

Ю.Г. Козырев

ЗАХВАТНЫЕ УСТРОЙСТВА И ИНСТРУМЕНТЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ

Допущено УМО вузов по образованию
в области автоматизированного машиностроения (УМО АМ)
в качестве **учебного пособия** для студентов
высших учебных заведений, обучающихся
по специальности «Автоматизация технологических процессов
и производств (машиностроение)» направление
подготовки «Автоматизированные технологии и производства»
и по направлению «Конструкторско-технологическое
обеспечение машиностроительных производств»



МОСКВА
2010

УДК 621.396(075.8)

ББК 32.88я73

К 59

Рецензенты:

В.А. Гречишников, заведующий кафедрой инструментальной техники и технологии формообразования МГТУ «Станкин», лауреат государственной премии РФ, засл. деятель науки и техники РФ, д-р техн. наук, проф.,

Б.И. Саламандра, генеральный директор научно-производственной фирмы «Рекупер», в. н. с. института машиноведения РАН, канд. техн. наук

Козырев Ю. Г.

К 59 Захватные устройства и инструменты промышленных роботов : учебное пособие / Ю.Г. Козырев. — М. : КНОРУС, 2010. — 312 с.: ил.

ISBN 978-5-406-00763-1

Описаны конструкции и даны рекомендации по применению захватных устройств, различающихся по принципу действия и предназначенных для комплектования промышленных роботов и манипуляторов с ручным управлением. Приведена классификация захватных устройств. Обобщен опыт проектирования, представлены конкретные примеры конструкций захватных устройств и кинематических схем. Разработана обобщенная методика проектирования и расчета захватных устройств.

Приведены примеры конструкций и применения технологических головок промышленных роботов — устройств и инструментов, обеспечивающих выполнение роботами основных технологических операций: сборки, зачистки, сварки, окраски и т.п.

Для студентов высших учебных заведений и техникумов, а также будет полезно инженерно-техническим работникам машиностроительных предприятий и сотрудникам проектно-технологических институтов, работающих над созданием промышленных роботов и манипуляторов, внедрением их в производство и эксплуатацию.

УДК 621.396(075.8)

ББК 32.88я73

Козырев Юрий Георгиевич

ЗАХВАТНЫЕ УСТРОЙСТВА И ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ

Санитарно-эпидемиологическое заключение

№ 77.99.60.953.Д.003365.04.09 от 01.04.2009 г.

Изд. № 1844. Подписано в печать 28.01.2010. Формат 60×90/16.

Гарнитура «NewtonC». Печать офсетная.

Усл. печ. л. 19,5. Уч.-изд. л. 15,0. Тираж 2000 экз. Заказ №

ООО «Издательство КноРус».

129110, Москва, ул. Большая Переславская, 46, стр. 7

Тел.: (495) 680-7254, 680-0671, 680-1278.

E-mail: office@knorus.ru <http://www.knorus.ru>

Отпечатано в ОАО «Московская типография № 2».

129085, Москва, пр. Мира, 105.

ISBN 978-5-406-00763-1

© Козырев Ю.Г., 2010

© ООО «Издательство КноРус», 2010

Любая попытка построить робот — это в первую очередь попытка разработать конструкцию механической руки, чтобы она, подобно человеческой, могла совершать множество разнообразных движений в окружающем пространстве.

Академик И.И. Артоболевский

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	7
ГЛАВА 1. Промышленные роботы. Общие положения	
1.1. Основные понятия. Термины и определения	9
1.2. Рабочие органы промышленных роботов	17
ГЛАВА 2. Предметы производства и захватные устройства промышленных роботов	
2.1. Предметы производства.	23
2.2. Захватные устройства: технические требования, основные типы и классификация	37
ГЛАВА 3. Примеры конструкций захватных устройств	
3.1. Механические захватные устройства	48
3.2. Захватные устройства для хрупких предметов и объектов произвольной формы	69
3.3. Притягивающие захватные устройства	93
3.4. Захватные устройства с приспособлениями для выполнения технологических операций.	111
ГЛАВА 4. Проектирование механических захватных устройств	
4.1. Последовательность проектирования.	116
4.2. Захватные устройства клещевого типа	130
4.3. Многочленные, эксцентриковые и канговые захватные устройства	161
ГЛАВА 5. Проектирование электромагнитных, вакуумных и аэродинамических захватных устройств	
5.1. Притягивающие захватные устройства	167

- 5.2. Поддерживающие захваты устройства 181
- 5.3. Захватные устройства с эластичными камерами 183

ГЛАВА 6. Слесарный и сборочный инструмент

- 6.1. Механизированный инструмент 186
- 6.2. Автоматический сборочный инструмент 189

ГЛАВА 7. Сборочные технологические головки

- 7.1. Основные типы сборочно-ориентирующих технологических головок 214
- 7.2. Пневмовихревые технологические головки 215
- 7.3. Многофункциональные технологические головки на основе метода электромагнитного ориентирования 223
- 7.4. Силовые и сборочные технологические головки с наложением ультразвуковых колебаний на инструмент. 231

ГЛАВА 8. Окрасочные пульверизаторы и сварочные аппараты

- 8.1. Окрасочные пульверизаторы 236
- 8.2. Сварочные аппараты. 246

ГЛАВА 9. Соединение захватных устройств и инструментов с конечным звеном манипулятора

- 9.1. Установка захватных устройств и инструментов на конечном звене манипулятора 254
- 9.2. Крепление захватных устройств и инструмента 271

ГЛАВА 10. Обеспечение безопасности, испытания и приемка рабочих органов

- 10.1. Обеспечение безопасности при работе захватных устройств и инструментов 284
- 10.2. Испытания рабочих органов 290
- 10.3. Методы испытаний 295

**Приложение. Технические данные отдельных моделей
механизированных инструментов**

П.1. Электрические сверлильные машины	300
П.2. Пневматические сверлильные машины (давление воздуха 0,5 МПа).	301
П.3. Электрические шлифовальные машины	302
П.4. Пневматические шлифовальные машины (давление воздуха 0,5 МПа).	302
П.5. Электрические ножовые ножницы	303
П.6. Пневматические ножницы (давление воздуха 0,5 МПа).	303
П.7. Электрические резьбозавертывающие машины-гайковерты.	304
П.8. Пневматические резьбозавертывающие машины-гайковерты (давление воздуха 0,5 МПа) . . .	304
П.9. Электрические резьбозавертывающие машины-винтоверты	305
П.10. Электрические резьбозавертывающие машины-гайковерты.	305
П.11. Пневматические резьбозавертывающие машины-винтоверты (давление воздуха 0,5 МПа) . . .	306
П.12. Электрические резьбозавертывающие головки серии ГСЭ	306
П.13. Пневматические резьбозавертывающие головки серии ГСП (давление воздуха 0,5 МПа)	306
П.14. Гидравлические резьбозавертывающие головки серии ГБ (давление масла 6 МПа)	307
Список литературы	308

ПРЕДИСЛОВИЕ

Промышленные роботы — универсальное средство комплексной автоматизации производственных процессов, с помощью которого обеспечивается быстрая переналадка последовательности, скорости и видов манипуляционных действий. Поэтому применение промышленных роботов наиболее эффективно в условиях частой смены объектов производства, а также для автоматизации ручного низкоквалифицированного и монотонного труда. Особое место занимают роботы в автоматизации операций, протекающих в экстремальных, вредных для здоровья человека или опасных условиях.

Среди проблем, возникающих при внедрении роботов в производство, очевидно, наиболее актуальной является проблема создания рабочего органа, пригодного для решения конкретных задач. Действительно, каким бы «разумным» ни был робот и какими бы двигательными возможностями ни обладал его манипулятор, без соответствующего рабочего органа робот не принесет пользы на производстве.

Манипуляторы промышленных роботов оснащают двумя классами рабочих органов, к которым относятся:

- захватные устройства, предназначенные для фиксации и ориентации предметов манипулирования в целях их переноса и ориентированного установа в заданном месте или перемещения по заданной траектории с заданной ориентацией;
- инструменты и технологические головки — приспособления, выполняющие основные технологические операции (сверление отверстий, зачистку поверхностей, резку, окраску, сварку и т.п.).

Захватные устройства и технологические головки являются важнейшими элементами оснастки роботов и имеют наибольшее (по количеству патентов, авторских свидетельств и т.п.) количество проектных решений, что определяется многообразием как объектов манипулирования, так и выполняемых технологических операций. Выпускаемые промышленные роботы обычно комплектуют набором штатных захватных устройств, но очень редко оснащают инструментами и технологическими головками, предназначенными для выполнения основных технологических операций. При производстве промышленных роботов невозможно учесть все требования, которые к ним могут быть предъявлены при их эксплуатации и, особенно, — требования, предъявляемые к рабочему органу. Поэтому в конкретных производ-

ственных условиях часто штатное захватное устройство снимают и на его место устанавливают новый (вновь спроектированный и изготовленный или приобретенный) захват, соответствующий конкретным условиям. Если робот предназначен для выполнения основной технологической операции (сварки, сборки, окраски и т.п.), его оснащают технологической головкой — соответствующим инструментом, который специально проектируют (или модернизируют) для конкретной технологической операции (процесса).

Таким образом, при создании конкретных роботизированных технологических комплексов в реальных производственных условиях инженерам-конструкторам и технологам, часто не имеющим достаточного опыта и знаний в разработке робототехнических средств, приходится создавать новые рабочие органы для промышленных роботов.

Несмотря на то, что рабочий орган (захватное устройство или технологическая головка) является наименее сложной структурной составляющей промышленного робота, его роль в автоматизации конкретной технологической операции исключительно велика, поскольку именно он взаимодействует непосредственно с предметом производства.

Предлагаемое учебное пособие имеет целью ознакомить читателей с различными типами рабочих органов промышленных роботов, с имеющимися конструктивными решениями, с условиями эксплуатации, дать простые рекомендации по их выбору, проектированию и расчету.

ПРОМЫШЛЕННЫЕ РОБОТЫ. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Основные понятия. Термины и определения

Основные понятия и определения приведены в ГОСТ 25686—85 и [10...12]. Здесь мы ограничимся формулировкой минимума понятий.

Робот (Р) — автоматическая машина, включающая перепрограммируемое устройство управления и другие технические средства, обеспечивающие выполнение тех или иных действий (в зависимости от назначения Р), свойственных человеку в процессе его трудовой деятельности. Наиболее совершенный Р представляет собой машину, способную самостоятельно и в комплексе решать задачи самоуправления, адаптации с окружающей средой и выполнения трудовых воздействий. Различаясь техническим уровнем и показателями систем управления, информационного обеспечения и исполнительных органов, роботы образуют обширный класс машин, предназначенных для выполнения самых разнообразных операций. Общим признаком роботов является возможность быстрой переналадки для автоматического выполнения различных действий, предусмотренных программой.

Технические системы, характеризующиеся наличием одного или нескольких роботов, называют робототехническими (роботизированными) системами (РТС). Они могут быть разделены на следующие классы: стационарные и мобильные, а также на информационные, управляющие и манипуляционные.

Манипуляционные РТС предназначены для имитации двигательных функций руки человека. Наибольшее развитие и практическое применение они получили в промышленности, где их называют *промышленными роботами*. Манипуляционные промышленные роботы относят к обширному классу машин, оснащаемых манипуляторами.

Промышленный робот (ПР) — автоматическая машина, стационарная или передвижная, состоящая из исполнительного устройства в виде манипулятора (М), имеющего несколько степеней подвижности, и перепрограммируемого устройства программного управления для выполнения в производственном процессе двигательных и управляющих функций (ГОСТ 25686—85). В технической литературе часто встречается и более короткое определение: ПР — перепрограммируемый автоматический М промышленного применения.

Характерные признаки промышленных роботов следующие:

- автоматическое управление;
- перепрограммируемость — способность к быстрой автоматической или при помощи человека-оператора замене управляющей программы (к изменению последовательности, системы и содержания команд);
- способность к выполнению трудовых действий.

Роботизированный технологический комплекс (РТК) — автономно действующая совокупность одной или нескольких единиц технологического оборудования, промышленного робота и средств оснащения, обеспечивающая автоматический цикл работы внутри комплекса и связь его с входными и выходными потоками остального производства и осуществляющая многократные циклы. При этом:

- в качестве технологического оборудования может быть использован промышленный робот¹;
- средствами оснащения РТК могут быть: устройства накопления, ориентации, поштучной выдачи объектов производства и другие, обеспечивающие функционирование РТК;
- РТК может быть образован на основе одного промышленного робота, обеспечивающего индивидуальное или групповое обслуживание состыкованного с ним оборудования или законченный цикл обработки изделия (например, сварки, окраски), а также на базе нескольких промышленных роботов, выполняющих взаимосвязанные или взаимно дополняющие операции над объектом (объектами) производства на одном рабочем месте (например, сборка, сварка);
- РТК является основной структурной единицей РТС любой сложности;

¹ В этом случае, поскольку ПР выполняет основные технологические операции (сборку, сварку, окраску и т.п.), комплекс часто называют роботизированным производственным комплексом (РПК).

- РТК, предназначенные для работы в гибкой производственной системе (ГПС), должны иметь автоматизированную переналадку и возможность встраивания в систему;
- возможность встраивания в ГПС обеспечивается оснащением РТК унифицированными блоками подсоединения к общей системе управления ГПС, а также к ее транспортным и информационным коммуникациям. В этом случае РТК приобретает все признаки, характерные для гибкого производственного модуля. Такие РТК, как и гибкие производственные модули, являются минимальными структурными единицами ГПС¹.

Классификация промышленных роботов. В настоящее время разработано множество систем классификации промышленных роботов и робототехнических систем [10...12, 19, 25, 31, 32, 37 и др.]. Здесь рассмотрим классификацию ПР по назначению и степени специализации — признакам, существенным для последующего описания рабочих органов ПР.

По назначению и характеру выполняемых операций все промышленные роботы подразделяют на три группы, имеющие различные производственно-технологические признаки.

1. Технологические (производственные) роботы (ТПР) выполняют основные операции технологического процесса. Они непосредственно участвуют в технологическом процессе в качестве производящих или обрабатывающих машин, выполняющих такие операции, как гибка, сварка, окраска, сборка и т.п.
2. Вспомогательные (подъемно-транспортные) роботы (ВПР) выполняют действия типа взять—перенести—положить. Их применяют при обслуживании основного технологического оборудования для автоматизации вспомогательных операций установки-снятия заготовок, деталей, инструмента и оснастки, очистки баз деталей и оборудования, питания конвейеров, а также на транспортно-складских и других операциях.
3. Универсальные роботы (УПР) выполняют разнородные технологические операции — основные и вспомогательные, т.е. они сочетают в себе признаки первых двух групп. Данный термин характеризует ПР как по характеру выполняемых операций, так и по степени специализации.

По степени специализации промышленные роботы подразделяют на специальные, специализированные (целевые) и универсальные.

¹ Подробнее — см. [10] и ГОСТ 26228—85.

Специальные ПР выполняют определенную технологическую операцию (обслуживают конкретную модель основного технологического оборудования или выполняют окраску, сварку, штабелирование и т.п.), обеспечивая перепрограммирование своих действий в заданных пределах обслуживания конкретного объекта (выполнения технологической операции).

Специализированные ПР предназначены для выполнения основных технологических операций одного вида или вспомогательных переходов при функционировании с определенной группой моделей технологического оборудования, объединенных общностью манипуляционных действий¹.

Универсальные ПР способны к выполнению широкой номенклатуры основных и вспомогательных технологических операций.

Обобщенная структурная схема промышленного робота (рис. 1.1) включает в себя три системы: двигательную (манипуляционную) — для целенаправленного воздействия на окружающую среду; информационную (сенсорную) — для обеспечения робота информацией о состоянии собственных механизмов и систем, а также о состоянии окружающей среды и результатах воздействия на нее двигательной системы и рабочего органа робота; управляющую — для выработки законов управления двигательной системой на основе управляющих команд программы, а также данных, поступающих как от информационной системы, так и от человека-оператора.



Рис. 1.1. Обобщенная структурная схема робота

Двигательная система (манипулятор) промышленного робота по своему функциональному назначению должна обеспечивать движение

¹ Примерами технологических операций одного вида являются операции сварки, окрашивания, сборки и т.п. Определенной группой моделей технологического оборудования является, например, группа моделей станков с горизонтальной осью шпинделя.

выходного звена и закрепленного в нем объекта манипулирования в пространстве по заданной траектории и с заданной ориентацией. Для произвольного манипулирования объектом в пространстве достаточно шести степеней подвижности механизма, причем движение по каждой из них должно быть управляемым. Последнее от основания звено несет рабочий орган (ЗУ — седьмая степень подвижности), реализующий назначение робота. Промышленный робот с шестью степенями подвижности является сложной автоматической системой. Эта система сложна как в изготовлении, так и в эксплуатации. Поэтому в реальных конструкциях промышленных роботов часто используют манипуляторы с числом подвижностей менее шести. Наиболее простые манипуляторы имеют три—четыре, реже две, степени подвижности. Такие манипуляторы значительно дешевле в изготовлении и эксплуатации, но предъявляют специфические требования к организации рабочей среды. Эти требования связаны с заданной ориентацией объектов манипулирования относительно механизма робота. Поэтому и обслуживаемое оборудование должно располагаться относительно такого робота с требуемой ориентацией. Иными словами, чем более ограничены функции, реализуемые двигательной, информационной и управляющей системами, тем более детерминированной (организованной и определенной) должна быть окружающая среда. Расширение функциональных свойств робота позволяет меньше заботиться об организации внешней среды.

Расширение двигательных возможностей манипулятора позволяет повысить его коэффициент сервиса [10, 12, 14], т.е. обеспечить легкость подвода рабочего органа в любую точку пространства. Очевидно также, что функциональные свойства робота при прочих равных условиях определяются мощностью средств обработки информации (быстродействием и объемом памяти) и характеристиками искусственных органов очувствления [14].

Относительные движения звеньев механической системы ПР, посредством которых реализуются степени подвижности, разделяют на три группы:

- глобальные (координатные — для роботов с подвижным основанием) — движения стойки манипулятора, которые существенно превышают его размеры;
- региональные (транспортирующие) — движения, реализуемые исполнительными звеньями руки манипулятора, величина которых сопоставима с его размерами;
- локальные (ориентирующие) — движения рабочего органа, соизмеримые с его размерами и обеспечиваемые звеньями кисти ма-

нипулятора, выполняющие ориентацию рабочего органа в ограниченной рабочей зоне, установочные перемещения и т.п.

Пример компоновки механической системы робота с разделением движений на указанные группы приведен на рис. 1.2.

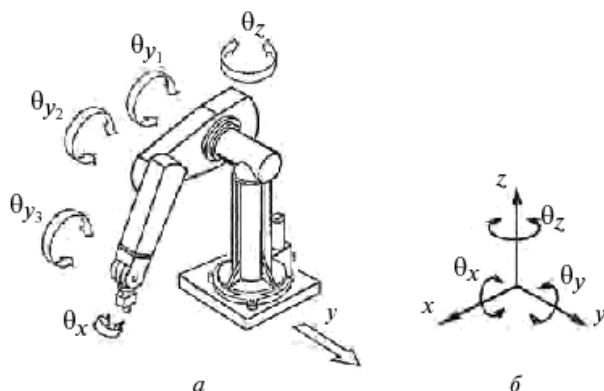


Рис. 1.2. Робот PUMA:

a — компоновка и направления движения: y — глобальные; $\theta_z, \theta_{y_1}, \theta_{y_2}$ — региональные; θ_{y_3}, θ_x — локальные; b — система координат

В соответствии с этой классификацией движений в механической системе робота можно выделить два участка кинематической цепи с различными функциями: механизм кисти и механизм манипулятора (руки робота). Кинематика кисти определяет ориентирующие возможности робота, его способность подводить рабочий орган к конкретной точке пространства с разных направлений. Кинематика руки определяет конфигурацию и размеры рабочего пространства и рабочей зоны робота. Подвижную платформу часто выполняют в виде отдельного механизма с автономными системами управления и информации. Протяженность и конфигурация трассы перемещения подвижной платформы расширяют рабочую зону, обеспечивают групповое обслуживание станков и рабочих позиций.

Структура двигательной системы (манипулятора) определяет форму рабочей зоны и многообразие движений робота. Подробный анализ возможных структурных кинематических схем рук манипуляторов и кистей приведен в работе [14].

Манипуляторы промышленных роботов выполняют для работы в различных системах координат: прямоугольной (плоской и пространственной), полярной (плоской, цилиндрической, сферической)

и ангулярной (цилиндрической и сферической), что предопределяет многообразие структурно-кинематических схем, компоновок, возможных конфигураций и конструктивных решений механических систем [10...12, 22...26, 30, 31, 41]. Примеры типовых компоновок ПР, работающих в различных системах координат, показаны на рис. 1.3.

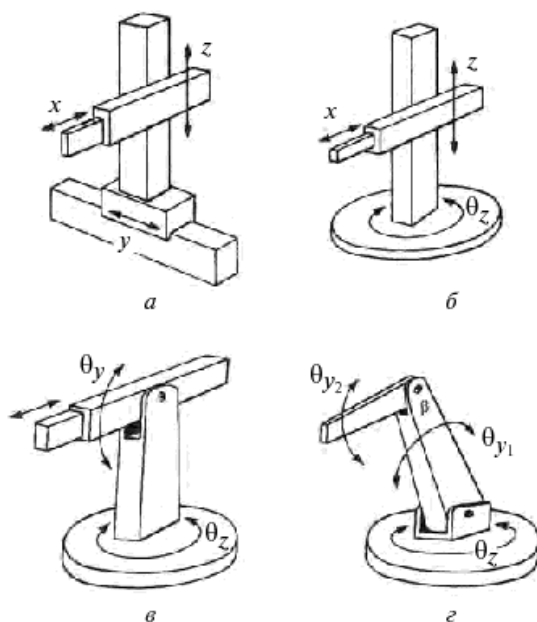


Рис. 1.3. Типовые компоновки манипуляторов промышленных роботов, работающих в координатах:
а — прямоугольных пространственных; *б* — полярных цилиндрических;
в — полярных сферических; *г* — ангулярных сферических

Номенклатура основных показателей промышленных роботов стандартизована ГОСТ 4.480–87, где показатели подразделяются на две группы: качественные (общие сведения) и количественные (технические характеристики).

Общие сведения включают следующие показатели, существенные для разработки и (или) выбора рабочих органов ПР:

- *назначение и выполняемая функция* (например, обслуживание токарных станков, точечная сварка);
- *число степеней подвижности манипулятора* (с указанием, сколько из них региональных и локальных) определяют как число

степеней свободы кинематической цепи относительно звена, принятого за неподвижное¹ [2];

- *кинематическая схема* с обозначением вида степеней подвижности (поступательных и вращательных);
- *вид привода* (пневматический, гидравлический, электрический, комбинированный);
- *способ управления и способ программирования*;
- *вид рабочего органа* (захватное устройство, сварочные клещи, горелка, распылитель и т.п.) и способ его замены (вручную или автоматически);
- *исполнение* (обычное, пыле-, влагозащищенное).

Технические характеристики робота, существенные для проектирования (выбора) рабочего органа, следующие:

Номинальная грузоподъемность — наибольшее значение массы предметов производства или технологической оснастки, включая массу захватного устройства (так называемая грузоподъемность «на крюке»), при которой гарантируется их удержание и обеспечение установленных значений эксплуатационных характеристик.

Максимальная абсолютная погрешность позиционирования рабочего органа манипулятора определяется как линейное отклонение определенной точки (условного центра) рабочего органа от положения, задаваемого программой или специальными устройствами (например, упорами, концевыми выключателями). Погрешность позиционирования представляет собой вектор, который характеризуется величиной (модулем) и направлением. Когда говорится просто о погрешности позиционирования, то учитывается только величина (модуль) вектора, но не учитывается его направление. Погрешности могут существенно различаться в разных точках рабочей зоны, но в каждой из них не должно быть больше заявленной максимальной погрешности.

Погрешность обработки траектории рабочего органа — отклонение траектории рабочего органа от заданной управляющей программой.

Показатели надежности: установленная наработка на отказ, установленный срок службы до капитального ремонта и до списания.

Геометрические характеристики движений звеньев манипулятора представляют в виде линейных и угловых величин (вылет, ходы, углы поворота и пр.).

Быстродействие оценивают скоростями линейных и угловых перемещений звеньев манипулятора.

¹ При этом движения рабочего органа (закрытие-раскрытие губок захватного устройства, а также рабочие включения и операции технологической головки) не учитываются.

Геометрические характеристики рабочей зоны. Рабочая зона представляет собой пространство, в котором может находиться рабочий орган при работе ПР. Помимо рабочей зоны вводятся и другие близкие геометрические понятия:

- зона обслуживания (пространство, в котором рабочий орган выполняет свои функции в соответствии с назначением ПР);
- рабочее пространство (пространство, в котором могут находиться подвижные звенья манипулятора ПР).

Показатели устройств управления в паспорте промышленного робота обычно приводятся в краткой форме, а более полно даются в отдельном описании устройства управления. К числу важных показателей относят:

- число одновременно управляемых движений по степеням подвижности;
- число каналов связи и сигналообмена с внешним оборудованием, оснасткой и аппаратурой.

Параметры энергопитания (для роботов с пневмоприводом — давление и расход воздуха, для роботов с электроприводом — напряжение и потребляемая мощность).

Технические характеристики датчиков информационного оснащения важны для решения вопросов, связанных с применением робота и организацией РТК.

Технические показатели рабочих органов роботов устанавливают отдельно для инструментов, технологических головок и для захватных устройств.

Выбор робота по номенклатуре основных показателей не гарантирует правильного решения о возможности его применения в конкретных условиях и оснащении его соответствующим рабочим органом. Разработка и выбор рабочего органа робота является одним из этапов последовательной разработки роботизированной системы.

Технические данные наиболее распространенных моделей промышленных роботов приведены в работах [10, 12, 30, 31].

1.2. Рабочие органы промышленных роботов

Рабочий орган промышленного робота — составная часть манипулятора промышленного робота для непосредственного выполнения технологических операций или вспомогательных переходов.

Манипуляторы промышленных роботов оснащают двумя классами рабочих органов, к которым относятся:

- *захватные устройства (ЗУ)*, предназначенные для захватывания и удержания предметов производства (ПП) или технологической оснастки (ГОСТ 26063—84);
- *инструменты и технологические головки* — приспособления и устройства, выполняющие основные технологические операции.

Захватные устройства могут удерживать детали, оснастку, инструменты и технологические головки.

В качестве инструментов и технологических головок роботы оснащают ковшами для разливки расплавленного металла; клещами для точечной сварки; горелками для дуговой сварки, пламенной резки и зачистки; сверлильными, фрезерными, шлифовальными головками и др. В качестве рабочего органа используют сборочные инструменты (винто- и гайковерты, запрессовщики и т.п.), краскопульты и измерительные головки. Ограничений на тип и устройство рабочих органов нет, их выбирают из существующих конструкций или проектируют в соответствии с требованиями конкретного технологического процесса.

Рабочий орган связывает манипулятор с удерживаемой или обрабатываемой деталью. Это — важная часть робота, поскольку он является последним звеном, через которое робот взаимодействует с предметом производства. Успешное применение робота во многом зависит от конструкции и изготовления его рабочего органа, конструкция которого должна соответствовать требованиям конкретного технологического процесса и быть увязанной с конструктивно-технологическими особенностями примененного робота, а также с системой управления и информационного обеспечения всего технологического оборудования, входящего в состав роботизированного комплекса. Очевидна и зависимость рабочего органа от принятой организации рабочей среды.

Свойства рабочего органа ПР. Вне зависимости от назначения рабочий орган промышленного робота обладает следующими свойствами:

- является многоэлементной механической системой, имеющей конкретное технологическое назначение;
- определяет непосредственную область применения конкретной модели промышленного робота;
- относится к числу сменных компонентов манипулятора промышленного робота;
- представляет собой приспособления, имеющие, как правило, один или более приводов;

- может содержать датчики внешней информации, обеспечивающие его адаптацию к конкретным условиям рабочей среды и решаемой задачи;
- может быть многофункциональным устройством, обеспечивающим решение более чем одной технологической задачи (перенос детали с одновременным измерением ее параметров; обрезка облоя деталей, извлеченных из термопластоавтоматов; сортировка деталей; разделение слоистых материалов и т.п.).

В состав рабочего органа робота входят: узел крепления захвата или инструмента к присоединительному фланцу руки робота; несущая конструкция; привод (пружинный, пневматический, гидравлический, электромеханический или другой)¹; механические соединительные и рабочие элементы (рычаги, пальцы, насадки, инструмент и т.п.); датчики. При этом датчики вводят в состав рабочего органа с различными целями: для его очувствления (тактильные, силовые, силомоментные), оценки хода технологического процесса (например, контроля подачи электрода, расхода материалов, крутящего момента при сверлении или завинчивании и т.п.) и определения состояния объекта манипулирования (дистантные, температурные, радиоактивные и т.п.).

Технические показатели рабочих органов связаны с их назначением.

Для захватных устройств: усилие захватывания, показатели быстродействия (время захватывания, время отпускания, время локальных перемещений ЗУ), характерные предельные размеры захватываемого предмета производства (например, минимальный и максимальный диаметры цилиндрического предмета). Если робот имеет набор сменных схватов, то указываются общие пределы для всех этих схватов.

Показатели быстродействия (время перемещений, захватывания и отпускания) зависят преимущественно от вида привода (двигателей), а при одном и том же виде привода изменяются не в очень широких пределах. Обычно везде, где это возможно, используют пневматические приводы, так как они наиболее быстроходны, недороги, сравнительно мало весят и их легко обслуживать.

Технические показатели инструментов и технологических головок также устанавливают отдельно для каждого типа инструмента. Обычно это показатели, характеризующие параметры технологического процесса (усилие запрессовки в прессовых головках, расход краски для распылителей окрасочных роботов, максимальная сила тока электросварочного устройства, момент затяжки гайковерта и т.п.).

¹ Может отсутствовать, если, например, руку робота оснащают крюком или ковшом.

Технические требования к конструкции рабочего органа можно разделить на две группы:

- общие требования, относящиеся и к захватным устройствам, и к инструментам, и к любым другим видам оснастки;
- специальные требования, предъявляемые конкретными условиями работы (со стороны обслуживаемого оборудования и примененного промышленного робота, а также конкретными технологическими процессами, операциями, организацией окружающей среды и т.п.).

Общие требования к конструкции рабочего органа можно сформулировать, несмотря на их многообразие и существенные различия по назначению, сложности и сфере применения.

Соответствие технологическому назначению и техническим показателям робота. Рабочий орган должен быть спроектирован, выбран и (или) модернизирован так, чтобы иметь технические показатели, полностью соответствующие заданному технологическому назначению, условиям производственного процесса и не ухудшающие технические показатели промышленного робота (соответствовать прежде всего показателям грузоподъемности, погрешности позиционирования, не способствовать появлению вибраций и т.п.).

Безопасность для обслуживающего персонала, безаварийность и надежность в работе — относятся к самым важным требованиям. Рабочий орган взаимодействует не только с предметом производства, но и с другим оборудованием: станками, конвейерами, питателями, зажимными приспособлениями и т.п. В ряде случаев может происходить взаимодействие и с человеком-оператором (например, оператор может периодически загружать заготовки в питатель, производить выборочные измерения обработанных деталей или устанавливать детали в зажимное приспособление для сварки). При сбоях программы возможно отключение питания рабочего органа, а также его столкновение с предметами, находящимися в рабочей зоне робота, что может привести к его повреждению, а также представлять опасность для оператора и вызвать аварийную ситуацию. В этой связи:

- при отключении питания захватное устройство должно продолжать удерживать предмет производства, а технологическая головка полностью отключаться и отходить (с помощью пружин, противовесов и т.п.) в безопасный сектор зоны обслуживания ПР;
- между оборудованием, различными приспособлениями и роботом должна предусматриваться взаимная блокировка, препятствующая возникновению аварийных ситуаций;

- рабочие органы робота следует защищать средствами обеспечения безопасности (тактильными скобами, инфракрасными датчиками и т.п.) от возможных столкновений с объектами, расположенными в зоне обслуживания ПР;
- показатели надежности рабочего органа должны быть сопоставимы с показателями промышленного робота.

Малая масса — грузоподъемность манипулятора включает и массу рабочего органа, а общая масса объектов манипулирования влияет на скорость перемещений, величину инерционных нагрузок и, в конечном счете, — на производительность РТК и точность обработки. Обычно для снижения массы разрабатывают тонкостенные, но усиленные ребрами жесткости конструкции, в которых используют легкие и прочные материалы (алюминий, магний).

Малые габариты рабочего органа способствуют снижению его массы, позволяют экономнее использовать рабочую зону, улучшают рабочие характеристики робота, содействуя уменьшению момента инерции последнего звена манипулятора.

Максимальная жесткость и прочность рабочего органа во многом определяют рабочие характеристики робота. Недостаточная жесткость рабочего органа ухудшает погрешность позиционирования руки манипулятора. Закрепление нежесткой или непрочной оснастки на присоединительном фланце может вызвать чрезмерную вибрацию, которая при применяемых скоростях перемещения конечного звена руки (до 2,5 м/с) может привести к повреждению или разрушению рабочего органа. Использование жестких конструкций позволяет избежать вибраций.

Максимальное усилие сжатия объекта манипулирования при гарантии надежного удержания и недопущении его разрушения или повреждения поверхности (благодаря применению эластичных накладок на пальцах ЗУ, силовых и силомоментных датчиков и т.п.).

