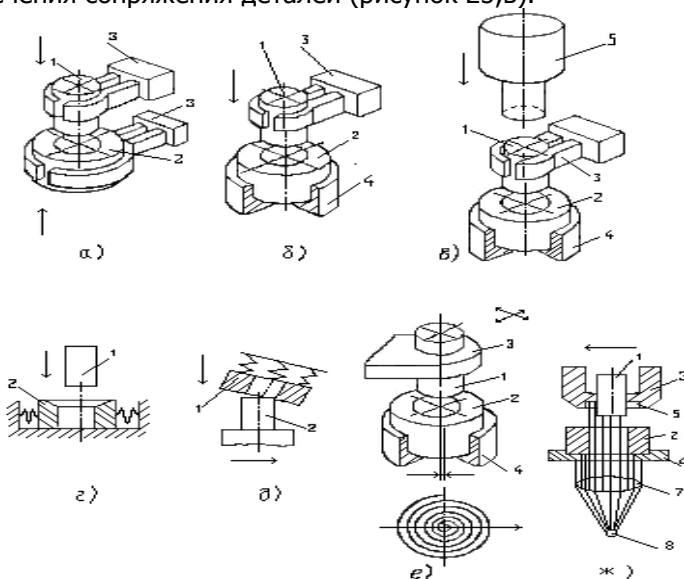


Рисунок 25. Способы автоматического соединения (а-в) и относительного ориентирования (г-ж) деталей при применении сборочных роботов: 1 – присоединяемая деталь; 2 – базовая деталь; 3 – захватное устройство; 4 – базирующее устройство; 5 – толкатель; 6 – фотодатчик; 7 – линза; 8 – источник света

При сборке с помощью ПР компенсация погрешностей относительного ориентирования собираемых деталей на позиции сборки до допустимых пределов может осуществляться путем ис-

пользования базирующих устройств с упругими компенсаторами (рисунок 25,г), осуществления соединения деталей с предварительным наклоном осей их сопрягаемых поверхностей (рисунок 25,д), осуществления захватом вместе с присоединяемой деталью автопоискового движения относительно базовой детали по определенной траектории (рисунок 25,е), управляемого относительно ориентирования собираемых деталей на основе получения информации о взаимном расположении деталей на позиции сборки (рисунок 25, ж).

В последнем случае способ может быть реализован, например, с помощью четырех фотодатчиков, установленных в губках захватного устройства, источника света и линзы. При попадании света на левый фотодатчик захватные устройства (ЗУ) с деталью будет двигаться влево до совмещения осей сопрягаемых поверхностей. Расположенные в ЗУ четыре датчика под углом 90° обеспечивают возможность компенсации погрешностей относительного ориентирования деталей в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

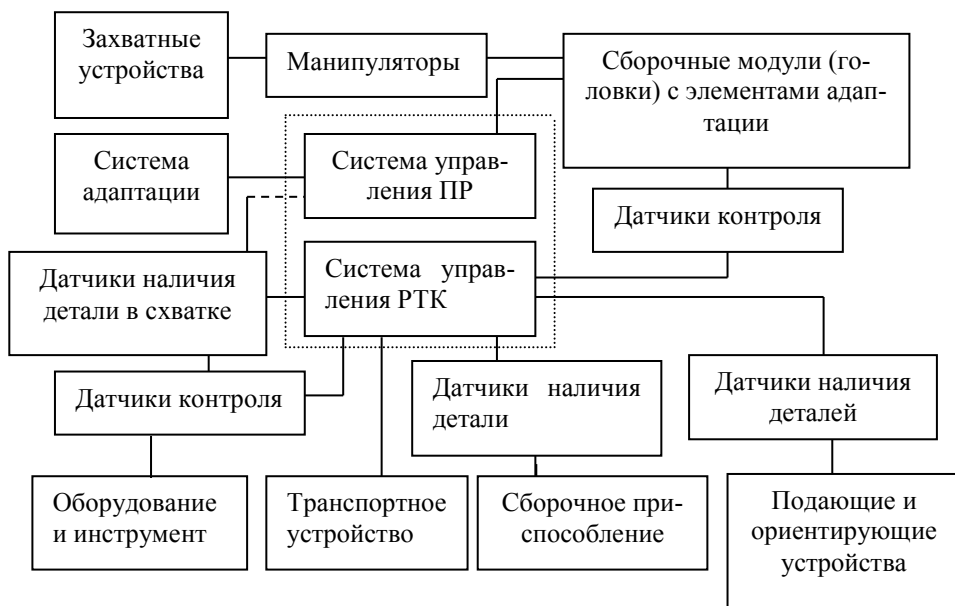


Рисунок 26. Структура сборочного РТК

Основой для выработки технических требований к элементам системы является типовая структура сборочного РТК, которая, как правило, представляет собой совокупность взаимосвязанных блоков модулей. Из заданного набора блоков в каждом конкретном случае можно компоновать позиции, участки или линию в зависимости от технико-экономических показателей собираемого изделия.

При разработке структуры РТК (рисунок 26) исходят из соображений, что технологическую последовательность перемещения деталей можно разделить на подачу их в рабочую зону и транспортирование внутри нее, ориентирование, сопряжение и фиксацию. До начала выполнения монтажных операций необходимо проверить наличие и правильность установки детали в сборочном приспособлении. Для этих целей предназначена система обратной связи от оборудования и оснастки к системе управления комплексом. Наличие широко развитой системы контроля является одной из отличительных особенностей сборочных РТК.

В структуру сборочного РТК входят: подающие устройства; транспортные средства; контрольно-измерительные устройства; захваты промышленного робота; устройства для сопряжения деталей.

В зависимости от функциональных возможностей ПР и производственных характеристик собираемых изделий можно организовывать сборочные РТК по различным компоновочным схемам:

- стационарная с концентрацией сборочных переходов (состоит из ПР, сборочного приспособления, подающих устройств; предназначена для выполнения несложных сборок изделий малой массы и простой конфигурации);

- стационарная дифференцированная (отличается наличием большего числа ПР и, следовательно, большим количеством деталей, из которых состоит узел);

- сборочная линия (организуется таким образом, что объект производства с использованием специальных транспортных средств перемещается с позиции на позицию, где выполняются отдельные переходы, т. е. каждый ПР устанавливает свою деталь);

- поточная линия сборки (характеризуется тем, что межоперационные перемещения узла осуществляют те же ПР, которые выполняют операции сборки).

На практике могут встретиться более сложные организационные формы РТК, включающие в себя различные вариан-

ты рассмотренных структур.

Спецификой системы управления сборочного РТК является наличие системы адаптации, которая может выполнять следующие функции:

- обеспечение поисковых движений руки робота в плоскости, перпендикулярной осям сопрягаемых поверхностей для компенсации ошибки взаимного ориентирования деталей;
- распознавание по заданным признакам входящей в рабочую зону детали (узла) и ее положения;
- контроль размеров поступающей на сборку детали;
- определение взаимного расположения деталей в рабочем пространстве.

В состав сборочного РТК должен входить ряд унифицированных устройств и ряд устройств и приспособлений, которые необходимо индивидуально проектировать для каждого выбранного узла или группы узлов. Оригинальными конструктивными решениями в большинстве случаев будут захватные устройства для нестандартных деталей, сборочно-ориентирующие приспособления, питатели для некоторых деталей и узлов.

В зависимости от объема выпуска продукции различают РТК сборки:

- для крупносерийного производства, в которых сборочные операции выполняют специальные простые промышленные роботы с цикловым управлением;
- для серийного производства, в которых всю сборку выполняет параллельно-последовательно один тип наиболее сложных промышленных роботов (параллельная сборка нескольких единиц данного изделия позволяет сократить время на смену инструмента);
- для серийного производства с последовательной сборкой каждой единицы изделия промышленным роботом (наиболее оптимальный вариант для мелкосерийного производства);
- для серийного производства, в которых сборку всего изделия выполняет промышленный робот с развитым адаптивным управлением (вплоть до элементов искусственного интеллекта);
- для серийного производства с применением на отдельных операциях не автоматического, а автоматизированного (интерактивного, супервизорного) и ручного управления промышленными роботами;
- для крупносерийного и серийного производства на базе сложных промышленных роботов, которые выполняют по

несколько сборочных операций, со сменой инструмента в процессе сборки изделий;

- для серийного производства, в которых всю сборку изделия выполняет последовательно-параллельно один тип промышленных роботов, а отдельные операции выполняются вручную оператором.

Включение человека непосредственно в технологический процесс сборки вызывается либо экономической нецелесообразностью, либо технической невозможностью автоматизировать особо сложные операции (например, регулирование, настройка), либо необходимостью оперативного подключения человека в аварийных ситуациях, когда автомат по какой-либо причине не справляется с заданием, либо в процессе освоения сборки нового изделия (в том числе и как один из способов программирования обучением).

РТК сборки можно классифицировать также по назначению, структуре и компоновке. Они могут создаваться на базе простых по конструкции специализированных роботов; сложных роботов, выполняющих по несколько сборочных операций со сменой инструмента в процессе сборки; роботов с адаптивным управлением, осуществляющих полную сборку изделий и т. п. (рисунок 27).

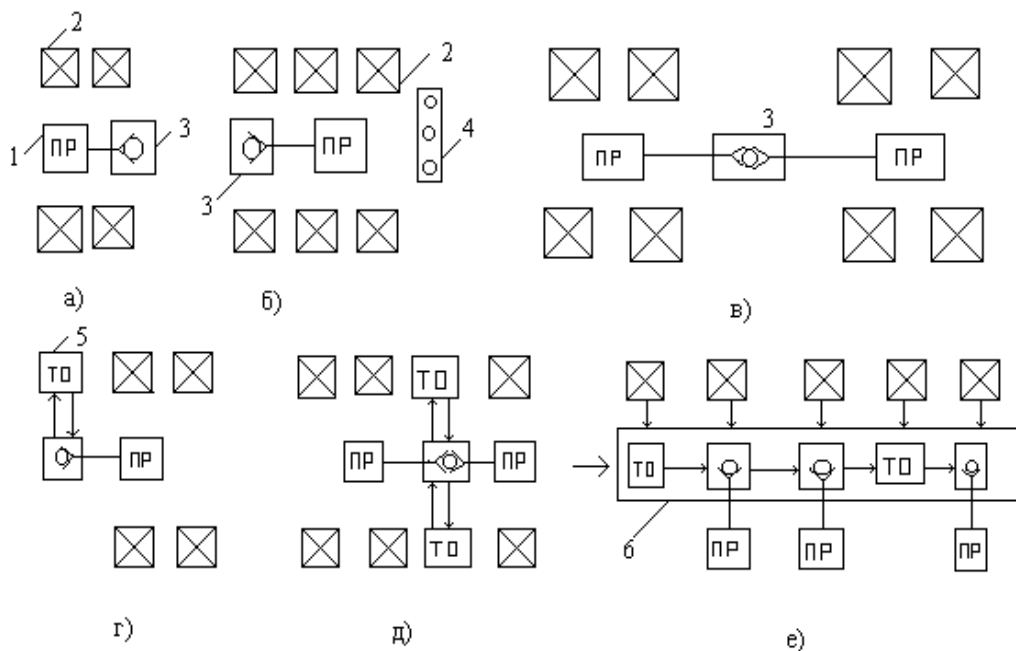


Рисунок 27. Примеры компоновочных схем РТК сборки:

1 – промышленный робот; 2 – накопитель; 3 – сборочная позиция; 4 – магазин сменных захватов; 5 – технологическое оборудование; 6 – конвейер

На рисунке 27,а показана схема РТК с одним роботом для сборки несложных узлов (3-5 деталей). Робот захватывает ориентированные детали из накопителей (магазинов, кассет) и устанавливает их на базовую деталь, расположенную в приспособлении, при этом собранные узлы перемещаются в тару. Для сборки более сложных узлов (5-10) деталей в РТК предусматривается магазин сменных захватов и сборочных инструментов (рисунок 27,б). На рисунке 27,в показана схема РТК с двумя роботами, выполняющими операцию сборки. В РТК включают технологическое оборудование для выполнения операций запрессовки, клепки, вальцевания и т. п. (рисунок 27,г); при этом робот осуществляет сборку деталей в приспособлении, затем собираемый узел передается на технологическое оборудование, после чего (при необходимости) возвращается для завершения сборки деталей роботом в приспособлении. На ри-

для сборки деталей с двумя роботами и двумя единицами технологического оборудования. Отдельные РТК сборки с помощью транспортных средств могут объединяться в линии (рисунок 27,е) и участки. Роботизированная автоматическая линия линейной компоновки может иметь любое число сборочных позиций, которое определяется условиями выполнения сборки. РТК сборки могут быть построены также по принципу круговой компоновки (рисунок 28).