Возможность применения для выполнения различных технологических операций и использования для работы с различными предметами производства в пределах одного или разных конструктивно-технологических классов достигается в результате применения:

- универсальных, широкодиапазонных и антропоморфных захватных устройств (в том числе за счет ручной перенастройки на детали разных размеров и использования сменных вкладышей и накладок);
- перенастраиваемых (в том числе автоматически) технологических головок;

- многоцелевых технологических головок, обеспечивающих выполнение нескольких технологических операций (например, головок, работающих с использованием методов электромагнитного или вихревого ориентирования деталей);
- автоматической смены захватных устройств и инструментов в соответствии с классом предметов производства и требованиями технологической операции.

Удобство технического обслуживания, замены и ремонта. Необходимо предусмотреть легкость и безопасность контрольного осмотра рабочего органа, возможность быстрой замены непрочных и изнашиваемых элементов конструкции, а также сменных деталей (накладок, вкладышей, пальцев). В целях уменьшения числа инструментов, требуемых для технического обслуживания, в конструкции рабочего органа по возможности следует использовать один и тот же тип крепежных деталей.

Специальные требования к конструкции рабочего органа, предъявляемые конкретными условиями работы, формулируют после тщательного анализа предметов производства и технологического процесса. Работу проводят в два этапа:

- подготовительный этап (сбор и анализ информации о параметрах предмета производства, технологического процесса, прочих необходимых сведений);
- разработка специальных требований к конструкции.

Разработка конструкции рабочего органа проводится по техническому заданию, сформулированному на основе общих и специальных требований и технико-экономической оценки целесообразности их реализации в конкретных производственных условиях.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятия «промышленный робот». Перечислите технические показатели промышленного робота, существенные для разработки его рабочего органа.
2. На какие классы подразделяют рабочие органы промышленных роботов? Приведите определение понятиям «захватное устройство» и «технологическая головка» промышленного робота.
3. Какие вам известны типы захватных устройств и технологических головок?
4. Перечислите свойства, присущие любому рабочему органу промышленных роботов.
5. Назовите основные технические требования, предъявляемые к конструкциям рабочих органов промышленных роботов.

ПРЕДМЕТЫ ПРОИЗВОДСТВА И ЗАХВАТНЫЕ УСТРОЙСТВА ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ

2.1. Предметы производства

Общие сведения. Применение роботов практически во всех сферах промышленного производства, условия их эксплуатации в едином цикле с совокупностью различных средств технологического оснащения предопределяют большое разнообразие предметов производства (ПП) и технологической оснастки.

Основными классификационными признаками предметов производства, существенными для проектирования захватных устройств, являются: физическое состояние, форма, свойства симметрии, подвижность и ориентация в момент захватывания, масса.

Физическое состояние. ПП могут быть жидкими, сыпучими или твердыми. Для захватных устройств промышленных роботов существенным является рассмотрение твердых ПП, которые могут быть при этом жесткими, упругими, хрупкими или пластичными. Твердыми считаются такие предметы, которые в разумных пределах не требуют наложения каких-либо ограничений сверху на контактные усилия. Жесткими — предметы, деформациями которых в процессе захватывания и переноса заведомо можно пренебречь. Хрупкими называют предметы, имеющие ограничения на величину воздействующих внешних сил, упругими — восстанавливающие первоначальную форму и размеры после снятия внешних нагрузок, пластичными — изменяющие форму и размеры под действием внешних сил. Такое деление в ряде случаев условно и может быть расширено в более детальных классификациях.

Форма. ПП могут представлять собой тела вращения, корпусные, фигурные детали, плоскостные детали (листы, полосы, планки) и др.

Применительно к задачам захватывания и удерживания ПП захватным устройством определяющее значение для проектирования ЗУ

имеют особенности формы поверхностей, по которым производится захватывание, наличие точек, осей и плоскостей симметрии, распределение инерционных характеристик по осям ПП (оно различно для плоских, удлинённых и объёмных предметов). Для ПП сложной формы может быть существенно наличие отверстий, выступающих штырей, облоя и др.

Подвижность. При описании ПП важно знать, неподвижен предмет во время захватывания или он находится на непрерывно движущемся транспорте. Часто имеет место ситуация, когда объект в момент захватывания фиксируется в специальных зажимных приспособлениях или же может перемещаться по некоторым из направлений (например, когда ПП расположен на плоскости, в гнездах, пазах, насажен на штыри и т.п.).

Ориентация ПП в момент захватывания. Она определяет конструкцию ЗУ и промышленного робота. Для захватывания ПП из неориентированного навала необходимо применять адаптивный ПР, оснащённый адаптивным захватным устройством. Во всех остальных случаях требования к адаптации ПР и ЗУ снижаются. При захвате ориентированного ПП из фиксированной позиции можно использовать ПР и ЗУ, не оснащённые какими-либо средствами внешней информации.

Масса ПП определяет силовые и динамические показатели ПР и ЗУ.

Набор количественных показателей для предметов производства различных классификационных групп формируется из числа следующих:

1. Габаритные размеры.
2. Положение и ориентации характерных осей, линий и поверхностей.
3. Диапазоны изменения погрешностей формы и положения поверхностей.
4. Диапазоны изменения погрешностей установки.
5. Масса и другие инерционные характеристики.
6. Допустимые значения контактных усилий.

В каждом конкретном случае возможно расширение этого перечня.

Требования к предметам производства разделяют на общие и специальные, зависящие от вида обрабатывающего оборудования.

Общие требования. При создании роботизированных технологических комплексов и выборе номенклатуры используемых захватных устройств необходимы технологический анализ ПП и их группирование по конструктивно-технологическим признакам. В работах [1, 10], а также РД 50-357—82 «Методические указания. Правила выбора объектов роботизации» приведены результаты такого анализа и уста-

новлены требования к конструкции выпускаемых изделий, которые сводятся к следующему.

Детали, подлежащие обработке на роботизированном технологическом комплексе, должны обладать возможностью группирования по ряду признаков:

- по конструктивно-технологическому сходству деталей в целом; типовыми совокупностями в этом случае являются группы шестерен, втулок, валов, шпинделей и др.;
- по элементарным поверхностям деталей, что позволяет установить единообразные варианты обработки этих поверхностей, а из комбинации этих вариантов получить совокупный технологический процесс обработки любой детали;
- по видам обработки (типам оборудования), единству технологического оснащения и общности настройки станков.

Такое группирование необходимо для применения групповой формы организации производственных процессов обработки и использования однородного основного и вспомогательного оборудования и позволяет иметь: явно выраженные базы и признаки ориентации ПП, дающие возможность организовать их транспортирование, складирование в ориентированном виде с использованием стандартизированной оснастки; однородные по форме и расположению поверхности для базирования и захватывания, позволяющие без дополнительной выверки устанавливать детали в принимающие устройства обрабатывающего оборудования, где для их базирования и закрепления может быть применена универсальная технологическая оснастка.

Конструкция детали (заготовки) должна обеспечивать возможность надежного захватывания, удержания и переноса ее с помощью ПР. При группировании деталей по конструктивно-технологическим признакам следует предусматривать минимизацию номенклатуры захватных устройств и возможность применения широкодиапазонных захватов.

Выделяют шесть основных групп деталей общемашиностроительного применения [1, 8...10]:

I — тела вращения, длина которых не превосходит удвоенного диаметра;

II — тела вращения, длина которых больше удвоенного диаметра;

III — коробчатые детали;

IV — изогнутые и фигурные детали;

V — плоскостные детали;

VI — детали арматуры.

Специальные требования к предметам производства, зависящие от вида основного технологического оборудования, работающего в составе РТК, сформулированы в работах [1, 8...10].

Детали, обрабатываемые на станках, обслуживаемых робототехническими средствами, могут быть:

- в условиях массового и крупносерийного производства — любыми по размерам и массе, если они соответствуют техническим параметрам этих средств;
- в условиях средне- и мелкосерийного производства — предпочтительно отобранными из числа простейших типов деталей общемашиностроительного применения, позволяющих вести группирование их по конструктивно-технологическим признакам.

В условиях мелко- и среднесерийного производства такой отбор деталей позволяет применять групповую форму организации производственных процессов, типизацию технологических процессов обработки, а также использовать однородное основное и вспомогательное оборудование. Они должны иметь ясно выраженные технологические базы и признаки ориентации, позволяющие организовать транспортирование и складирование деталей в ориентированном виде с использованием стандартизированной оснастки.

Перечисленным выше требованиям отвечают детали, относящиеся к классам 40 и 50 по классификатору [8]. Характеристики этих групп деталей с учетом рекомендуемого метода их захватывания с помощью ПР приведены в табл. 2.1 (носят рекомендательный характер).

При отборе деталей, подлежащих обработке на станках, обслуживаемых роботами, следует руководствоваться правилами обеспечения технологичности конструкции деталей [1, 9]. Кроме того, необходимо контролировать размеры и твердость для исключения поломок режущего инструмента, автоматических транспортных средств и роботов.

Требования к заготовкам, подлежащим обработке на РТК «станок-робот», должны быть повышенными [1]. Сварные заготовки, поковки, а также резаный прокат необходимо зачищать от заусенцев, швов и т.п. Чугунные и цветные отливки следует предварительно зачищать, удалять с них литники. Стальные заготовки из легированных труднообрабатываемых сталей и стальные отливки рекомендуется подвергать отжигу. У ответственных отливок следует контролировать размеры разметкой.

Характеристики деталей, предназначенных для обработки на кузнечно-прессовом оборудовании. Высокие скорости обработки металлов давлением обуславливают ориентированную поштучную выдачу заготовок на загрузочную позицию. Форма заготовок и деталей, полученных на промежуточных переходах, должна быть такой, чтобы можно было передавать их с одной единицы оборудования на другую, а также осуществлять межоперационные перемещения и переориентацию в межштамповом пространстве при многопереходной обработке на одной машине с однозначной фиксацией объектов манипулирования на всех этапах обработки. Поэтому с помощью промышленных роботов (или автооператоров) целесообразно прежде всего автоматизировать операции загрузки-выгрузки простейших типов деталей, имеющих ясно выраженные базы и признаки ориентации, а также поверхности для надежного захватывания и удержания. Если в качестве исходного материала используют прутки, полосу или рулонную ленту и проволоку, — применять ПР для автоматизации загрузки-выгрузки нецелесообразно. В этом случае загрузка прессов автоматизируется с помощью валковых, клиновых, клешевых и шибберных подач. Изделие из рабочей зоны можно удалять «на провал», лотковым сбрасывателем, с помощью очередной подаваемой заготовки, сталкивающей изделие, автооператором («механической рукой») или роботом-разгрузчиком.

Характеристики деталей простейших видов, отвечающих перечисленным выше требованиям, представлены в табл. 2.2.

При листовой штамповке к деталям и заготовкам предъявляют следующие дополнительные требования (являются общими при применении любых средств автоматизации вспомогательных операций — промышленных роботов, механических рук, различного рода подач и питателей):

- детали, получаемые за несколько переходов, после завершения каждого перехода должны оставаться на нижней части штампа, занимая фиксированное положение;
- заусенцы на заготовках не должны вызывать их взаимного сцепления при хранении в накопителе и на позиции выдачи;
- отклонение от плоскостности и изменение размеров заготовки не должны превышать 2% от ее длины или ширины (в зависимости от направления подачи в рабочую зону пресса);
- листовые заготовки из немагнитного материала во избежание слипания должны быть обезжиренные перед подачей их на исходную позицию загрузки.

Характеристики деталей общемашиностроительного

Класс деталей	Группы деталей (классификация согласно [8])	Габаритные размеры детали, мм			Масса m , кг
		Диаметр D или ширина B	Длина L	Высота H	
40 (тела вращения с $L \leq 2D$)	Втулки цилиндрические, гладкие; гильзы; стаканы (40 000)	≤ 160 ≤ 220	≤ 220 ≤ 400	—	≤ 40 ≤ 80
	Фланцы; диски; крышки без сквозного отверстия и со сквозным отверстием (40 000)	≤ 250 ≤ 320	—	—	≤ 80
	Втулки ступенчатые со сквозным центровым отверстием, в том числе зубчатые колеса цилиндрические, червячные (40 5000...40 6000)	≤ 250 ≤ 320	≤ 200 ≤ 240	—	≤ 80 ≤ 160
	Кольца цилиндрические: $L < D/2$ (40 000)	≤ 400	≤ 200	—	≤ 250
	Зубчатые колеса конические (40 7000)	≤ 630	≤ 300	—	≤ 320

Таблица 2.1

применения, рекомендуемых для обработки на станках в составе РТК

Типы деталей и способ их зажима захватными устройствами						
За наруж- ную по- верхность	За наружную поверх- ность в двух сечениях по диаметрам		За внут- реннюю поверх- ность	За два торца	По одной из поверхностей	
	одина- ковым	разным			верхней	нижней
	—	—			—	—
	—	—		—	—	—
	—	—			—	
	—	—				
—	—	—				

Класс деталей	Группы деталей (классификация согласно [8])	Габаритные размеры детали, мм			Масса m , кг
		Диаметр D или ширина B	Длина L	Высота H	
$L \leq 2D$	Детали с фланцем, изготовленные из листов, полос (40 000)	≤ 630	≤ 300	—	≤ 160
40 (тела вращения с $L \geq 2D$)	Валы прямоосные, гладкие, шлицевые без осевых отверстий, с одним и несколькими осевыми сквозными и несквозными отверстиями (40 1100; 40 1200; 40 6400)	≤ 50	100... 1 400	—	≤ 160
	Валы ступенчатые односторонние, шлицевые валы (40 1300; 40 6100; 40 6500; 40 7100)	Шейка до 80	≤ 500 500... 1 000	—	≤ 40 ≤ 80
	Валы ступенчатые двухсторонние, в том числе колеса зубчатые цилиндрические, червячные заодно с валом, шлицевые валы (40 2000)	≤ 160	1 000... 1 400; 1 400... 2 000	—	≤ 160 ≤ 250
	Валы эксцентриковые, коленчатые, разделительные, кулачковые (40 8000)	≤ 160	1 000... 1 400; 1 400... 2 000	—	≤ 160 ≤ 250

Продолжение

Типы деталей и способ их зажима захватными устройствами						
За наруж- ную по- верхность	За наружную поверх- ность в двух сечениях по диаметрам		За внут- реннюю поверх- ность	За два торца	По одной из поверхностей	
	одина- ковым	разным			верхней	нижней
						
	—	—		—		
—		—	—			
—			—		—	—
—			—		—	—
—			—	—	—	—

Класс деталей	Группы деталей (классификация согласно [8])	Габаритные размеры детали, мм			Масса m , кг
		Диаметр D или ширина B	Длина L	Высота H	
50 (кроме тел вращения)	Корпусные детали $H \geq B \geq L$: с базовыми отверстиями — корпуса механизмов приводных устройств (50 1000);	≤ 300 ≤ 500	300 500	300 500	≤ 40 ≤ 160
	без базовых отверстий — опоры, рамы, коробки, крышки (50 2000)	≤ 800 $\leq 1\,000$	800 1\,000	800 1\,000	≤ 250 ≤ 500
	Изогнутые и фигурные детали: рычаги, шатуны, стойки, кронштейны, корпуса и крышки подшипников (50 3000);	≤ 300 ≤ 500	300 500	60 100	≤ 20 ≤ 40
	плиты, скобы, кожухи, шасси, коробки (из листов, полюс, лент) (50 5000)	≤ 500 ≤ 500	300 500	60 100	≤ 40 ≤ 60
	Плоскостные детали: плиты, планки, рейки зубчатые, копиры, направляющие (50 6000)	≤ 800	800	160	≤ 80
	Детали арматуры: корпуса и крышки трубопроводной и соединительной арматуры (50 8000)	$\leq 1\,000$	1\,000	200	≤ 160

Окончание

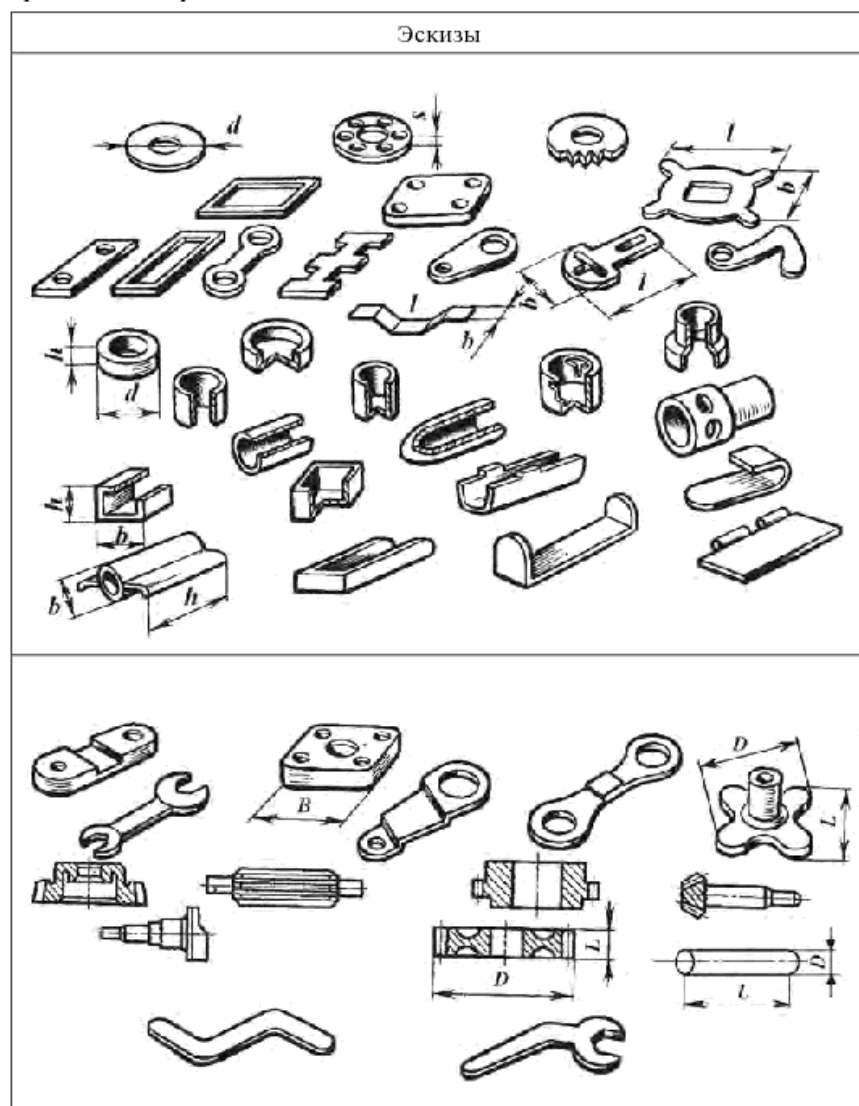
Типы деталей и способ их зажима захватными устройствами						
За наруж- ную по- верхность	За наружную по- верхность в двух сечениях по диаметрам		За внут- реннюю поверх- ность	За два торца	По одной из поверхностей	
	одина- ковым	разным			верхней	нижней
						
	—	—	—		—	
	—	—				
	—	—				
—	—	—				
—	—	—				
	—	—			—	—

**Характеристика деталей простейших видов,
оборудовании с применением**

Метод обработки	Детали	Размерная характеристика деталей
Листовая штамповка	Плоские, изготавливаемые из заготовок листового проката, полученных на ножницах или вырубкой в штампах Цилиндрические произвольной формы, способные к сохранению устойчивого положения Объемные, изготавливаемые из плоских заготовок и способные к сохранению устойчивого положения	$\frac{s}{d} < 1; \quad l = b$ $l > b; \quad h > 1;$ $\frac{h}{d} \approx 1; \quad \frac{h}{d} < 1;$ $\frac{h}{b} \leq 1; \quad \frac{h}{b} < 1$
Горячая и холодная объемная штамповка	Плоские из заготовок, полученных резкой на ножницах или вырубкой в штампах Цилиндрические, полученные из круглых заготовок сортового проката Произвольной формы (рычаги, вилки, уголки и т.п.)	$\frac{L}{D(B)} \leq 1;$ $\frac{L}{D(B)} > 1$

Таблица 2.2

рекомендуемых для обработки на кузнечно-прессовом
промышленных роботов



Роботизация свободнойковки эффективна при изготовлении поковок простых форм, получаемых в результате повторяющихся технологических циклов, состоящих из обработки, кантования и подачи. К ним относят детали типа тел вращения: валы прямоосные, гладкие, ступенчатые, коленчатые, эксцентрики, кольца гладкие, кольца с шейками, а также детали, кроме тел вращения: плиты гладкие, ступенчатые; рычаги; стойки и др.

Манипулирование деталями при обслуживании станков производят роботы и автооператоры.

Манипулирование деталями типа тел вращения (класс 40) обеспечивают роботы, оснащаемые широкодиапазонными центрирующими захватными устройствами, а при необходимости набором быстросменных захватных устройств.

Манипулирование деталями сложных конфигураций с разнообразными формами и расположением базовых поверхностей (вилки, рычаги, кулисы, сложные корпуса и т.п.) в условиях многономенклатурной обработки требует создания специальных установочных, базирующих и захватных устройств или установки деталей на спутниках. Применение ПР для установки-снятия со станков деталей подобных типов чаще всего экономично только в условиях массового и крупносерийного производства.

Манипулирование деталями массой до 250 кг обеспечивают соответствующие модели промышленных роботов из числа, представленных в работах [10, 12, 30, 31]. В зависимости от времени обработки и требований технологического процесса эти роботы применяют для одностаночного и многостаночного обслуживания. При обслуживании одним роботом группы станков он выполняет и межстаночное транспортирование деталей.

Для транспортирования и установки-снятия деталей массой 250... 500 кг и выше, как правило, наиболее экономично применение цеховых подъемно-транспортных (в том числе и робототехнических [12] средств. Такие детали большой массы обычно достаточно долго обрабатывают на одном станке. Поэтому для их внутрицеховой доставки со склада деталей и установки-снятия при обслуживании станков, помимо общецеховых подъемно-транспортных средств, часто применяют автоматические безрельсовые самоходные тележки—робокары, на которых устанавливают паллеты-спутники, несущие корпусные детали. Перегрузку спутника с корпусной деталью на станок и снятие со станка после обработки осуществляют специальными автоматическими перегружателями, автооператора-

ми, переталкивателями или используют манипуляторы с ручным управлением.

2.2. Захватные устройства: технические требования, основные типы и классификация

Манипулирование объектами — пространственное перемещение, ориентирование, базирование, установка, вставление и другие действия с целью приведения в положение, необходимое для проведения над ними (или с их помощью) технологических операций и переходов.

Захватные устройства (ЗУ) промышленных роботов (ПР) и манипуляторов (М) служат для захватывания и удержания в определенном положении объектов манипулирования. К объектам манипулирования относят предметы производства и технологическую оснастку. Эти объекты могут иметь различные размеры, форму, массу и обладать разнообразными физическими свойствами, поэтому ЗУ относятся к числу сменных элементов ПР и М.

Как правило, ПР и М комплектуют набором типовых (для данной модели) ЗУ, которые можно менять в зависимости от требований конкретного рабочего задания. Иногда на типовой захват устанавливают сменные рабочие элементы (губки, присоски и т.п.). При необходимости ПР оснащают специальными ЗУ, предназначенными для выполнения определенных операций.

Технические требования к конструкции захватных устройств совпадают с общими требованиями к конструкции рабочего органа. Кроме того, к ЗУ предъявляют дополнительные требования общего характера и специальные, связанные с конкретными условиями работы.

К числу обязательных общих требований относятся надежность захватывания и удержания объекта, стабильность базирования, недопустимость повреждений или разрушения объектов манипулирования.

Прочность ЗУ должна быть высокой при малых габаритных размерах и массе. Особое внимание должно быть обращено на надежность крепления ЗУ к руке робота.

Специальные требования к ЗУ формулируют в зависимости от условий производства. К ним могут относиться следующие: взрывобезопасность и жаропрочность (при работе в горячих цехах); устой-

чивость к воздействию агрессивных сред (при работе в цехах гальванопокрытий); оснащенность информационными датчиками о состоянии внешней среды (например, в целях поиска объекта манипулирования или обеспечения безаварийности и безопасности работы); упругость и податливость, другие требования. Так, например, при обслуживании одним ПР нескольких единиц оборудования или сборочных позиций применение широкодиапазонных ЗУ или их автоматическая смена может оказаться единственным решением, если одновременно собираются в единый комплект детали различных конфигурации и массы. Поэтому к ЗУ для ПР, работающих в условиях серийного производства, предъявляются дополнительные требования: широкодиапазонность (возможность захватывания и базирования деталей в широком диапазоне массы, размеров и формы), обеспечение захватывания близко расположенных деталей, легкость и быстрота замены (вплоть до автоматической смены ЗУ). В ряде случаев необходимо автоматическое изменение усилия удержания объекта в зависимости от массы детали.

Гибкость и упругость (податливость) ЗУ. Под гибкостью захвата понимается его способность обеспечить плотный обхват поверхности объекта неправильной формы, способность захватывать объекты, не точно ориентированные относительно захвата, а также способность центрировать и (или) базировать захваченные ПП. Преимущества гибких ЗУ особенно заметны при работе широкодиапазонных захватов с деталями, расположенными в ячейках или на столе с некоторыми отклонениями от своих штатных мест, или при работе с грубо обработанными деталями (такими, как отливки или кузнечные заготовки). Надежность захватывания детали во многом определяется гибкостью захвата.

Под упругостью (податливостью) понимается способность конструкции собственно ЗУ или некоторой структуры, связанной с ним (например, рука манипулятора — упругий элемент — ЗУ), к упругой деформации под воздействием внешних сил или моментов. При снятии внешнего воздействия структура возвращается в положение равновесия.

Упругий захват позволяет адаптироваться к незначительным неровностям поверхности детали за счет собственной упругой деформации. Он также позволяет гасить перегрузки, возникающие при столкновении с направляющими или оснасткой.

Податливость ЗУ или руки (конечного звена) манипулятора позволяет компенсировать смещение ПП при зажиме его в базирующем

приспособлении (сборочного стола, станка, прессы и т.п.), вызванное погрешностью позиционирования робота.

Кроме того, упругий элемент может быть помещен между захватом и манипулятором робота. Запаяв такую конструкции производятся промышленностью и называются устройствами пассивной податливости с удаленным центром (УПУЦ). Обычно в состав этой конструкции входят два металлических диска диаметром 50...150 мм, соединенные наклонными пружинами. Один из этих дисков крепится к манипулятору, а другой — к захвату, так что захват может отклоняться относительно манипулятора (см. подраздел 9.1). Это способствует гашению слабых столкновений. При выполнении сборочных операций они могут возникнуть, например, при вставке шпилек в отверстия.

Упругие захваты отличаются повышенной безопасностью. Упругая конструкция позволяет гасить контактные силовые взаимодействия. В отсутствие упругости ошибки в программировании, погрешности в действиях робота и в установке оснастки могут привести к аварии.

Универсальность ЗУ. Может быть выражена в виде требований к простоте настройки и выполнению внешних видоизменений ЗУ, к способности подстраиваться к форме и виду объектов манипулирования, включенных в рабочую номенклатуру, к обеспечению той или иной степени антропоморфности захвата, а также в виде требований к захватыванию ПП в определенном диапазоне массы, размеров и формы.

Информационное оснащение ЗУ. Зависит от типа ПР, определяется уровнем детерминированности внешней среды, требованиями производственного процесса [12]. В зависимости от требований производства на захватах промышленных роботов иногда необходимо предусмотреть установку различных по конструкции и назначению датчиков, которые можно поделить на три категории, различающиеся по стоимости и сложности:

- двоичные датчики, к которым относятся микропереключатели, оптические и магнитные переключатели, биметаллические термодатчики; они используются как индикаторы наличия или отсутствия детали, для поддержания в определенных пределах значения некоторой величины (давления, температуры и т.п.) и как концевые переключатели;
- аналоговые датчики, к которым относятся термодатчики, линейно-дифференциальные преобразователи, тензометры и пьезоэлектрические датчики; их обычно используют с измерительными

приборами и аналого-цифровыми преобразователями для получения количественных характеристик;

- массивы датчиков и датчики, требующие дополнительной обработки сигнала. К ним относятся расположенные на пальцах и ладони захвата массивы тактильных датчиков, массивы зрительных датчиков, пьезоэлектрические устройства с активным возбуждением. Использование этих устройств связано с обработкой большого количества информации, поэтому они обычно соединяются последовательными или параллельными каналами с ЭВМ (устройством управления роботом) через специальный микропроцессор.

Оснастка ЗУ и ПР. При разработке оснастки часто приходится учитывать требования к креплению ЗУ к руке М и к возможности быстрой и (или) автоматической замены захвата из стандартного набора (магазина ЗУ). В настоящее время разработан целый ряд технических решений, обеспечивающих автоматическую смену ЗУ (см. подраздел 9.2). Кроме того, иногда требуется оснащение рабочей зоны ПР стандартными зажимами, которые также должны удовлетворять определенным требованиям.

В последнее время ведутся разработки конструкций ЗУ, способных захватывать и базировать неориентированно-расположенные объекты.

Классификация захватных устройств. Широкая номенклатура захватных устройств различных конструкций приведена в работах [10, 12, 17, 31, 36, 41, 44, 45]. Известные захватные устройства многообразны и могут быть классифицированы по различным признакам, в большинстве случаев являющимся равноправными. Их можно различать по принципу действия, по числу рабочих позиций и последовательности их работы, по виду управления, по методу крепления на руке робота, по характеру базирования и по способу удержания ПП, по физическому принципу создания сил взаимодействия предмета с рабочими элементами ЗУ, по уровню и способам адаптации и т.д.

На рисунке 2.1 приведена классификация ЗУ по признакам, существенным для разработки типажа [10, 12].

По способу удержания объекта манипулирования все ЗУ можно разделить на три группы: поддерживающие, притягивающие (удерживающие) и зажимные (схватывающие).

Поддерживающие ЗУ удерживают предмет при условии уравнивания силы тяжести ПП силой, действующей со стороны захватного устройства в вертикальном направлении. В поддерживающих ЗУ

для удержания объекта используют нижнюю поверхность, выступающие части объекта или имеющиеся в его корпусе отверстия.

Эти захватные устройства представляют собой опоры, к которым относятся различные крюки, петли, вилки, лопатки [10, 12].

Притягивающие (удерживающие) ЗУ обеспечивают притяжение и удержание ПП за счет действия сил притяжения предмета к элементам захватного устройства, развиваемых благодаря использованию различных физических эффектов. В зависимости от природы притягивающей силы ЗУ подразделяются на магнитные, вакуумные и прочие (адгезионные, электростатические, примораживающие, с липкими накладками и др.).

Зажимные (схватывающие) ЗУ удерживают объект благодаря кинематическому воздействию рабочих элементов (губок, пальцев, клещей и т.п.) с помощью сил трения или комбинации сил трения и запирающих усилий. Все схватывающие ЗУ активного типа подразделяются на две группы: механические (клещи, тиски, шарнирные пальцы) и с эластичными рабочими камерами, деформирующимися под действием нагнетаемого внутрь воздуха или жидкости.

По характеру базирования объекта манипулирования захватные устройства делят на пять групп.

Способные к перебазированию объекта ЗУ изменяют положение удерживаемой детали благодаря управляемым действиям рабочих элементов. Этим свойством обладают антропоморфные ЗУ с управляемыми шарнирными пальцами.

Центрирующие ЗУ определяют положения оси или плоскости симметрии захватываемого объекта. К ним прежде всего относят механические ЗУ, оснащенные кинематически связанными рабочими элементами, имеющие губки в виде призм и др. Иногда это могут быть ЗУ с эластичными камерами.

Базирующие ЗУ определяют положение базовой поверхности (или поверхностей). Такой принцип базирования характерен для поддерживающих ЗУ. Однако он часто применяется и в схватывающих ЗУ.

Фиксирующие ЗУ сохраняют положение объекта, которое тот имел в момент захватывания.

Не обеспечивающие базирования или фиксации объекта ЗУ (например, крюки) почти не применяют для оснащения ПР.

Особое место занимают *антропоморфные ЗУ* (в том числе с эластичными изгибающимися пальцами, адаптирующиеся к форме захватываемого объекта). Эти ЗУ обладают способностью к фиксации объекта,

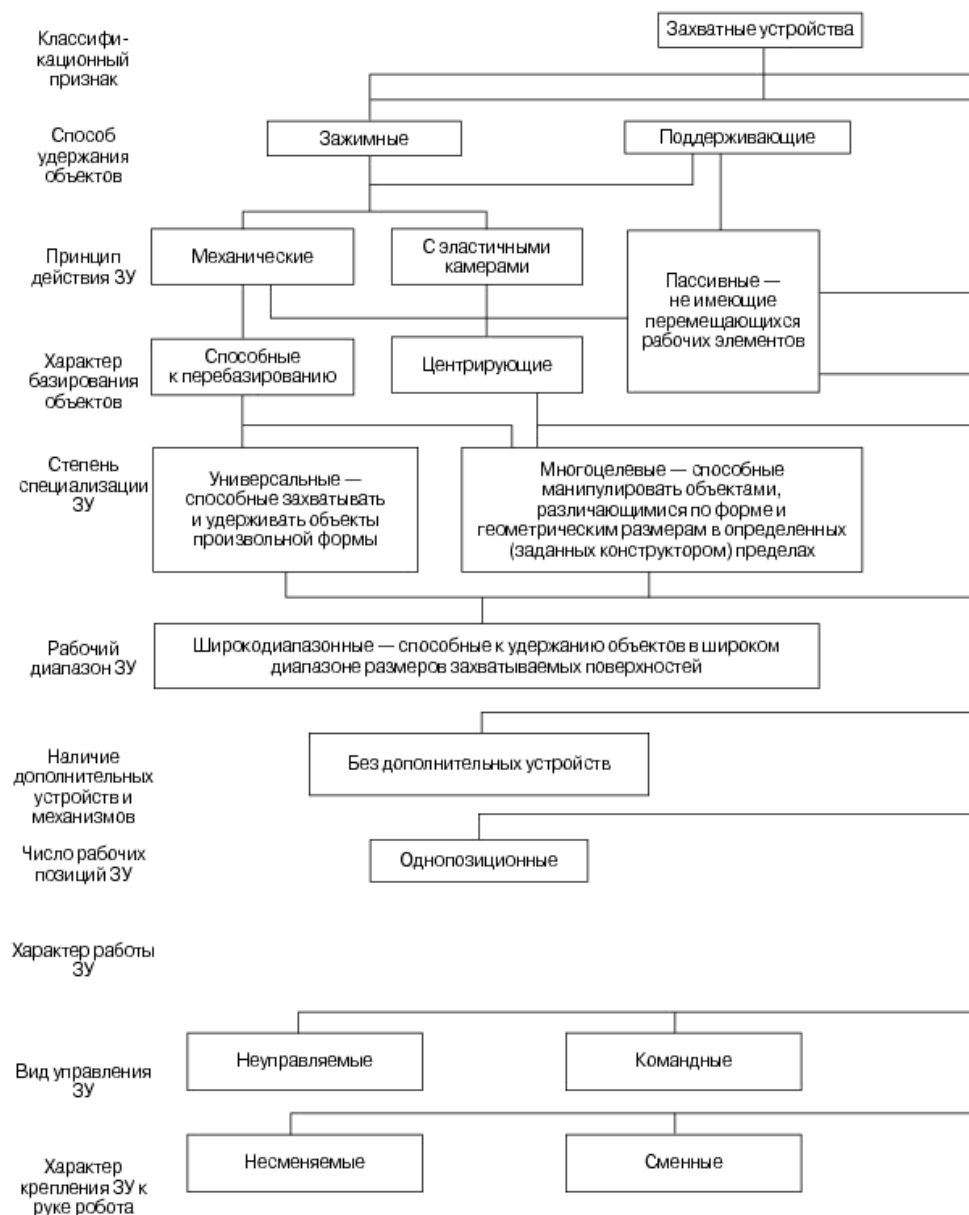
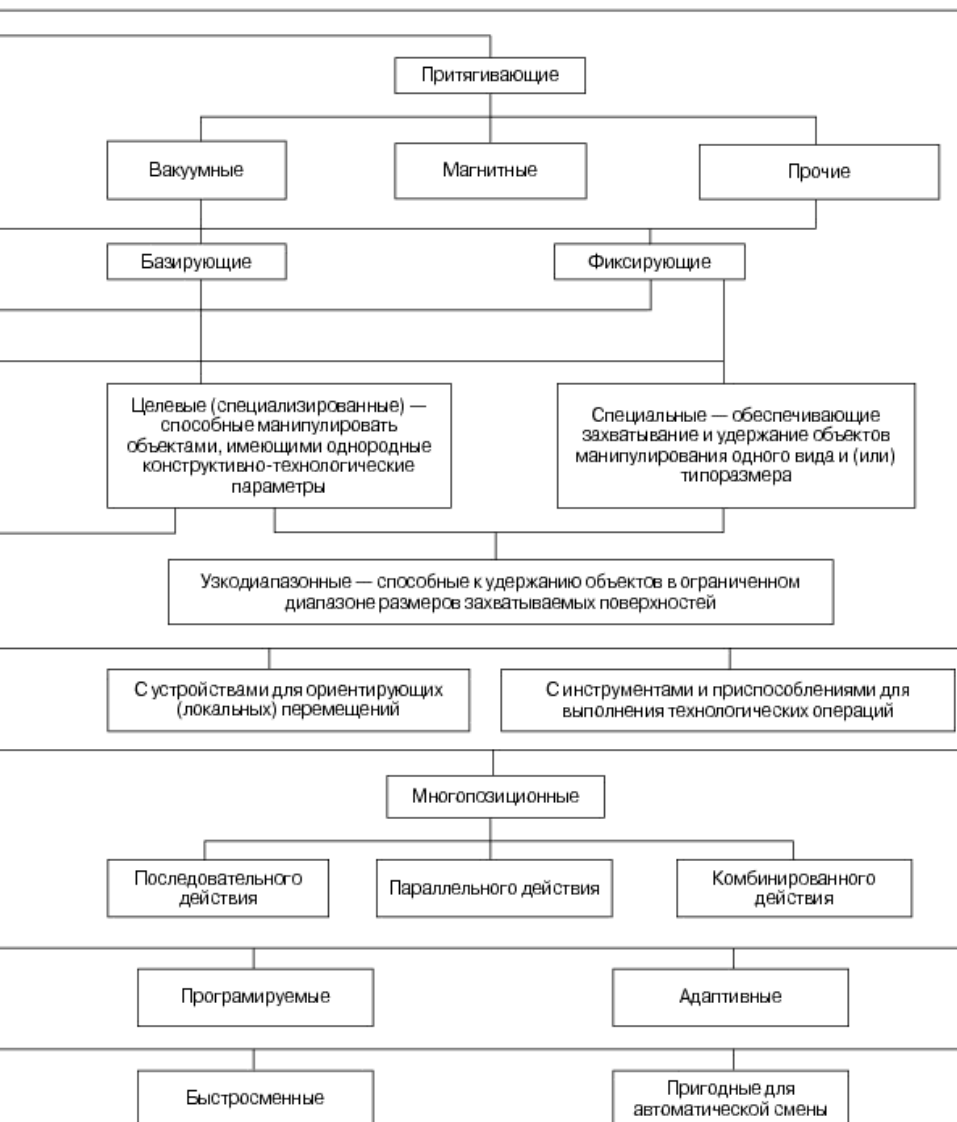


Рис. 2.1. Классификация захватных устройств



а в ряде случаев (при оснащении датчиками внешней информации) — к его базированию и (или) центрированию.

В сборочных ПР захватные устройства могут оснащаться дополнительными приспособлениями для выполнения ориентирующих перемещений, а также приспособлениями для выполнения некоторых технологических операций (например, гайковертом, запрессовщиком, дозатором, развальцовочной головкой и т.п.).

По числу рабочих позиций ЗУ можно разделить на однопозиционные и многопозиционные.

Однопозиционные ЗУ манипулируют одним объектом производства.

Многопозиционные ЗУ манипулируют двумя и более объектами. По характеру работы многопозиционные ЗУ можно разделить на три группы: последовательного, параллельного и комбинированного действия. К ЗУ последовательного действия относят двухпозиционные устройства, имеющие загрузочную и разгрузочную позиции. Рабочие элементы на каждой позиции действуют независимо. Многопозиционные ЗУ параллельного действия имеют ряд позиций для одновременного захватывания или высвобождения группы деталей. ЗУ комбинированного действия оснащены группами параллельно работающих позиций, причем группы эти приводятся в действие независимо одна от другой.

По виду управления ЗУ подразделяют на четыре группы.

Неуправляемые ЗУ — все неприводные захватные устройства (пассивные механические ЗУ с упругими или подпружиненными пальцами, устройства с постоянными магнитами или с вакуумными присосками без принудительного разрежения).

Командные ЗУ управляются только командами на захватывание или отпускание объекта. К этой группе относят ЗУ с пружинным приводом, оснащаемые стопорными устройствами и срабатывающие через такт. Разжимаются и зажимаются губки пружинных ЗУ благодаря взаимодействию их с объектом манипулирования или элементами внешнего оборудования (аналогично механизмам, используемым в некоторых конструкциях шариковых авторучек).

Программируемые ЗУ управляются системой управления ПР. Величина перемещения губок, взаимное расположение рабочих элементов, усилие зажима в таких ЗУ могут меняться в зависимости от заданной программы.

Адаптивные ЗУ — программируемые устройства, оснащенные различными датчиками внешней информации (для определения формы

поверхности и массы объекта, усилия зажима, наличия проскальзывания объекта относительно рабочих элементов ЗУ и т.п.). Такие ЗУ часто оснащаются собственной системой управления от микроЭВМ, связанной с центральной системой управления роботом.

По приспособляемости к форме объекта манипулирования ЗУ подразделяются на следующие группы:

- *не приспособляющиеся* к форме и размерам объекта манипулирования — *специальные ЗУ*, способные манипулировать объектом манипулирования одного вида, формы и типоразмера (например, валами);
- *переналаживаемые ЗУ* — способные после переналадки манипулировать объектами различной формы и размеров;
- *программируемые ЗУ* — обеспечивающие расширение губок в соответствии с программой и тем самым приспособляющиеся к изменениям размеров объекта манипулирования;
- *адаптивные к форме объекта манипулирования ЗУ* (в том числе — *антропоморфные ЗУ*), способные приспособляться к форме объекта манипулирования.

По характеру крепления к руке ПР все ЗУ можно разделить на четыре группы.

Несменяемые ЗУ — устройства, являющиеся неотъемлемой частью конструкции робота, замена которых не предусматривается.

Сменные ЗУ — устройства, представляющие собой самостоятельные узлы с базовыми поверхностями для крепления к роботу. При этом их крепление не предусматривает быстрой замены (например, установка на фланце с помощью нескольких винтов).

Быстросменные ЗУ — сменные ЗУ, у которых конструкция базовых поверхностей для крепления ЗУ к роботу обеспечивает их быструю смену (например, исполнение в виде байонетного замка).

Пригодные для автоматической смены ЗУ — устройства, у которых конструкция базовых поверхностей обеспечивает возможность их автоматического закрепления на руке робота.

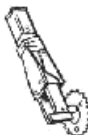
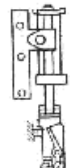
В таблице 2.3 приведены примеры конструкций ЗУ, распределенные в соответствии с отдельными классификационными признаками захватываемых деталей и захватных устройств.

Контрольные вопросы

1. Перечислите и охарактеризуйте основные классификационные признаки предметов производства, существенные для разработки захватных устройств.
2. Перечислите общие требования к предметам производства.

Таблица 2.3

Примеры конструкций захватных устройств

Детали		Механические захватные устройства				Вакуумные и магнитные захватные устройства		Захватные устройства с эластичными камерами
		центрирующие		базирующие	центрирующие	базирующие		
							широкодиапазонные	
Тела вращения; фланцы								
				—		—		
Плоские детали		—					—	
Детали коробчатой формы							—	
Детали сложной формы без явных плоскостей		—	—					

3. Назовите специальные требования к предметам производства, выдвигаемые особенностями обработки на различных типах основного технологического оборудования (на примерах обработки на металлорежущих станках или кузнечно-прессовом оборудовании).
4. Вспомните определение понятия «захватное устройство».
5. Сформулируйте общие и специальные требования к конструкциям захватных устройств. Сопоставьте их с общими требованиями к конструкции рабочего органа ПР.
6. Какие вы знаете типы захватных устройств? Охарактеризуйте классификацию захватных устройств по признакам, существенным для построения типажа.

ПРИМЕРЫ КОНСТРУКЦИЙ ЗАХВАТНЫХ УСТРОЙСТВ

3.1. Механические захватные устройства

Механические захватные устройства представляют собой наиболее многочисленный класс конструкций. Рассмотрим два крупных класса механических ЗУ: не приводные и оснащенные приводом.

Неприводные ЗУ подразделяют на пассивные и не приводные со стопорными механизмами.

Неуправляемые (пассивные) ЗУ выполняют в виде крюков, подвижных поддерживающих опор, пинцетов, упругих разрезных валиков и втулок (цанг) или же клещей с одной и двумя подвижными губками, находящимися под действием пружин. К неуправляемым захватным устройствам следует также отнести и ЗУ с постоянными магнитами и пассивные вакуумные ЗУ (см. ниже).

Пассивные поддерживающие ЗУ. Самые простые — крюки (рис. 3.1). Грузоподъемность крюков для оснащения роботов выбирают из ряда 0,5*, 0,63, 1,0*, 1,6, 2,0* т (звездочкой отмечены крюки, рекомендуемые для преимущественного применения). Грузовые крюки изготавливают из штампованных заготовок с последующей механической обработкой хвостовика. Крюк крановый грузовой состоит из крюка, гайки, ригеля (пластины, предотвращающей отворот гайки) и скобы.

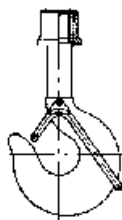


Рис. 3.1. Крюк грузовой крановой

При обслуживании автоматизированных складов роботы-штабелёры грузоподъемностью 0,05, 0,25, 0,5, 1,0, 1,6, 2,0, 2,5, 5,0 т оснащают пассивными поддерживающими вилчатыми ЗУ.

При механизации погрузо-разгрузочных и складских работ применяют эксцентриковые и грейферные захватные устройства, которые удерживают ПП за счет силового замыкания при ходе ЗУ вверх. Технические данные некоторых захватных устройств подобного типа, выпускаемых ООО АППК «Тропик», приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Технические данные эксцентриковых и грейферных ЗУ

Изображение	Назначение	Марка	Грузоподъемность пары захватов, т	Масса захвата, кг	Максимальный интервал захвата, мм
	Захват для подъема горизонтального листового проката	1НК1-1,0/2	1	1,5	0...20
		1НК1-2,0/2	2	3,15	0...30
		1НК1-4,0/2	4	6,1	0...45
		1НК1-6,0/2	6	8,9	0...60
		1НК1-8,0/2	8	19,2	10...90
		1НК1-10,0/2	10	25,2	16...100
	Захват угловой для подъема горизонтального листового проката	1НК2-0,75/2	0,75	2,5	0...25
		1НК2-2,0/2	2	4,3	0...40
		1НК2-4,0/2	4	6,5	0...60
		1НК4-5,0/2	5	30,4	10...250
		1НК4-8,0/2	8	45	10...300
	Захват для подъема вертикального листового проката	1НК5-1,0	1	2,93	3...20
		1НК5-2,0	2	4,5	3...30
		1НК5-4,0	4	13,5	8...40
		1НК6-1,0	1	5,7	3...25
		1НК6-2,0	2	8,6	3...30
		1НК6-3,0	3	11,6	6...45
		1НК6-5,0	5	26,0	10...55

Окончание

Изображение	Назначение	Марка	Грузоподъемность пары захватов, т	Масса захвата, кг	Максимальный интервал захвата, мм
	Захват для круглых балок	2НК3-1,25	1,25	32,0	600
		2НК3-2,5	2,5	58,5	600
	Захват для пачек металлопроката	2НК4-0,2	0,2	4,7	200

При использовании ЗУ в виде подвижных опор (рис. 3.2) объект манипулирования удерживается под действием сил трения (если подвижная опора входит в контакт с поверхностью объекта по скользящей посадке) и (или) под действием собственной силы тяжести. При этом для входа в контакт с ЗУ и для освобождения объекта манипулирования могут потребоваться дополнительные устройства фиксации объекта и его съема, что может приводить к повреждению детали или зажимных элементов.

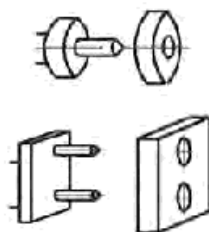


Рис. 3.2. Пассивные ЗУ — подвижные опоры

Пассивные зажимные ЗУ. Повреждения контактных поверхностей могут иметь место и при использовании пассивных ЗУ с подпружиненными или упругими зажимными элементами (рис. 3.3), поскольку деталь удерживается вследствие упругого воздействия зажимных эле-

ментов, а высвобождается принудительно благодаря дополнительным устройствам. Эти ЗУ применяют в условиях массового производства при манипулировании с объектами небольшой массы и габаритных размеров. Для снятия объекта с таких ЗУ требуется усилие большее, чем усилие его удержания.

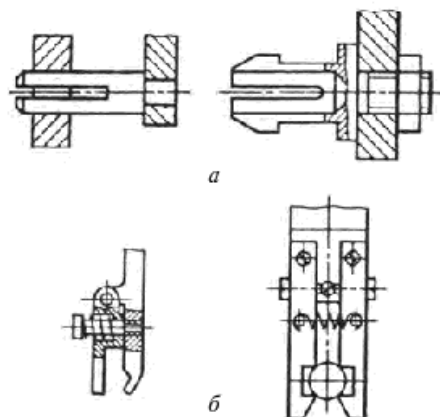


Рис. 3.3. Неуправляемые пассивные механические ЗУ:

а — с упругими зажимными элементами; *б* — с подпружиненными элементами

Неприводные ЗУ со стопорными механизмами, обеспечивающими чередование циклов зажима и разжима деталей, являются автономными, не требуют специальных команд системы управления и дополнительного подвода энергии. Детали удерживаются силой пружин вследствие эффекта самозатягивания или запирающего действия губок. Как правило, работа подобных ЗУ возможна только при их вертикальном положении.

На рисунке 3.4, *а* показана схема работы ЗУ для схватывания валов или фланцев за наружную поверхность. На корпусе 7 закреплена направляющая 5, несущая запирающую планку 4. По направляющей может скользить поддерживаемая пружиной 6 головка 3, в которой шарнирно закреплены губки. Когда деталь удерживается губками ЗУ, планка 4 входит между верхними концами губок 1, препятствуя их раскрытию. При укладке детали на разгрузочную позицию ЗУ перемещается вниз до контакта детали с поверхностью установки. При этом головка 3 за счет упора 2 упирается в деталь и останавливается, а корпус 7 продолжает опускаться. Планка 4 опускается и высвобождает губки 1, которые расходятся под действием пружины 13. Одновременно срабатывает стопорное устройство, состоящее из свободно вращающейся

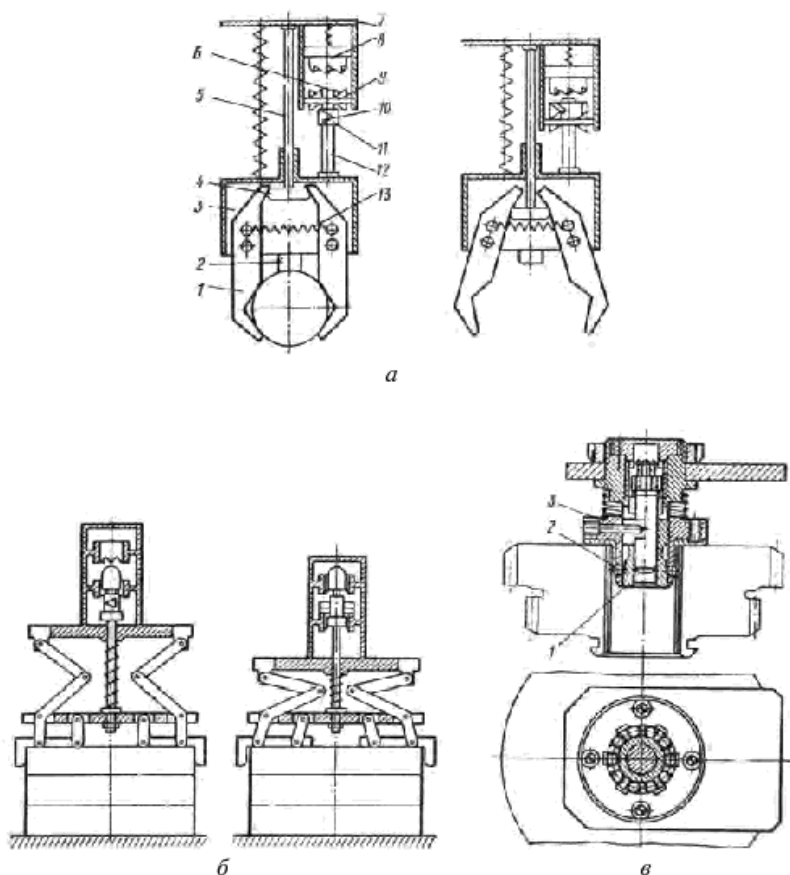


Рис. 3.4. Неприводные механические хватные устройства со стопорными механизмами:

- а* — ЗУ для схватывания горизонтально расположенных валов или фланцев за наружную поверхность; *б* — тактовое пружинное ЗУ для захватывания фланцев, втулок и других деталей из стопы; *в* — ЗУ для захватывания тел вращения за внутреннюю поверхность

зашелки 11, которая размещена на оси 12, нижней втулки 9, закрепленной на корпусе 7, и верхней втулки 8. Втулка 8 имеет храповые зубья только снизу, а втулка 9 имеет зубья сверху и снизу и, кроме того, снабжена прорезью по форме зашелки 11, у которой имеются треугольные выступы, смещенные относительно храповых зубьев. При сближении корпуса 7 и головки 3 зашелка входит в зацепление с верхними храпо-

выми зубьями и поворачивается на 45° . Когда корпус и головка расходятся, зашелка входит в зацепление с верхними храповыми зубьями втулки 9, поворачивается еще на 45° и ее выступы 10 попадают в прорезь. При этом запирающая планка 4 перемещается между верхними концами губок 1, обеспечивая зажим детали.

Чтобы разомкнуть систему, необходимо произвести еще одно сближение корпуса и головки: зашелка опять войдет в зацепление с храповыми зубьями верхней втулки и повернется на 45° , а когда корпус 7 и головка 3 станут расходиться, зашелка 11 войдет в зацепление с храповыми зубьями верхней втулки 8, повернется еще на 45° и будет удержана ею. Губки ЗУ при этом окажутся раскрытыми, как это и показано на рис. 3, а справа.

На рисунке 3.4, б показано тактовое пружинное ЗУ, предназначенное для захвата деталей типа фланцев, зубчатых колес и втулок из стопы.

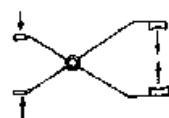
На рисунке 3.4, в показано узкодиапазонное (с разностью диаметров 1,5...2,0 мм) ЗУ для захватывания деталей за внутреннюю поверхность. Захватная часть состоит из корпуса 1 и шариков 2, расположенных по окружности в обойме 3. Угол конуса (рекомендуется $5...6^\circ$) должен быть меньше угла трения между шариками и деталью. Принцип работы ЗУ тот же, что и у конструкций, описанных выше. Пружинные тактовые ЗУ применяют для работы с деталями типа тел вращения массой до 30 кг.

Оснащенные приводом захватные устройства еще называют **командными ЗУ**. Движение рабочих элементов или подача энергии на «зеркало» ЗУ (в вакуумных или электромагнитных конструкциях) обеспечивается устройствами привода по командам «включено-выключено» от системы управления. Наиболее распространены конструкции клещевого типа.

Зажимные ЗУ клещевого типа. Движение губок обеспечивает пневмо-, гидро-, или электропривод. Преимущества пневмопривода — простота, удобство подвода энергии (один шланг), отсутствие течи, легкость регулирования усилия зажима, возможность использования в агрессивных средах и зонах высоких температур. Недостаток — большие габаритные размеры при сравнительно малых усилиях зажима. Гидропривод широко применяют, так как он обеспечивает значительные усилия зажима при малых габаритных размерах и его можно легко регулировать. Электропривод ввиду сравнительной сложности пока применяют ограниченно.

Передаточные механизмы во многом определяют характер конструкции зажимных механических ЗУ. Они обеспечивают передачу и рост усилия зажима, крутящего момента или хода рабочего элемента (захватной губки).

Шарнирно-рычажные передачи. На рисунке 3.5 представлены разновидности кинематических схем приводных шарнирно-рычаж-



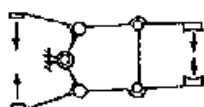
ШП1



ШП2



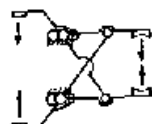
ШП3



ШП 7



ШП8



ШП9



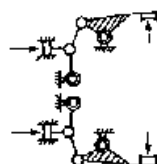
ШП13



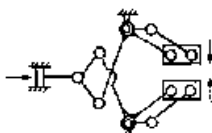
ШП14



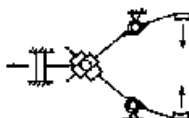
ШП15



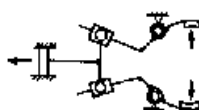
ШП19



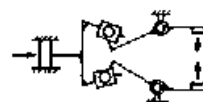
ШП20



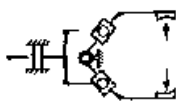
ШП21



ШП25



ШП26



ШП27

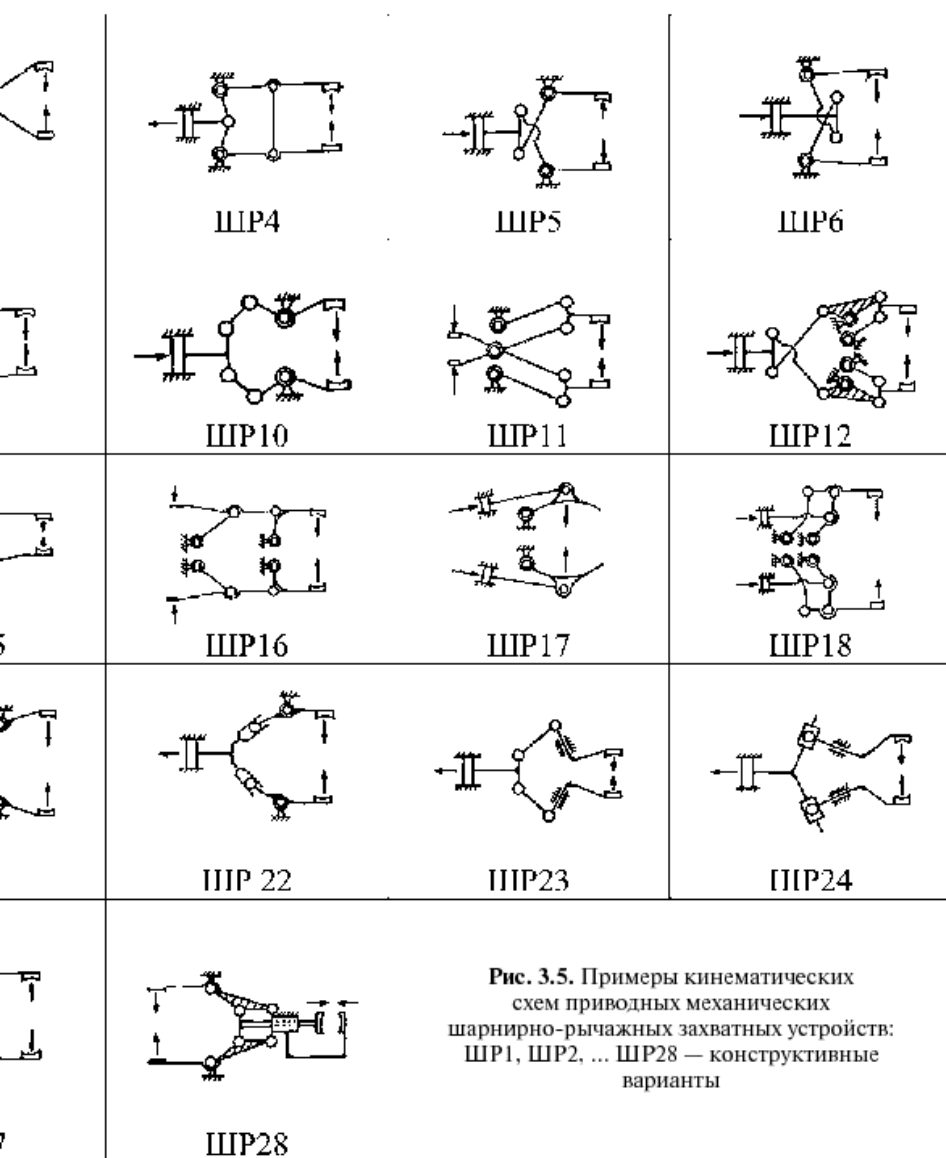


Рис. 3.5. Примеры кинематических схем приводных механических шарнирно-рычажных захватных устройств: ШР1, ШР2, ... ШР28 — конструктивные варианты

ных ЗУ [44]. Изменения в относительных длинах и месторасположении рычажных передач существенно влияет как на направление усилия привода, так и рабочую силу зажима (захвата) детали. Основная цель применения клещевых командных ЗУ с рычажными передаточными механизмами — обеспечить выигрыш в усилии или направлении зажима детали.

На рисунке 3.6 показаны клещевые ЗУ с гидроприводом и системой ломающихся рычагов, дающей значительное увеличение силы зажима детали. В конструкциях, показанных на рис. 3.6 *а, б*, гидроцилиндр расположен между шарнирно закрепленными планками, связанными с рычажным механизмом. Зажимные губки — сменные и крепятся к этим планкам. Путем смены губок обеспечивается захват детали за внутреннюю (см. рис. 3.6, *а*) или за наружную (см. рис. 3.6, *б*) поверхность.

В ЗУ, показанном на рис. 3.6, *в*, одна из губок установлена на качающейся планке, угловое положение которой относительно рычага может регулироваться винтом, что позволяет изменять взаимное расположение губок. На рисунке 3.6, *г* приведена конструкция ЗУ, где для удержания детали используется усилие упругой деформации «пальцев».

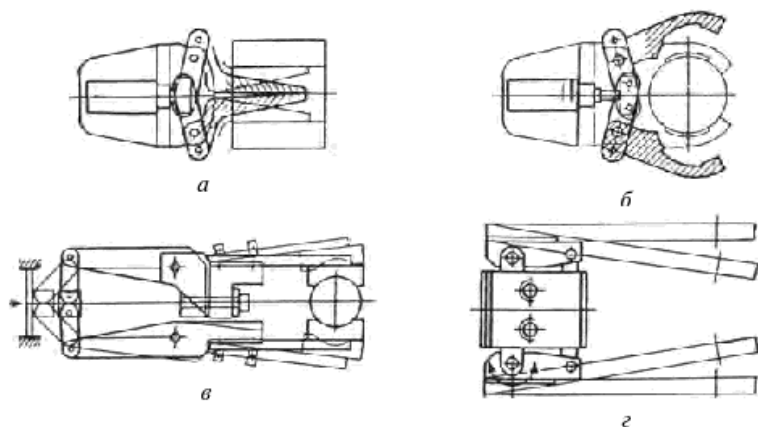


Рис. 3.6. Клещевые механические ЗУ с рычажными передаточными механизмами

На рисунке 3.7, *а* показана система пневматического рычажного ЗУ со сменными рабочими губками, что позволяет использовать его для работы с объектами различной формы. Аналогичное ЗУ для фланцев и колец показано на рис. 3.7, *б*: на штоке 4 пневмоцилиндра 1 установлена планка 5, на которой шарнирно закреплены тяги 2, связанные с поворотными рычагами 3. К рычагам крепятся держатели 6, несущие

сменные губки 7. Переналадка на другой диапазон захватываемых поверхностей осуществляется путем перестановки осей тяг 2 в дополнительные отверстия планки 5 сдвига держателей 6 по рычагам 3 и смены держателей 6 или губок 7.

На рисунке 3.7, в показано центрирующее широкодиапазонное ЗУ с параллельным перемещением губок. К корпусу 3 шарнирно крепятся рычаги 1. В направляющих корпуса шарнирно перемещается тяга 4, связанная с приводом, на которой закреплены оси рычагов 2 и 5. К средним точкам рычагов 2 присоединены концы рычагов 1. Длина рычагов 2 вдвое больше длины рычагов 1, и шарнирные треугольники, образованные этими рычагами, являются равнобедренными, чем и обеспечивается прямолинейность перемещения губок 6, которые составляют вместе с тягой 4 и рычагами 2 и 5 шарнирные параллелограммы.

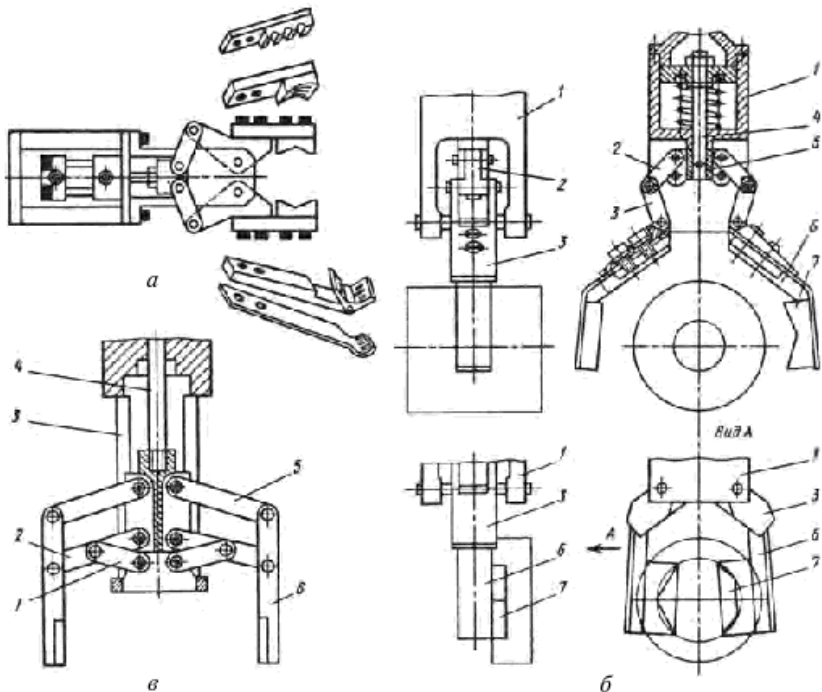


Рис. 3.7. Широкодиапазонные механические ЗУ с рычажными передаточными механизмами и пневматическим приводом:

а — ЗУ со сменными рабочими губками; *б* — комплексно переналаживаемое ЗУ:

1 — пневмоцилиндр; 2 — тяга; 3 — рычаг; 4 — шток; 5 — планка;

6 — держатель; 7 — губки; *в* — центрирующее ЗУ с параллельным перемещением губок: 1, 2, 5 — рычаги; 3 — корпус; 4 — тяга; 6 — губки

Реечно-зубчатые передачи, кинематические схемы которых [44] показаны на рис. 3.8, нашли широкое применение в конструкциях механических ЗУ. По сравнению с рычажными они имеют меньшие габаритные размеры, обеспечивают большее раскрытие губок, но не дают выигрыша в усилии зажима объекта. Применение реечно-зубчатых передач обеспечивает равномерное движение губок ЗУ, что облегчает центрирование деталей типа тел вращения при их захватывании.