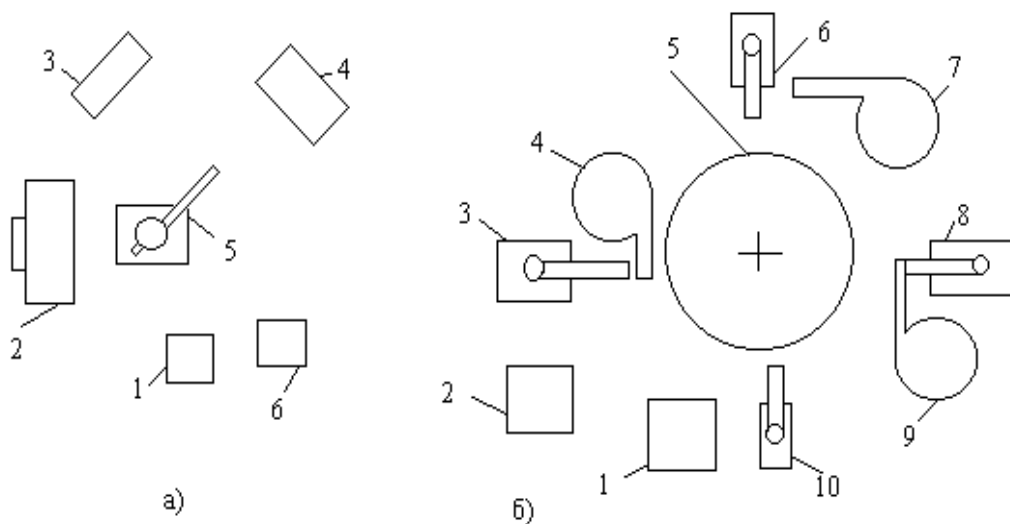


Рисунок 28. РТК сборки круговой компоновки: а - с расположением ПР в центре:

1, 3, 4, 6 - накопители; 2 - пресс; 5 - робот; б - с расположением ПР вокруг поворотного стола: 1, 2 - накопители; 3, 6, 8 - роботы; 4, 7, 9 - вибробункеры; 5 - поворотный стол

Разработка оптимального по структуре и параметрам конструкции сборочного РТК предполагает решение следующих вопросов: построение математических моделей структуры и определение конструкторско-технологических свойств конструкции РТК на базе типовых модулей; проведение анализа и оценка эффективности сборочных РТК с целью определения количественных показателей их функционирования для решения задач планирования и управления; выбора структуры компоновок РТК.

Принцип построения сборочных РТК на основе базовых модулей как функционально законченных элементов состоит в том, что перекомпоновкой отдельных сменных модулей при использовании определенного числа базовых создается качественно не отличающийся от ранее существовавшей конструкции (компоновки), но обеспечивающий новый технологический процесс РТК. Можно выделить следующие группы модулей, используемых при создании РТК сборки:

- Роботы-манипуляторы, которые в свою очередь компонуется из стандартных модульных узлов, что позволяет значительно ускорить процесс проектирования.

- Модули крепления роботов-манипуляторов. Их выполняют в виде специально спроектированных кронштейнов с элементами крепления к технологическому оборудованию, элементами крепления системы подготовки воздуха, площадкой для установки системы управления РТК. В качестве модулей крепления применяют специальные площадки с элементами регулировки по двум координатам.

- Модули загрузочных устройств (ЗУ). Созданы и успешно внедрены в качестве ЗУ координатные столы, шиберные ЗУ, касетные ЗУ, вибробункеры со сменными лотками и сменными ориентаторами.

- Модули накопителей и перегрузочных устройств. К ним относятся специальные контейнеры или накопители, позволяющие использовать ориентацию детали для передачи ее на последующие операции, разгрузочные площадки и т. п.

- Модули (блоки) синхронизации работы системы управления ТО РТК, манипуляторов и т. д. Задача устройств синхронизации - четкое выполнение программы работы РТК, обеспечивающей своевременное и целенаправленное движение технических средств для выполнения технологических операций сборки.

- Модули контроля и блокировки работы элементов РТК.

- Модули технологического оснащения РТК (устройства для вальцовки, клепки и т. п., а также другие инструменты для выполнения определенных технологических операций).

- Модули захватных устройств различных типов.

Типовые функциональные модули позволяют вести разработку РТК для группового технологического процесса, а компоновочное решение - реализовать простыми средствами на основе рассмотренных модулей.

9 ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ, НЕОБХОДИМЫХ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ СБОРОЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ

Для осуществления сборочного процесса необходима сила P , которая зависит от относительного положения соединяемых деталей, жесткости технологической системы и ряда других факторов. Сила закрепления устанавливаемой детали в захватном устройстве должна обеспечить ее центрирование и удерживать от самопроизвольного падения под действием собственной силы тяжести, сил инерции и других сил.

Значение необходимого при сборке усилия P позволяет осуществить выбор типа привода, а следовательно и определить массу его подвижных частей.. Выбранная схема базирования устанавливаемой детали дает возможность судить о конструкции и силе тяжести рабочего инструмента или захватного устройства.

10 СОЕДИНЕНИЯ С ЗАЗОРОМ

Если вал имеет заходные фаски и базируется по сопрягаемой поверхности с зазором, то соединение (при вертикальной сборке) удобно расчленить на этапы (рисунок 29) и выделить возможные и характерные состояния $Q_i(t)$, где $i = 1, 2, \dots$, обусловленные относительным расположением сопрягаемых поверхностей. При $\Delta_\Sigma > \Delta_\beta = l_{\text{эф}} \operatorname{tg} \beta$ ($l_{\text{эф}}$ - эффективная длина сопрягаемой поверхности вала, β - угол ее перекоса относительно оси z) возможны следующие расположения сопрягаемых поверхностей: 1) сопрягаемая (базовая) поверхность вала находится в базирующем отверстии и касается его в двух точках 1 и 2, на фасках сборочных компонентов возникает контакт в одной точке 3; 2) сопрягаемая поверхность вала имеет контакт с базирующей в двух точках 1 и 2 и фаска вала - с кромкой сопрягаемого отверстия в одной точке 3; 3) сопрягаемая поверхность вала имеет контакт с базирующей поверхностью в двух точках 1 и 2 и соприкасаются кромки сопрягаемых поверхностей в одной точке 3; 4) сопрягаемая поверхность вала имеет контакт с базирующей поверхностью в двух точках 1 и 2 и с кромкой сопрягаемого отверстия в одной точке 3; 5) сопрягаемая поверхность вала имеет контакт с базирующей поверхностью в двух точках 1 и 2 и в двух точках 3 и 4 с сопрягаемой поверхностью изделия; 6) сопрягаемая поверхность вала имеет контакт с кромкой базирующей поверхности в одной точке 2 и с сопрягаемым отверстием в двух точках 3 и 4; 7) вал верхней кромкой имеет контакт с кромкой базирующей поверхности (в одной точке 2) и своей поверхностью с сопрягаемым отверстием в двух точках 3 и 4; 8) имеется контакт поверхности фаски вала с нижней кромкой базирующей поверхности (в одной точке 2) и сопрягаемых поверхностей в двух точках 3 и 4; 9) непосредственное соединение сопрягаемых поверхностей при отсутствии контакта вала с базирующей поверхностью.

Первые два расположения сопрягаемых поверхностей (состояния) - часто встречаемые варианты - с фаской на детали с отверстием (12-е) или без нее (2-е). В первом случае в зависимости от углов фасок различают следующие дополнительные состояния, которые характеризуются тем, что если $\Psi_b < \Psi_o$, где Ψ_b и Ψ_o - углы фасок на валу и в отверстии, то сначала может произойти касание поверхности фаски сопрягаемого отверстия нижней кромкой фаски вала (1-е состояние), а потом произойдет касание поверхностью фаски вала кромки сопрягаемой поверхности

отверстия (2-е состояние). Если же $\Psi_b \geq \Psi_0$, то вначале возможен контакт поверхностью фаски вала с верхней кромкой фаски сопрягаемого отверстия (3-е состояние), а затем контакт нижней кромки сопрягаемой поверхности вала с поверхностью фаски отверстия (4-е состояние). Первые два состояния обычно условно относят к этапу I процесса соединения, хотя правильнее отнести их к этапу координирования - совмещения сопрягаемых поверхностей. Этапом II (собственно) соединения принимают 4-е состояние, III (условно) считают 5-е состояние, IV - принимают 6-е состояние, V - 8-е состояние, VI - 9-е состояние; 3-, 5-, 7-е состояния являются мгновенными, и их можно считать границами переключения этапов.

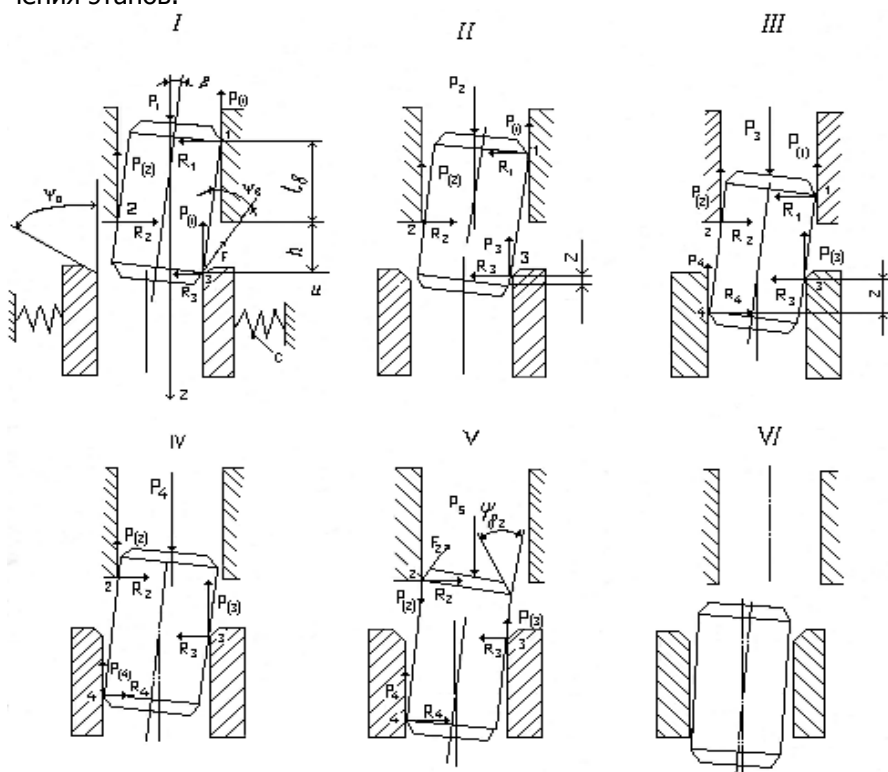


Рис. 29. Последовательность этапов соединения цилиндрических сопрягаемых поверхностей.

Все эти этапы свойственны процессу соединения, который протекает плавно, без резкого начального соударения и резких изменений скорости, когда не возникают колебания на сборочной позиции. В таких условиях на каждом этапе можно найти усилие соединения, полагая, что

$$P_i = \sum P_{(i)}^{(j)}, i=1, 2, 3, 4; j=1, 2, \dots, 6$$

где P_i - усилие сопротивления перемещения вала в i -й точке контакта на j -м этапе. Определяя $P_{(i)}$, находят реакции опор R_i при известных $R_3 = cu_j$ (для этапов I и II) и $R_2 = cu_j$ (для этапов IV и V).

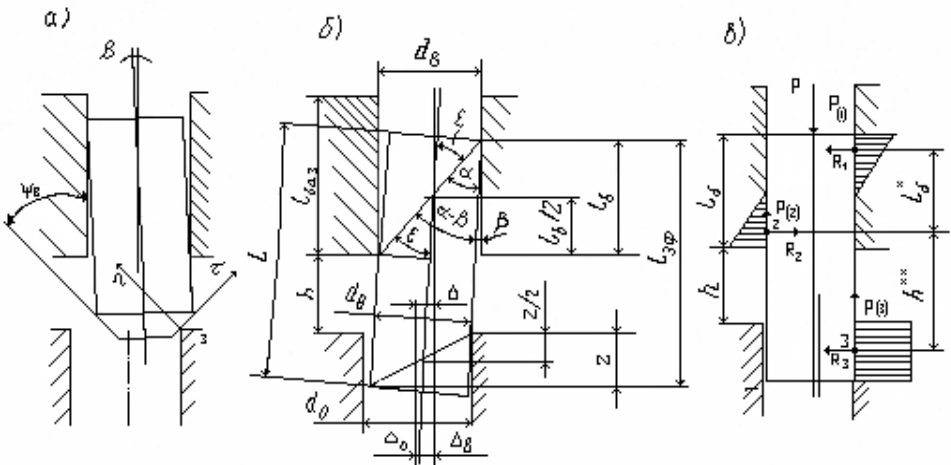


Рисунок 30. Схемы последовательного расположения сборочных компонентов.

Рассмотрим подробнее этап I, на котором вал, находясь в базирующем отверстии с возможным перекосом, соприкасается поверхностью фаски с кромкой или с фаской сопрягаемого отверстия (1-е и 2-е состояния). При этом возможны два предельных случая (см. рисунок 29 и рисунок 30) - этап I, причем в первом случае (рисунок 30,а) под действием возникающих сил при достаточно малом значении коэффициента трения ($\mu < 0,3$) в точке 3 и даже при сравнительно большом угле фаски $\psi_b \leq 60^\circ$ может перейти во второе положение (см. рисунок 30 - этап I). Независимо от положения вала, условия равновесия его под действием попе-

речной силы R_3 и реакций R_1 и R_2 :

$$\sum M_{(2)} = 0; R_1 l_6 - R_3 h = 0; R_1 = R_3 h / l_6;$$

$$\sum U = 0; R_1 + R_3 - R_2 = 0; R_2 = R_1 + R_3 = R_3 (h / l_6 + 1),$$

где l_6 - длина базирования; h - расстояние между нижним торцом базирующей поверхности и торцом сопрягаемого отверстия. Длину базирования l_6 сопрягаемой поверхности вала принимают:

для этапа I соединения

$$l_6 = l_{\text{эф}} - h + h_{\phi},$$

Для этапов II и III -

$$l_6 = l_{\text{эф}} - h - z,$$

где h_{ϕ} - высота фаски от точки ее контакта (точка 3, рисунок 29) до сопрягаемой поверхности вала (она изменяется от h_{ϕ} до z). Эффективная длина сопрягаемой поверхности соответствует

$$l_{\text{эф}} = (l - d_b \operatorname{tg} \beta) \cos \beta,$$

где d_b - диаметр сопрягаемой поверхности вала.