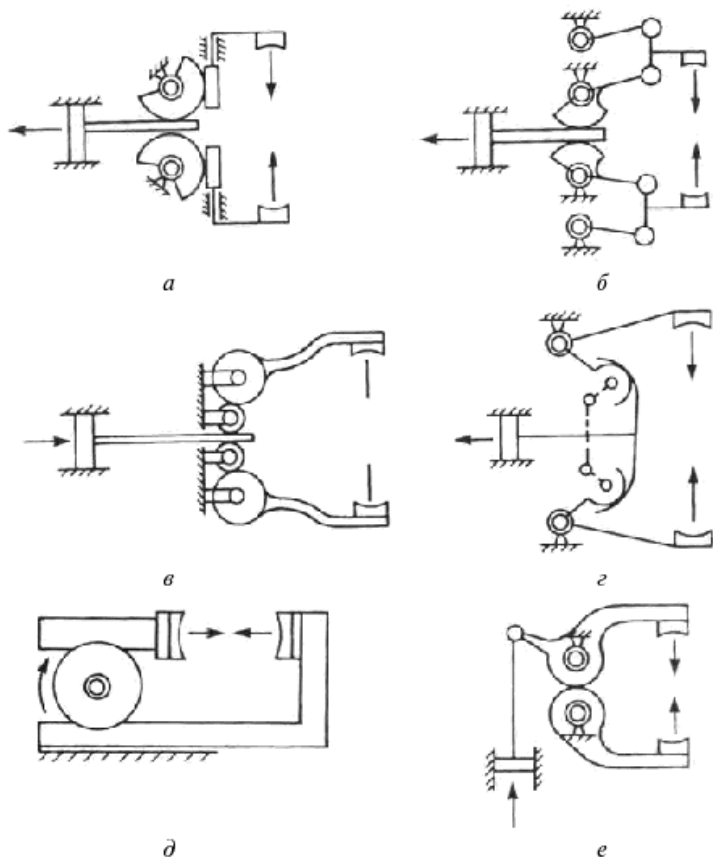


Рис. 3.8. Кинематические схемы (а...е) механических захватных устройств с реечно-зубчатыми передачами

На рисунках 3.9...3.12 представлены *примеры конструкций реечных широкодиапазонных центрирующих ЗУ* для деталей типа тел вращения и корпусных деталей.

На рисунке 3.9, *а* показано однопозиционное ЗУ, предназначенное для гладких и ступенчатых валов. Профиль губок обеспечивает центрирование валов в широком диапазоне размеров. Две пары поворотных губок 1 свободно сидят на осях 7. На губках закреплены зубчатые секторы 8, входящие попарно в зацепление с рейками 3, которые связаны с рычагами 4, образующими шарнирный параллелограмм. Рычаги 4 шарнирно связаны с тягой 2 привода. Такое устройство обеспечивает независимую работу каждой пары губок, что необходимо для захватывания и центрирования ступенчатых валов. Участки 5 профиля губок имеют меньшую толщину по сравнению с толщиной участков 6. Это обеспечивает подхватывание и центрирование деталей, расположенных с угловым смещением, а также гарантирует центрирование ступенчатой детали.

На рисунке 3.9, *б* показано двухпозиционное центрирующее широкодиапазонное ЗУ для валов, сокращающее цикл установки-снятия заготовок и обработанных деталей. ЗУ с заготовкой 11, зажатой губками 10, сомкнутыми под действием пружины 8, переносится на линию центров станка. При этом губки ЗУ на позиции II под действием толкателя 3, имеющего свой привод 4, раскрыты (пружина 8 на позиции II сжата). При перемещении толкателя вверх пружина разжимается, приводя в действие рычаги 1 и рейки 9, вследствие чего губки позиции II сжимаются, захватывая обработанную деталь. После высвобождения детали из патрона (центров) станка вращением шпинделя 5 через коническую шестерню 6 и зубчатый сектор 2 корпус 7 с губками поворачивается вокруг оси 12 так, что позиция I занимает положение позиции II, и заготовка 11 может быть установлена в патрон или центр станка.

На рисунке 3.9, *в*, *г* показаны двухпальцевые центрирующие широкодиапазонные ЗУ, принцип действия которых аналогичен описанному выше. Устройство на рис. 3.9, *г* отличается тем, что одна из его губок укороченная, чем обеспечивается компактность конструкции и достигаются меньшие зазоры между деталями, лежащими в ориентирующей таре. Однако для таких конструкций требуется более точное совмещение осей симметрии ЗУ и детали перед её зажимом.

Центрирующее широкодиапазонное ЗУ (рис. 3.10, *а*) оснащено тремя рабочими губками специального профиля, на которых выполнены зубчатые секторы. Две губки 1 и 2 свободно сидят на общей оси 10. Зубчатые секторы губок 1 и 3 (сидят на оси 4) сцеплены с одинаковыми шестернями 6 и 8, которые находятся в зацеплении с рейкой 7, соединенной с тягой 5 привода ЗУ. Зубчатый сектор губки 2 связан с промежуточным колесом 9, сцепленным с шестерней 8. При перемещении тяги 5 и рейки 7 все три губки поворачиваются к центру ЗУ на равные углы, центрируя деталь.

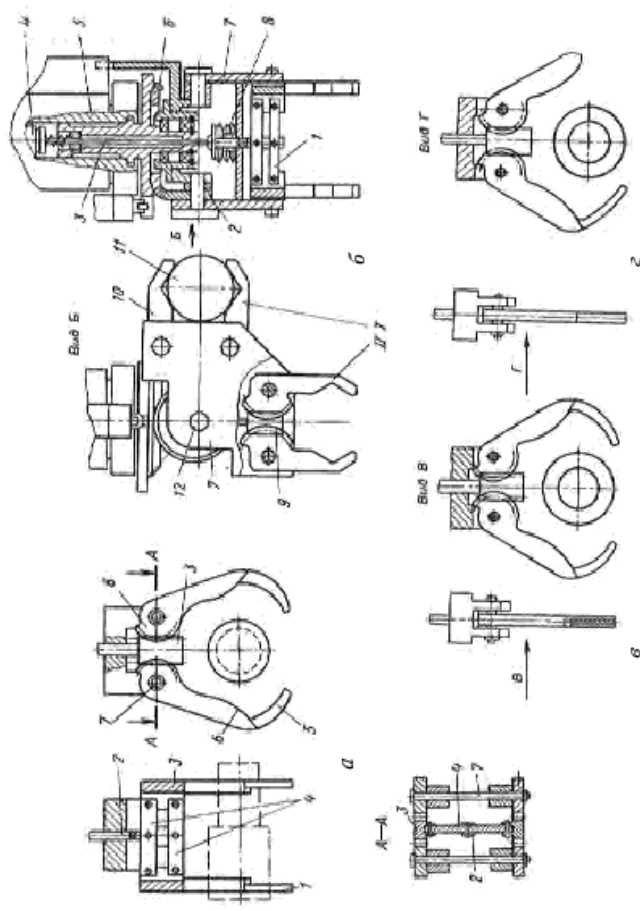


Рис. 3.9. Широкодиапазонные центрирующие ЗУ с реечными передаточными механизмами для деталей типа тел вращения:
а — однопозиционное ЗУ для гладких и ступенчатых валов: 1 — зубки; 2 — тяга; 3 — рейка; 4 — рычаги;
 5, 6 — специально профилированные участки зубок; 7 — ось; 8 — зубчатые секторы; 9 — двухпозиционное
 центрирующее широкодиапазонное ЗУ для валов: 1 — рычаги; 2 — зубчатый сектор; 3 — толкатель; 4 — привод;
 5 — шпилька; 6 — шестерня; 7 — корпус; 8 — пружина; 9 — рейка; 10 — зубки; 11 — заготовка; 12 — ось;
б, в, г, д, е, ж, з — широкодиапазонные центрирующие ЗУ (з — с одной укороченной зубкой)

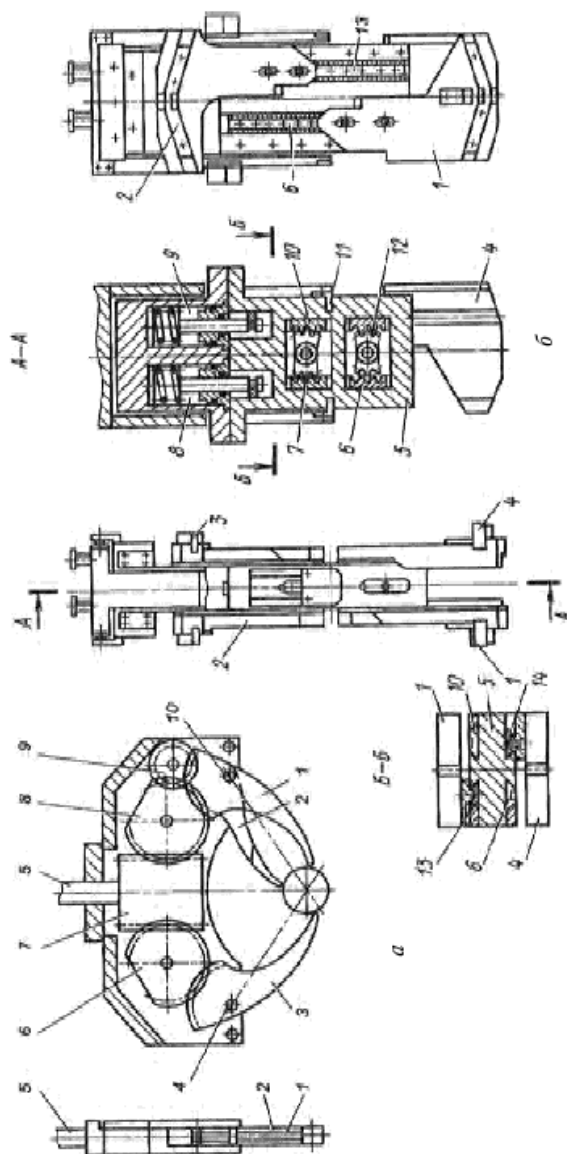


Рис. 3.10. Центрирующие ЗУ с реечными передаточными механизмами для деталей типа фланцев, дисков, зубчатых колес:

а — широкодиапазонное ЗУ; 1, 2, 3 — гребки; 4 — ось; 5 — тяга; 6, 8 — шестерни; 7 — зубчатая рейка;
б — промежуточное зубчатое колесо; 10 — ось; 6 — узкодиапазонное двухпозиционное ЗУ; 1, 2, 3, 4 — призмы;
 5 — корпус; 6, 10, 13, 14 — линейки; 7, 12 — зубчатые колеса; 8, 9 — гидроцилиндры; 11 — цапфы

Центрирующее узкодиапазонное двухпозиционное ЗУ последовательного действия для фланцев (рис. 3.10, б) имеет удлиненный прямоугольный корпус 5, у которого с двух сторон выполнены две пары направляющих. В направляющих перемещаются линейки 6, 10, 13, 14 с рифлениями, к которым винтами крепятся призмы 1, 2, 3, 4. На каждой стороне линейки попарно сцеплены между собой посредством реек и срезанных зубчатых колес 7 и 12. Такое соединение обуславливает встречное движение призм и центрирует детали. Линейки 6 и 10 приводятся в движение гидроцилиндрами 8 и 9, встроенными в ЗУ. Ход призм, ограниченный ходом цилиндров, определяет диапазон ЗУ в пределах одной размерной наладки. Переналадка с размера на размер производится перезакреплением призм. Одна из позиций ЗУ применяется в качестве загрузочной, вторая в качестве разгрузочной. Места позиций меняют поворотом ЗУ на 180°. К руке робота ЗУ подвешено на цапфах 11 так, что может отклоняться на небольшой угол. Это обеспечивает, благодаря специальным пружинам или другим приспособлениям, прижим торца детали к зеркалу патрона станка.

Центрирующие широкодиапазонные ЗУ с параллельным перемещением губок, осуществляемым комбинацией реечных и рычажных передач, показаны на рис. 3.11. В конструкции на рис. 3.11, а движение зажима детали от центрального валика 1, на котором укреплен солнечная шестерня планетарной передачи, передается водилу, а от него через конические шестерни 2 — двум зубчатым колесам 3, связанным с криволинейными рейками 4. Рейки нарезаны на планках, замыкающих шарнирные четырехзвенники, к которым крепятся губки 5. Конструкция отличается большим ходом губок и компактностью.

В устройстве на рис. 3.11, б внутренние рычаги 3 и 4 через зубчатые секторы зацепляются с рейкой 6, соединенной с тягой привода ЗУ. Рычаги попарно (2, 3 и 4, 5) соединены с планками 7 и 8, несущими зажимные губки 9, и вместе с корпусом 1 образуют два шарнирных параллелограмма, обеспечивающих прямолинейное симметричное перемещение губок и, следовательно, центрирование коробчатых и плоских деталей (с губками 9) или тел вращения с разной ориентацией осей (с губками 10).

Гамма центрирующих ЗУ фирмы Fujitsu Fanuc Ltd (Япония) показана на рис. 3.12. Кинематика центрирования ЗУ типа *T*, *M* и *TM* та же, что у конструкции, приведенной на рис. 3.10, а. Различия заключаются в применении плоских губок, соединенных с поворотными рычагами и сохраняющих свое угловое положение благодаря шарнирным параллелограммам, а также в конструкции привода рычагов, осуществляемого пневмодвигателем через червячные передачи. Между собой ЗУ разли-

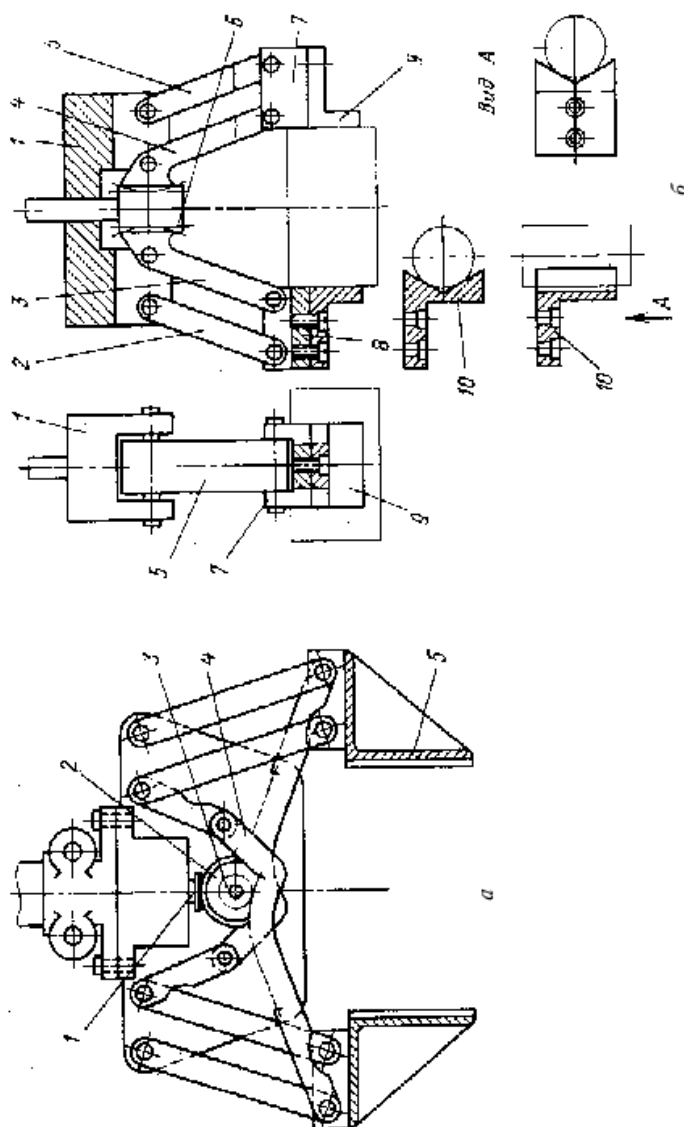


Рис. 3.11. Центрирующие широкодиапазонные механические ЗУ с параллельным перемещением губок:
a — с планетарной передачей; *1* — валдик; *2* — конические шестерни; *3* — зубчатые колеса; *4* — крылолинейные рейки;
5 — губки; *б* — с реечной передачей; *1* — корпус; *2, 3, 4, 5* — рычаги; *6* — зубчатая рейка; *7, 8* — планки; *9, 10* — губки

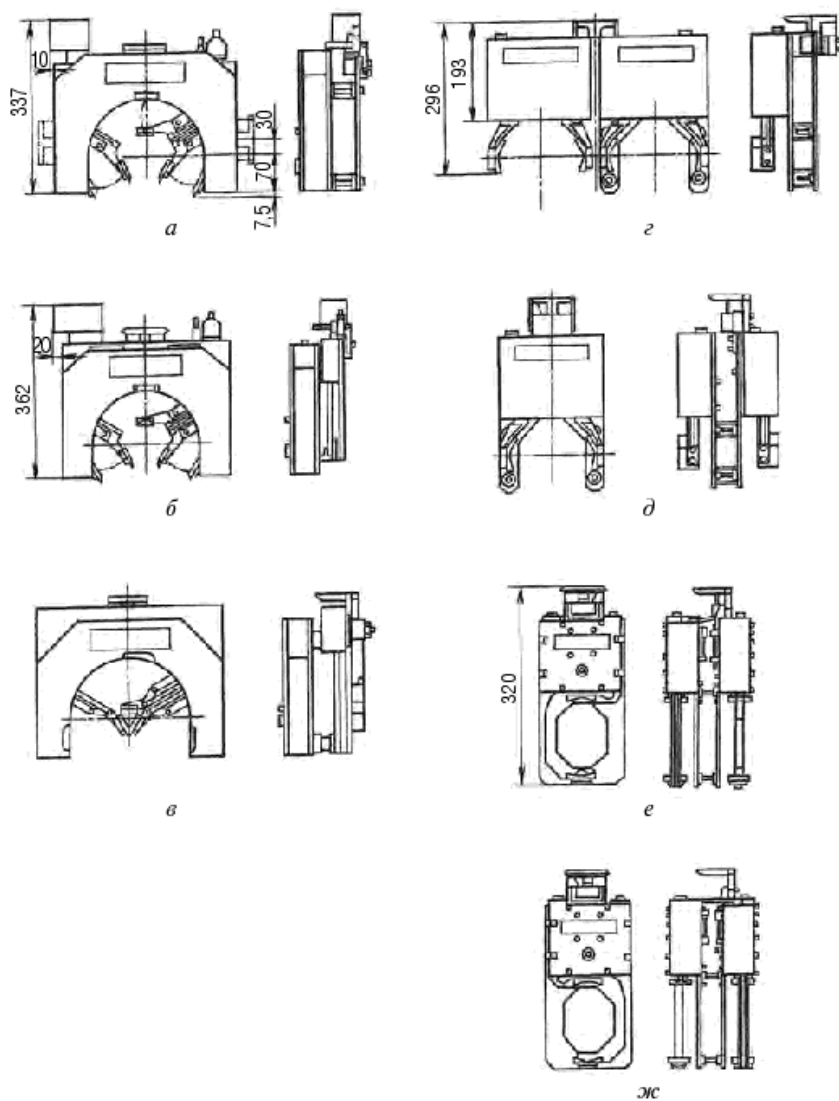


Рис. 3.12. Гамма центрирующих механических захватных устройств фирмы Fujitsu Fanuc Ltd (Япония):

a — тип *T*; *б* — тип *M*; *в* — тип *TM*; *г* — тип *D*₁; *д* — тип *D*₂; *е* — тип *D*₃; *ж* — тип *D*₄

чаются характером крепления к руке робота. ЗУ типа T закреплено на пружинах, расположенных симметрично относительно оси зажимаемого изделия, чем достигается прижим торца детали к базам во время загрузки оборудования. ЗУ типа M закреплено жестко, но имеет привод, который может поворачивать ЗУ вместе с зажатым изделием вокруг оси симметрии на некоторый угол. Такая коррекция бывает необходима при обработке корпусных деталей для компенсации их поворота, который происходит при переносе деталей роботом с позиции на позицию. ЗУ типа TM имеет и пружинную подвеску, и механизм поворота.

ЗУ типов D представляют собой клешневые конструкции с пневмоприводом, у которых расположение осей симметрии не остается постоянным при захватывании деталей разных размеров. Погрешности при необходимости корректируются перепрограммированием перемещений руки ПР. Устройства D_1 и D_2 — двухпозиционные, состоят из пары одинаковых по конструкции ЗУ: разгрузочного и загрузочного. Загрузочное ЗУ подвешено к руке на симметрично расположенных пружинах для прижима торца заготовки к базам оборудования, а разгрузочное ЗУ закреплено жестко. По конструкции типы D_1 и D_2 различаются расположением загрузочного и разгрузочного ЗУ. В устройстве D_3 зажимные призмы перемещаются вдоль продольной оси руки робота. Устройство D_4 является зеркальным отображением устройства D_3 .

Конструкции ЗУ с клиновыми передачами показаны на рис. 3.13 и эскизах табл. 2.3. Клиновые передачи позволяют губкам осуществлять равномерные и при этом несколько разнородные движения, если этого требует производственный процесс.

Захватные устройства с винтовыми передачами (рис. 3.14) обеспечивают высокую точность перемещения захватных губок и значительные усилия зажима (удержания) детали.

Перенастраиваемые механические ЗУ. Переналадка механических ЗУ на работу с деталями различных типоразмеров и формы чаще всего осуществляется сменой рабочих губок.

В центрирующем ЗУ с винтовым приводом, показанном на рис. 3.15, *а*, переналадка на типоразмер и форму объекта манипулирования обеспечивается переустановкой пакетов свободно расположенных пластин — губок с последующим их закреплением (рис. 3.15, *б*) для манипулирования с объектами различных форм и размеров (рис. 3.15, *в*).

Программируемые механические ЗУ позволяют регулировать ширину раскрытия губок. Многие из описанных выше широкодиапазонных устройств, если их оснастить соответствующим приводом, могут работать в таком режиме. Программирование ширины раскрытия губок

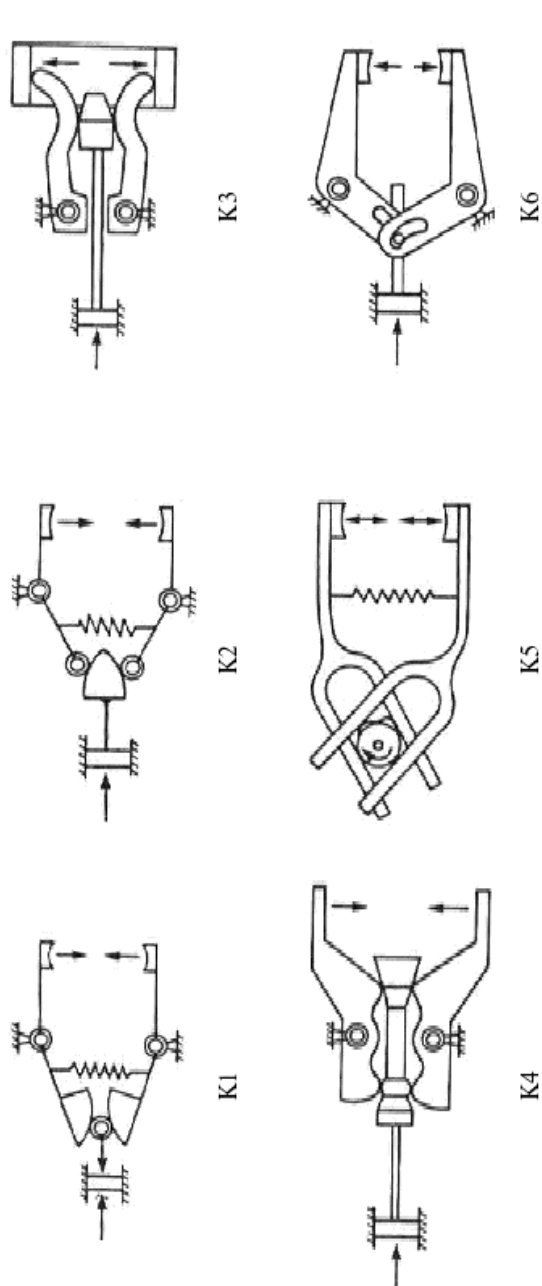


Рис. 3.13. Кинематические схемы (К1... К6) механических захватных устройств с клиновыми и кулачковыми передачами

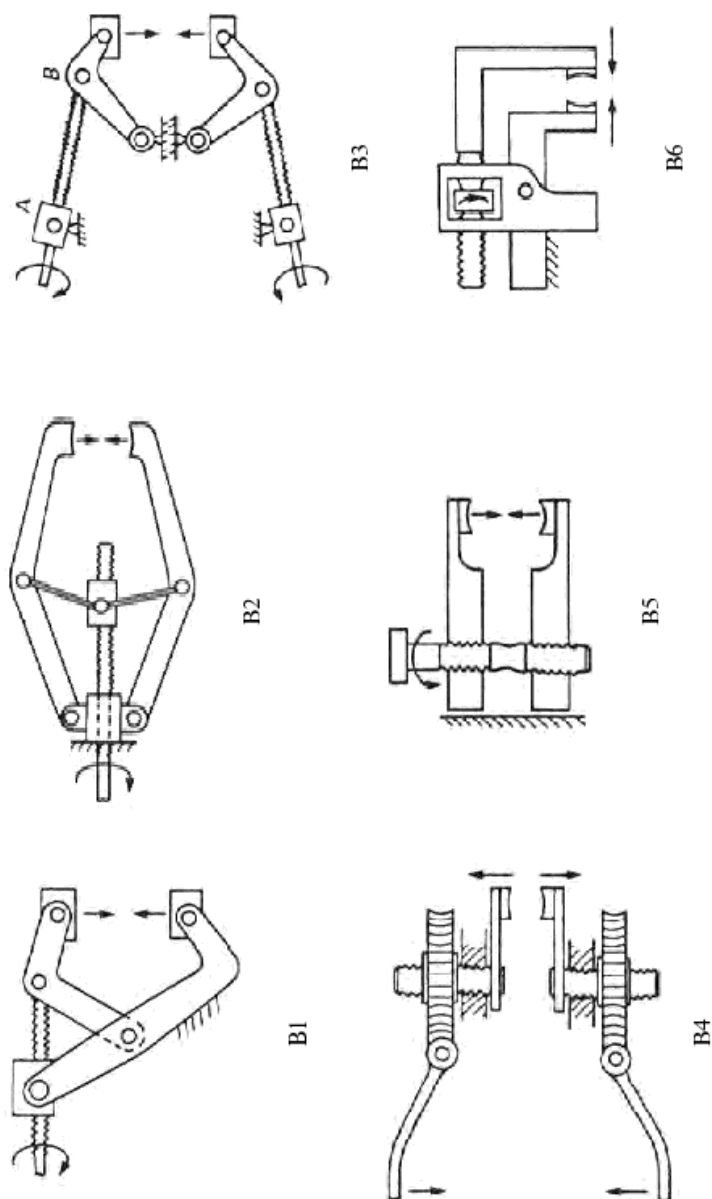


Рис. 3.14. Кинематические схемы (B1... B6) захватных устройств с винтовыми передачами

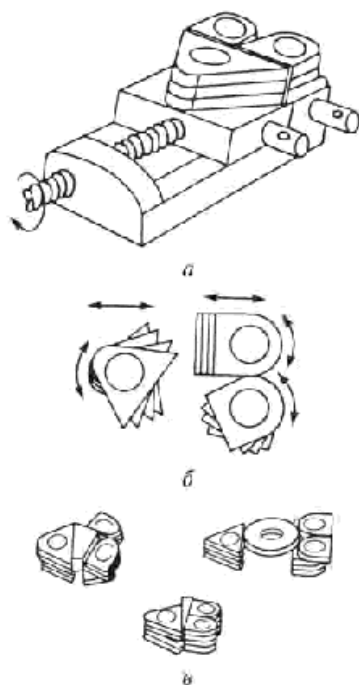


Рис. 3.15. Перенастраиваемое базированное захватное устройство с винтовой передачей, оснащенное пакетами пластин-губок, устанавливаемых по форме и размерам объекта манипулирования

дает возможность более тесно укладывать детали в ориентирующих магазинах, работать с деталями разных типоразмеров, облегчает сенсорное оснащение ЗУ и расширяет их функциональные возможности.

Недостатки механических клещевых ЗУ. Для некоторых легко деформируемых предметов, изменяющих свою форму и размеры под воздействием механических усилий, применение механических ЗУ ограничено. Также затруднено использование их для листовых заготовок. При захватывании таких заготовок за край для исключения недопустимого провисания используют клещевые ЗУ сложной конструкции. Дополнительные сложности создают погрешности расположения предметов производства относительно зажимных элементов (губок) захватного устройства, неточность выполнения транспортирующих (региональных) и ориентирующих (локальных) движений руки манипулятора.

К основным недостаткам механических захватных устройств можно отнести: наличие механических передач и связанная с этим слож-

ность конструкции, а также ограниченность применения для эластичных и легкодеформируемых объектов манипулирования и предметов с требованием неповреждаемости поверхности.

Таких недостатков лишены ЗУ, адаптирующиеся к форме поверхности объекта манипулирования, электромагнитные и вакуумные захватные устройства.

3.2. Захватные устройства для хрупких предметов и объектов произвольной формы

Высокая чувствительность к механическим воздействиям — один из характерных и часто встречающихся признаков многих изделий. Это может быть обусловлено изготовлением изделий из эластичных или хрупких материалов, таких как пластик, стекло, керамика, пресс-порошки; особенностями конструкций с малой толщиной стенок; наличием поверхностей, обработанных по высокому качеству точности; нанесением чувствительных тонкослойных покрытий и т.п. Для манипулирования хрупкими предметами и объектами произвольной формы применяют захватные устройства с повышенной технологической гибкостью (механические, пневматические и гидравлические ЗУ с эластичными камерами), адаптирующиеся к форме объекта манипулирования, адаптивные ЗУ, позволяющие регулировать усилие сжатия объекта, а также антропоморфные с многозвенными пальцами ЗУ.

Захватные устройства, адаптирующиеся к форме объекта манипулирования, выполняют в виде механических схватывающих конструкций и ЗУ с эластичными камерами.

Механические захватные устройства с повышенной технологической гибкостью, обеспечивающие удержание хрупких предметов и объектов различной формы, требуют специальных приемов проектирования.

Механическое мембранное штыревое центрирующее ЗУ для хрупких объектов исключает повреждения предметов производства, обладающих малой жесткостью. Захватывание симметричных (шаровых или цилиндрических) объектов (рис. 3.16) осуществляется утапливающимися штырями 1, концентрично установленными во втулках мембраны 3, при перемещении приводного штока 2, деформирующего мембрану. Такими штырями могут оснащаться одна, две и более обойм (губок) захватных устройств. Искривление мембраны влечет зажим штырями объекта производства (за счет сил трения).

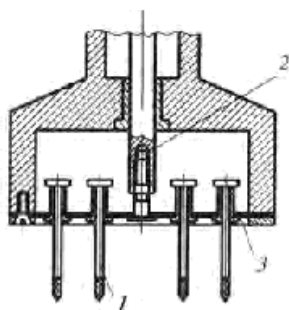


Рис. 3.16. Механическое ЗУ с мембраной и утапливаемыми штырями:
1 — штыри; 2 — шток; 3 — мембрана

Разновидностью описанной выше конструкции ЗУ может служить захват из двух или более пальцев с укрепленными на них подпружиненными штырями: при смыкании пальцев штыри удерживают объект манипулирования, располагаясь согласно его форме.

Механическое ЗУ с повышенной технологической гибкостью приведено на рис. 3.17. Два из трех его пальцев приводятся в движение синхронно одним двигателем [31]. Кроме того, два пальца соединены через шарнир со вторым двигателем, что позволяет менять их ориентацию при захватывании. Для захвата длинномерных предметов два пальца могут быть развернуты параллельно друг другу, занимая положение напротив третьего пальца. Для захвата небольших цилиндрических предметов два пальца разворачиваются так, чтобы закрытие всех пальцев осуществлялось по радиусам внутрь до соприкосновения в центре.

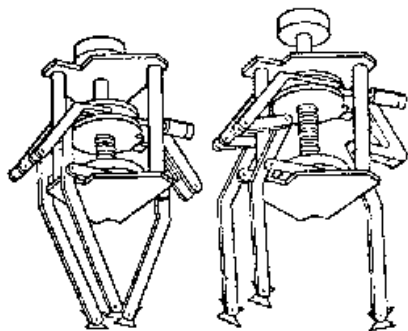


Рис. 3.17. Механическое ЗУ с повышенной технологической гибкостью

Механическое захватное устройство, адаптирующееся к форме объекта, представлено на рис. 3.18 [41]. Его пальцы легко обхватывают предмет, не оказывая на него большого давления. Оно используется для захватывания хрупких предметов или предметов неправильной формы. Захват составлен из множества последовательно соединенных звеньев и похож на часть велосипедной цепи. Между соединениями в звеньях имеются шкивы, к которым прикреплены тонкие тросики. Если за них потянуть, то цепь звеньев меняет свою кривизну и обхватывает предмет. При этом давление равномерно распределяется по всей линии соприкосновения. Это ЗУ относится к антропоморфным (см. далее).

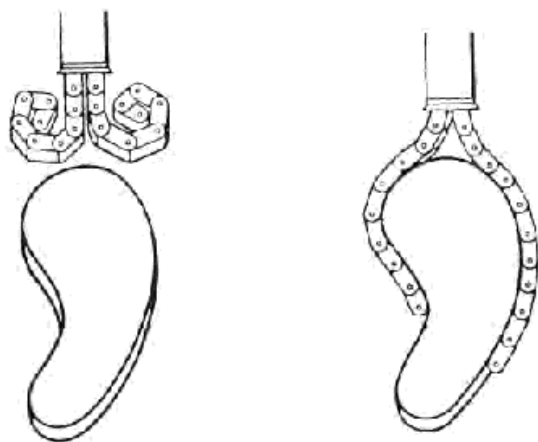


Рис. 3.18. Механическое захватное устройство, адаптирующееся к форме объекта

Захватные устройства с эластичными камерами применяют для манипулирования хрупкими объектами произвольной формы. ЗУ с эластичными камерами применяют для переноса хрупких изделий небольшой массы, имеющих неправильную форму или значительные отклонения формы и размеров. Действие ЗУ основано на деформации эластичной камеры под действием давления жидкости или газа. При захвате предмета камеры деформируются и обволакивают его. В результате поверхность контакта может быть очень большой, что обеспечивает прочное удержание предмета. При этом сила сжатия пропорциональна давлению жидкости или газа в камере и может регулироваться в зависимости от хрупкости предмета. Такие ЗУ одинаково хорошо пригодны для захвата предмета как снаружи, так и изнутри. Однако

точность их позиционирования невелика, а камеры быстро изнашиваются.

Гидравлические захватные устройства с изгибающимися и расширяющимися эластичными камерами, способные развивать значительные усилия удержания объектов, показаны на рис. 3.19. Давление рабочей жидкости $p_{\text{рх}}$ поддерживается в камерах поршневым насосом.

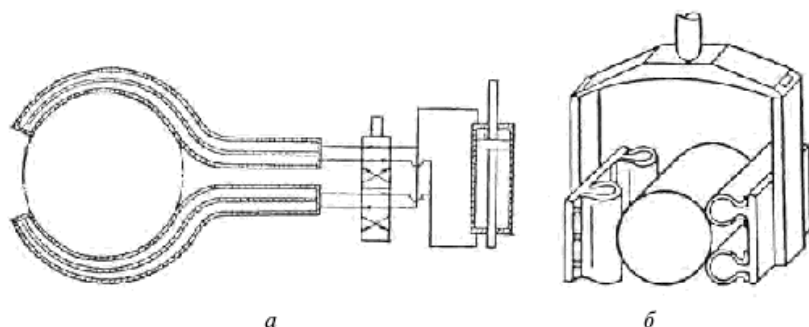


Рис. 3.19. Гидромеханические ЗУ с камерами:
а — изгибающимися; б — расширяющимися.

Пневматические захватные устройства с изгибающимися и расширяющимися эластичными камерами 1 показаны на рис. 3.20. Приводом в таких захватных устройствах выступает сжатый воздух, подаваемый под давлением $p_{\text{рх}}$ в эластичные камеры, что создает запирающие усилия, прикладываемые к захватываемому объекту 2.

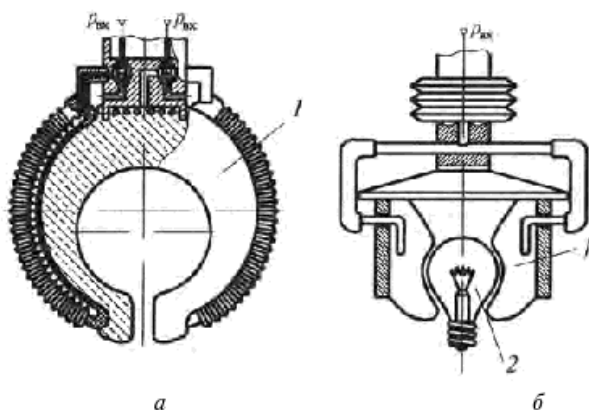


Рис. 3.20. Пневматические захватные устройства с эластичными камерами:
а — изгибающимися; б — расширяющимися;
1 — камера; 2 — предмет производства

Пневматические центрирующие ЗУ с расширяющимися эластичными камерами фирмы Simrit (Германия) показаны на рис. 3.21. Камеру 4 крепят к корпусу 1 через промежуточное кольцо 3 (или шайбу 6) гайкой 2 и винтом 5. Сжатый воздух подается в камеру через просверленные отверстия в корпусе 1. При подаче воздуха камера раздувается и удерживает деталь за внутреннюю (рис. 3.21, а) или наружную поверхность (рис. 3.21, б). В таблице 3.2 приведены основные размеры ЗУ фирмы Simrit (Германия). Технические характеристики ЗУ, соответствующие рис. 3.21, а, приведены в табл. 3.3, а соответствующие рис. 3.21, б — в табл. 3.4.

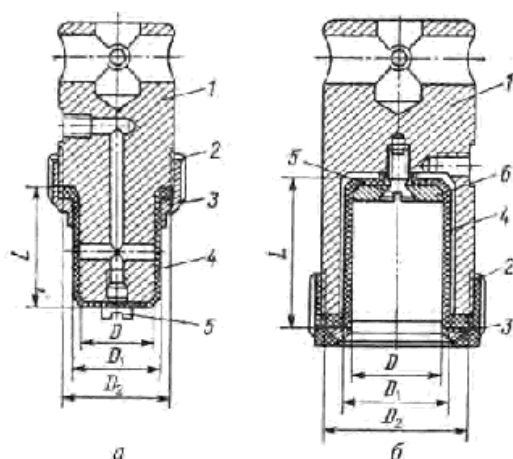


Рис. 3.21. Центрирующие ЗУ с расширяющимися эластичными камерами фирмы Simrit (Германия) для взятия объектов за поверхности:

а — внутреннюю; б — наружную; 1 — корпус; 2 — гайка;
3 — кольцо; 4 — камера; 5 — винт; 6 — шайба

Таблица 3.2

Основные размеры (мм) расширяющихся эластичных камер в захватных устройствах фирмы Simrit (Германия) (см. рис. 3.21, а, б)

Размер	Типоразмер ЗУ						
	003	005	007	008	009	010	011
D	12	21	35	44	55	51	60
D_1	15	24	39	49	62	57	68
D_2	20,5	34,5	51,5	64,5	70,0	75,0	82,0
L	62	62	62	62	62	72	72

Таблица 3.3

**Технические данные захватных устройств фирмы Simrit (Германия)
для удержания деталей за внутреннюю поверхность (см. рис. 3.21, а)**

Параметр	Типоразмер ЗУ						
	003	005	007	008	009	010	011
Рабочий диапазон изменения диаметров, мм	16...16,5	25...29	40...50	50...60	60...70	63...80	70...80
Удерживающая сила, Н, при захвате деталей:							
с $D_{\min}$	80	160	330	660	440	640	450
с $D_{\max}$	35	60	180	380	280	160	240

Таблица 3.4

**Технические данные захватных устройств фирмы Simrit (Германия)
для удержания деталей за наружную поверхность (рис. 3.21, б)**

Параметр	Типоразмер ЗУ						
	003	005	007	008	009	010	011
Рабочий диапазон изменения диаметров, мм	5...11	11...20	20...34	34...43	43...54	40...50	54...59
Удерживающая сила, Н, при захвате деталей:							
с $D_{\min}$	50	95	180	260	240	210	180
с $D_{\max}$	50	120	220	330	380	220	220

Базирующие ЗУ с изгибающимися эластичными камерами фирмы Simrit (Германия) для захватывания объектов за наружную поверхность показаны на рис. 3.22, а. На корпусе 4 закреплены базирующая призма 2 и пара эластичных камер 1, соединенных с пневмоприводом посредством патрубков 3. У профиля камер жесткость переменная, поэтому при подаче сжатого воздуха камеры изгибаются и прижимают захваченную деталь к базирующей призме. Переналаживают ЗУ на другой типоразмер изделия перестановкой камер в пазах корпуса 4. Высоту расположения призмы 2 регулируют резьбовым держателем 5.

При установке трех и более эластичных камер на общем корпусе можно получить различные базирующие ЗУ, позволяющие удерживать

объекты произвольной формы: шары, электролампы, корпуса телефонных аппаратов и т.п.

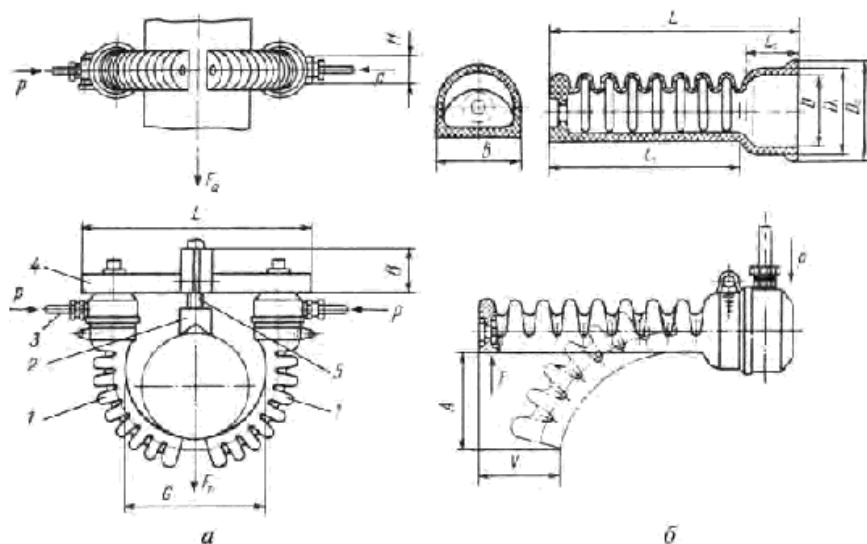


Рис. 3.22. Базирующие ЗУ с изгибающимися камерами фирмы Simrit (Германия) для взятия объектов за наружную поверхность:

a — схема захватывания предмета производства; *б* — конструкция эластичной камеры; 1 — камера; 2 — призма; 3 — патрубок; 4 — корпус; 5 — регулирующий держатель

В таблице 3.5 приведены основные размеры базирующих ЗУ с изгибающимися пальцами (по рис. 3.22, *a*).

Таблица 3.5

Основные размеры(мм) базирующих захватных устройств с изгибающимися эластичными камерами фирмы Simrit (Германия) (см. рис. 3.22, *a*)

Размер	Типоразмер ЗУ			
	001	003	004	005
<i>L</i>	90	165	165	220
<i>B</i>	26	24	24	40
<i>H</i>	15	24	24	25
<i>G</i>	65	115	106	165

Конструкция эластичных изгибающихся камер и их размеры приведены на рис. 3.22, *б* и в табл. 3.6.

Таблица 3.6

**Основные размеры изгибающихся эластичных камер
фирмы Simrit (ФРГ) (см. рис. 3.22, б)**

Размер	Типоразмер ЗУ			
	001	003	004	005
L	36	65	92	130
B	10	20	28	40
D	9	18	25	36
D_1	13	22	31	44
D_2	15	25	36	51
L_1	24	49	69	97
L_2	10	13	19	26

Адаптивные хватные устройства. В ряде случаев промышленные роботы требуется оснащать датчиками внешней информации: о наличии объекта манипулирования, его форме, размерах, массе, состоянии поверхности, усилия его удержания, степени возможного проскальзывания и т.п. Часто наилучшим местом установки датчиков является ЗУ. Желательно также (особенно при сборочных операциях), чтобы хватное устройство автоматически приспособлялось (адаптировалось — см. рис. 3.18...3.20) к форме объекта манипулирования.

Захватные устройства, оснащенные датчиками внешней информации. При определенных манипуляциях с объектом используют как контактные, так и неконтактные (дистантные) датчики, в том числе локационные системы и системы технического зрения (СТЗ). В случаях непосредственного взаимодействия с объектом бывает необходимо измерять усилия и моменты, возникающие между ним и рабочим органом. При таком взаимодействии нужно регистрировать усилие захватывания, положение пальцев и ориентацию объекта в ЗУ, а также реагировать (изменением усилия сжатия пальцев) на проскальзывание объекта в захвате.

Тактильные датчики для обеспечения захвата и удержания детали. Программный робот PUMA обычно оснащают системой технического зрения для ориентирования в пространстве, поиска и определения положения объекта и наведения хватного устройства на цель. Локальные движения хватного устройства (ЗУ) при захватывании и удержании детали обеспечивают тактильные датчики. Варианты размещения тактильных датчиков на ЗУ робота PUMA для обеспечения захватывания детали (а) и ее удержания (б) показаны на рис. 3.23. После наведения на цель торцы губок ЗУ касаются поверхности детали. Если деталь смещена относительно губок ЗУ, то, коснувшись ее, срабатывают датчики

на торце одной из губок захватного устройства (см. рис. 3.23, а). Это будет сигналом в систему управления — сдвинуть ЗУ в сторону, чтобы взять деталь. Величина поперечного сдвига ЗУ или разжима губок (если сработали датчики на торцах обеих губок) может определяться количеством срабатывающих контактов. Установка тактильных датчиков на внутренней стороне губок (см. рис. 3.23, б) определит проскальзывание детали в губках ЗУ. Такие же датчики устанавливают и на внешней стороне губок при необходимости фиксации контакта ЗУ с внешними препятствиями. Алгоритмы управления при этом могут быть достаточно простыми и заключаться в суммировании и сравнении сигналов с датчиков внешней и внутренней информации и формировании корректирующих воздействий на управляющую программу.

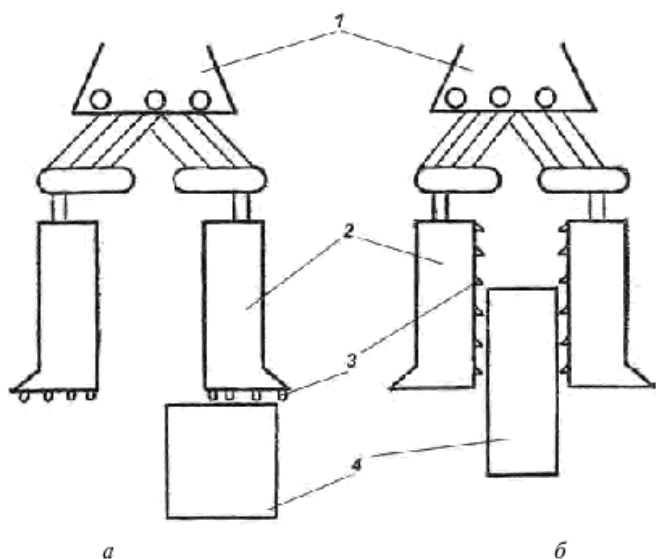


Рис. 3.23. Варианты размещения тактильных датчиков на ЗУ робота PUMA для обеспечения захватывания детали (а) и ее удержания (б):

1 — захватное устройство робота; 2 — губки захватного устройства; 3 — тактильные датчики; 4 — деталь

Пример информационного оснащения рабочей зоны и манипулятора робота PUMA для обеспечения выполнения сборочных операций [41] показан на рис. 3.24. На монтажном столе 9 установлено сборочное приспособление 7, в котором зафиксирована деталь 8, подлежащая сборке с деталью 5, удерживаемой захватным устройством 3, закрепленным в головке 1 манипулятора 15. Захватное устройство может поворачиваться

вокруг взаимно-перпендикулярных осей Y и Z на угол $\pm 90^\circ$. Величины углов и скоростей поворотов вокруг этих осей контролируют датчики 13. Деталь 5 удерживает губки захватного устройства, на внутренней стороне которых смонтированы тактильные датчики 11, фиксирующие проскальзывание и форму удерживаемого объекта, а на внешней стороне — датчики 10, реагирующие на воздействие внешних сил и моментов сил на захватное устройство. Усилие, с которым губки удерживают объект, контролируют силовые сенсоры 4. Сцену рабочей зоны передает в СПУ робота телекамера 2, входящая в систему технического зрения робота (СТЗ). Обнаружение объектов манипулирования (детали 5 и 8), оценку расстояния до них, формирование команд для наведения на объект манипулятора и захватного устройства (перемещение по координатам X, Y, Z) обеспечивает дальномер 12. Команды на локальные перемещения в рабочей зоне формирует СТЗ и контролирует тактильный датчик-щуп 6. На манипуляторе установлен звуковой датчик аварийной остановки 16 (микрофон), ориентированный на выполнение речевой команды «Стоп». Предохранительный сенсор 14, выполненный в виде специальной ленты длиной 152 мм, обернутой вокруг головки манипулятора, останавливает последний при наличии препятствия.

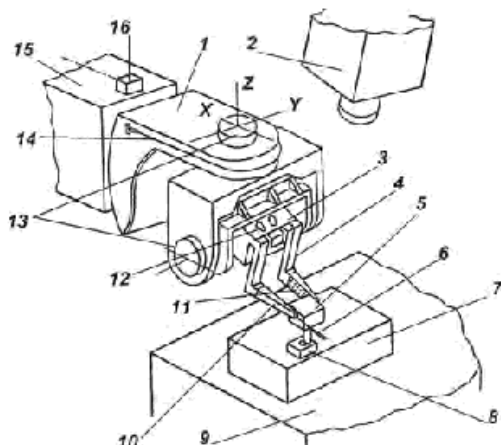


Рис. 3.24. Пример информационного оснащения рабочей зоны и манипулятора сборочного робота:

1 — головка; 2 — телекамера; 3 — захватное устройство; 4 — датчик усилия захвата объекта; 5, 8 — собираемые детали; 6 — тактильный датчик-щуп; 7 — сборочное приспособление; 9 — монтажный стол; 10 — датчик внешних сил и моментов; 11 — тактильный датчик проскальзывания и формы объекта; 12 — дальномер; 13 — датчики угловой скорости вращения захватного устройства вокруг осей Y и Z ; 14 — предохранительный датчик, фиксирующий препятствия; 15 — манипулятор; 16 — звуковой датчик аварийной остановки

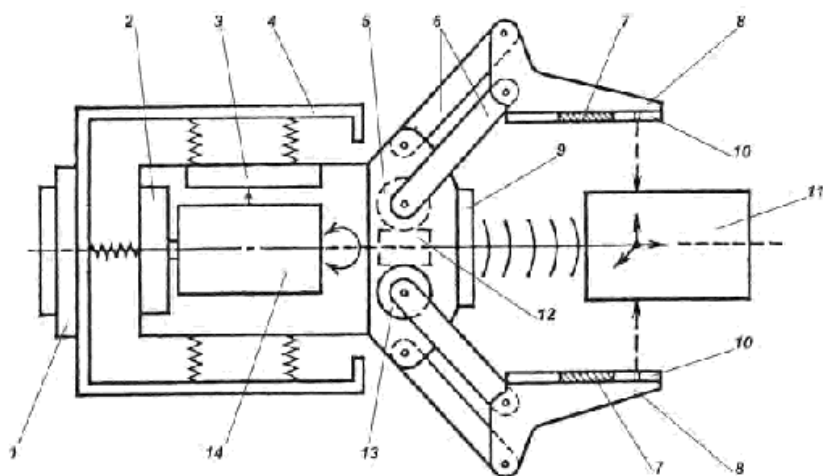


Рис. 3.25. Расположение датчиков на захватном устройстве робота PUMA-600 :
 1 — соединение с кистью робота PUMA-600; 2 — датчик угловых перемещений;
 3 — датчик усилий захватывания объекта; 4 — датчик силомоментный;
 5 — зубчатое колесо; 6 — рычаги шарнирного параллелограмма;
 7 — пьезокристаллический датчик проскальзывания (микрофон); 8 — пальцы захватного устройства; 9 — ультразвуковой датчик; 10 — инфракрасный датчик;
 11 — объект манипулирования; 12 — зубчатая рейка; 13 — потенциометр для измерения положения губок ЗУ; 14 — электродвигатель

Очувствленное захватное устройство робота PUMA-600 [31] приведено на рис. 3.25. Его используют на операциях сборки различных изделий. Два параллельно расположенных пальца 8 через рейку 12, зубчатые колеса 5 и систему рычажных параллелограммов 6 приводятся в движение двигателем постоянного тока 14. Пальцы сменные. ЗУ может удерживать объекты 11 с определенным усилием. Траектория движения концов пальцев криволинейна (по радиусу). Это означает, что точка соприкосновения губок с деталью меняет свое положение в зависимости от требуемого раствора (угла раскрытия ЗУ). Поэтому при захватывании объектов разного размера каждый раз необходимо вычислять положение пальцев ЗУ. Максимальный раствор составляет 8 см, а эффективная максимальная сила захватывания равна 30 Н. Управление ЗУ осуществляет микроЭВМ, взаимодействующая с центральной системой управления ПР, которой она передает информацию о положении и скорости перемещения пальцев, значениях усилия захватывания, сенсорные данные, а также коды состояния. В номенклатуру операций ЗУ входят:

- перемещение пальцев с заданной скоростью в заданное положение с приложением заданного усилия;
- захватывание объекта манипулирования с ограничением усилий и моментов;
- установка пальцев на заданном расстоянии от объекта (например, позиционирование ЗУ концентрично с объектом манипулирования с помощью датчиков касания);
- подключение и отключение подсистемы очувствления (тактильных и дистантных датчиков);
- передача сенсорных данных в СПУ ПР (система моделирования среды).

Для выполнения первых трех групп операций необходима замкнутая система управления положением, скоростью и усилием захватывания. Положение ЗУ и развиваемые усилия задаются программно, а скорость — аппаратно. В подсистему очувствления ЗУ входят контактные и дистантные датчики внешней информации и датчики внутренней информации, регистрирующие величины перемещений ЗУ:

- контактные:
 - касания и проскальзывания 7 на пальцах ЗУ;
- дистантные:
 - дальномерный (ультразвуковой датчик) 9;
 - присутствия объекта между пальцами (инфракрасный датчик) 10.
- датчики внутренней информации:
 - силомоментные 3 и 4 в запястье (шарнирном сочленении ЗУ с рукой) и в пальцах ЗУ;
 - датчик угловых перемещений 2;
 - потенциометр 13.

Датчик 7 предназначен для определения момента касания объекта пальцами ЗУ и обнаружения проскальзывания объекта после его захватывания. В его конструкции использованы пьезокристаллические элементы, работающие в режиме микрофонов. Для устранения шумов внешней среды и двигателей ПР кристаллы изолированы резиновой прокладкой. При механическом воздействии (сжатии) датчик генерирует достаточно различимые сигналы, обеспечивая определение момента касания с объектом, позиционирование ЗУ по центру объекта, определение момента проскальзывания и регистрацию столкновений с внешними препятствиями. Количественные измерения вектора касания (расположение точек касания), площади касания или вектора проскальзывания обеспечиваются за счет использования нескольких

пьезоэлементов, расположенных в виде решеток. Для тех же целей можно использовать и другие материалы (например, «искусственную кожу») или пневмоструйные датчики и контактные датчики других конструкций.

Датчик 2 регистрирует угловые приращения при вращении ЗУ вокруг продольной оси. Для измерения раствора пальцев используется измерительный потенциометр 13.

Работу остальных датчиков, обеспечивающих очувствление ЗУ робота PUMA-600, иллюстрируют схемы и пояснения табл. 3.7.

Экспериментальное адаптивное ЗУ для интеллектуального робота МН-1 («Рука Эрнста») показано на рис. 3.26. На наружных сторонах каждой из двух его губок установлено по три тактильных датчика 3, построенных на основе микропереключателей. С их помощью фиксируется соприкосновение ЗУ с объектом. На внутренней поверхности губок, на их концах и на рычаге 1 между губками установлено 17 потенциометрических датчиков давления 2, 4 и 6. Два фотодиода 5 обеспечивают локацию объекта и наведение ЗУ на него. ЗУ использовалось в экспериментах по поиску, опознаванию и сборке объектов.

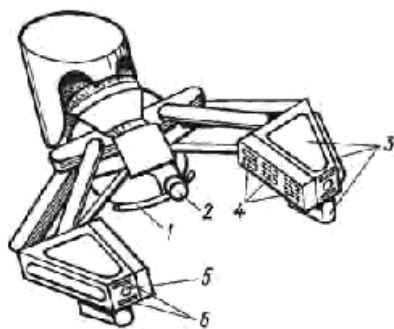


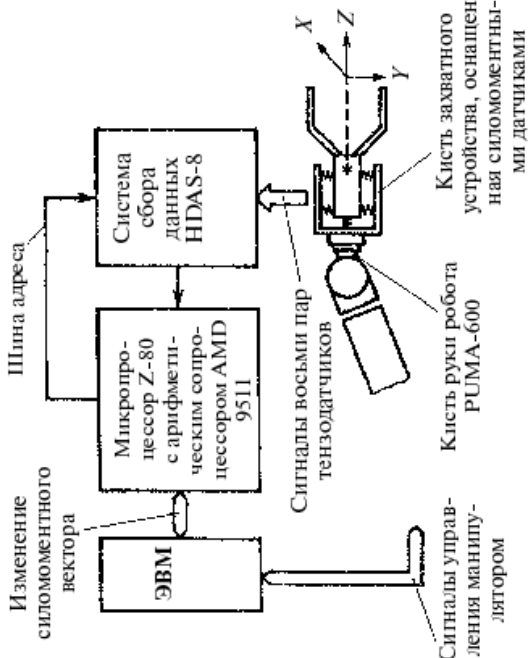
Рис. 3.26. Экспериментальное адаптивное ЗУ для интеллектуального робота МН-1 («Рука Эрнста»);

1 — рычаг; 2, 4, 6 — потенциометрические датчики давления;
3 — тактильные датчики; 5 — фотодиоды

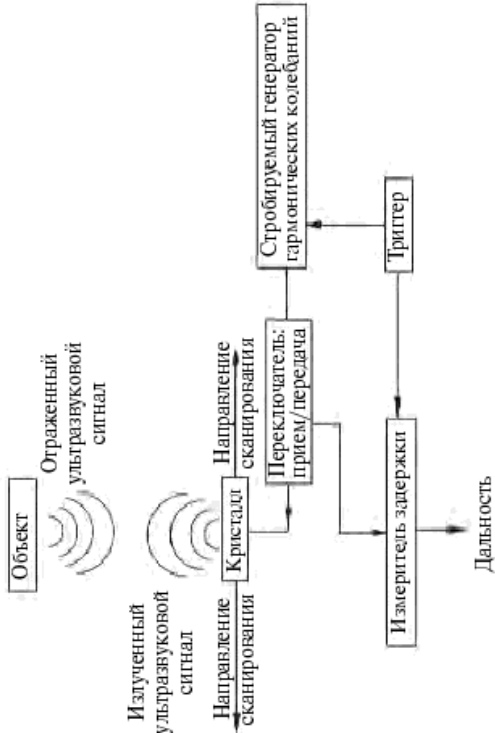
Экспериментальное ЗУ для адаптивного автоматического манипулятора «Адам-02» [10...12] показано на рис. 3.27. В нем предусмотрен специальный шток 1, несущий силовой датчик 2, соединенный с шупом 3. В торцах зажимных губок 4 помещены фотодальномеры 5. ЗУ обеспечивает захватывание неориентированно расположенных деталей типа плоских дисков. Сначала при раскрытых губках и выдвинутом шупе 3 проводится сканирование поля расположения деталей.

Таблица 3.7

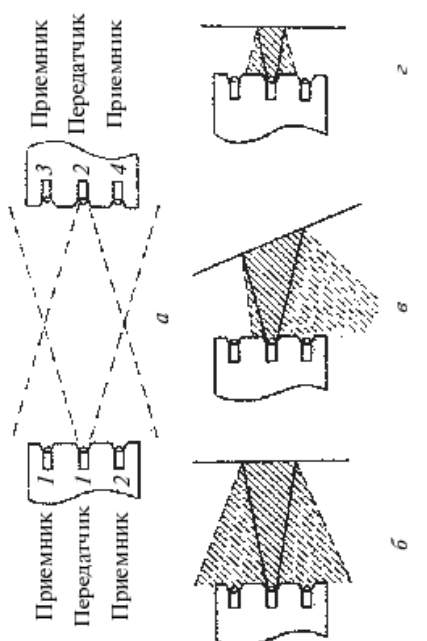
Датчики внутренней и внешней информации адаптивного ЗУ робота PUMA-600

Схема устройства оучувствления	Описание работы
<i>Структура силомоментного оучувствления кисти</i>  Изменение силомоментного вектора Шина адреса ЭВМ Микропроцессор Z-80 с арифметическим сопроцессором AMD 9511 Система сбора данных HDAS-8 Сигналы восьми пар тензодатчиков Сигналы управления манипулятором Кисть руки робота PUMA-600 Кисть захватного устройства, оснащенная силомоментными датчиками	Устройство оснащено восемью парами тензодатчиков и позволяет определить все 6 составляющих силомоментного вектора, приведенных к запястью (три ортогональных составляющих усилия и три момента). Усилия и моменты измеряются косвенным путем по деформациям восьми пружин, прикрепленных к восьми парам тензодатчиков. Чтобы разложить измеренные значения по ортогональным осям локальной системы координат, связанной с ЗУ, микропроцессор Z-80 выполняет умножение на соответствующие матрицы и передает сведения в центральную ЭВМ, управляющую роботом. Силомоментный датчик позволяет измерять усилия до 50 Н, моменты до 4,2 Н·м с погрешностью менее 5% (вызванной взаимодействием преобразователей). Рабочая частота отсчета данных составляет 100 с⁻¹ (100 Гц)

Продолжение

Схема устройства очувствления	Описание работы
Схема ультразвуковой дальнометрии  <pre> graph TD Object[Объект] -- "Отраженный ультразвуковой сигнал" --> Echo[Эхо-сигнал] Transmit[Излученный ультразвуковой сигнал] -- "Направление сканирования" --> Crystal[Кристалл] Crystal -- "Направление сканирования" --> Switch[Переклюатель: прием/передача] Switch --> Trigger[Триггер] Switch --> Timer[Измеритель задержки] Timer --> Distance[Дальность] Strobe[Стробированный генератор гармонических колебаний] --> Switch Trigger --> Strobe </pre>	С помощью ультразвукового датчика можно определять расстояние до объектов манипулирования с различной отражающей способностью поверхности. Этот преобразователь работает как передатчик и как приемник. Измерения производятся путем передачи на ультразвуковых частотах (50...200 кГц) импульсных последовательностей. Измеритель задержки измеряет временной интервал между подачей и приемом импульса, по величине которого вычисляется расстояние до объекта. Разрешающая способность до 1 мм. Угол излучения ультразвука ограничивается конусом, выполненным из пенистой резины и обычно равен 1,5°. Это позволяет выполнять сканирование объектов и распознавать размеры и форму их поверхности. Минимальное расстояние зависит от конструкции датчика (времени переключения приема-передачи импульсов)

Продолжение

Схема устройства очувствления	Описание работы
<i>Распознавание присутствия объекта, находящегося между пальцами ЗУ</i>  <i>а — расположение инфракрасных передатчиков (1, 2) и приемников (3...4) в пальцах ЗУ; б, в — отражение сигналов параллельной и непераллельной поверхностями; г — расположение преобразователей при определении приближения объекта</i>	Для фиксации наличия объекта между пальцами ЗУ используются два инфракрасных передатчика, генерирующих модулированные сигналы. Рядом с каждым передатчиком установлено по два приемника. При помешении объекта между пальцами световой поток прерывается и отражается. Если отраженный световой поток попадает в оба приемника, размещенные рядом с данным передатчиком, то поверхность объекта расположена параллельно пальцам ЗУ. Если свет попадает только в один приемник, то можно определить угол, на который следует повернуть ЗУ, чтобы поверхность объекта оказалась параллельной пальцам. Чем ближе к пальцам расположена поверхность приемника, тем интенсивнее сигнал, позволяющий определить расстояние до объекта. Изменяя расположение приемников и угол излучения передатчика, можно регулировать чувствительность датчика и его рабочий диапазон по удалению от объекта. Применяя большее число приемников для одного передатчика, можно улучшить характеристики датчика, поскольку параметры приемников не зависят от интенсивности отраженного сигнала

При соприкосновении шупа 3 с деталью с помощью датчика 2 определяется ее положение путем нахождения направления нормали к цилиндрической поверхности объекта. Затем ЗУ выводится на центр диска и поворачивается вокруг продольной оси руки ПР, при этом фотодальномеры находят свободные участки наружной поверхности детали, которые могут быть использованы для ее захватывания.