Угол возможного перекоса сопрягаемой поверхности вала в базирующем отверстии (при наличии зазора) находят (см. рисунок 30,б) на этапах I и II из условия $\beta = \alpha - (\alpha - \beta)$, где

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{d_6}{l_6}; (\alpha - \beta) = \operatorname{arcsin} \frac{d_e}{\sqrt{d_6^2 + l_6^2}}.$$

Здесь d_b , d_6 - соответственно фактические диаметры вала и базирующего отверстия.

Смещение осей базирующего и сопрягаемого отверстий при соединении собираемых деталей есть сумма отклонения оси вала при перекосе его в базирующем отверстии Δ_6 и дополнительного смещения оси сопрягаемого отверстия из-за разности его диаметра и диаметра вала Δ_0 . Составляющие смещения находят по следующим зависимостям:

$$\begin{aligned} \Delta_6 &= [(l_6 + z)/2 + h] \operatorname{tg} \beta; \\ \Delta_0 &= 1/2 [d_0 - (z \operatorname{tg} \beta + d_b / \cos \beta)]. \end{aligned}$$

Общее смещение осей равно сумме этих двух составляющих.

Зная значения R_1 и R_2 , определяют силы сопротивления:

$$P_1 = \mu_0 R_1 = \mu_0 R_2 h / l_0;$$

$$P_2 = \mu_0 R_2 = \mu_0 R_3 (h / l_0 + 1),$$

где μ_0 - коэффициент трения в точках 1 и 2 контакта вала с базирующим отверстием. Силу сопротивления преодолению фаски в точке 3 находят как сумму вертикальных составляющих этой силы и силы трения. Для 3-го и 4-го состояний она соответствует

$$P_3 = R_3 [\operatorname{tg} (\Psi_0 \pm \beta) + \mu],$$

для 2-, 3- и 4-го состояний

$$P_3 = R_3 [\operatorname{tg} (\Psi_B \pm \beta) + \mu],$$

где μ - коэффициент трения сопрягаемых поверхностей. Подставив эти выражения в ранее полученные уравнения, получают формулу определения усилия для соединения на этапе I, например, для 2-го состояния,

$$P_1 = R_3 [\mu_0 (2h/l_0 + 1) + \mu].$$

В случае отсутствия фасок или при $\Delta_\Sigma > [\delta_\Sigma]$ произойдет упор торцов собираемых деталей. Если технологическая система имеет большую нерегламентированную жесткость в направлении соединения, то на этапе I возможны срез или смятие кромок сопрягаемых поверхностей. Усилие среза можно определить по формуле:

$$P_1 \approx 0,3 \xi l b_{cp}^x,$$

где l , b_{cp} - соответственно длина и средняя толщина срезаемого слоя; ξ , x - коэффициенты, которые зависят от состояния и материала сопрягаемых поверхностей. Если в технологическую систему включено упругое звено (в направлении соединения), то усилие соединения на этапе I зависит от жесткости этого звена, закона движения толкателя и длительности совмещения сопрягаемых поверхностей. В простейшем случае при равномерном движении толкателя на собираемые детали действует усилие, которое находят по формуле

$$P_1 = c_z (z_0 + vt),$$

где c_z , z_0 - соответственно коэффициент жесткости и величина предварительного натяжения упругого звена устройства силового соединения; v - скорость перемещения упругого звена толкателя в направлении оси z .

11 СОЕДИНЕНИЯ С НАТЯГОМ.

Соединения с натягом сравнительно широко распространены в машиностроении (10...17% от общего числа соединений). Чаще всего соединения с натягом выполняют путем запрессовки. Усилие в этом случае необходимо для продольного перемещения запрессовываемой детали. Такие соединения получили название продольно-прессовых. При продольно-прессовых соединениях (рисунок 31) охватываемая деталь под действием осевой силы запрессовывается в охватывающую, в результате чего возникает сила трения, обеспечивающая относительную неподвижность деталей.

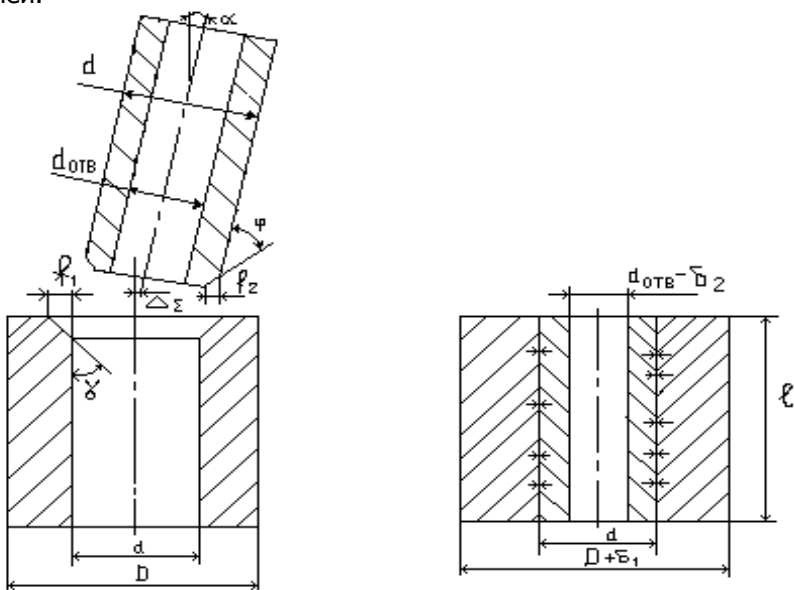


Рисунок 31. Схема соединения с натягом.

Требуемый для данного соединения натяг устанавливают в процессе конструирования сборочной единицы при расчете посадок. Для повышения надежности, долговечности соединений и их прочности расчет ведут по максимальному натягу, определяемому по размерам охватываемой и охватывающих поверхностей. Однако смятие микронеровностей под действием давлений уменьшает натяг:

$$\delta_{\phi} = \delta - 1,2(Rz_1 - Rz_2),$$

где δ_{ϕ} , δ - соответственно фактический и номинальный натяг в соединении; Rz_1 и Rz_2 - шероховатости сопрягаемых поверхностей. Для качественного выполнения соединения Ra не должно превышать 1,6...3,2 мкм.

Чтобы правильно выбрать пресс при выполнении продольно-прессового соединения, необходимо рассчитать усилие запрессовки

$$P_{зап} = f p d L n,$$

где f - коэффициент трения при запрессовке, p - нормальное давление на поверхности контакта, Мпа; d , L - параметры соединения, мм.

Нормальное давление на поверхности контакта определяют по формуле:

$$p = \frac{1}{d} \frac{\delta_{\phi} 10^{-3}}{C_1 / E_1 + C_2 / E_2},$$

здесь C_1 и C_2 - коэффициенты, зависящие от параметров сопрягаемых деталей

$$C_1 = (d^2 + d_{отв}^2) / (d^2 - d_{отв}^2) - \mu_1,$$

$$C_2 = (D^2 + d^2) / (D^2 - d^2) - \mu_2,$$

где d , $d_{отв}$ и D - параметры сопрягаемых деталей (см. рисунок 31), μ_1 , μ_2 - коэффициенты Пуассона, E_1 , E_2 - модули упругости материалов сопрягаемых деталей (см. таблицу 1). Если охватываемая деталь выполнена в виде сплошного вала, $d_{отв} = 0$, если охватываемая деталь имеет форму плиты, то $d/D = 0$.

Таблица 1. Значения модулей упругости и коэффициентов Пуассона для некоторых машиностроительных материалов

Материал	E 10 ⁴ кгс/мм ²	μ
Сталь	1,9...2,2	0,25...0,35
Чугун (при сжатии)	0,8...1,2	0,18...0,25
Латунь	1	0,36
Бронза	0,9...1,2	0,32...0,4
Алюминий и его сплавы	0,65...0,75	0,33

Коэффициент трения зависит от материала деталей, шероховатости сопрягаемых поверхностей, удельного давления, а также наличия и вида смазки. Рекомендуемые значения коэффициента трения для ряда материалов: сталь 0,01...0,22, чугун 0,06...0,14, магниево-алюминиевые сплавы 0,02...0,08, латунь 0,05...0,11, пластмассы 0,4...0,5.

Усилие пресса выбирают по усилию запрессовки:

$$P_{пр} = (1,5...2) P_{зап}.$$

Прочность соединения характеризуется силой выпрессовки, которая на 10...15% больше силы запрессовки.

Прочность продольно-прессового соединения в значительной мере определяется скоростью его выполнения. Наибольшая прочность достигается при скоростях $V < 3$ мм/с. Не менее важным фактором, определяющим значение и стабильность силы запрессовки, является угол перекося α сопрягаемых поверхностей, который не должен превышать $30'$. Для этого необходимо при запрессовке создать оптимальные углы на торцах сопрягаемых поверхностей. Угол φ не должен превышать $5...10^\circ$, а угол γ - $20...30^\circ$. При значении $\varphi = 5...10^\circ$ сила запрессовки уменьшается при росте прочности соединения вследствие изменения характера упруго-пластических деформаций. Для лучшего центрирования поверхностей необходимо делать заходные пояски (2...3 мм) или расточки по посадке с зазором.

При сборке продольно-прессовых соединений происходит изменение размеров собираемых деталей, что необходимо учитывать, если указанные размеры ограничены допусками. Наружный диаметр D охватываемой детали увеличивается на величину $\delta_1 = 2 p d^2 D 10^3 / E_1 (D^2 - d^2)$; внутренний диаметр $d_{отв}$ охватываемой детали уменьшается на $\delta_2 = 2 p d^2 d_{отв} 10^3 / E_2 (d^2 - d_{отв}^2)$.

12 СБОРКА УЗЛОВ С ПОДШИПНИКАМИ КАЧЕНИЯ

При сборке подшипниковых узлов усилие следует прикладывать к тому кольцу подшипника, которое устанавливается с натягом. Во избежание перекосов прикладываемое усилие должно быть равномерно распределено по всему торцу кольца. Для этого используют специальные оправки. Запрессовку лучше всего осуществлять на специальном прессе. В том случае, когда запрессовывают оба кольца подшипника, усилие запрессовки прикладывают одновременно к торцам обоих колец с помощью специальной оправки.

Усилие запрессовки, Н:

$$P = \frac{\delta_{\phi} f E \pi B}{2N}, \quad N = \frac{1}{\left(1 - \frac{d}{d_0}\right)^2}; \quad d_0 \approx d + \frac{D - d}{4};$$

где δ_{ϕ} – фактический натяг, мм; E – модуль упругости, Мпа ($2,12 \cdot 10^5$); B – ширина запрессовываемого кольца, мм; f – коэффициент трения (при напрессовке $f=0,1 \dots 0,15$); d – номинальный диаметр отверстия внутреннего кольца, мм; D – наружный диаметр подшипника, мм.

Фактический натяг всегда меньше номинального. Его определяют по формуле

$$\delta_{\phi} = \delta - 1,2(R_{zД} + R_{zП}),$$

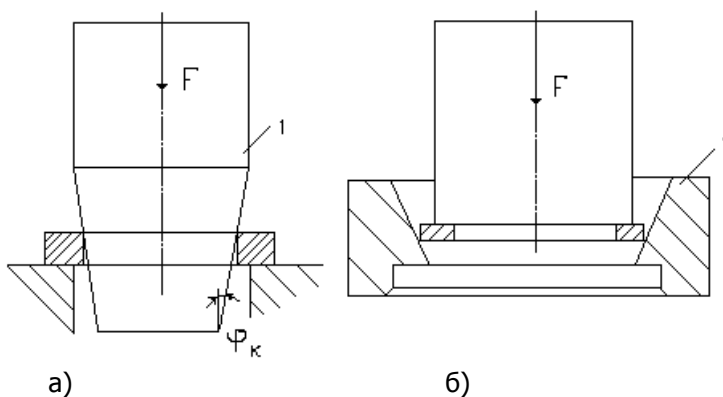
где $R_{zД}$ и $R_{zП}$ – средние высоты микронеровностей сопрягаемых поверхностей детали и подшипника. Ориентировочно величину фактического натяга можно принимать $\delta_{\phi} = 0,8\delta$.

Высота заплечиков вала и корпуса должна быть достаточной для надежной фиксации подшипника в осевом направлении и в то же время обеспечивать возможность съема подшипника при демонтаже узла. Радиус галтели у заплечиков вала и корпуса должен быть меньше радиуса галтели подшипника для обеспечения касания торца кольца и упорного буртика.