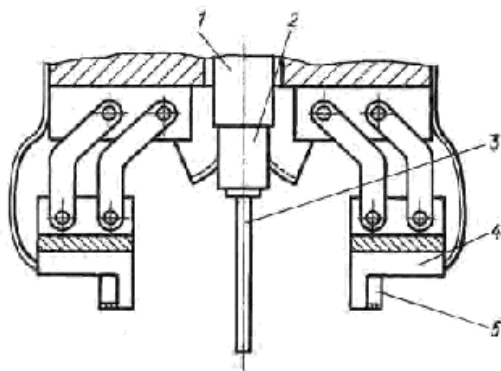


Рис. 3.27. Экспериментальное ЗУ для адаптивного автоматического манипулятора «Адам-02»:

1 — шток; 2 — силовой датчик; 3 — шуп; 4 — зажимные губки; 5 — фотодальномеры

Антропоморфные захватные устройства (универсальные захваты) копируют действия человеческой руки. Эти ЗУ адаптируются к форме объекта манипулирования (см. также рис. 3.18...3.20). Универсальность и адаптивность (к форме объекта) ЗУ повышаются за счет увеличения количества пальцев и числа степеней их подвижности.

ЗУ, построенное по схеме трехкулачкового патрона (рис. 3.28), состоит из корпуса 8, на котором установлен электродвигатель, направляющие стержни 5 и привод особой структуры, обеспечивающий концентрическое сближение зажимных губок 1, установленных на концах трех пальцев 2, 3 и 4. Поверхности пальцев и захваченного предмета соприкасаются в трех точках, что повышает надежность захватывания и обеспечивает постоянное положение центра захваченного предмета сферической формы относительно захвата вне зависимости от его радиуса. Движение пальцев осуществляется ходовыми винтами 6, вращающимися электродвигателем через конические зубчатые передачи 7. Вращение винтов по часовой стрелке или против преобразуется в поступательное движение пальцев и вызывает раскрытие или закрытие захвата.

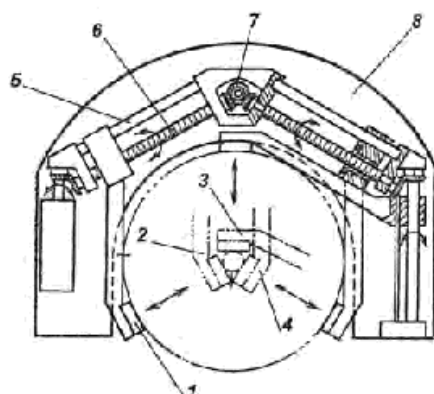


Рис. 3.28. Антропоморфное захватное устройство с тремя пальцами, построенное по схеме трехкулачкового патрона:

1 — губка; 2, 3, 4 — пальцы ЗУ; 5 — направляющий стержень;
6 — винт; 7 — коническая передача; 8 — корпус ЗУ

Антропоморфное ЗУ с тремя многозвенными пальцами показано на рис. 3.29 [44]. Захват состоит из трех пальцев. Большой палец противопоставит двум другим — указательному и среднему. Фаланги пальцев трубчатые. Для передачи движения используются тросовые трансмиссии с электродвигателями постоянного тока. Большой палец состоит из двух звеньев, два остальных — из трех. Каждое звено изготовлено из медного стержня диаметром 17 мм. Движения передаются через пропущенные внутри пальцев тросики, что делает конструкцию компактной. В каждом звене имеется блок, на который встречно навиты два тросика, причем их концы закреплены на блоке. Тросики заключены в спиральную оболочку, что предотвращает их зацепление при движении пальцев. Спиральная оболочка предохраняет тросик и позволяет уменьшить количество блоков в трансмиссии. Фалангигибаются на $\pm 45^\circ$ в каждом шарнире, поэтому рабочая зона ЗУ больше, чем у человеческой руки при той же длине пальцев. Одиннадцать степеней подвижности трехпалой кисти обеспечиваются благодаря двигателям постоянного тока, которые объединены в общий блок и вынесены за пределы ЗУ. Длина троса, связывающего шарнир пальца с приводом, около 1700 мм. Масса ЗУ 240 г, грузоподъемность 0,5 кг. Согласованное управление всеми приводами ЗУ — сложная задача, которую решают путем приспособливания части приводов к работе остальных: движение ряда приводов программируется, а остальные управляются по усилиям. При этом активные и пассивные (по усилиям) режимы чередуются в зависимости от выполняемых операций.

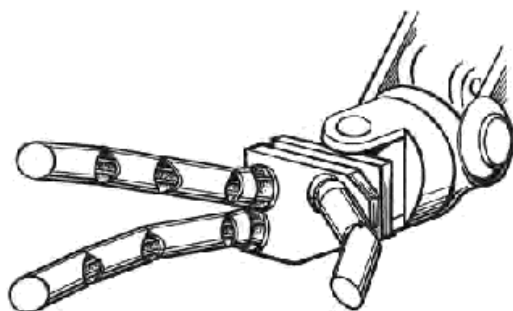


Рис. 3.29. Антропоморфное ЗУ с тремя многозвенными пальцами

Антропоморфный многофункциональный захват с тремя симметрично расположенными трехзвенными пальцами показан на рис. 3.30 [31]. Все три пальца одинаковой длины, могут изгибаться в противоположные стороны и поворачиваться вокруг вертикальной оси, благодаря чему захват может принимать одну из четырех возможных форм и исполнять роль грейферного (*а*), обхватывающего (*б*), распорного (*в*) и шипкового (*г*) ЗУ. Пальцы пластинчатой формы. Каждый палец приводится в движение своим электродвигателем, а сгибание пальцев осуществляется четырехзвенными механизмами.

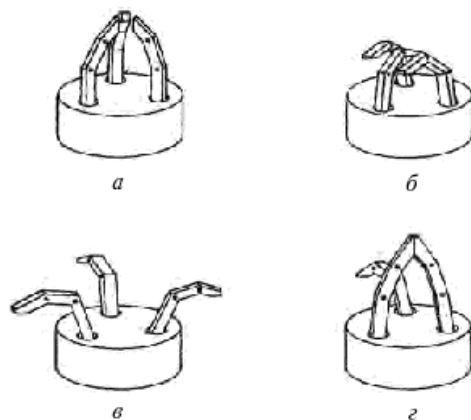
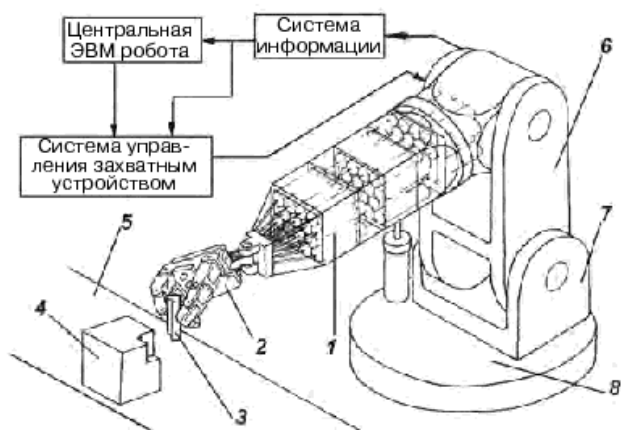


Рис. 3.30. Антропоморфный многофункциональный захват с тремя симметрично расположенными трехзвенными пальцами одинаковой длины, который может принимать одну из четырех возможных форм и исполнять роль ЗУ: *а* — грейферного, *б* — обхватывающего, *в* — распорного, *г* — шипкового

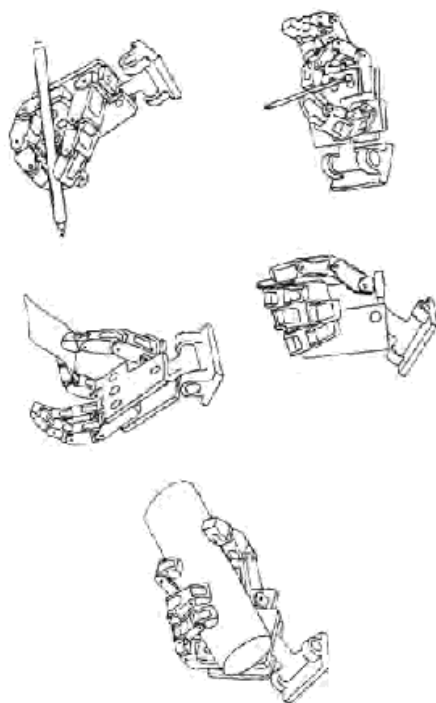
Робот PUMA-600, оснащенный четырехпальцевым антропоморфным хватным устройством (University of Utah, USA), представлен на рис. 3.31 [44]. Каждый палец состоит из трех звеньев (фаланг). Число степеней подвижности (включая ротацию ЗУ вокруг оси руки робота) равно 16. Управление ЗУ осуществляет микроЭВМ, взаимодействующая с центральной системой управления ПР, которой она передает информацию о положении пальцев, усилие зажима и т.п. Кисть оснащена развитой системой внешней информации. Взаимосвязь между микроЭВМ, центральной системой управления ПР и системой внешней информации показана на рис. 3.31, *а*. Варианты позиций, принимаемых пальцами ЗУ, приведены на рис. 3.31, *б*. На внутренней стороне звеньев пальцев установлены тактильные датчики усилия зажима, контролирующие наличие объекта, усилие его сжатия и наличие проскальзывания. Информационная трасса к датчикам закреплена в жгутах сбоку фаланг (рис. 3.31, *в*). Трубочатые пальцы приводятся в движение тросовой трансмиссией от двигателей постоянного тока. Тросики соединены оболочкой в жгуты и закреплены внутри звеньев. Они проходят через шкивы, закрепленные на осях звеньев (поз. 1, 2, 3 на рис. 3.31, *г*). Сгибание пальцев и отдельные движения их звеньев происходят за счет натяжения соответствующих групп тросиков. Схема воздействия на отдельные звенья пальцев приведена на рис. 3.31, *д*).

Антропоморфные захваты-протезы копируют пропорции и размеры человеческой кисти. Их выпускают с пятью пальцами. Для управления протезом инвалид должен выработать управляющее воздействие. Число степеней подвижности протеза зависит от числа управляющих сигналов. Обычно захват протеза имеет одну степень подвижности. Все пальцы протеза связаны с электродвигателем через передаточные механизмы. Большой палец расположен напротив остальных четырех и равноудален от указательного и среднего пальца.

Антропоморфный протез кисти изображен на рис. 3.32 [31]. В конструкции всех пальцев используются перекрестные четырехзвенные механизмы, обеспечивающие их сгибание. В состав одного звена каждого из пяти четырехзвенных механизмов входит кривошип 5. Кривошипы соединены подпружиненной пластиной 1, которая может перемещаться поступательно с помощью электродвигателя 2 и ходового винта 4. При вращении привода по или против часовой стрелки пластина 1 перемещается соответственно вперед или назад, что вызывает сгибание пальцев (через четырехзвенные механизмы) и захватывание или разгибание. Процесс разгибания пальцев облег-



a



б

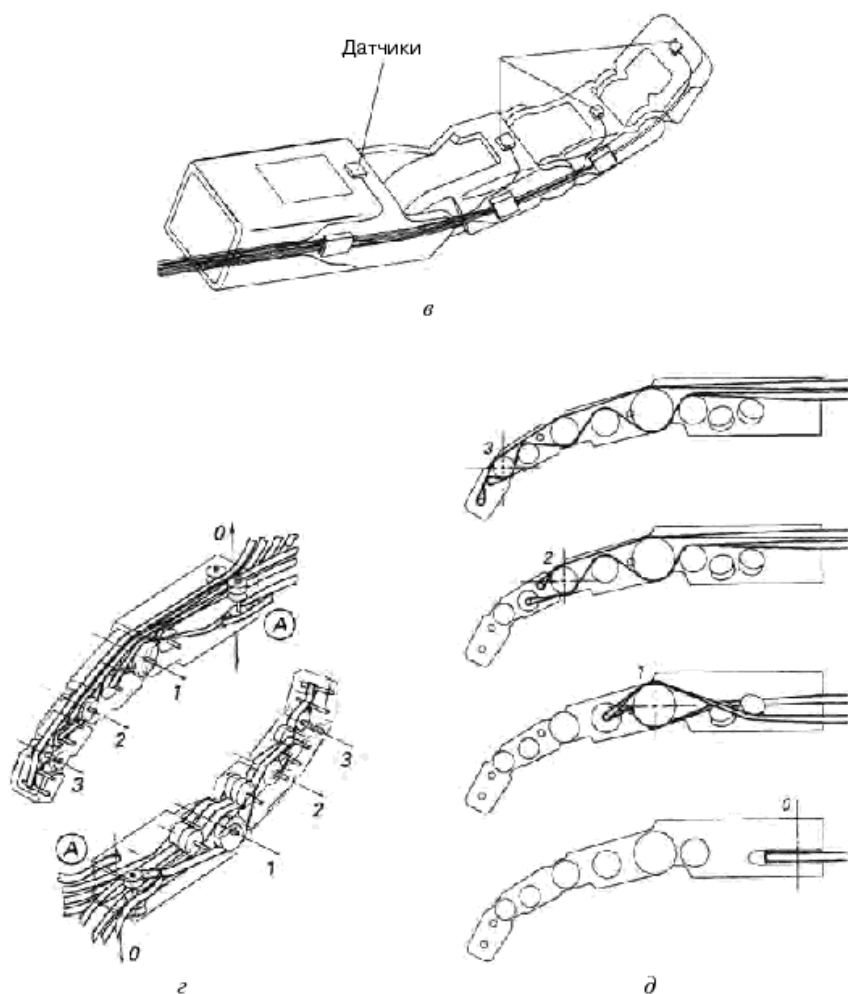


Рис. 3.31. Робот PUMA-600, оснащенный четырехпальцевым антропоморфным хватным устройством:

а — структура робота и взаимосвязь между микроЭВМ управления ЗУ, центральной системой управления ПР и системой внешней информации;

1 — конечное звено руки; *2* — хватное устройство; *3* — вторичная (присоединяемая) деталь; *4* — первичная (базовая) деталь; *5* — лента конвейера; *б* — промежуточное звено руки; *7* — стойка; *8* — поворотное основание;

б — варианты позиций, принимаемых пальцами ЗУ (конфигурация ЗУ);

в — размещение датчиков на пальце ЗУ; *г* — расположение шкивов и натяжных тросиков внутри пальцев ЗУ; *д* — схема действия привода пальцев ЗУ

чается сжатием пружины 3, которая растягивается при их сгибании. Расположение пальцев должно быть точно рассчитано, чтобы объект надежно удерживался в захвате и соблюдался баланс сил, действующих в точках касания. Сгибаясь, концы пальцев встречаются в одной точке.

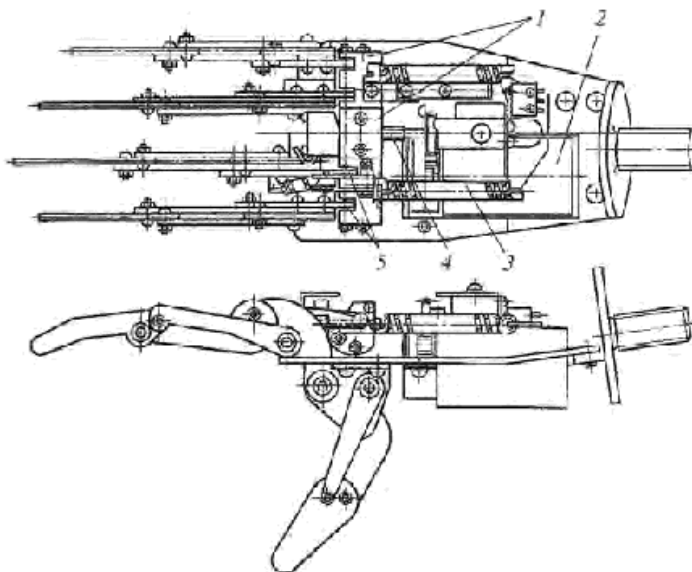


Рис. 3.32. Антропоморфный протез кисти:

1 — пластина; 2 — электродвигатель постоянного тока;
3 — пружина; 4 — ходовой винт; 5 — кривошип

Захват-протез, адаптирующийся к форме захватываемых объектов. Если пальцы жестко связаны с приводами, то их движение строго определяется движением привода. При этом захват не может адаптироваться к изменению формы захватываемых объектов. Для обеспечения адаптации к форме захватываемого объекта пальцы соединяются с приводом через упругие элементы. На рисунке 3.33 изображена схема такого захвата [31]. Его пальцы объединены в пары: указательный со средним и безымянный с мизинцем. Пары шарнирно связаны с рычагом 1. Кроме того, рычаг 3 связывает рычаг 1 и рычаг 2 и шарнирно соединен с ними в точках *A* и *B*. Рычаг 2 может вращаться вокруг оси *D* и удерживаться пружиной *S*. При перемещении рычага 2 тросиком, присоединенным к нему в точке *C*, пальцы начинают сдвигаться. Как только указательный и средний палец касаются объекта, их движение

прекращается, а другая пара пальцев продолжает двигаться до касания поверхности объекта, так как рычаг *1* может вращаться относительно оси *A*. При такой конструкции протеза пальцы лучше обхватывают поверхность объекта.

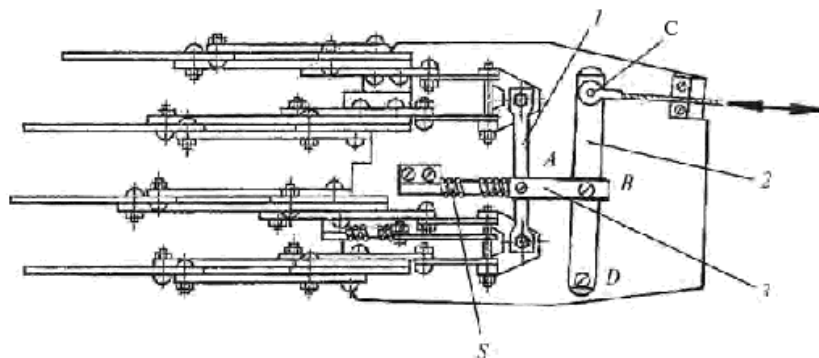


Рис. 3.33. Захват-протез, адаптирующий к форме захватываемых объектов: *1, 2, 3* — рычаги; *S* — пружина; *A, B* — шарнирные соединения; *C* — подсоединение тягового тросика; *D* — ось

3.3. Притягивающие захватные устройства

Притягивающие захватные устройства в отличие от зажимных, как правило, не содержат механических передач и подвижных элементов. Наиболее распространенными в этой группе являются *магнитные и вакуумные ЗУ*.

Сравнительные характеристики вакуумных и электромагнитных ЗУ приведены в табл. 3.8 [10].

Таблица 3.8

Сравнительные характеристики электромагнитных и вакуумных ЗУ

Электромагнитные ЗУ	Вакуумные ЗУ
Пригодны только для намагничивающихся материалов	Пригодны только для плоских и ровных поверхностей для всех материалов
Возможна большая сила притяжения на единицу поверхности	Обеспечивают ограниченную силу притяжения для данной площади
Высокая точность базирования благодаря жесткости сердечника	Пониженная точность базирования из-за эластичности присосок

Окончание

Электромагнитные ЗУ	Вакуумные ЗУ
Сопутствует остаточный магнетизм, вызывающий опасность загрязнения и повреждения поверхностей детали и захватного устройства	Необходимо отсутствие частиц между присосками и поверхностью детали
Быстрота захватывания детали	Требуется некоторое время для создания необходимого вакуума
Простота конструкции: катушки и сердечники могут быть легко изготовлены потребителем	Конструкция более сложная: необходима герметичность соединений, требуются присоски и трубопроводы
Катушки нагреваются, но конструкция долговечна	Срок работы конструкции ограничен

Магнитные захватные устройства захватывают и удерживают объекты под действием магнитной силы, создаваемой либо постоянными (рис. 3.34, *а*), либо электрическими магнитами (рис. 3.34, *б*). Как следует из самого названия, они пригодны исключительно для захватывания предметов, сделанных из магнитных материалов. В некоторых случаях, особенно при установке двигателей на металлорежущих станках, приходится учитывать остаточное намагничивание.

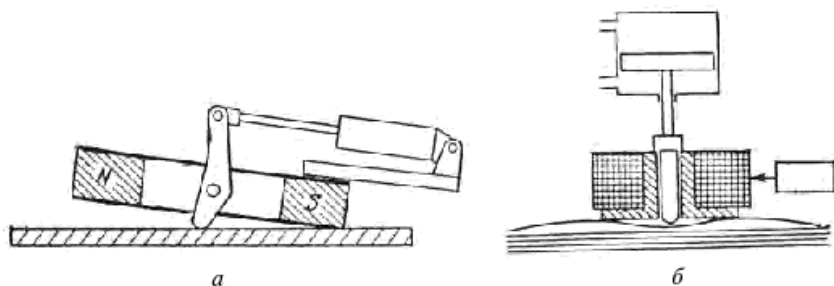


Рис. 3.34. Схемы магнитных ЗУ:

а — ЗУ с постоянным магнитом и устройством для механического разъединения деталей; *б* — ЗУ с электромагнитом и силовым цилиндром для обеспечения захвата одного листа из пакета тонких железных листов

ЗУ с постоянными магнитами надежны и не расходуют энергии, однако требуют введения специального механизма для разъединения деталей (см. рис. 3.34, *а*). Их недостаток заключается в том, что и в «нерабочем» состоянии они притягивают также металлические опилки и стружку. Поэтому чаще используются *электромагниты*, более

простые в эксплуатации (при подводе и отводе электромагнита), — см. рис. 3.34, б; кроме того, оказывается возможным размагничивание перенесенных металлических предметов. Подъемная сила в электромагнитах возникает при подаче питания на катушку электромагнита, при отключении питания предмет высвобождается.

Электромагнитные ЗУ применяют для захватывания ПП разнообразной формы (рис. 3.35). Для оснащения ПР их часто компонуют из небольших электромагнитов, устанавливаемых на общей раме. Такие устройства обычно применяют для переноса фасонных, круглых, ребристых и решетчатых поверхностей, захватить которые вакуумными ЗУ затруднительно или невозможно.

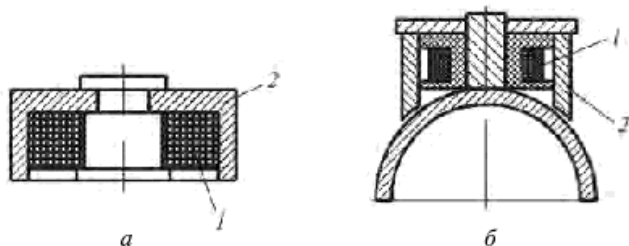


Рис. 3.35. Электромагнитные ЗУ:
а — для плоских деталей; б — для цилиндрических
деталей: 1 — обмотка; 2 — корпус

Важным достоинством электромагнитных захватных устройств является возможность дистанционного, через зазор, захватывания ПП: без плотного контакта ЗУ и захватываемого предмета. Электромагнитное захватное устройство может брать предметы производства из навала. Иногда можно допустить, чтобы при этом захватывалась целая гроздь ПП (например, при загрузке вибробункера), но иногда необходимо выбрать один предмет; причем в случае, когда он имеет форму тонкого диска, возможно слипание двух пластинок, что требует использования дополнительных разделителей (как, например, на рис. 3.34, б).

На рисунке 3.36 показана одна из наиболее распространенных конструкций электромагнитного ЗУ, состоящего из корпуса 3 электромагнитной присоски, внутри которого помещены катушки магнита 2, защищенные от повреждения листом 1 из марганцовистой стали или латуни. Устройство для крепления удерживающих элементов содержит корпус 4 ЗУ с отверстиями, в которые помещены резьбовые втулки 8 с поперечно высверленными отверстиями, куда

вставляют держатели 6, несущие, электромагнитные присоски 7. К плоскости корпуса 4 держатели 6 прижимаются винтами 5, проходящими через втулки 8. Передвигая держатели в отверстиях втулок 8 и поворачивая их на нужные углы относительно корпуса 4, можно в широких пределах менять относительное расположение захватных элементов.

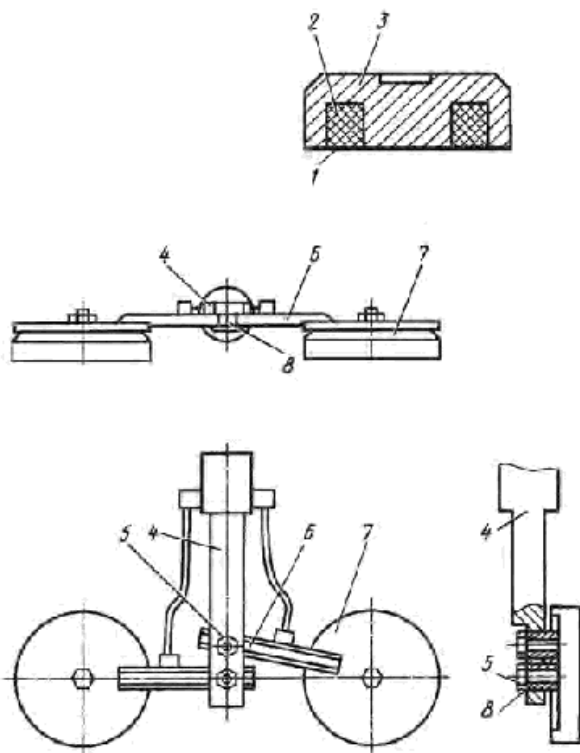


Рис. 3.36. Разновидность конструкции и элементов электромагнитных захватных устройств:

1 — лист; 2 — катушки магнита; 3 — корпус электромагнитной присоски; 4 — корпус ЗУ; 5 — винт; 6 — держатель; 7 — электромагнитная присоска; 8 — втулка

Разновидностью электромагнитных ЗУ являются захватные устройства с элементами, приспособляющимися к форме детали. В ЗУ, заполненном железным порошком, фиксация детали осуществляется с помощью магнитных сил, действующих на этот порошок (рис. 3.37).

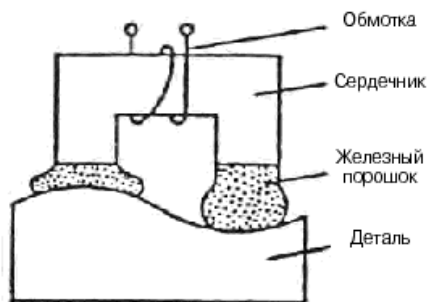


Рис. 3.37. Электромагнитное ЗУ, адаптирующееся к форме захватываемого объекта

Магнитные захватные устройства имеют следующие недостатки:

- материал ПП должен быть ферромагнитным;
- возможность налипания стружки и металлической пыли;
- после освобождения от ЗУ на ПП имеется остаточный магнетизм;
- несущая способность ЗУ сильно зависит от качества поверхностей ПП и его формы;
- возможность слипания захватываемых предметов;
- ограниченная продолжительность включения электромагнита;
- снижение силы захватывания за время эксплуатации ЗУ с постоянными магнитами;
- большая масса ЗУ.

Вакуумные захватные устройства лишены перечисленных выше недостатков, имеют небольшие размеры и не загрязняют окружающую среду. В них подъемную силу создает необходимый уровень разрежения на поверхности контакта ЗУ с объектом манипулирования. Рабочим элементом такого устройства является вакуумная камера (присоска), создающая при наложении на предмет производства (ПП) замкнутую полость, из которой откачивается или вытесняется воздух, что обеспечивает подъемную силу, пропорциональную площади захватывания. Присоски изготавливают из резины или пластика. Выбор материала для изготовления присосок зависит от условий, при которых они будут работать, в первую очередь — от температуры и наличия в рабочей среде масла или химических реагентов.

Вакуумные захватные устройства находят широкое применение в технике, так как могут захватывать ПП из немагнитных материалов, обладают меньшей массой и габаритами по сравнению с механическими и электромагнитными захватными устройствами одинаковой грузоподъемности, большим диапазоном масс захватываемых изделий.

В зависимости от конструкции вакуумной камеры и методов создания вакуума захваты устройства бывают *пассивные* и *активные*.

Пассивными вакуумными ЗУ (ГОСТ 26063—84) называют устройства, в которых разрежение воздуха в зоне контакта с ПП создается за счет вытеснения воздуха при деформировании упругого рабочего элемента. В качестве упругого рабочего элемента используется эластичный корпус самого захватного устройства, мембрана или сильфон.

Простейшие вакуумные ЗУ обеспечивают образование вакуума за счет разового вытеснения воздуха из полости присоски прижатием ее к поверхности детали. В этом случае при прижатии пассивной присоски к гладкой поверхности предмета производства 5 упругая юбка 2 присоски деформируется и воздух вытесняется из рабочей полости 1 присоски, создавая разрежение (рис. 3.38, а). Хвостовик такой присоски запрессовывается в металлический стакан 3, к которому крепят держатели ЗУ. В другой конструкции разрежение в полости 1 пассивных вакуумных присосок может также создаваться за счет хода поршня 4, вытесняющего при ходе вниз воздух из-под упругой юбки 2 присоски (рис. 3.38, б).

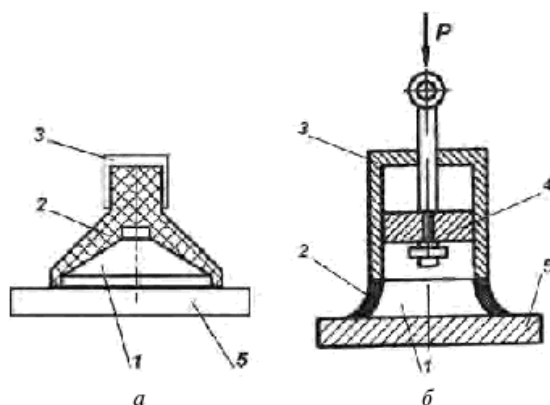


Рис. 3.38. Пассивные вакуумные присоски с корпусом из эластичного материала (а), деформирующемся при прижатии присоски к поверхности предмета производства (ПП), и с поршневой камерой (б):

1 — внутренняя полость присоски (поршневой камеры); 2 — эластичная присоска (юбка — б); 3 — стакан; 4 — поршень; 5 — ПП; P — усилие поршня

В зависимости от характера работы эти присоски могут быть сплошными эластичными (удержание детали обеспечивается вакуумом, созданным за счет одной только упругой деформации присоски) или снабжаться различными запирающими устройствами: шариковыми, пружинными, электромагнитными или др.

Запирающие устройства. При использовании запирающих устройств достигается надежное вытеснение воздуха, в то время как в обычной сплошной присоске воздух вытесняется через поверхность контакта с деталью (заготовкой), что сопряжено с увеличением усилия прижатия присоски и с неполным вытеснением воздуха. Кроме того, присоски с запирающими устройствами (клапанами) позволяют применять значительно меньшие (по сравнению с простейшими бесклапанными) объемы колокола, что важно для увеличения длительности удержания изделий (особенно с шероховатыми поверхностями). Освобождение изделий от присоса производится выпуском воздуха в колокол (под юбку присоски) через клапан или отрывом изделия, если объект манипулирования имеет небольшие размеры и массу.

В ЗУ с шариковым запирающим устройством один клапан может быть установлен на общем трубопроводе для группы присосок. За счет начального разрежения, создаваемого в трубопроводе, ведущем к насосу, шарик поднимается и продолжает находиться во взвешенном состоянии под действием сравнительно слабого потока откачиваемого воздуха. Если присоска не соприкасается с поверхностью ПП, то при откачке возникают сильные потоки воздуха, поджимающие шарик к верхнему седлу; в этом положении шарик удерживается атмосферным давлением. После контакта присоски с поверхностью ПП в колоколе создается вакуум и шарик опускается в нижнее гнездо патрубка, обеспечивая запираение полости присоски (рис. 3.39). Шариковые запирающие клапаны могут устанавливаться на патрубках, ведущих к каждой присоске, или на общем патрубке, соединенном с несколькими присосками (рис. 3.39, а, б). В последнем случае, если одна из присосок не произвела захватывания, шарик под действием втягиваемого воздуха поднимается и присасывается к верхнему седлу. Если не использовать запирающие клапаны, то при несрабатывании одной или нескольких присосок другие присоски также не работают. Недостатками ЗУ с шариковыми запирающими клапанами является то, что необходимое разрежение достигается постепенно, и поэтому шарики поднимаются не одновременно. Для устранения этого недостатка может быть использовано пружинное запирающее устройство, которое обычно встраивается в корпус подвески присоски (рис. 3.39, в).

Пассивные вакуумные захватные устройства получили распространение благодаря простоте конструктивного исполнения, отсутствию вакуумных насосов и распределительной аппаратуры. Однако удержание ими груза ограничено временем сохранения рабочего вакуума,

ввиду чего они применяются, в основном, для транспортирования воздухонепроницаемых предметов, имеющих гладкую поверхность и небольшую массу.

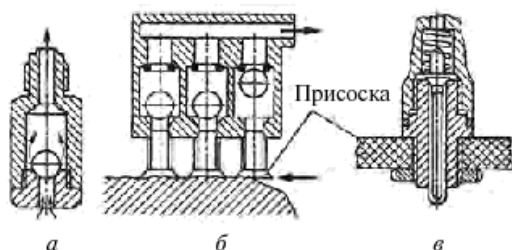


Рис. 3.39. Запирающие клапаны пневматических захватных устройств: *а* — шариковый клапан для работы с одной пневмоприсоской или их группой; *б* — группа шариковых клапанов для работы с несколькими пневмоприсосками; *в* — пружинный клапан

Активными вакуумными ЗУ (ГОСТ 26063—84) называют устройства, в которых разрежение воздуха в зоне контакта с ПП создается принудительно, например вакуумным или поршневым насосом, а также эжектором — простой и надежной системой, но расходующей большое количество сжатого воздуха, поступающего из заводской сети (рис 3.40).