13 СБОРКА УЗЛОВ С УПРУГИМИ КОЛЬЦАМИ

При разработке сборочного процесса и технологической оснастки для установки упругих колец (рисунок 32) необходимо заранее рассчитать размеры, до которых возможно изменение параметров кольца без нарушения его качества, определить силу, необходимую для сжатия или соответственно для разжатия кольца, и рассчитать размеры конуса. Минимальный диаметр сжимающего или максимальный диаметр разжимающего конуса должен быть найден расчетным путем, а размер максимального или соответственно минимального диаметра должен быть принят на 2-4 мм больше (меньше) наружного (внутреннего) кольца в свободном состоянии.

Угол наклона конуса сборочной оснастки для изменения размеров пружинных плоских и запорных колец должен быть принят равным 5-10°. Для поршневых колец конус нужно выполнять ступенчатым, заборную часть – с углом 30°, а следующий участок, предназначенный для разжатия колец, с уклоном 10-15°.



а) б)
Рисунок 32. Схемы установки упругих колец

Для установки сжатых колец в отверстия базовой детали следует предусматривать заходные фаски с малым углом, чтобы обеспечить вход кольца и сохранить качество соединяемых деталей.

Сила F , необходимая для изменения размеров колец (рисунок 32), определяется по формуле:

$$F = \frac{P}{\operatorname{ctg}(\varphi_{\kappa} + \operatorname{arctg}\mu) - f},$$

где μ - коэффициент трения скольжения кольца по конусной поверхности детали сборочной оснастки; f - коэффициент трения между торцом кольца и установочной поверхностью базовой детали; φ_{κ} - угол наклона конуса 1 (рисунок 32, а) или конусной втулки 1 (рисунок 32,б) сборочной оснастки.

Для разжимаемых колец силу P определяют по формуле:

$$P = \frac{[\sigma_{из}]d_A S_{\kappa} b_{\kappa}^2}{6(d_A + 0,75b_{\kappa})^2},$$

где $[\sigma_{из}]$ - допустимое напряжение изгиба для разжимаемого кольца; d_A - максимальный диаметр конуса сборочной оснастки (диаметр вписанной в кольцо окружности); S_{κ} и b_{κ} - соответственно толщина и ширина кольца против замка.

Для сжимаемых колец силу P рассчитывают по формуле:

$$P = \frac{\sigma_{из} d_B S_{\kappa} b_{\kappa}^2}{6(d_B - 0,7b_{\kappa})^2},$$

где $\sigma_{из}$ - напряжение в сжимаемом кольце против замка. Напряжение в сжимаемом кольце можно рассчитать по формуле:

$$\sigma_{из} = \frac{(d'_B - d_A) E b_{\kappa}}{(d_A - 0,7b_{\kappa})(d'_B - 0,7b_{\kappa})},$$

где E - модуль упругости кольца; d_B - минимальный диаметр конусной поверхности сжимающей втулки сборочной оснастки (диаметр описанной около кольца окружности); d'_B - диаметр наружной поверхности кольца в свободном состоянии.

14 ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ ПРИ СБОРКЕ ИЗДЕЛИЙ С ЭЛЕМЕНТАМИ МАЛОЙ ЖЕСТКОСТИ.

К изделиям с элементами малой жесткости относятся детали, имеющие длинный и тонкий стержень, который при приложении некоторого определенного сжимающего осевого или радиального усилия неизбежно отклоняется в сторону с изменением начальной геометрической формы. В первую очередь к таким элементам относятся резисторы, конденсаторы и другие детали радиопромышленности и электроники.

Основной задачей при автоматизации сборки таких изделий является исключение возможности деформации тонких элементов. В связи с этим к загрузочно-разгрузочным устройствам предъявляются следующие требования:

- для загрузки деталей с гибкими выводами должны применяться бункерные загрузочные устройства без механических захватных органов;

- Детали в бункер должны засыпаться тонким слоем; толщина слоя определяется весом деталей, действующих на гибкие элементы. Вес деталей должен быть таким, чтобы гибкие элементы, расположенные внизу бункера, не имели пластических деформаций;

- высота бункера должна быть минимальной, исключающей падение деталей с такой высоты, при которой возможно повреждение гибкого элемента целесообразно применение конических бункеров со спиральными лотками, имеющими малый шаг подъема;

- в случае переполнения выходных лотков целесообразно отключать бункерное загрузочное устройство, а не сбрасывать избыточные детали;

- если во время бункеризации не удастся полностью исключить искривление гибких элементов, то необходимо применять специальные рихтовочные устройства, позволяющие устранять искривление деталей перед сборкой.

Для роботизированной сборки изделий с гибкими выводами чаще всего используют разъемные конические корректоры. Разъем выполняют в плоскости направления соединения и в плоскости, перпендикулярной к направлению соединения. Специальных приводов для разъема корректоров, как правило, не делают.

Для определения требуемого усилия при сборке подобных

деталей рассмотрим расчетную схему, показанную на рисунке 33.

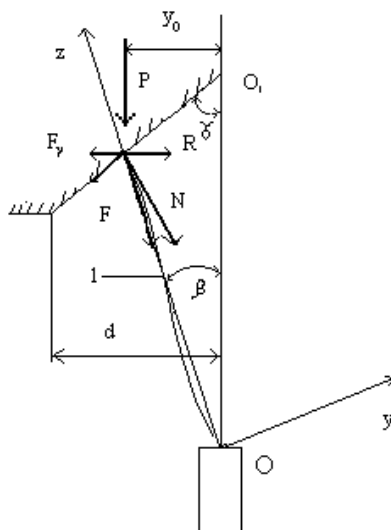


Рисунок 33. Схема соединения деталей с гибкими выводами.

Сборочный компонент можно представить в виде ступенчатого стержня, утолщенный конец которого имеет беззазорное жесткое базирование. Следовательно, можно считать, что тонкая его часть (с меньшим диаметром) длиной l закреплена в точке O , а ее конец свободно опирается в точке A о наклонную поверхность на расстоянии y_0 , равном начальному смещению (отклонению) от оси соединения OO_1 , которое зависит прежде всего от стрелы первоначального прогиба стержня. Угол наклона поверхности $\gamma = 0 - 180^\circ$. Если к сборочному компоненту приложить сборочное усилие P , которое можно разложить на нормальную составляющую N и реакцию R , то возникает сила сопротивления (трения) F ; F противодействует силе R , которая стремится сдвинуть, отогнуть стержень от наклонной поверхности. Эти силы можно определить из следующих зависимостей:

$$N = P \sin \gamma; \quad P_z = N \sin (\gamma + \beta); \quad R = P_z \operatorname{ctg} (\gamma + \beta); \quad F = \mu N; \quad F_y = \mu P_z;$$

где γ – угол наклона опорной поверхности; β – угол начального отклонения стержня; μ – коэффициент трения.

Положение стержня на наклонной поверхности при определенном сборочном усилии может оказаться неустойчивым отно-

сительно точки A , и, если $(R - F_u) > 3EJy_0^3$ (где E – модуль упругости материала стержня; J – момент инерции его сечения) его конец может отклониться (сдвинуться) на величину y . Отклонение положительно тогда, когда

$ctg(\gamma + \beta) - \mu > 0$. Угол β находят из выражения $\beta = \arcsin(y_0/l)$.

При соединении сопрягаемых соединений с зазором вполне допустимо принимать угол $\gamma = 45^\circ$, проверяя его по выражению

$$\gamma_{np} = \text{arccctg } \mu - \arcsin(y_0/l),$$

Здесь y_0 – начальное отклонение стержня, определяемое методом прогнозирования наибольшего вероятного отклонения параметра. Для конденсаторов с органическим диэлектриком предельный угол по данным исследований составляет 6° , для герметичных резисторов – 3° , угол отгиба трансформаторных пластин достигает $2-3^\circ$.

Для стабильной безотказной работы корректирующих устройств при их конструировании принимают $\gamma < \gamma_{np}$, а раскрытие $d > 2y_0$. Реальное значение μ определяют с учетом коэффициента k , характеризующего возможный разброс сопротивления при скольжении стержня по опорной поверхности устройства. Тогда

$$\gamma_{np} = \text{arccctg } k\mu - \arcsin(y_0/l).$$

Для изделий с двусторонними цилиндрическими (проволочными) выводами (конденсаторы, резисторы, диоды и т.п.) $k = 2,25 - 2,8$; для изделий с односторонними выводами (электролитические конденсаторы, транзисторы и т.п.) $k = 4,0 - 4,4$; для трансформаторных пластин $k = 2,0 - 2,6$.

Геометрические размеры гибкого элемента проверяют по формуле Эйлера, принимая во внимание, что сила P_z , действующая вдоль оси стержня равна

$$P_z = [\sigma_n] \text{tg}(\gamma + \beta) (0,1 d^3/l)$$

$[\sigma_n]$ – допускаемое напряжение при поперечном изгибе, d и l – диаметр и длина гибкого элемента. Необходимое условие - $P_z < [P_z]$.

Конструкция корректора с разъемом его в плоскости, перпендикулярной направлению сборки показана на рисунке 34.

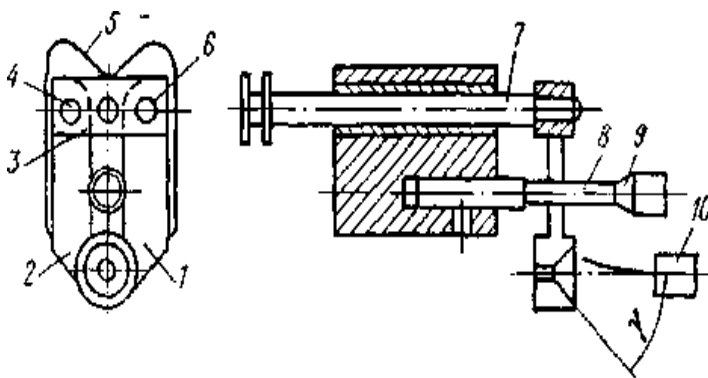


Рисунок 34. Корректор для сборки изделий с гибкими выводами.

Корректор состоит из двух губок 1 и 2, качающихся на осях 4 и 6. Губки смыкает пружина 5. При движении штока к сборочному компоненту 10 внутренние поверхности губок скользят по направляющей и надвигаются на расширяющуюся часть 9, в результате чего губки раскрываются. Шток 9 связан с приводом сборочного устройства.

15 УСИЛИЯ ПРИ ЗАКРЕПЛЕНИИ СОЕДИНЕНИЙ ПУТЕМ МЕСТНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ.

В отличие от соединений, где детали подвергаются пластическому деформированию полностью или в значительной мере, широко распространены соединения, в которых такому деформированию подвергаются лишь небольшие участки соединяемых деталей (рисунок 35). Местная пластическая деформация образуется с помощью усилия, развиваемого прессом. В качестве инструмента применяются пуансоны различной формы, шарики, ролики, специальные оправки (раскатки). Технологическое усилие в каждом конкретном случае зависит от конструктивных особенностей соединения.

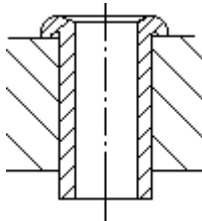


Рисунок 35. Схема осадки трубы.

Осадку конца трубы с целью образования бурта, утопленного в конической части отверстия, выполняется в два приема. Первый - нажим плоским пуансоном, в результате чего выступающий конец трубы становится бочкообразным. Второй - нажим коническим пуансоном, придающим концу трубы законченную форму.

Усилие осадки в этом случае определяется из выражения

$$P = k_{oc} \frac{d_1^2 - d_0^2}{4} \frac{D_1}{d_1} \sigma_s,$$

где k_{oc} - коэффициент (для медных трубок 4,5, для стальных 5,5); d_i и d_o - соответственно наружный и внутренний диаметр трубки (рисунок 35), мм; D_1 - диаметр развальцованного торца трубки, мм; σ_s - предел текучести материала трубки, кгс/мм². Отношение D_1/d_1 обычно называют степенью деформации конца трубки.

Отбортовка конца трубки (рисунок 35) выполняется пуансоном на прессе. При малой толщине стенки трубы и "неответственном" соединении этого можно достичь за одну операцию. При необходимости получения качественных соединений число операций может быть доведено до трех. В результате первой операции образуется конусный раструб с углом 30...40°; в ходе второй операции производится осадка конусным пуансоном; в последней операции производится осадка ступенчатым пуансоном с плоским торцом. Усилие осадки определяется по ранее приведенной формуле, усилие отбортовки - из выражения

$$P = k_{от} \frac{d_1^2 - d_0^2}{4} \frac{D_1}{d_1} \sigma_s.$$

Для медных трубок коэффициент $k_{от} = 5,7$, для стальных - $k_{от} = 7,8$. Обычно степень деформации трубки принимают в пределах 1,25...1,8.

Крутящий момент $M_{кр}$, передаваемый соединению при развальцовке

$$M_{кр} = 0,5fP\pi Dl,$$

где f – коэффициент трения; P – давление, кг/мм²; l – длина соединения.

16 УСИЛИЯ ПРИ ЗАКЛЕПОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ.

Заклепочные соединения в конструкциях машин и сборочных единиц применяются там, где соединяются детали из плохо свариваемых материалов и экономически невыгодно использовать резьбовые соединения. Материалы заклепок - сталь, медь, латунь, алюминиевые сплавы.