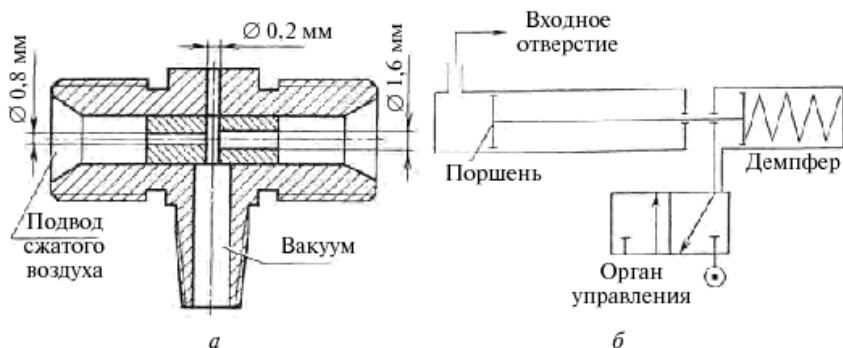


Рис. 3.40. Средства создания разрежения в вакуумных присосках: *а* — эжектор; *б* — поршневой насос

Способ создания вакуума за счет эжекции (рис. 3.40, *а*) при истечении струи воздуха из сопла в насадку распространен шире, чем способ, реализуемый применением запирающих устройств (клапанов), описанный выше. Основа эжектора — тройник, в который вклеены или впаяны пробки с отверстиями малого диаметра. Очень важно, чтобы

оси сопла и насадки были расположены в одной плоскости (соосны, перпендикулярны и т.п.), а поверхности их внутренних конусных отверстий имели бы очень маленькую шероховатость. Оптимальный режим работы достигается подбором соответствующих сопел и насадок и регулировкой расстояния между ними. Эжектор целесообразно использовать в конструкциях небольшой грузоподъемности. Устойчивость разрежения зависит от стабильности рабочего давления сжатого воздуха в системе. К недостатку данного способа получения вакуума следует отнести значительный расход сжатого воздуха и шум при прохождении воздуха через насадку. Кроме того, шланг для соединения с магистралью снижает маневренность ЗУ.

Способ создания вакуума с помощью автономного форвакуум-насоса наиболее дорогой. Многие вакуумные насосы дают разрежение более 90%. Большее разрежение приводит к увеличению быстродействия по сравнению с эжекторами, что особенно важно для вакуумных ЗУ при работе с кузнечно-прессовым оборудованием. В особо важных случаях, например при транспортировании листового стекла, дополнительно к основному вакуум-насосу устанавливают аварийный, который автоматически подключается, если давление в ресивере возрастает.

Активные вакуумные ЗУ простого действия. На рисунке 3.41 показаны различные конструкции вакуумных присосок: из гофрированной резины (рис. 3.41, а), позволяющей захватывать объекты с наклонной верхней поверхностью; с подпружиненным корпусом (рис. 3.41, б), позволяющим при групповом использовании захватывать детали с плоской ступенчатой поверхностью; с шаровой опорой, которая позволяет закреплять присоску к патрубку в любом положении (рис. 3.41, в).

Применяют как стандартные присоски (см. рис. 3.41), так и видоизмененные в соответствии с размерами предмета. При этом внутренней поверхности присоски придается внешняя форма предмета [13], что обеспечивает лучшее взаимное расположение поверхностей для захватывания (рис. 3.42).

На рисунке 3.43 показано адаптивное многопозиционное вакуумное захватное устройство, варианты его применения и конструкция одного из элементов, из которых набирают многопозиционные головки ЗУ (разработка Hewlett — Packard Laboratories and Rensselaer Polytechnic Institute, США [44]). Это ЗУ оснащено вакуумными присосками с подпружиненными штоками, к которым присоски крепятся через шаровые опоры. Такие ЗУ обладают способностью приспосабливаться к внешнему или внутреннему контуру захватываемого объекта. Присоски скомплектованы в пакеты (головки), обеспечивающие обслужива-

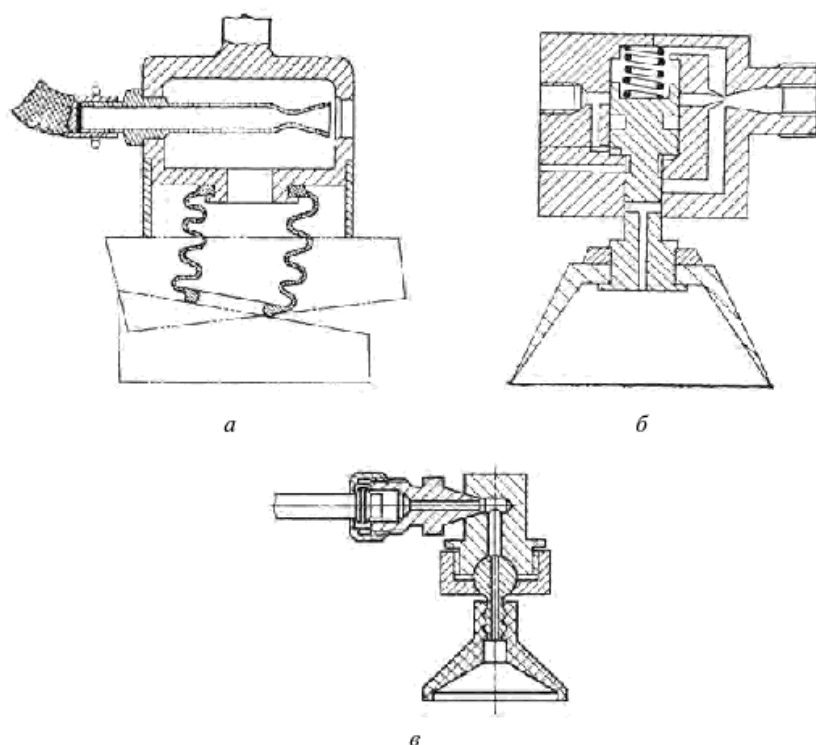


Рис. 3.41. Вакуумные присоски:
а — из гофрированной резины; *б* — с подпружиненным корпусом; *в* — с шаровой опорой

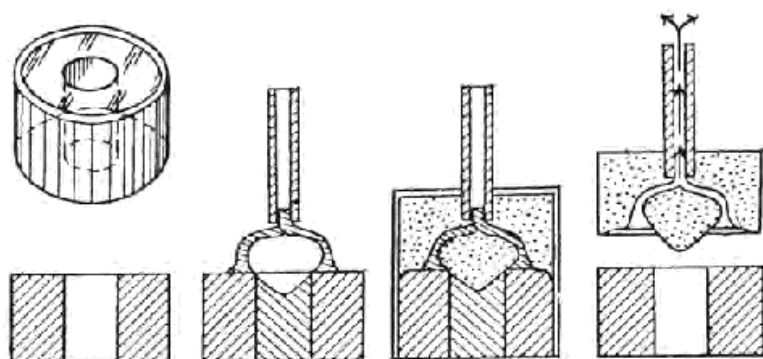


Рис. 3.42. Применение вакуумных присосок для отливки
 деталей различной формы и их подъема

ние определенного рабочего объема для захвата ПП по внешней или по внутренней полости со ступенчатым расположением плоскостей (рис. 3.43, *а*). Они также позволяют захватывать объекты с расположением внешних плоскостей под углом друг к другу (рис. 3.43, *б*). При необходимости пакет может поворачиваться на некоторый угол (за счет сферической опоры в руке робота и наличия обратной связи между ЗУ и ПР, подающей сигнал к повороту кисти манипулятора) для захвата угловых материалов (рис. 3.43, *в*). Конструкция узла присоски, адаптирующегося к положению захватываемой поверхности, показана на рис. 3.43, *г*.

На эскизе в табл. 2.3 главы 2 показано устройство с четырьмя присосками, где разрежение создается эжектором, общим для всех присосок и установленным на раме захвата. В конструкциях нецентрирующих вакуумных ЗУ, приведенных в этой же таблице, эжекторы установлены на каждой присоске, причем они выполняют также роль присоединительной арматуры воздухопровода.

По виду контакта с предметом производства вакуумные ЗУ могут быть с уплотнительным элементом, деформируемым или профильным, обеспечивающим герметичность рабочей зоны, или без него. Пассивные захватные устройства всегда снабжены уплотнительными элементами. Активные вакуумные захватные устройства могут иметь или не иметь уплотнительных элементов. Для работы вакуумного захватного устройства без уплотнительного элемента необходимо постоянное удаление воздуха из зазора между устройством и предметом производства. При наличии уплотнительного элемента необходимость в удалении воздуха отпадает, и при достижении необходимого разрежения полость захватного устройства может быть отключена от источника разрежения. Чаще всего уплотнительный элемент изготавливается из резины, состояние которой в значительной степени подвержено влиянию влажности, масла, температуры, износа. При работе с предметами, имеющими низкую чистоту поверхности $R_z > 40$, требуются дополнительные накладки из пористой резины толщиной 15...30 мм, срок службы которых составляет в среднем не более трех месяцев. На изделиях с шероховатостью поверхности $R_z \geq 320$ не удастся достичь полной герметизации вакуумной камеры.

Уплотнительные элементы из пористой резины подвержены деформации и сжимаются на $2/3$ первоначальной величины, что снижает точность позиционирования ПП. Упругость уплотнительных элементов приводит к тому, что при захватывании и последующем

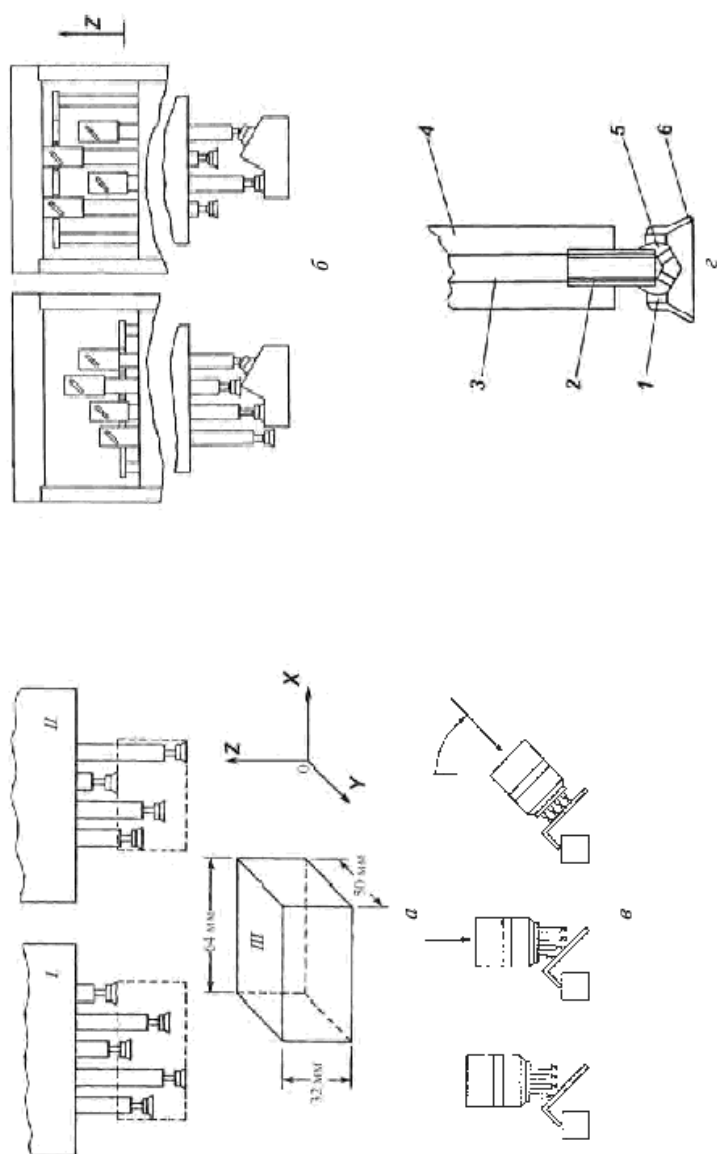


Рис. 3.43. Адаптивное многопозиционное вакуумное захватное устройство:

a — общий вид и рабочий объем зоны действия ЗУ; *б* — последовательность работы ЗУ при захвате объекта с наклонными внешними плоскостями; *в* — последовательность работы ЗУ при захвате углового листового материала; *г* — схема элемента адаптивной головки ЗУ; *1* — вид по фронту; *II* — вид сбоку; *III* — рабочий объем зоны действия присосок; *1* — нейлоновое кольцо; *2* — стакан; *3* — воздушный канал; *4* — шток; *5* — хромированная шаровая опора; *6* — вакуумная присоска

манипулировании предметом возникают его колебания. Обязательным условием работы рассмотренных вакуумных захватных устройств является отсутствие засоренности поверхности захватывания ПП, посторонних веществ и загрязнения (мусор, остатки воды, камни). Требуется центрирование захватываемого предмета относительно ЗУ. При смещении ПП вакуумная камера устройства не полностью перекрывается поверхностью захватываемого предмета, что не позволяет получить в полости вакуумной камеры уровень необходимого разрежения.

Струйные захватные устройства также относятся к активным вакуумным ЗУ. Автоматическую загрузку предметов малой массы целесообразно выполнять струйными ЗУ, которые обеспечивают высокую производительность, экономичность, небольшие расходы сжатого воздуха, а их изготовление не требует больших затрат.

Принцип действия струйных ЗУ основан на использовании аэродинамического взаимодействия струи воздуха, истекающей из отверстия (диаметром 0,5...2,0 мм) с плоской, цилиндрической или шаровой поверхностью. Подъемная сила имеет две составляющие. Одна возникает вследствие эжекции, когда в центральной части захватного устройства образуется разрежение, вторая — из-за непосредственного контакта между струей сжатого воздуха и поверхностью предмета производства. В результате силовое воздействие воздушного потока на твердое тело обусловлено суммой реактивной силы, присасывающего действия струи и сил вязкостного трения.

На рисунке 3.44 показаны струйные ЗУ, содержащие сопло с плоским торцом, которое соединяется с сетью сжатого воздуха. Предмет производства 1, имеющий развитую обтекаемую поверхность, поднесенный к торцу 2 сопла 3 на определенное расстояние z (около 5 мм), подвергается присасывающему действию, возрастающему по мере уменьшения этого расстояния до некоторого критического значения зазора $z_k = (0,5 \pm 0,25)$ мм, через который воздух выходит в атмосферу. При этом возможно бесконтактное захватывание ПП (рис. 3.44, а), когда он как будто висит под воздушной подушкой, что не допускает его повреждений и загрязнения. В случае контактного захватывания ПП в ЗУ устанавливают упорные элементы 4 (рис. 3.44, б), контактирующие с поверхностью захватываемого предмета.

Недостатком струйных ЗУ является небольшая грузоподъемность (исчисляется граммами), они чувствительны к качеству обработки поверхности предмета. При параметрах шероховатости $Rz > 20$, когда высота микронеровностей становится соизмеримой с высотой зазора z_k ,

они неэффективны, что вызвано возникновением срывных течений потока воздуха.

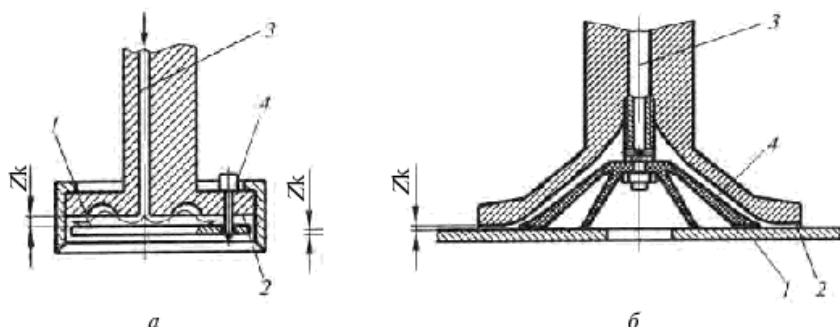


Рис. 3.44. Вакуумные струйные ЗУ:

a — с бесконтактным захватыванием предмета производства;
б — с контактным захватыванием предмета производства; 1 — предмет производства; 2 — торец ЗУ; 3 — сопло; 4 — упорные элементы

Известны также активные вакуумные захватные устройства, называемые *вихревыми*, в которых подъемная сила создается за счет разрежения в центре воздушного вихря. Принцип действия вихревых захватных устройств основан на том, что в приосевой области захватного устройства внутри изолированного вихревого воздушного потока образуется зона разрежения, в которую вовлекаются тела разной формы под действием силы радиальной тяги.

Вихревые ЗУ обладают следующими преимуществами: простотой конструктивного исполнения, определяющего высокую ремонтнопригодность и надежность функционирования, долговечностью; высоким быстродействием; не требовательны к физическим свойствам захватываемых предметов и точной ориентации их при захватывании; могут обеспечивать бесконтактное захватывание ПП, что исключает возможность повреждения предмета; малыми габаритами и массой; возможностью работы с загрязненными поверхностями ПП; незначительным влиянием шероховатости поверхности захватывания.

По способу вихреобразования вихревые захватные устройства следует разделять на устройства с *пневматическим*, *механическим* и с *пневмомеханическим* вихреобразованием.

Пневматическое вихреобразование происходит в полости вакуумной камеры (рис. 3.45), называемой вихревой камерой 1 (ВК), в которую подается сжатый воздух через одно или более тангенциальные

отверстия 2. В камере создается разрежение, притягивающее предмет производства 3.

При *механическом* вихреобразовании (рис. 3.46) в полости вихревой камеры 1 устанавливаются крыльчатки 2 с различными приводами 3. Вращением крыльчатки создается изолированный вихревой поток, внутри которого в радиальном направлении создается область пониженного давления, что способствует захватыванию предмета производства 4.

В захватных устройствах с *пневмомеханическим* вихреобразованием увеличение скорости вихревого потока, образуемого тангенциальной подачей воздуха в вихревую камеру, обеспечивается вращением сопел вихревой камеры, стенок ее или установленного в полость камеры ротора с ребрами.

Пневмомеханическое вихревое захватное устройство (ПВЗУ) с вращающимися соплами вихревой камеры (рис. 3.47) позволяет увеличить тангенциальную скорость вихревого потока по всей длине вихревой камеры, что дает возможность получить высокую степень разрежения в приосевой зоне захватного устройства и обеспечить увеличение грузоподъемности. В конструкции ПВЗУ осуществляется предварительное центрирование предмета производства (уплотнительного кольца) 16 посредством воздействия на него вихревого потока с последующим его захватыванием. Отличительной особенностью данного устройства является снижение степени дросселирования вихревого потока в коммутационном кольцевом канале за счет дополнительного вращения одной из стенок вихревой камеры. Такое свойство позволяет сохранить максимальную скорость вихревого воздушного потока и обеспечить надежное центрирование, захватывание и удержание предметов с МПЗ.

Сжатый воздух через канал 1 поступает в кольцевую камеру нагнетания 10, расположенную между внешним и внутренним корпусами ЗУ (2 и 3). Далее, через тангенциальные каналы 13 воздух попадает в кольцевую вихревую камеру 12 и, ударяясь о наружные стенки этой вихревой камеры, раскручивается в ней, образуя вращающуюся струю сжатого воздуха. За счет трения этой струи о наружную цилиндрическую поверхность ориентирующей втулки 4 обеспечивается её вращение вокруг центральной оси. Ориентирующая втулка по торцам опирается на шариковые опоры качения 5 и 14.

При этом в кольцевом канале 15 формируется направленный вихревой поток, захватывающий предметы производства 16. При захватывании уплотнительного кольца тороидальной формы формируется

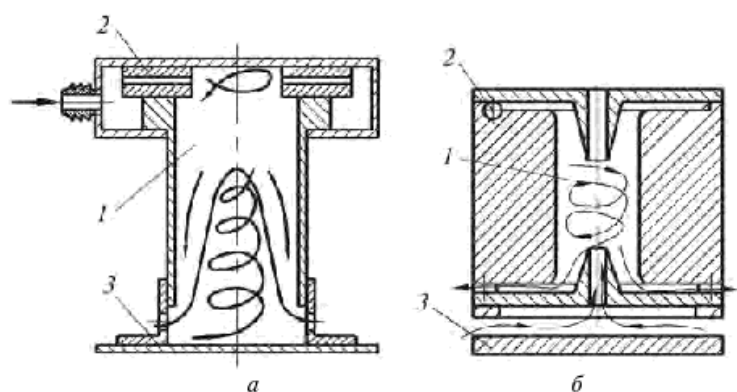


Рис. 3.45. Вихревые захватные устройства с пневматическим вихреобразованием:
а, б — конструктивные исполнения; *1* — вихревая камера; *2* — тангенциальные каналы подачи сжатого воздуха; *3* — предмет производства

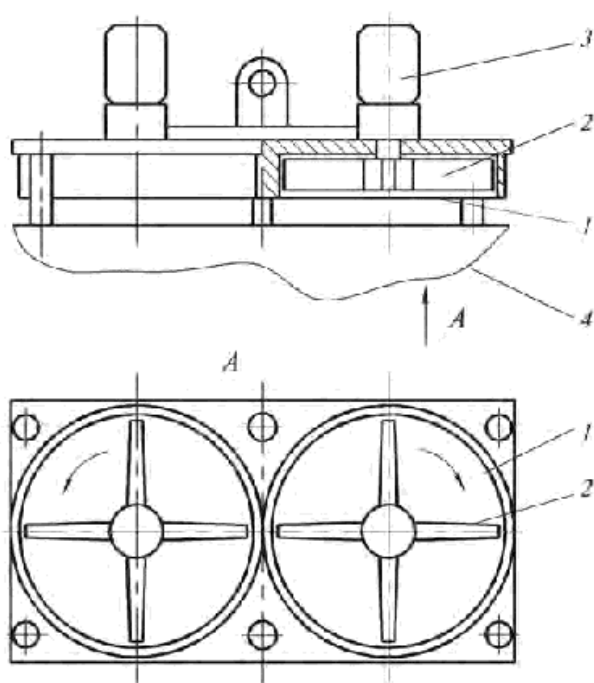


Рис. 3.46. Вихревые захватные устройства с механическим вихреобразованием:
1 — вихревая камера; *2* — крыльчатка; *3* — привод; *4* — предмет производства

усилие захватывания, приложенное к предмету 16, направленное на совмещение осей захватываемого ПП и захватного устройства, тем самым также реализуя новый вид осевого захватывания.

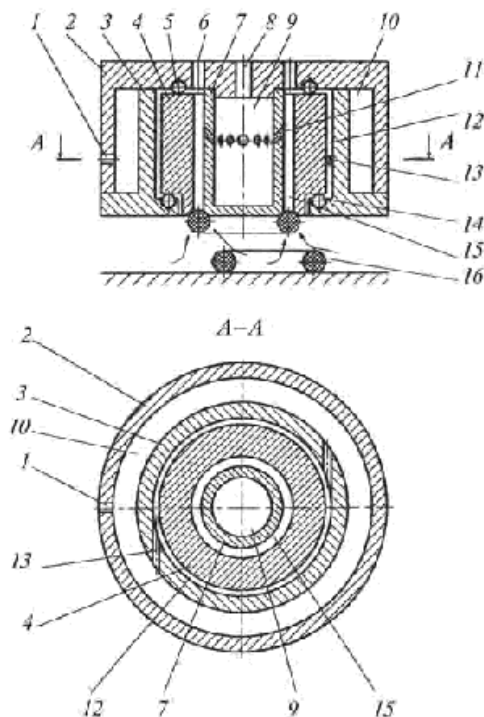


Рис. 3.47. ПВЗУ с кольцевыми вихревыми камерами:

1 — канал подачи сжатого воздуха; 2 — внешний корпус; 3 — внутренний корпус; 4 — ориентирующая втулка; 5, 14 — шариковые опоры качения; 6 — выходные отверстия; 7 — стакан; 8 — питающий канал; 9, 10 — камеры нагнетания; 11 — сопла; 12 — вихревая камера; 13 — тангенциальные каналы; 15 — кольцевой канал; 16 — предмет производства (уплотнительное кольцо)

Одновременно с подачей потока сжатого воздуха в кольцевую камеру нагнетания 10 сжатый воздух при помощи питающего канала 8 подаётся в дополнительную камеру нагнетания 9, расположенную внутри стакана 7 и далее посредством сопел 11 поток сжатого воздуха попадает с высокой скоростью в кольцевой канал 15 и через отверстия 6 выходит в атмосферу. В силу неразрывности воздушной среды за счет захватывания воздуха из нижней части кольцевого канала 15 струями воздуха, истекающими из сопел 11, в нижней части этого кольцевого

канала создаётся дополнительная величина разрежения, обеспечивающая увеличение усилия захватывания.

При несовпадении осей вакуумного захватного устройства и захватываемого ПП под действием усилия, направленного на совмещение осей захватываемого предмета 16 и захватного устройства, а также за счёт дополнительного разрежения воздуха в нижней части кольцевого канала 15 происходит захватывание.

На разрежение в центральной области ВК влияет величина максимальной тангенциальной составляющей скорости V_t потока, чем она больше, тем больше разрежение в центре вихря, но затем желательно, чтобы тангенциальная составляющая V_t была бы как можно меньше, т.е. после выхода воздуха из ВК необходимо свести V_t к нулю. Сокращение расстояния между ПП и захватным устройством способствует уменьшению скорости изменения разрежения при удалении от центра, что позволит увеличить область действия отрицательных давлений. Этого можно добиться, если вместо диска на торцевой поверхности корпуса выполнить пазы особой формы, способствующей преобразованию закрученного потока в прямоточный.

Повышения грузоподъемности пневмовихревых ЗУ можно добиться увеличением всех трех составляющих скорости потока сжатого воздуха на выходе из вихревой камеры. В описанной выше конструкции ПВЗУ увеличивалась тангенциальная составляющая скорости потока сжатого воздуха за счет вращения ВК, что позволяет снизить потери энергии в вязком подслое (потери на трение воздушного потока о стенки ВК). Однако в воздушном потоке помимо потерь на трение о стенки камеры существуют и другие виды потерь.

Доля потерь на трение о стенки ВК составляет 6...28%. Таким образом, видно, что потери на трение составляют небольшую долю всех потерь энергии в вихревой камере. Основная часть рассеиваемой энергии приходится на турбулентную и вязкую диссипацию в ядре потока, что приводит к уменьшению всех составляющих скорости вихревого потока и, как следствие, к падению разрежения на оси ВК и снижению грузоподъемности ПВЗУ подобного типа.

Турбинные присоски используются в случае, когда невозможно применение вакуумных присосок: при захвате картонных, деревянных предметов, некоторых типов конгломератов и деталей, не имеющих плоской поверхности (рис. 3.48). Разрежение в турбинной присоске гораздо меньше, чем в вакуумной. Поэтому она должна иметь большую площадь контакта с предметом производства. При этом, если объем

вакуумирования достаточно большой, приходится учитывать время начала работы.

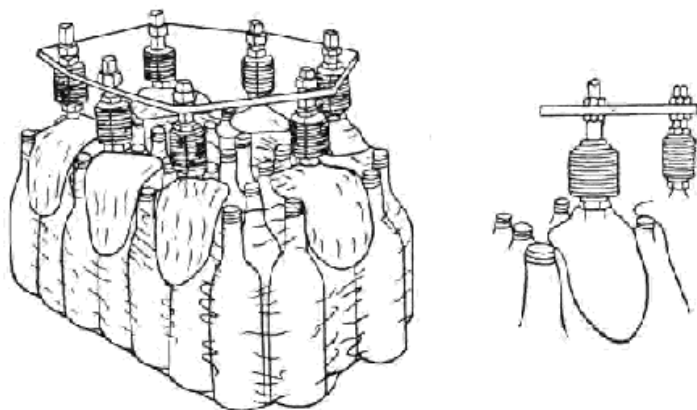


Рис. 3.48. Схема действия ЗУ с турбинными присосками

Магнитные и вакуумные ЗУ и их элементы достаточно полно представлены на рынке различными производителями. В качестве примера можно привести компанию Schmalz GmbH (Германия), которую на российском рынке представляет ООО «Тако Лайн».

Другие ЗУ одностороннего действия. К ним относятся липкие ленты, ленты Velcro, захватывающие органы с иглами или мелкими пинцетами (захват деталей одежды).

3.4. Захватные устройства с приспособлениями для выполнения технологических операций

Захватные устройства, оснащенные приспособлениями и инструментом, расширяют область применения промышленного робота и сокращают цикл его работы. Такие захватные устройства могут быть командными, программируемыми или адаптивными. К их числу можно отнести ЗУ, показанные на рис. 3.12, которые оснащены приспособлениями для локальных перемещений заготовок при загрузке металло-режущих станков. Применяют ЗУ, оснащенные соплами для очистки сжатым воздухом поверхностей детали и станка, толкателями для от-

деления и сброса пресс-остатка при листовой штамповке, средствами запрессовки для выполнения монтажных работ и т.п.

Вакуумное ЗУ для съема изделий с термопластоавтоматов, снабженное пневматическими ножницами для отрезки литника, показано на рис. 3.49. Размещение приспособления для отрезки непосредственно на ЗУ позволяет совмещать во времени эту операцию с переносом изделия от термопластоавтомата к таре (или к холодильной установке), а также производить отрезку литника до того, как материал затвердеет и приобретет склонность к растрескиванию.

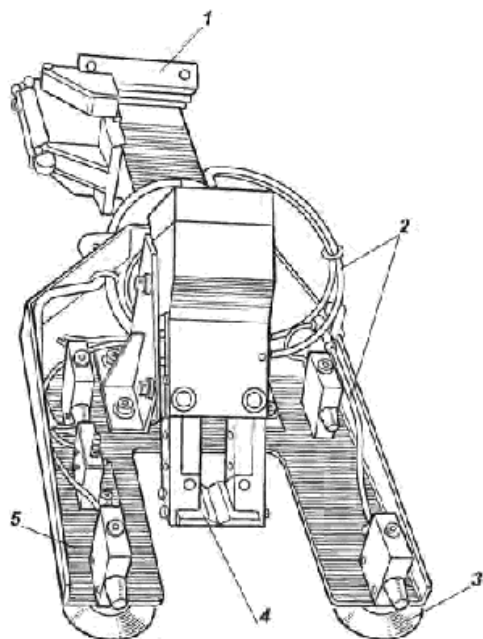


Рис. 3.49. Вакуумное захватное устройство для съема изделий с термопластоавтоматов с пневматическими ножницами для отрезки литников: 1 — хвостовик ЗУ; 2 — пневмопроводы; 3 — вакуумная присоска; 4 — пневматические ножницы; 5 — рама

ЗУ с приспособлением для измерения диаметра обработанной детали (рис. 3.50). В пазу одной из зажимных губок 1 ЗУ на плоских пружинах 2 подвешена измерительная призма 4. На ней жестко закреплено сопло пневматического измерителя. При изменении расстояния между соплом и поверхностью детали 5 из-за колебаний ее размеров изменяется расход воздуха в измерительной системе, подключенной к пневмопроводу 3.

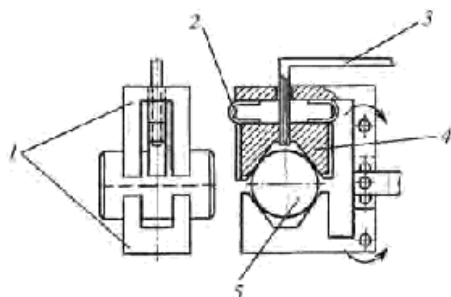


Рис. 3.50. ЗУ с приспособлением для измерения обработанной детали:
1 — зажимные губки ЗУ; 2 — пружины; 3 — пневмопровод;
4 — призма измерительная; 5 — деталь

При работе с мягкими материалами (ткань, бумага, веревка) возникают специфические затруднения, связанные с трудностью выделения одной заготовки из стопы.

ЗУ для *последовательной подачи деталей края ткани* из стопы [41] изображено на рис. 3.51. Сначала на стопу раскроя ткани направляется струя воздуха 3, в результате чего один кусок материала начинает колебаться и слегка приподнимается над стопой. Под него подводится тонкая нижняя часть захвата. После этого губки ЗУ смыкаются. Для проверки толщины захваченного объекта (один или несколько слоев ткани) на нижнем пальце захвата установлены источники инфракрасного излучения 1, а на верхнем — фотодатчики 2. Сбоку ЗУ укреплен ограничивающий упор 4.

Особенно часто оснащают дополнительными приспособлениями ЗУ, предназначенные для автоматизации сборочных операций, где требуется сочетание действий, связанных с переносом и соединением деталей. В ряде случаев сам сборочный инструмент служит и захватным устройством.