Клепка в автоматизированных процессах сборки выполняется, как правило, в холодном состоянии с помощью прессы. В ряде случаев наряду с передачей усилия пуансон получает также вращательное движение, при этом характер процесса деформирования приближается к вальцовке. Ориентировочные значения усилий, необходимых для образования головок стальных заклепок при холодной клепке, приведены в таблице 2.

Таблица 2. Усилие при холодной клепке

Материал заклепки	Усилие (τ) при диаметре заклепки, мм					
	3	4	6	8	10	12
Сталь	2	3,5	7	11,5	14	20

При установке заклепок отверстия соединяемых деталей должны быть совмещены с требуемой точностью, а диаметральный зазор Δ (см. рисунок 36) между телом заклепки и соединяемыми деталями необходимо выдерживать равным 0,2 мм (при $d < 6$ мм), 0,25 мм (при $6 < d < 10$ мм) и 0,3 мм (при $10 < d < 18$ мм). В противном случае возможен изгиб стержня заклепки, смещение деталей, а при переменных нагрузках быстрый износ и разрушение соединения.

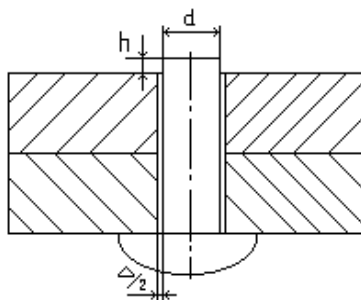


Рисунок 36. Схема заклепочного соединения.

Качество соединения зависит от длины заклепки - выступающая часть стержня должна быть в пределах $1,3...1,6d$ в зависимости от формы головки. Для уменьшения смещений отверстий в соединяемых деталях клепку целесообразно выполнять не последовательно, а вразброс или одновременно.

Расчет усилия при холодной клепке производят по формуле

$$P = k_{\phi} d^{1.75} \sigma_B^{1.75},$$

где k_{ϕ} - коэффициент, зависящий от формы головки заклепки (см. таблицу 3); d - диаметр стержня заклепки, мм; σ_B - временное сопротивление материала заклепки, МПа.

Таблица 3. Значения коэффициента k_{ϕ}

Форма головки заклепки	k_{ϕ}
Сферическая	28,6
Потайная	26,2
Плоская	15,2
Трубчатая	4,33

При холодной клепке усилие ориентировочно можно рассчитать по формуле

$$P = 250F,$$

где F - площадь поперечного сечения заклепки, мм². Процесс клепки соединений хорошо автоматизируется. Время выполнения соединения диаметром до 4 мм составляет 0,5 с.

17 УСИЛИЯ ПРИ СБОРКЕ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ.

Резьбовые соединения в конструкции машин составляют 15...25% от общего числа соединений, поскольку они отличаются простотой, надежностью, а также возможностью разборки и повторной сборки без замены деталей. Трудоемкость сборки резьбовых соединений составляет 25...35% от общей трудоемкости сборочных работ.

Процесс сборки резьбовых соединений состоит из следующих этапов: соединение (наживление) резьбовых деталей на 2...3 нитки; их свинчивание; затяжка и стопорение для предохранения от самоотвинчивания. При автоматизации первые три этапа сборочного процесса выполняются последовательно одним инструментом.

Для удобства наживления на торцах резьбовых поверхностей выполняют фаски под углом 45° . При автоматическом выполнении наживления условия собираемости улучшаются из-за вращательного движения присоединяемой детали, а также пониженной жесткости патрона и посадки резьбозавертывающего механизма. При этом условия собираемости имеют вид

$$\Delta_{\Sigma} \leq \sum f_i + \delta_c + \Delta_y,$$

$$\alpha_{\Sigma} \leq \arctg(p - 0,5 Td_2 \operatorname{tg}30^\circ)/(d + d_1 + Td_1),$$

где Δ_{Σ} - погрешность положения сопрягаемых резьбовых поверхностей; $\sum f_i$ - сумма катетов фасок на торцах резьбовых поверхностей; δ_c - зазор в резьбовом соединении; Δ_y - упругие отжатия насадки и патрона резьбозавертывающего устройства; p - шаг резьбы; α_{Σ} - угол перекоса сопрягаемых резьбовых поверхностей; Td_1 и Td_2 - допуски на средний и внутренний диаметры резьбы; d_1 и d_2 - наружный и внутренний диаметры резьбы.

Для выполнения процесса наживления необходимо помимо вращательного движения создать осевую силу P_o для прижатия резьбовой детали к резьбовому отверстию. Оптимальные режимы, обеспечивающие высокую безотказность на этом этапе: угловая скорость $\omega = 30...60$ рад/с (для шпилек и винтов) и $\omega = 47...80$ рад/с (для гаек), $P_o = 150...200$ Н при осевой скорости $V_o \leq 0,3$ м/с.

Рациональный выбор режимов сборочного процесса позволяет безотказно наживлять детали М6...М10 с катетами фасок 0,5...1 мм за 2 оборота шпинделя при погрешности $\Delta_{\Sigma} = 1,4...2$

мм. Качество сборки резьбовых соединений определяется силой затяжки $P_3 = \sigma_3 F_6$, где σ_3 - напряжения затяжки; F_6 - площадь поперечного сечения болта. Минимальное напряжение затяжки определяют из условия нераскрытия стыка, максимальное - зависит от предела текучести материала резьбовой детали. Для ответственных резьбовых соединений $\sigma_3 = (0,8 \dots 0,9) \sigma_T$. Требуемая сила затяжки P_3 создается моментом резьбозавертывающего инструмента.

Значение предельного момента затяжки, исходя из прочности стержня винта на растяжение, определяется в случае контактирования головки винта (болта) или гайки с торцевой поверхностью привинчиваемой (рисунок 37) детали. Расчетная формула в этом случае имеет вид

$$M_{зат} = 0,6 \sigma_T k_n k_{и} d^3 (0,03 + k_T O),$$

где σ_T - предел текучести материала, кгс/мм²; k_n - коэффициент приведенной прочности:

$$k_n = \frac{1}{\sqrt{1 + 7,8 \operatorname{tg}^2 (\alpha + \rho)}}.$$

Здесь α - угол подъема резьбы; ρ - приведенный коэффициент трения (с учетом профиля резьбы) пары винт-гайка; $k_{и}$ - коэффициент использования прочности материала.

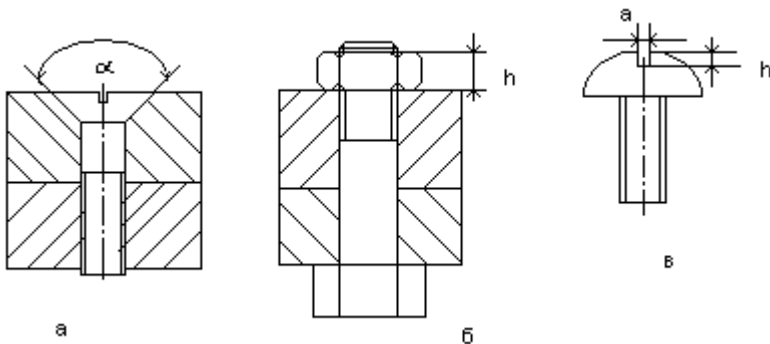


Рисунок 37. Схемы резьбовых соединений.

В зависимости от точности и стабильности условий затяжки $k_{и}$ колеблется в пределах $0,6 \dots 0,85$ или может быть определен по формуле

$$k_{\mu} = 1 - (\delta_H + \sqrt{\delta_{\mu}^2 + \delta_C^2}),$$

где δ_H , δ_{μ} и δ_C - соответственно относительные погрешности настройки инструмента на заданный момент затяжки, величины трения в резьбе и момента срабатывания самого инструмента; d_0 - наружный диаметр резьбы, мм; k_T - коэффициент, зависящий от формы поверхности контакта головки винта или гайки с закрепленной деталью; $k_T = 1,2$ при контакте по плоской поверхности (рисунок 37,б); $k_T = 1,65$ при контакте по конической поверхности (в случае винта с потайной головкой) с углом 90° (рисунок 37,а); $k_T = 1,35$ при контакте по конической поверхности с углом 120° (рисунок 37,в); μ - коэффициент трения пары винт-гайка.

С учетом прочности стержня винта на кручение (в случае завинчивания шпилек и болтов, упирающихся торцом стержня, расчетная формула для момента затяжки имеет вид $M_{зат} = 0,073 \sigma_T k_{\mu} d_0^3$. Для винтов типа установочных (рисунок 37,в) момент затяжки определяется с учетом прочности шлицев на смятие

$$M_{зат} = 0,085 \sigma_T k_{\mu} a d_0^2.$$

Если лимитирует прочность резьбы на срез, например, при свинчивании деталей, существенно различающихся по механическим свойствам, то выражение для момента затяжки $M_{зат} = 1,54 \sigma_T k_{\mu} H d_0^2 (0,03 + k_T \sigma)$ при более слабой резьбе гайки. Исходя из прочности винта эта формула принимает вид:

$$M_{зат} = 1,02 \sigma_T k_{\mu} H d_0^2 (0,03 + k_T \mu).$$

Крутящий момент при завинчивании резьбовых соединений с натягом, например, при постановке шпилек в корпус, для соединений, имеющих метрическую резьбу, может быть определен по выражению

$$M_{кр} = 3,1 \Delta f_1 l d_0 \frac{E_2}{1,3 + 0,7 \frac{E_2}{E_1}},$$

где $\Delta = \Delta_0 - 1,2(Rz_1 + Rz_2)$. Здесь Δ_0 - расчетный натяг; f_1 - коэффициент трения; l - глубина завинчивания шпильки (при условии, что шпилька не упирается торцом в дно отверстия); d_0 - наружный диаметр резьбы.

Следует отметить, что нередко завинчивание может производиться и без затяжки, либо регламентация момента затяжки не играет особой роли. Это характерно для изделий, когда в результате сборки изделие по существу лишь комплектуется, так как при последующем монтаже соединения подвергаются разборке.

Для контроля силы затяжки могут быть использованы различные методы. Точность силы затяжки, обеспечиваемая различными методами контроля, приведена ниже, %.

Контроль качества резьбовых соединений:

По $M_{кр}$	$\pm 6... \pm 50$
По углу поворота	± 20
По $M_{кр}$ и углу поворота	$\pm 10... \pm 20$

Создание микропроцессорных систем управления позволило постоянно измерять при помощи тензодатчиков один или несколько параметров в процессе затяжки.

18 ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ РТК

Для реализации технологических операций на основном оборудовании РТК необходимо выполнить определенные действия, каждое из которых называется вспомогательным переходом – законченной частью технологической операции, которая не сопровождается изменением свойств предмета обработки, но необходима для выполнения технологического перехода.

К типовым вспомогательным переходам можно отнести следующие:

- 1) загрузка – перевод предмета обработки из хаотического положения в пространстве в требуемое;
- 2) питание – доставку предмета обработки в требуемое положение на рабочую позицию;
- 3) фиксация – наложение на предмет обработки удерживающих связей в соответствии с требованиями технологического перехода;
- 4) расфиксация – снятие удерживающих связей с предмета обработки, наложенных до технологического перехода;
- 5) удаление предмета обработки с рабочей позиции.

Основное назначение вспомогательного оборудования – автоматическая загрузка РТК заготовками или собираемыми компонентами, то есть питание ПР ориентированными изделиями или заготовками, транспортирование ориентированных изделий между позициями РТК. Состав вспомогательного оборудования РТК должен обеспечить реализацию и расширение его технологических возможностей, а также оптимально по минимуму затрат и по максимальной производительности обслужить заданную номенклатуру деталей.

Выбор класса вспомогательного оборудования, входящего в состав РТК, зависит от конструктивно-технологической характеристики деталей, их формы, наличия установочных баз или устойчивых положений, осей и плоскостей симметрии, технологической специфики изделий, например, от вида технологического процесса и операции, положения деталей на позиции обработки или сборки, вида фиксации; от организационных факторов, т.е. от планируемого периода производства изделий, формы организации производства; эксплуатационных факторов, например от периодичности запусков, суммарной трудоемкости создания вспомогательного оборудования.

В состав вспомогательного оборудования могут входить автоматические загрузочные устройства; устройства базирования и относительного ориентирования; устройства контроля; сборочные механизмы; транспортные устройства и системы. Все узлы вспомогательного оборудования в зависимости от выполняемых функций можно разделить на пять групп: средства первичного ориентирования и создания однослойного потока деталей, автоматического транспортирования, накопления, выдачи на позицию захвата ПР, контроля. Ряд узлов может выполнять не одну, а несколько функций. Вышеуказанные группы в зависимости от технологических признаков можно подразделить на классы. Так, например, накопители могут быть подразделены на магазины различных конструкций, кассеты, трафареты и т.п.

Общая проблема оснащения РТК должна рассматриваться как совокупность взаимосвязанных задач, включающих проектирование, изготовление и эксплуатацию. Проектирование зачастую может быть заменено обоснованным выбором полностью или частично ранее спроектированного вспомогательного оборудования. Общая задача выбора вспомогательного оборудования может быть разбита на две задачи, решаемые последовательно: выбор системы вспомогательного оборудования, под которой в общем случае понимается организованная определенным образом совокупность типовых устройств ориентирования, транспортирования, накопления и поштучной выдачи, а также выбор устройств данной системы.

В общем виде процесс автоматической загрузки состоит из элементов: первичного и окончательного ориентирования компонентов; заполнения ими магазинов; перемещения и поштучного отделения компонентов; передачу их на позицию захвата. Правильный выбор рациональной конструкции загрузочного устройства во многом определяет производительность и надежность работы РТК.

По конструкции загрузочно-накопительные устройства делятся на бункерные, магазинные, с использованием программируемых средств и средств электромагнитного опознавания и ориентирования и др. (рисунок 38). Загрузочно-накопительные устройства выполняют, как правило, в виде самостоятельных механизмов, органически связанных с РТК. В общем виде они могут состоять из емкости (бункера, магазина, кассеты), в которой сосредотачивается запас обрабатываемых или собираемых деталей и функциональных механизмов ориентации, ворошителя, пи-

тателя, лотков, накопителя, привода и т. п.



Рис. 38. Классификация загрузочных устройств

В последнее время к ЗНУ в составе РТК предъявляется ряд дополнительных требований по гибкости: конструкция ЗНУ должна отвечать условию многономенклатурности обрабатываемых деталей; должна иметь емкость, достаточную для работы РТК в течение определенного времени без догрузки, а также локальную систему управления, входящую в общую иерархическую систему управления РТК или участком. Кроме того, ЗНУ могут включаться в общий материальный поток транспортно-складской системы автоматизированного участка.

Как правило, традиционные устройства не отвечают вышеуказанным требованиям и предназначены для узкого диапазона типоразмеров деталей. Для обеспечения быстрой переналадки ЗНУ создают на базе унифицированных элементов и строят по модульному принципу.

Схема обобщенного загрузочного устройства показана на рисунке 39. Детали получают первичную ориентацию в бункерном загрузочном устройстве и вторичную – в устройстве вторичной ориентации. Датчики D1 и D2 контролируют минимальное и

максимальное заполнение лотков деталями. Информация от датчиков поступает в блок переработки информации (БПИ) и далее в систему управления (СУ) работой ВО.

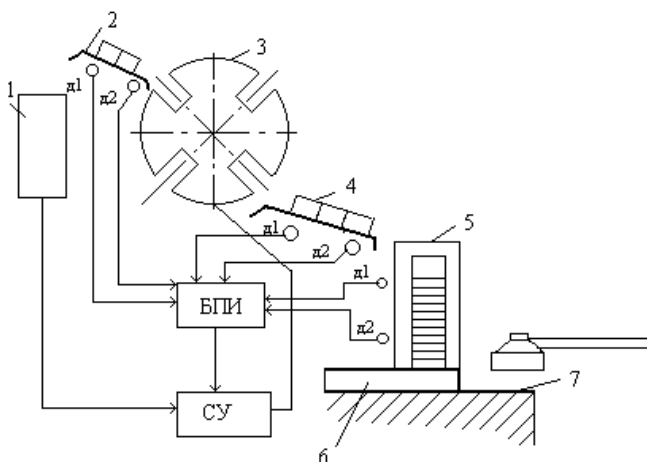


Рисунок 39. Схема обобщенного загрузочного устройства:

1 – бункерно-ориентирующее устройство; 2, 4 – передающие лотки; 3 – устройство вторичной ориентации; 5 – магазин-накопитель; 6 – шибберное устройство; 7 – позиция захвата роботом

В настоящее время в промышленности применяются много устройств загрузки промышленных роботов, в которых используются различные принципы ориентирования и координирования деталей. В зависимости от степени автоматизации различают ручную, полуавтоматическую и автоматическую загрузку промышленных роботов.

При ручной загрузке для ориентирования и координирования изделия укладываются работником в трафарет или кассету, которые являются фиксирующим элементом. Полуавтоматическая загрузка производится с помощью магазинных загрузочных устройств, в которых ориентация изделий осуществляется вручную путем заполнения накопителя ориентированными изделиями или автоматически вне загрузочного устройства. Координирование и фиксирование изделий на позиции захвата осуществляется автоматически.

Автоматическую загрузку производят с помощью бункерных

загрузочных устройств, конвейеров или транспортеров. Выбор конкретного способа загрузки определяется большим числом факторов, к основным из которых относятся: геометрические и физические параметры загружаемых изделий, требуемая производительность, тип производства, желаемая степень автоматизации и т.п.

Автоматические бункерные загрузочные (АБЗУ) устройства используются для автоматического ориентирования и выдачи на позицию захвата ПР изделий, находящихся в бункере в беспорядочном положении (навалом). Все АБЗУ можно разделить на устройства с подвижным и неподвижным захватным органом. По траектории движения захватных органов АБЗУ делятся на вращательные, поступательные, возвратно-качательные.

В общем случае такие устройства состоят из группы механизмов, предназначенных для приема заготовок навалом и выдачи их в зону захвата ПР ориентированными в пространстве и во времени: предбункера, бункера, устройства автоматического ориентирования, лотка (магазина), отсекающего, питателя (рисунок 40).

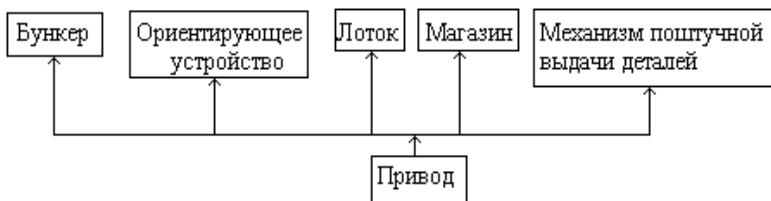


Рисунок 40. Общая структурная схема АБЗУ

Предбункер предназначен для создания необходимого запаса заготовок, обеспечивающих требуемое время непрерывной работы РТК и создания благоприятных условий для работы бункера.

Бункер принимает заготовки навалом и выдает их ориентированными в пространстве (первичная ориентация). Лоток служит для транспортирования заготовок между функциональными механизмами АБЗУ, может выполнять также функции магазина и устройства вторичной ориентации. Устройство вторичной ориентации осуществляет вторичное ориентирование заготовок сложной формы.

Магазин принимает, накапливает и сохраняет окон-

чательно ориентированные заготовки, компенсирует неравномерную производительность бункера. Отсекатель и питатель работают синхронно с рабочими органами станка или ПР, подавая заготовку в зону захвата в определенные периоды рабочего цикла, т.е. ориентируют заготовки во времени.

К АБЗУ предъявляют ряд требований: производительность бункерного загрузочного устройства должна быть на 20-30% больше производительности технологического оборудования; заготовки не должны менять в бункерном загрузочном устройстве своих свойств; бункерное загрузочное устройство должно обладать свойством самовосстановления работоспособности в случаях возникновения заклинивания рабочих органов; колебания производительности бункерного загрузочного устройства должны быть минимальными во избежание увеличения вместимости лотка-магазина и другие.

В зависимости от формы изделий, подлежащих ориентации, АБЗУ подразделяются по способам захвата. Захват осуществляется за внутреннюю, внешнюю и за внутреннюю и внешнюю поверхности. Применяются захватные органы типа штырей, крючков, карманов, вращающихся трубок.

По расположению захватных органов АБЗУ делятся на устройства с тангенциальным, радиальным и аксиальным расположением; по способам ориентирования изделий АБЗУ можно разделить на три группы:

- ориентирующие захватными органами за один прием с удалением изделий, захваченных в правильном положении; этот способ реализуется крючковыми, карманчиковыми, щелевыми, трубчатыми захватными органами;

- ориентирующие захватными органами в два или несколько приемов; в этом случае вторичное ориентирование реализуется в результате прохождения изделий через трафарет или на призмах по расположению центра тяжести;

- ориентирующие первично (иногда и вторично); окончательное ориентирование производится в дополнительных устройствах с помощью захватов ПР.

В зависимости от способа выдачи изделий рабочим органом АБЗУ принято разделять на три вида: поштучной, порционной и непрерывной выдачи. Первые характеризуются тем, что выдают единичные изделия через определенный интервал времени. Их средняя производительность

$$Q = k z n,$$

где z - число захватных органов; n - частота движения захватных органов; k - коэффициент заполнения захватных органов изделиями.

Коэффициент заполнения - величина случайная. Его среднее значение зависит от ряда факторов: конструктивного исполнения элементов бункера и захватных органов, формы и размеров изделий, скорости движения захватных органов, коэффициента трения заготовок о захватные органы и т. п. В связи с этим в большинстве случаев с увеличением скорости захватных органов сначала почти пропорционально увеличивается производительность (до некоторого предела). До этой скорости БЗУ работает с устойчивой производительностью. При дальнейшем увеличении окружной скорости прямая пропорциональность нарушается. Производительность хотя и продолжает расти, достигая максимума, но ее рост отстает от увеличения скорости, производительность БЗУ становится менее стабильной. При еще большем увеличении окружной скорости захватных органов производительность резко падает, дальнейшее повышение производительности возможно только при кардинальном изменении конструкции БЗУ.

Выдачу изделий порциями осуществляют секторные, ножевые, лопастные АБЗУ. Отличительный признак - захват нескольких изделий одним рабочим органом. Производительность таких систем определяется выражением

$$Q = k \cdot z \cdot m \cdot n,$$

где m - число заготовок, которое может находиться в одном захватном органе.

Их производительность определяется, как

$$Q = k v / l,$$

где v - скорость движения заготовки; l - размер заготовки в направлении движения.

При расчете и проектировании механизмов захвата и ориентации решаются следующие задачи:

- расчет производительности.
- расчет и проектирование бункера: расчет объема; проектирование формы бункера; проектирование способа подготовки к захвату.
- расчет и проектирование захватных органов: проектиро-

вание формы захватных органов; расчет конструктивных параметров захватных органов;

- проектирование формы приемника.
- расчет лотка.
- расчет мощности привода механизма захвата и ориентации.

19 СБОРОЧНЫЙ ИНСТРУМЕНТ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА СБОРОЧНЫХ РТК

Автоматизированная роботизированная сборка накладывает специфические требования на технологические устройства. Эти требования определяются двумя основными схемами построения РТК. *В первой схеме* робот выполняет функции захвата деталей, в некоторых случаях - базирование при сборке и удаление собранного узла. В таких комплексах операцию сборки осуществляет стационарное технологическое устройство. *Во второй* схеме промышленный робот непосредственно выполняет операции комплектования и сборки деталей.

Тип технологических устройств для автоматической сборки узлов изделий определяется главным образом видом соединения, для которого они предназначены. Различают технологические устройства для сборки разъемных и неразъемных соединений.

Детали при сборке *соединяют следующими способами*: stapелированием (укладкой) с большими и малыми зазорами; пластической деформацией (с натягом); упругой деформацией (с предварительным упругим деформированием одной из сопрягаемых деталей); склеиванием; свариванием; по резьбе.

Для выполнения указанных соединений с помощью промышленных роботов необходимы различные сборочные инструменты, приспособления и оборудование, к которым предъявляются следующие основные требования:

1) обеспечение надежного захватывания детали, ее транспортирования на сборочную позицию, а также установки в приспособление или сопряжения с базовой деталью;

2) унификация хвостовиков, поясков и других элементов, инструмента, служащих для его установки а исполнительном органе ПР;

3) возможность встраивания в инструмент датчиков, контролирующих наличие детали, процесс сборки, размеры собираемых деталей, их относительное расположение, качество сборки и другие параметры;

4) унификация мест подключения к измерительным и силовым пневмо - и электросетям (для сменного инструмента);

5) обеспечение захватными элементами инструмента заданной точности базирования детали;

6) оснащенность инструмента устройством автопоиска или элементами, способствующими самоустановке присоединяемой детали под действием сил, возникающих при сборке;

7) отсутствие деформаций детали в результате действия на нее усилий, возникающих при сборке, захватывании и фиксации (если это не требуется по условиям технологического процесса);

8) возможность легкой переналадки инструмента (в широком диапазоне размеров) при изменении номенклатуры собираемых деталей;

9) оснащенность блокировочными устройствами, предотвращающими поломку инструмента;

10) возможность расширения технологических возможностей инструмента;

11) захватные устройства сборочного инструмента по возможности должны быть автономными (т.е. выполненными отдельно от инструмента) и совмещенными с инструментом.

Отдельно можно отметить, что к технологическим устройствам, работающим в составе РТК, построенным по первой схеме, предъявляются требования: применение единого источника энергии, возможность управления от общей системы, а также эти устройства должны обладать достаточной универсальностью и быстро переналаживаться с одного типоразмера на другой. К технологическим устройствам, работающим в составе РТСК, построенным по второй схеме, предъявляются требования единства источника энергии робота и технологического устройства и возможности работы от единой системы управления. Так как технологическое устройство крепится на конец руки манипулятора, к нему предъявляются требования снижения массы, а следовательно, и размеров для уменьшения инерционных нагрузок в приводах роботов. Технологические сборочные устройства должны иметь высокую производительность, обладать достаточной универсальностью и надежностью в работе.

Автономные захватные устройства обеспечивают соединение деталей, изменение их положения, а также перенос деталей и собранного изделия. *Захватные устройства, совмещенные с инструментом*, применяют для выполнения основных сборочных операций. Одной из таких операций, наиболее часто встречающейся в машиностроительном производстве, является соединение деталей по цилиндрическим поверхностям (например, при установке подшипников, валов, вкладышей и манжет в корпус). При этом требуется высокая точность взаимного расположения

сопрягаемых поверхностей и траекторий их перемещения или возможность компенсации таких погрешностей.

Конструкция технологических устройств обычно определяется видом соединения, для автоматической сборки которого они предназначены. Одним из самых распространенных видов соединений в машиностроении являются резьбовые соединения.

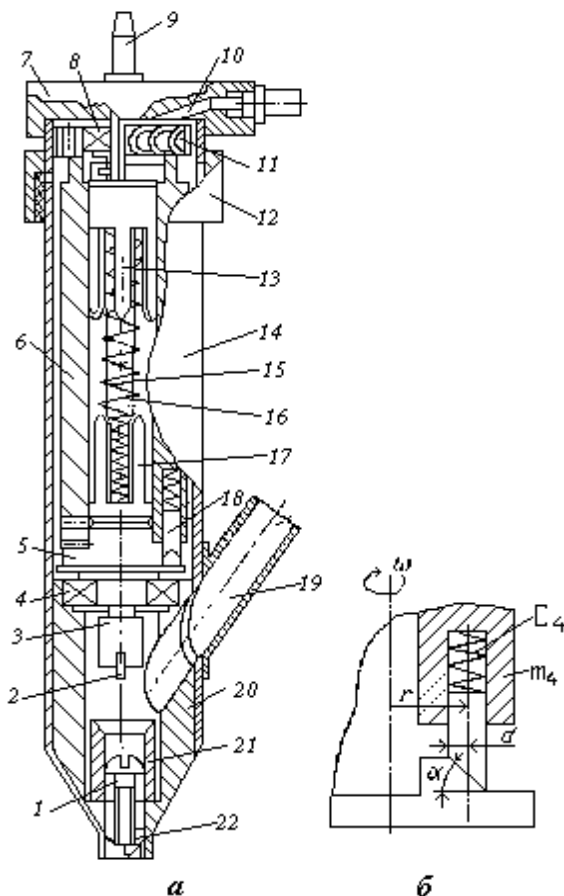


Рисунок 41. Инерционный винтозавертывающий модуль (а) и схема ударной муфты (б)

Для винтовых соединений наибольшее распространение получил метод относительного ориентирования, когда деталь с резьбовым отверстием базируется на неподвижной базе, а винт

имеет подвижное базирование. Такой метод позволяет компенсировать погрешности (линейные и угловые), которые возникают в процессе ориентирования собираемых деталей. В винтозавертывающих устройствах винт обычно базируется в трубчатой направляющей с небольшим 0,5...1,5 мм зазором по головке и резьбовому стержню и имеет некоторую «свободу» перемещений. Возможность перемещения в направляющем отверстии позволяет винту компенсировать погрешности несовпадения осей в процессе сборки.

Конструкция технологических устройств обычно определяется видом соединения, для автоматической сборки которого они предназначены. Одним из самых распространенных видов соединений в машиностроении являются резьбовые соединения.

Для винтовых соединений наибольшее распространение получил метод относительного ориентирования, когда деталь с резьбовым отверстием базируется на неподвижной базе, а винт имеет подвижное базирование. Такой метод позволяет компенсировать погрешности (линейные и угловые), которые возникают в процессе ориентирования собираемых деталей. В винтозавертывающих устройствах винт обычно базируется в трубчатой направляющей с небольшим 0,5...1,5 мм зазором по головке и резьбовому стержню и имеет некоторую «свободу» перемещений. Возможность перемещения в направляющем отверстии позволяет винту компенсировать погрешности несовпадения осей в процессе сборки.

Процесс сборки резьбовых соединений состоит из нескольких последовательных фаз: первая – подвод инструмента; вторая – соприкосновение инструмента с винтом (удар); третья – относительное ориентирование оси винта с осью гладкого отверстия присоединяемой детали; четвертая – сборка винта с присоединяемой деталью; пятая – удар винта с инструментом о базовую деталь с резьбовым отверстием; шестая – относительное ориентирование оси винта с осью резьбового отверстия и совмещение следов резьбовых торцов; седьмая – наживление собираемых деталей; восьмая – свинчивание собираемых деталей; девятая – затяжка; десятая – отвод инструмента.

Затяжка резьбового соединения состоит в фиксировании деталей относительно друг друга. От момента затяжки и величины его разброса зависят эксплуатационные характеристики соединения. Различают несколько способов затяжки резьбовых соединений: с приложением внешнего крутящего момента;

с приложением ударно-вращательных импульсов; с приложением осевых усилий. Наиболее распространены первый и второй способ затяжки.

Винтозавертывающее устройство, представленное на рисунке 41,а, содержит корпус 14 с глушителем 12, крышку 7 с отверстиями 10 для подачи воздуха, наконечник 20. Через патрубок 19 подаются винты 1. Штуцер 9 служит для подачи воздуха в цилиндр. Центрирование резьбовой части винта в наконечнике 20 обеспечивается центрирующими лепестками 22, а базирование его головки – втулкой 21. Внутри корпуса 14 на подшипниках 4,8 установлен полый ротор 6 с пневмотурбиной 11.

Внутри ротора располагаются поршень-полумуфта 13, пружина возврата 15, полумуфта с зубьями 17 и выступом 5, скошенный палец 18, подпружиненный в осевом направлении. Поршень 13 связан со штоком 16, имеющем на конце лезвие отвертки 2 и насадку 3.

Винтоверт работает от сжатого воздуха, который по каналу 10 подается на лопатки турбины 11, приводя во вращение ротор 6 со всеми закрепленными на нем элементами. Винт 1 забрасывается через патрубок 19 в центрирующую втулку 21, где удерживается лепестками 22. Воздух, подаваемый через штуцер 9, смещает поршень полумуфты 13 вместе со штоком 16 вниз до сцепления с полумуфтой 17. Насадка 3 входит в контакт со втулкой 21, раскручивая ее и находящийся в ней винт 1. Затем лезвие отвертки входит в паз винта 1, осуществляя его завинчивание в резьбовое отверстие. После завинчивания винта на полную глубину происходит остановка штока 16, полумуфт 13 и 17, однако, массивный ротор 6 продолжает по инерции вращаться, а скошенный палец 18, ударяя по выступу 5, осуществляет ударно-импульсную затяжку винта 5. После 5-6 ударов ротор 6 останавливается. Подача воздуха в полость ротора прекращается, пружина 15 возвращает поршень 13 и шток 16 в исходное положение.

Для развальцовки деталей типа втулок применяют вальцовочный инструмент, рабочая часть которого выполнена в виде лопаточки (рисунок 42). Применение такого инструмента позволяет снизить осевое усилие, которое достигает значительных величин при применении инструмента (вальцовок) в форме сплошного конуса.

На рисунке 42,а представлена конструкция вальцовочной головки, включающая пневмоцилиндр 20, закрытый с обеих

сторон крышками 1 и 8. Внутри корпуса находится поршень 4 с уплотнениями 5, соединенными со втулкой 6, внутри которой закреплена втулка 10. В подшипниках стакана 3, закрепленного на крышке 1, установлен шлицевой вал 21, соединенный муфтой 22 с валом приводного электродвигателя и с полумуфтой 18. Последняя соединена с полумуфтой 17, установленной в подшипнике 9 и связанной посредством шпонки с валом 16, смонтированным в подшипниках 11 и 12, крепление которых в корпусе 15 осуществляется с помощью крышки 14. В коническом отверстии вала 16 установлен инструмент 13.

От электродвигателя вращение передается инструменту через вал 21, полумуфты 18 и 17. При подаче в полость цилиндра 20 поршень 4 вместе со втулками 6 и 10, корпусом 15 перемещается вниз до контакта с инструментом 13 с кромками детали, которые деформируются под действием осевого усилия вращающегося инструмента и облегают края отверстия, в котором эта деталь была предварительно установлена.

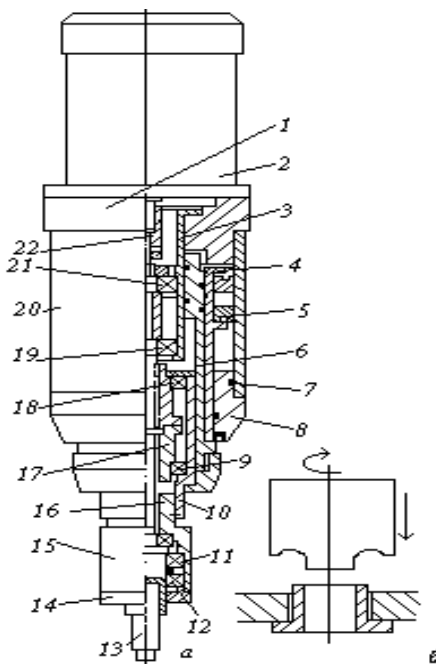


Рисунок 42. Конструкция одношпindelной вальцовочной головки

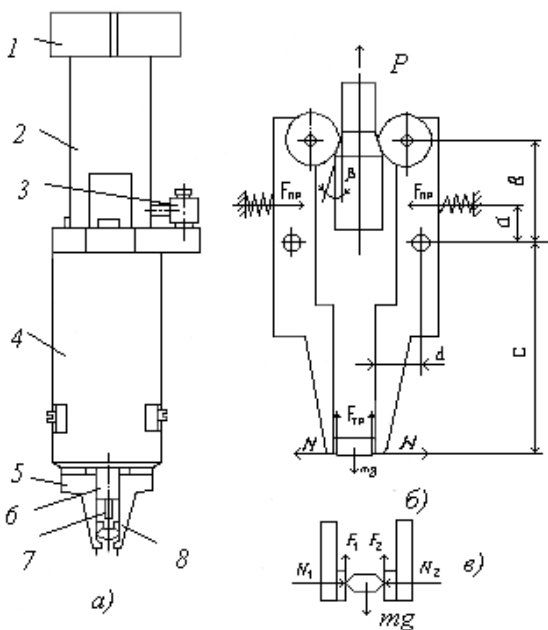


Рисунок 43. Устройство захвата интегральных схем:
 а - общий вид; б, в - расчетные схемы

При сборке изделий радиоэлектронной промышленности значительное распространение получили механические захватные устройства. Устройство, общий вид которого приведен на рисунке 43, предназначено для захвата интегральных схем со штыревыми выводами, для формовки последних и установки их на плату. Захватное устройство крепится к манипулятору через корпус 2 и фланец 1. Перед захватом ИС захватное устройство манипулятором устанавливается над местом загрузки.

По команде сжатый воздух подается в пневмоцилиндр 4 через штуцер 3, поршень опускается – происходит разжим губок 5. Головка со схватом опускается на определенное программой расстояние, подача воздуха прекращается. Верхняя полость цилиндра соединяется с атмосферой. Поршень под действием воздуха вместе с клином 6 поднимается – происходит закрытие губок 5, которые захватывают ИС.

Далее головка вместе с захватом и ИС перемещается к месту установки ИС на плату. Головка опускается на плату на

величину, заданную программой. Ножи ИС 8 попадают в монтажные отверстия печатной платы. Воздух через штуцер 3 подается в верхнюю полость цилиндра, поршень вместе с клином опускается, губки разжимаются, освобождая ИС. Одновременно через толкатель 7 и клин 6 осуществляется воздействие на ножи ИС, которые досылаются до упора. Силы захвата для плоских губок (рисунок 43б, в):

$$N_1 = N_2 = \frac{mg}{2\mu} K_1 K_2;$$

$$F_1 = F_2 = \mu N_1 = \mu N_2,$$

где N_1 и N_2 – нормальные силы; μ – коэффициент трения (0,12...0,15); F_1, F_2 – силы трения; m – масса ИС; K_1 – коэффициент запаса (1,2...2,0); K_2 – коэффициент, учитывающий динамику движения (зависит от максимального ускорения при перемещении ИС; $K_2 = (1 + A_y/g)$). Силы зажима обеспечиваются усилием P привода.

Усилие привода P (рисунок 43, б) при использовании клинового и рычажного механизмов (при условии равенства суммы моментов нулю) равно:

$$P = \frac{1}{b\eta} K_3 M t g (\beta + \rho),$$

где K_3 – число губок ($K_3 = 2$); ρ – приведенный угол трения, учитывающий сопротивление осей рычагов (для подшипников качения $\rho = 1^\circ 10'$); b – параметр механизма (расстояние между осью вращения губки и осью ролика клинового механизма); η – КПД шарниров губок ($\eta = 0,95$); β – угол подъема клина ($\beta = 8^\circ$); M – сумма моментов всех сил, действующих на губки:

$$M = M_{пр} + M_{захв} - M_{тр},$$

где $M_{пр}$ – момент, создаваемый пружиной, относительно оси вращения губки, зависящий от размеров пружины и места ее расположения ($M_{пр} = F_{пра} a$, где a – расстояние от оси симметрии пружины до оси вращения губки); $M_{захв}$ – момент от сил захвата, $M_{захв} = NC$, где C – конструктивный параметр (расстояние от оси вращения губок до места приложения сил зажима); $M_{тр}$ – момент от сил трения ($M_{тр} = F_{тр} d = \mu Nd$, где d – конструктивный параметр).

Общий вид устройства захвата резисторов с осевыми выводами показан на рисунке 44,а, на рисунке 44, б представлена схема расчета подобных устройств.

Цикл захвата начинается с точной установки силовой головки со схватом над резистором, находящимся в пазах ползуна механизма подачи. К этому моменту захватное устройство осуществило вырезку резистора из липкой ленты и обрезку выводов в размер. Поэтому к появлению головки со схватом в зоне загрузки резистор готов к формовке, захвату и дальнейшей транспортировке к месту его установки на плату.

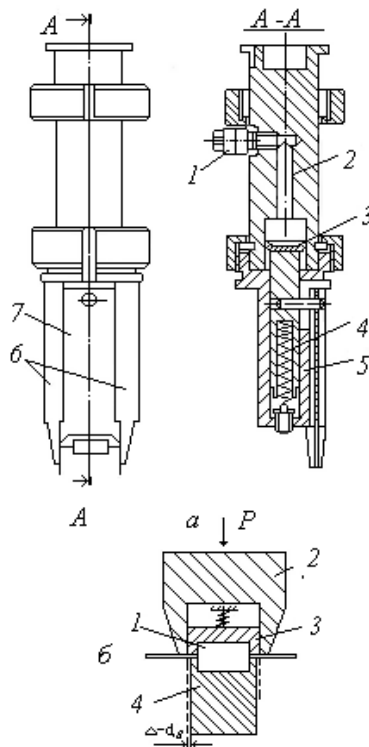


Рисунок 44. Устройство захвата резисторов: а – общий вид; б – расчетная схема:

1 – резистор; 2 – пуансон; 3 – прижим; 4 – матрица

В зоне загрузки силовая головка со схватом перемещается вертикально вниз (на резистор), при этом губки (зажимы) сгибают выводы под углом 90° , осуществляя П-образную формовку.

Усилие формовки выводов резисторов с осевым расположением

$$P = KrS\sigma_B,$$

где Kr – коэффициент, зависящий от схемы гибки (для данного случая при двухугловой гибки $Kr=0,6$); S – площадь сечения вывода ($S=\pi D^2$, где D – диаметр вывода); σ_B – предел прочности материала выводов.

Так как в процессе формовки используется прижим, то

$$P_{\Sigma} = P + P_{\text{пр}},$$

где $P_{\text{пр}}$ – усилие прижима, которое можно принять равным $(0,15\dots 0,25)P$.

При формовке схват опускается до упора. По завершении формовки силовой головке и схвату сообщается движение вверх. За счет возникающих при формовке упругих сил резистор закрепляется в схвате, поднимается вместе с головкой на запрограммированную высоту и перемещается к месту его установки на плате. Затем силовая головка начинает опускаться (на плату) до тех пор, пока выводы резистора не войдут в соответствующие монтажные отверстия, а губки б схвата своими концами не упрутся в плату. Далее необходимо дослать корпус резистора до соприкосновения с платой (утопить его выводы). Осуществляется это так. Сжатый воздух через штуцер 1 подается в верхнюю полость цилиндра 2. Его поршень 3 и шток 5, преодолевая сопротивление пружины 4, перемещаются вниз и через штифт и толкатель 7 воздействуют на резистор, досылая его до платы. С противоположной (нижней) стороны платы гибочно-отрезная головка отрезает лишнюю часть выводов и подгибает оставшуюся, осуществляя закрепление резистора на плате. При этом верхняя полость цилиндра 2 соединяется с атмосферой, зажимы под действием пружины 4 поднимаются, окончательно освобождая резистор.

Гибочно-отрезная головка (рисунок 45,а) крепится к нижнему манипулятору. Подгибке выводов предшествует перемещение последней головки в зону установки резистора или МС. Головка перемещается в нее заранее и ждет завершения установки выводов в отверстия платы. По завершению установки головка начинает подниматься до тех пор, пока упор 4 не коснется нижней стороны платы.

Дальнейшее движение головки вверх приводит к тому, что от упора планка 3, воздействуя на кронштейн 8, повернет его вокруг оси 9. Вместе с ними поворачиваются ролики 6, которые крепятся на оси 7 в корпусе 5. Лапки 1 сходятся, и осуществляют подгиб выводов элемента вовнутрь. Затем осуществляется отход головки вниз. Кронштейны 8, освобожденные от действия

планки 3, пружинами 2 возвращаются в исходное положение.

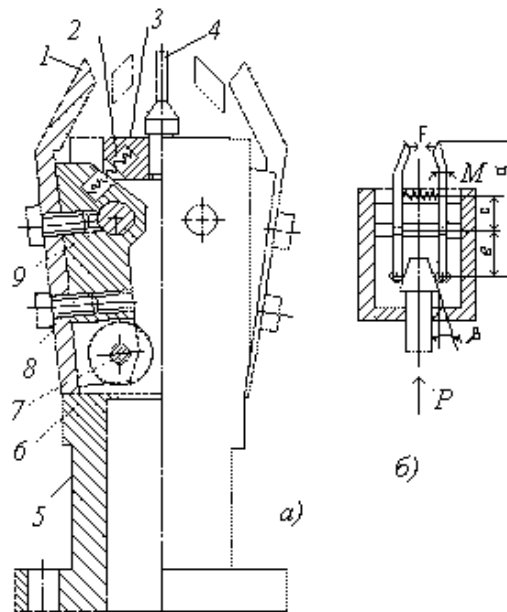


Рисунок 45. Гибчно-отрезная головка: а – общий вид; б – схема расчета

Усилие гибки обеспечивается усилием P привода через клиновой механизм:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n M_i \operatorname{tg}(\rho + \beta)}{\eta},$$

где ρ - приведенный угол трения, учитывающий сопротивление осей рычагов; n - число губок; η - КПД шарниров; β - угол подъема клина.

Так как расположение губок симметричное, то $M_1 = M_2 = M$ и усилие

$$P = \frac{2M \operatorname{tg}(\beta + \rho)}{b \eta},$$

Суммарный момент $M = M_r + M_{тр} + M_{пр}$, где M_r – момент гибки ($M_r = F_{га}$); $M_{тр}$ – момент трения ($M_{тр} = m k_{тр} Q r$, где $m = 1,57$ для малых зазоров; Q – усилие; $k_{тр}$ – коэффициент трения; r – радиус оси); $M_{пр}$ – момент действия пружины ($M_{пр} = F_{пр} c$); a, b, c – конструктивные параметры.

Устройство захвата конденсаторов (рисунок 46) с цилиндрическим корпусом и штырьевыми выводами служит для захвата и обрезки выводов в требуемый для монтажа размер. Оно выполнено в виде схвата с двумя пневмоприводами для зажима (разжима) и вертикального перемещения. Крепится устройство на силовой укладочной головке гайкой 1.

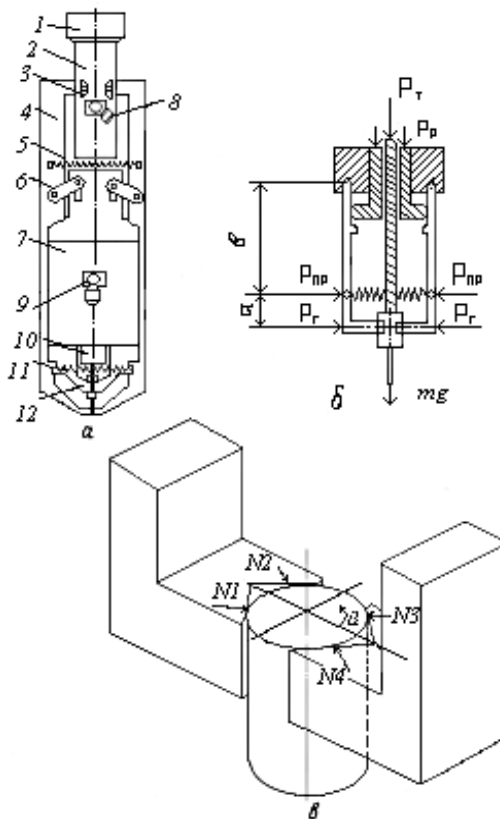


Рисунок 46. Устройство захвата конденсаторов: а – общий вид; б – расчетная схема

Моменту захвата конденсатора предшествует перемещение руки манипулятора со схватом к месту загрузки конденсатора, после чего рука останавливается («зависает» над конденсатором). При подаче сжатого воздуха через штуцер 8 (рисунок 46, а) в верхний пневмоцилиндр 2 его шток опустится, и через серьги 6, преодолевая усилие пружины 5, раскроет нижние губки (пуансоны) 4, закрепленные на оси 3, а также сместит весь схват вниз до соприкосновения с корпусом конденсатора. Одновременно с подачей сжатого воздуха через левый штуцер 9 в нижний пневмоцилиндр 7 шток последнего сместится вниз и раскроет схваты 12 (шток выполнен в виде клина). По достижении схватом конденсатора сжатый воздух начнет поступать в правый штуцер 9. При этом шток 10 поднимается. Освобожденные от него схваты 12 под действием пружины 11 сомкнутся и зафиксируют корпус конденсатора с усилием P (рисунок 46, б):

$$P = k_1 k_2 k_3 m g \leq P_{кр},$$

где k_1 – коэффициент запаса (зависит от расположения элементов захвата; $k_1 = 1, 2 \dots 2, 0$); k_2 – коэффициент, учитывающий ускорение движения (зависит от максимального линейного ускорения A ; $k_2 = (A/g + 1)$); k_3 – коэффициент передачи, зависящий от конструкции схвата и схемы расположения в нем элементов ($k_3 = \sin\theta/2\mu$, где μ – коэффициент трения, для пары сталь-алюминий $\mu = 0,12$; θ – угол между проекцией нормальной силы на ось и самой силы; $\theta = 60^\circ$); $P_{кр}$ – сила, при которой корпус конденсатора будет деформироваться ($P_{кр} = 0,6 \dots 0,8$ кгс) (рисунок 46, в).

Усилие пружины при рабочей ее деформации

$$P_{np} = \frac{P(a+b)}{b},$$

при максимальной деформации

$$P_{np} = \frac{P}{1-\sigma},$$

где $\sigma = 0,05 \dots 0,1$ для пружин растяжения. Затем по каталогу выбирают пружину. Усилие толкателя должно преодолевать силу трения конденсатора в зажиме.

Подъем захвата с конденсатором осуществляется за счет действия пружины, так как сжатый воздух перестает поступать через штуцер 8, а верхняя полость верхнего цилиндра одностороннего действия соединилась с атмосферой. При дальнейшем подъеме штока верхнего цилиндра освободятся губки 4 от

действия серег 6, и далее губки под действием пружины 5 сожмутся и, действуя как пуансоны, перерубят выводы в нужном месте. Затем схват с конденсатором начинает под действием манипулятора перемещаться к месту установки конденсатора на плату. По достижении этого места сжатый воздух подается в штуцер 8, и губки 4 расходятся. Выводы конденсатора попадают в соответствующие монтажные отверстия платы и при опускании схвата утапливаются в них. При подаче сжатого воздуха в штуцер 9 происходит досылка корпуса конденсатора до соприкосновения с платой. Нижняя головка осуществляет закрепление конденсатора путем подгибки его выводов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для более эффективной роботизации сборочных процессов в машино- и приборостроении необходимо:

- разработать научные принципы модульного построения перенастраиваемого и программируемого сборочного оборудования и оснастки, а также типы и конструкции гибких сборочных модулей, организовать их серийный выпуск;

- разработать высокоэффективные конструкции сборочных роботов и модульные конструкции специализированных и адаптивных сборочных роботов, а также типы и конструкции унифицированных гибких модулей механической части роботов, их устройств управления и программного обеспечения;

- разработать высокоэффективные конструкции сборочных инструментов и организовать их централизованное производство;

- разработать новые эффективные способы моделирования и оптимизации сборочных процессов, а также системы автоматизированного проектирования собираемых изделий и их составляющих элементов, технологии сборки, основного и вспомогательного сборочного оборудования и оснастки;

- расширить подготовку высококвалифицированных специалистов в области технологии и автоматизации сборочных процессов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Основы автоматизации машиностроительного производства: Учеб. для машиностроит. спец. вузов/ Е.Р.Ковальчук, М.Г. Косов, В.Г. Митрофанов и др.; Под ред. Ю.М. Соломенцева.- 3-е изд., стер.- М,: Высш. шк., 2001. – 312 с.
2. Автоматизация сборочных работ. М.С. Лебедевский, А.И. Федотов. Лениздат, 1970. – 441 с.
3. Автоматизация сборки в машиностроении: учебное пособие/ АА. Ласуков Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 176 с..
4. Технология и оснащение сборочного производства машино-приборостроения. Учеб. Изд-во Машиностроение, 1995 – 400 с.
5. Робототехнологические комплексы сборочного производства. Ю.Б. Ивацевич. Учеб. пособие. Издат. центр ДГТУ, 2000
6. Прогрессивные методы и средства автоматической сборки изделий. А.А. Гусев. Учебник. Изд-во Машиностроение, 1990
7. Автоматизация сборки резьбовых соединений. В.А. Яхимович, В.Е. Головащенко, И.Я. Кулинич. Учебник. Изд-во Вища школа, Львов. 1982
8. Практикум по дисциплине Роботизированные комплексы сборочного производства. Ивацевич Ю.Б. skif/donstu.ru 2014