Широкодиапазонное ЗУ для выполнения сборочных операций с деталями типа корпусов и тел вращения, оснащенное струйным датчиком, остановка при подходе к детали, расположенной в стопе, показано на рис. 3.52. К корпусу 3 сверху крепят хвостовик 1 с фланцем 2 — элементы системы автоматической смены ЗУ, а сбоку — пневмоцилиндр 5, предназначенный для раскрытия губок 9, которые для зажима детали сводятся пружиной 10. Губки свободно поворачиваются на осях, установленных в вилке, смонтированной на поворотной плите 4. Поворот плиты вокруг оси Х—Х на 90 и 180° осуществляется благодаря передаче шестерня 6 — рейка 11, причем рейка нарезана на конце тяги 7, соеди-

ненной болтом 8 со штоком гидро- или пневмоцилиндра, размещенного внутри руки ПР. Губки поворачиваются либо с помощью реечной передачи рейка 12 — зубчатый сектор 16, либо с помощью клина и разжимных роликов 15. На рейке 12 или на клине 13 смонтирован струйный датчик 14, подающий команду на останов руки ПР при подходе к детали, расположенной в магазине в виде стола. Пневмоцилиндр 5 и датчик 14 подключаются к силовой и измерительной сетям и к пневмоэлектропреобразователю с помощью пневморазъема, ответная часть которого установлена на фланце 2.

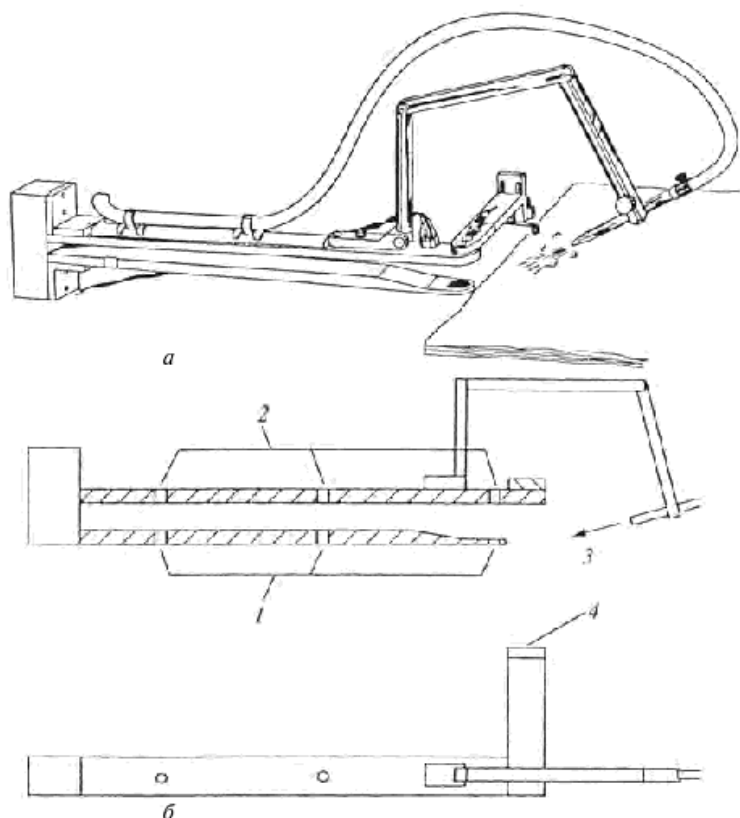


Рис. 3.51. Захватное устройство для захватывания раскроя ткани из стопы:
a — общий вид; *б* — схема; 1 — инфракрасные источники света; 2 — фотодатчики;
 3 — направление воздушного потока; 4 — ограничивающий упор

Примеры конструкций захватных устройств — см. [10...14, 17, 23, 31, 36...39, 41...45].

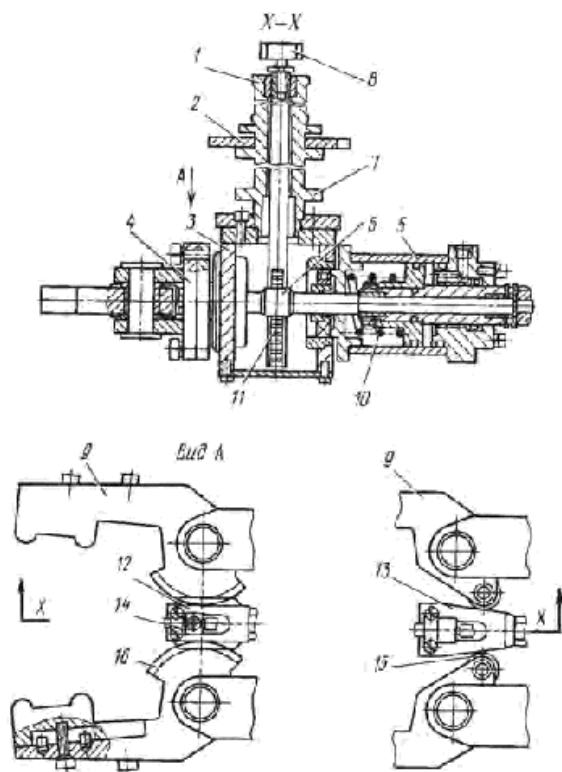


Рис. 3.52. Широкодиапазонное ЗУ для выполнения сборочных операций с деталями типа корпусов и тел вращения, оснащенное струйным датчиком останова при подходе к детали, расположенной в стопе:

1 — хвостовик; 2 — фланец; 3 — корпус; 4 — плита; 5 — пневмоцилиндр;
6 — шестерня; 7 — тяга; 8 — болт; 9 — зажимные губки; 10 — пружина;
11, 12 — рейки; 13 — клин; 14 — струйный датчик; 15 — ролик; 16 — зубчатый сектор

Контрольные вопросы

1. Расскажите о классификации и приведите примеры конструкций механических захватных устройств.
2. Что вы знаете о захватных устройствах с эластичными камерами?
3. Приведите примеры адаптивных захватных устройств.
4. Какие вам известны антропоморфные захватные устройства?
5. Охарактеризуйте основные типы притягивающих захватных устройств.
6. Приведите примеры захватных устройств с приспособлениями и инструментом для выполнения технологических операций.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ЗАХВАТНЫХ УСТРОЙСТВ

4.1. Последовательность проектирования

Последовательность проектирования захватного устройства складывается из следующих этапов.

1. Сбор и обработка исходных данных, необходимых для проектирования ЗУ, в том числе:
 - 1.1) построение траектории перемещений ПП;
 - 1.2) оценка скоростей перемещений конечного звена манипулятора;
 - 1.3) оценка допустимой погрешности позиционирования конечного звена манипулятора;
 - 1.4) оценка допустимой жесткости и податливости манипулятора промышленного робота;
 - 1.5) выбор способа захватывания и удержания ПП.
2. Анализ внешних сил, действующих на ЗУ и элементы его конструкции.
3. Построение кинематической схемы (для клещевых ЗУ).
4. Расчет усилия зажима или удержания ПП.
5. Расчет конструктивных элементов ЗУ на прочность.
6. Расчет усилий привода (для механических ЗУ) и энергетических затрат (для электромагнитных, пневматических и вакуумных ЗУ).
7. Выбор типа привода ЗУ.
8. Определение геометрических параметров ЗУ (в том числе проектирование профиля зажимных губок для клещевых ЗУ).
9. Формулирование и обоснование технических требований к конструкции ЗУ (включая информационное обеспечение и оснастку).
10. Выбор характера (сменное, быстросменное, с автоматической сменой) и конструктивных параметров места крепления ЗУ к руке манипулятора.
11. Расчет и проектирование конструкции ЗУ.

Показатели, определенные по пп. 1.3 и 1.4, сравнивают с паспортными данными выбранной модели промышленного робота. При этом паспортное значение погрешности позиционирования выбранной модели ПР должно быть не больше допустимой погрешности, определенной расчетом, а жесткость манипулятора не меньше допустимого значения.

Последовательность проектирования ЗУ, показанная в пп. 1...11, может быть сведена в несколько блоков, отражающих условия эксплуатации и характеристики РТК, характеристики ПП, характеристики ПР и взаимосвязь между ними так, как это показано на рис. 4.1 [36].

Исходные данные для проектирования и расчета (или выбора) ЗУ.

До того как проектировать или выбирать систему ЗУ, необходимо иметь следующие данные.

Условия эксплуатации и характеристики РТК определяют исполнение ЗУ (нормальное, пылезащитное, взрывозащищенное, жаропрочное и т.п.) и представляются в виде:

- *предельно допустимых параметров состояния внешней среды* (температура, влажность, вибрации и т.д.), при которых должны обеспечиваться значения технических показателей захватного устройства, указанных в техническом задании на проектирование;
- *схемы базирования ПП в выдающем устройстве* (в том числе, в лотке, стеллаже, магазине и т.п.) с указанием направления подхода ЗУ к объекту, поверхностей ПП, за которые захват запрещен, и габаритных размеров зоны захватывания;
- *схемы базирования ПП в принимающем устройстве* с указанием направления подхода захватного устройства на позицию отпущения и габаритных размеров зоны отпущения;
- *технических требований конструкции ЗУ* (время захватывания, точность удержания, допустимое усилие сжатия и удельное давление на поверхность ПП, особых условий¹ и т.д.);

Наиболее существенные характеристики объекта манипулирования:

- *габариты, масса* (нетто и брутто, т.е. до и после обработки);
- *свойства конструкции ПП и его материала* (жесткость, деформируемость, хрупкость, намагничиваемость, твердость и шероховатость поверхности и т.д.);

¹ Механические ЗУ, предназначенные для работы с горячими заготовками при автоматизации кузнечно-прессовых операций и обслуживания нагревательных печей, должны иметь минимальное число подвижных поверхностей (шарниров, кулис); конструкция шарниров и пальцев ЗУ должна быть жаропрочной и предусматривать охлаждение, исключающее образование окалины.

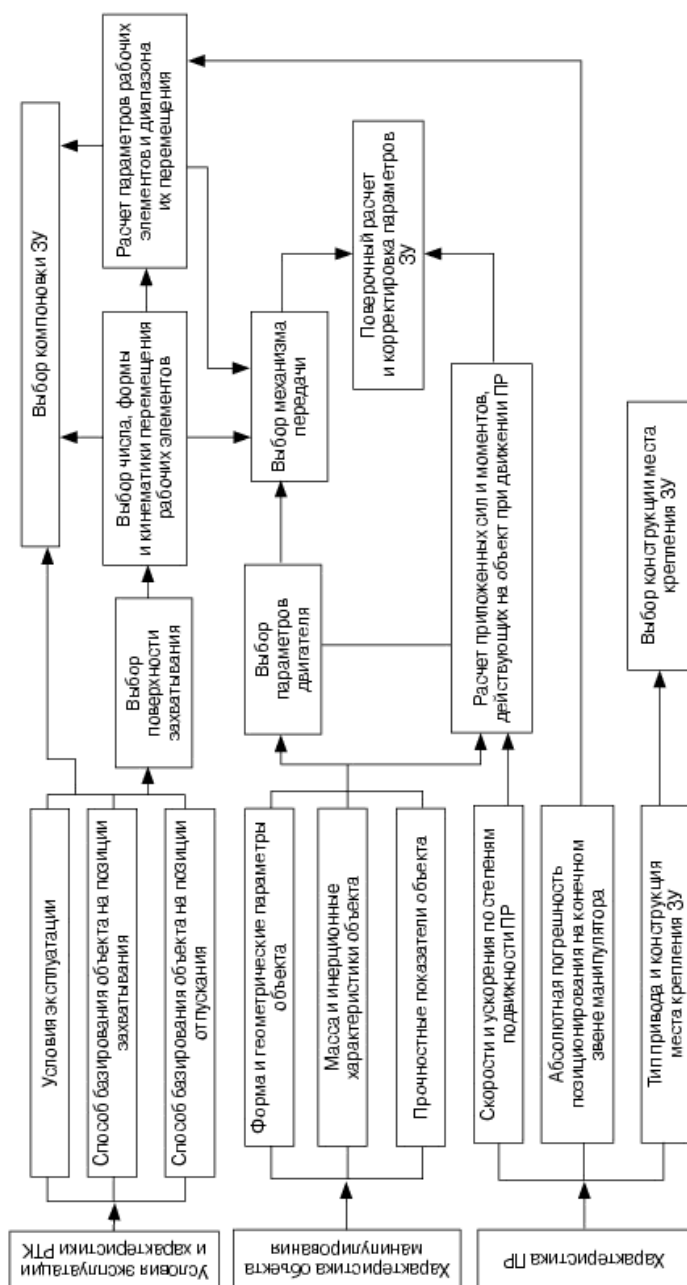


Рис. 4.1. Алгоритм проектирования захватных устройств

- *геометрическая форма* (предметы с одним, двумя или тремя характерными размерами) и внутренняя структура (сплошные или полые предметы, наличие выступов, отверстий и т.п.);
- *соответствие виду выполняемой операции* (загрузка-выгрузка, фиксация на базах, упаковка, штабелирование);
- *начальное и конечное расположение ПП* в выдающем и принимающем устройствах (положение и ориентация, точность установки);
- *поверхности контакта ПП с ЗУ* (зоны захвата, устойчивость положения);
- *действующие силы* (инерция, сила тяжести, допустимое давление на поверхность ПП).

Рабочие характеристики промышленного робота и, особенно, максимально переносимая масса (т.е. совокупная масса ЗУ и объекта манипулирования), скорости перемещений по степеням подвижности и погрешность позиционирования руки ПР, тип привода, конструкция места крепления ЗУ приведены в ГОСТ 4.480–87.

Траектория перемещений объекта манипулирования устанавливается прочерчиванием, исходя из принципов наименьшего пути и минимизации числа степеней подвижности робота. Она и зависит от формы, размеров и расположения рабочих зон обслуживаемого оборудования, числа роботизированных позиций и планировки комплекса, а также от способа подачи объекта на позицию загрузки и его положения на ней. По принятой траектории наименьших перемещений уточняют структурно-кинематическую схему робота, выбирают его компоновку и устанавливают величины рабочих ходов, относительные перемещения и соотношение длин отдельных звеньев руки. При выборе величин рабочих ходов необходимо стремиться к возможному (в рамках принятого решения) увеличению площади и объема зоны обслуживания робота. Для получения оптимальной формы и объема рабочей зоны предусматривают программирование и (или) регулирование величин ходов и длин рабочих звеньев руки манипулятора.

Для роботов, работающих в декартовой и полярной (цилиндрической и сферической) системе координат, увеличение рабочих ходов руки прямо пропорционально возрастанию площади и объема зоны обслуживания.

Для роботов с многозвенной рукой, работающих в ангулярной (цилиндрической или сферической) системе координат, площадь и объем зоны обслуживания зависят от соотношения длин и относительных угловых перемещений звеньев руки.

При проектировании роботов с двухзвенной рукой, работающих в ангулярной системе координат, по результатам исследований автора рекомендуется [10] принимать относительные углы поворота α и β звеньев в пределах $90 \dots 120^\circ$ (рис. 4.2). Оптимальным является начальный угол β_0 между звеньями, равный $120 \dots 150^\circ$. По отношению к начальному звену r_1 длина конечного звена r_2 должна быть больше на $15 \dots 30\%$.

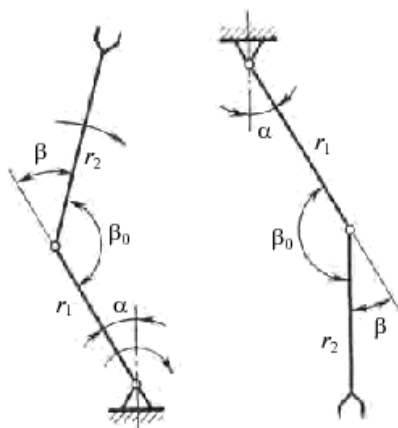


Рис. 4.2. Схема к расчету длин и углов поворота звеньев шарнирной двухзвенной руки манипулятора

Скорости перемещений конечного звена манипулятора при отработке отдельных степеней подвижности устанавливают в соответствии с требуемой производительностью и для обеспечения минимального времени рабочего цикла. Скорости перемещений зависят от траектории перемещений объекта, планировки комплекса, ограничений по времени возможных простоев оборудования, от количества рук и хватных устройств. Для уменьшения динамических нагрузок целесообразно принимать по возможности наименьшие значения скоростей, добиваясь минимального времени рабочего цикла за счет одновременной отработки перемещений звеньев по всем координатам.

Погрешность позиционирования конечного звена манипулятора определяет точность манипуляционных действий.

Необходимо рассматривать два вида погрешности позиционирования: допустимую технологическую и конструктивную.

Допустимая технологическая погрешность позиционирования на конечном звене манипулятора (максимально допустимая погрешность)

определяется требованиями к точности выполнения основной технологической операции или максимально возможным отклонением детали от базисуемых поверхностей приспособления, фиксирующего деталь в рабочей зоне обрабатывающей машины, при котором еще обеспечиваются правильное базирование и надежное закрепление объекта обработки и технологические требования к точности выполняемой операции.

Так, при загрузке центровых и патронных станков деталями типа тел вращения отклонение оси симметрии детали от оси шпинделя станка не должно превышать половины диаметра ее центрального отверстия, когда еще гарантируются правильный зажим и надежное позиционирование детали в патроне или центрах станка. В противном случае центры станка не попадают в центровые отверстия вала, а при закреплении в патроне деталь может быть зажата кулачками с перекосом и существенным смещением относительно оси шпинделя станка. Если фактическая величина смещения оси детали превышает допустимую, то обработка невозможна, поскольку либо не будет обеспечена требуемая точность обработки, либо деталь выскочит из зажимного приспособления.

При выполнении основных технологических операций (сварки, окраски и т.п.) значительная погрешность позиционирования и низкая ее повторяемость могут привести к невозможности выполнения работы.

В каждом конкретном случае линейная $\pm \Delta S$ мм и угловая $\pm \Delta \alpha^\circ$ составляющие погрешности позиционирования конечного звена манипулятора, допустимые по условиям протекания технологического процесса обработки и базирования детали, могут быть определены прочерчиванием или расчетом (рис. 4.3) [10, 15].

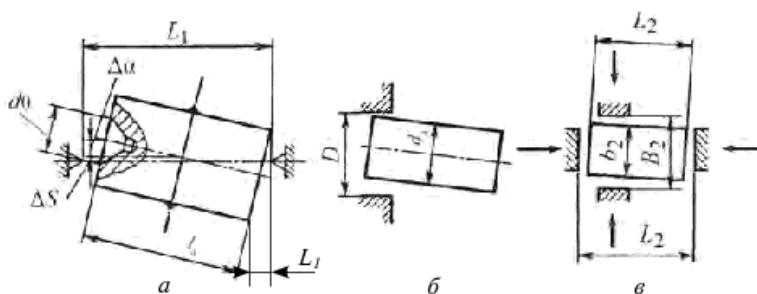


Рис. 4.3. Схемы для расчета технологической погрешности позиционирования конечного звена манипулятора при базировании детали:
а — в центрах; б — в патроне; в — в тисках станка

При базировании в центрах (рис. 4.3, а):

$$\Delta_X = \Delta_Z = d_0 / (2K_3); \Delta_Y = (L_1 - l_d) / (2K_3); \quad (4.1)$$

$$\Delta\alpha < \arctg(d_0 / l_d). \quad (4.2)$$

При базировании в патроне (рис. 4.3, б):

$$\Delta_X = \Delta_Z = (D - d_d) / (2K_3); \quad (4.3)$$

$$\Delta_Y = l_1 / K_3. \quad (4.4)$$

При базировании в тисках (рис. 4.3, в):

$$\Delta_X = (B_2 - b_2) / 2K_3, \quad (4.5)$$

$$\Delta_Y = (L_2 - l_2) / 2K_3, \quad (4.6)$$

где d_0 , D и d_d — диаметры центрального отверстия, патрона и детали соответственно; L_1 — расстояние между центрами; l_d — длина детали, l_1 — максимальный зазор от торца детали до заднего центра, поджимающего ее к зеркалу патрона; $(B_2 - b_2)$ и $(L_2 - l_2)$ соответственно суммарные зазоры между поверхностями тисков и деталью; K_3 — коэффициент запаса, принимаемый 1,2...1,3.

$$\Delta^2 = \Delta_X^2 + \Delta_Y^2 + \Delta_Z^2. \quad (4.7)$$

При штамповке допустимая технологическая погрешность позиционирования:

$$\Delta \leq C/2 + r(3\operatorname{tg}\alpha_y + 0,12) - 0,25P, \quad (4.8)$$

где C — минимально допустимый суммарный зазор между поверхностью поковки и штампом; r — радиус закруглений поковки; α_y — угол штамповочного уклона; P — положительный допуск на штамповку.

При дуговой сварке допустимая технологическая погрешность позиционирования (рис. 4.4, а):

$$\Delta \leq d_s(2\cos\alpha_c), \quad (4.9)$$

где d_s — диаметр электрода сварочной горелки; α_c — угол наклона электрода при сварке.

При контактной точечной сварке допустимая технологическая погрешность позиционирования определяется требованиями ГОСТ 15878—79. Отклонение реального положения сварочной точки от номинального положения определяется отклонением размера $B/2$ (рис. 4.4, б) по качеству $j_S 17$, где B — размер нахлестки листов.

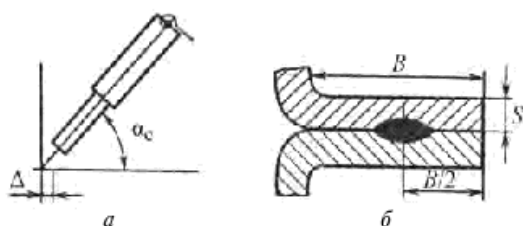


Рис. 4.4. Схема к определению технологической погрешности позиционирования промышленного робота при сварке:

a — дуговой; *б* — контактной точечной

Значения B и отклонений $B/2$ по квалитету $j_S 17$ в зависимости от толщины S свариваемых листов приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Зависимость погрешности позиционирования при контактной точечной сварке от толщины свариваемых листов (см. рис. 4.4, б)

Толщина свариваемых листов S , мм	B , мм	Отклонение $B/2$ по квалитету $j_S 17$ на величину Δ , мм
0,3	6	$\pm 0,6$
0,4	7	
0,4...0,6	8	
0,6...0,7	9	
0,7...0,8	10	
0,8...1,0	11	$\pm 0,75$
1,0...1,3	13	
1,8...2,2	17	
2,2...2,7	19	
2,7...3,2	21	
3,2...3,7	24	$\pm 0,9$

Конструктивная погрешность позиционирования рабочего органа определяется комбинационным сочетанием погрешностей позиционирования звеньев исполнительной механической системы и может быть представлена как шестимерный вектор:

$$\Delta_0 = \sum_{i=1}^n A_{0,i} \Delta_i, \quad (4.10)$$

где $A_{0,i}$ — матрица передаточных отношений погрешности n -го звена к вызываемым ими погрешностям позиционирования рабочего органа; Δ_i — погрешность позиционирования n -го звена.

С помощью последнего выражения по известным погрешностям позиционирования Δ_n звеньев можно найти погрешность позиционирования рабочего органа ПР. При проектировании приходится решать обратную задачу — выбрать допустимые погрешности звеньев Δ_n , обеспечивающие заданную погрешность позиционирования рабочего органа Δ_0 .

На практике принимают заданную конструктивную допустимую погрешность позиционирования рабочего органа робота не больше половины допустимой технологической погрешности позиционирования:

$$|\Delta_0| \leq 0,5\Delta; \quad (4.11)$$

при этом

$$|\Delta_0| \geq \sum_{i=1}^n |\Delta_0|_n, \quad (4.12)$$

где $|\Delta_0|_n$ — составляющая конструктивной допустимой погрешности позиционирования рабочего органа робота, вызванная погрешностями n -го звена.

Конструктивную погрешность позиционирования при обслуживании технологического оборудования и сборке можно существенно уменьшить подачей конечного звена манипулятора на жесткий упор (при этом используют различные демпферы: пневматические, гидравлические, пружинные, исключая ударные нагрузки) или за счет применения средств адаптации. При сборке для корректировки погрешности позиционирования применяют различные методы и специальные устройства ориентирования сопрягаемых деталей и корректировки их взаимного положения [11].

Жесткость — способность робота сохранять свою геометрическую форму под нагрузкой и при выполнении движений. Способы обеспечения жесткости — установка ПР на массивном основании, закрепление на фундаменте, использование прецизионных подшипников в соединениях звеньев, закаленных червячных передач в конструкциях захватных устройств и механизмах локальных перемещений ЗУ. Конструкция роботов представляет собой пространственно-незамкнутые стержневые системы с высокой кинематической подвижностью исполнительных звеньев. Для таких систем главными критериями расчета являются жесткость и динамическая устойчивость конструкции, от которых в значительной степени зависят точность позиционирования, быстрота перемещения деталей (производительность) и их масса.

Жесткость, приведенная к концу рабочего органа манипулятора, — сопротивление рабочего органа смещению под действием приложенных сил. Выражается отношением силы, приложенной к рабочему органу, к перемещению, вызванному этой силой. В самом первом приближении можно задаться минимально допустимой величиной жесткости J_d на конечном звене манипулятора в виде:

$$J_d = P / \delta_d, \quad (4.13)$$

где P — грузоподъемность робота; δ_d — его максимально допустимая податливость.

Если направление силы и измеряемой деформации совпадает, то жесткость робота в направлении каждой координатной оси соответственно будет J_x, J_y, J_z . Для промышленных роботов характерна большая податливость звеньев в направлениях, не совпадающих с направлением действующей силы. Жесткость в таких случаях обозначают $J_{xu}, J_{xz}, J_{yx}, J_{yz}, J_{zx}...$, где первая буква указывает на направление измерения жесткости, а вторая — на направление действующей силы (например, J_{xz} — жесткость в направлении оси X от силы, приложенной в направлении оси Z).

Суммарная жесткость конструкции робота состоит из собственной и контактной жесткости. Собственная жесткость учитывает деформацию отдельных звеньев: стойки, плеча, захватов и т.п.

Контактная жесткость в основном учитывает деформацию в стыках опор подвижных звеньев робота. Роль собственной и контактной жесткости в конструкции робота одинаково велика.

При конструировании роботов важно достичь не только требуемой суммарной жесткости, но и необходимо правильно распределить ее между отдельными звеньями с учетом их влияния на величину общего смещения конца руки робота. Это позволит снизить металлоемкость конструкции и повысить ее динамическую устойчивость.

Податливость — свойство робота, позволяющее его конечному звену и (или) рабочему органу механически смещаться под действием приложенной силы. Позволяет компенсировать погрешности позиционирования деталей при сборке или установке в ложементы и фиксаторы. Способствует точной подаче деталей «на упор». При этом:

$$\delta_d < 0,5|\Delta_0|. \quad (4.14)$$

Выбор способа захватывания (клещи, вакуумные и магнитные присоски) и **способа удержания объекта манипулирования** во время его пе-

реноса определяется условиями работы, а также характеристиками и свойствами объектов манипулирования, их ассортиментом и типоразмерами. Основные типы ПП представлены в табл. 2.1...2.3 главы 2, где приведены и примеры конструкций ЗУ, рекомендуемые для манипулирования различными группами деталей.

Анализ внешних сил, действующих на ЗУ и элементы его конструкции.

Силы удержания ПП в ЗУ должны уравнивать влияния внешних сил и моментов, возникающих от воздействия сил тяжести, инерционных нагрузок, ускорений и столкновений с окружающими предметами.

Для обеспечения надежности захвата детали жестким ЗУ (т.е. не оснащенным упругими элементами) необходимо, чтобы удерживающая сила на губках была больше векторной суммы всех сил, действующих на перемещаемый предмет. Результирующая внешняя сила R складывается из следующих составляющих (рис. 4.5):

- силы веса $G = mg$ (где m — масса перемещаемой детали, кг; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ — ускорение свободного падения), постоянной по величине и направленной вертикально вниз;
- силы инерции $P_{\text{и}} = ma$ (где a — ускорение перемещения детали, возникающее при разгоне и торможении ПР, м/с^2), направленной коллинеарно вектору ускорения a ;
- силы аэродинамического сопротивления $P_{\text{а}} = kS_y v^2$ (где k — коэффициент пропорциональности; S_y — площадь сопротивления перемещению, равная площади поверхности предмета производства, перпендикулярной направлению его перемещения, м^2 ; v — скорость перемещения, м/с), направленной коллинеарно вектору скорости v . Оценивают при v более $0,3 \text{ м/с}$ и S_y более $0,01 \text{ м}^2$;
- прочих сил $N_{\text{пр}}$ (возникающих при сборке, установке детали в приспособление, инструмента в магазин, для нежестких ЗУ — реакция в упругих элементах).

Приложенная к захваченному предмету внешняя сила обычно может быть представлена в виде шестимерного вектора с тремя поступательными и тремя вращательными компонентами.

Для анализа пар составляющих сил можно воспользоваться их графической диаграммой при условии, что будут учтены составляющие сил, действующие в перпендикулярном к чертежу направлении. Если требуется учесть упругие деформации захвата и пальцев, то следует использовать матричные методы (аналогичные методам, используемым при расчете гибких и пространственных конструкций).

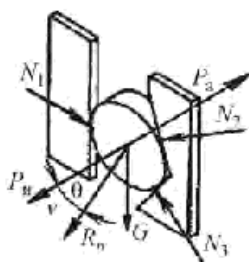


Рис. 4.5. Внешние силы, действующие на предмет производства: G — сила веса ПП; P_n — сила инерции; P_a — сила аэродинамического сопротивления; R_n — равнодействующая внешних сил; N_1, N_2, N_3 — силы сжатия ПП в точках контакта с губками ЗУ, уравнивающие воздействие силы R_n ; v — скорость перемещения ЗУ

Расчет динамических нагрузок сложнее, чем расчет усилий захватывания и гравитационных составляющих. При учете динамических нагрузок можно использовать [41, 44] запас прочности 1,2...2,0 (такой же запас прочности используется при проектировании любого движущегося промышленного оборудования). Максимальное ускорение, развиваемое роботом во время работы, достаточно велико и обычно составляет не менее $4,2 \text{ м/с}^2$, т.е. около половины величины ускорения свободного падения. Однако эти ускорения достаточно малы по сравнению с динамическими ускорениями, возникающими при касании роботом закрепленных конструкций (они могут превышать величину ускорения свободного падения в четыре и более раз). Это заставляет вводить в конструкцию захвата элементы податливости (упругие элементы).

Кинематическая схема механических ЗУ определяет передаточное отношение между усилием привода и силой сжатия объекта манипулирования — см. подраздел 4.2. От нее зависит точность центрирования ПП, принадлежащих к классу деталей типа тел вращения.

Определение геометрических параметров ЗУ — см. подраздел 4.2. К геометрическим параметрам относятся размеры и профиль зажимных губок, расположение рабочих элементов ЗУ и т.п.

Расчет усилия захватывания или удержания ПП. После того как определены все действующие на деталь силы, можно найти требуемое усилие захватывания (для клещевых и пальцевых ЗУ) или усилие удержания ПП (для электромагнитных, вакуумных и пневматических ЗУ).

Расчет конструктивных элементов ЗУ на прочность производят для деталей, испытывающих наибольшие нагрузки или влияющих на ка-

чество выполнения операции «взять—перенести—положить». Для клещевых ЗУ расчетное усилие захватывания следует проверить расчетом допустимых контактных нагрузок на губки ЗУ и на захватываемую поверхность ПП, на прочность опасных сечений губок и шарнира ЗУ. Для всех ЗУ целесообразно проверять на прочность место их крепления к руке манипулятора.

Расчет усилий привода и энергетических затрат. После того как определено усилие захвата, можно рассчитать для данной конструкции силы или моменты приводов. При этом можно воспользоваться методом балансировки сил для каждого сочленения, начиная с точек контакта ЗУ с ПП и двигаясь в направлении привода (для механических ЗУ). Для притягивающих ЗУ суммарное усилие захвата позволяет определить число электромагнитных или вакуумных присосок.

Приводы захватных устройств. В большинстве ЗУ используют три типа приводов: пневматический, электромеханический и гидравлический. Встречаются и другие типы приводов. Общую характеристику приводов см. в работе [12]. Здесь обратим внимание на особенности различных типов приводов применительно к оснащению ими механических ЗУ.

Пневматический привод наиболее распространен. Помимо дешевизны и других причин [12], его применение в ЗУ часто обусловлено взрывобезопасностью и малой жесткостью. Взрывобезопасность делает возможным применение ЗУ с пневмоприводом в горячих, химических и окрасочных цехах. Малая жесткость пневмопривода позволяет выполнять мягкое захватывание ПП, не повреждая его поверхности.

Электромеханический привод. Удобен для применения в антропоморфных и адаптивных ЗУ, оснащенных датчиками внешней информации, поскольку электромеханическая природа управляющих сигналов сильно упрощает процесс построения гибких систем управления и позволяет использовать в качестве устройства управления ЭВМ. Электромеханический привод (особенно с электродвигателем постоянного тока) может работать в системах как силового, так и позиционного управления. Однако такой привод нельзя применять во взрывоопасных средах из-за искрения и тепловыделения.

Электروهидравлический привод позволяет добиваться высокой точности позиционирования при любых нагрузках благодаря высокой жесткости системы. Другим преимуществом гидроприводов является высокая величина отношения мощности к их массе.

Пружинные приводы. В некоторых типах ЗУ используют пружины или другие упругие элементы: отдельно (см. рис. 3.3 и 3.4) либо в сочетании с пневматическим или гидравлическим приводом (см. рис. 3.13), поскольку при снятии давления рабочего тела пружина, связанная с поршнем, легко возвращает его в исходное положение. Пружины часто используют для раздвигания пальцев захватов с пневматическим или гидравлическим приводом. Пружины могут использоваться и для обеспечения усилия захватывания. В этом случае, очевидно, что усилие захватывания пропорционально жесткости пружины. Следовательно, для получения большого усилия захвата требуется использование жестких пружин, что, в свою очередь, связано с необходимостью увеличения мощности привода, разводящего пальцы захвата. Из-за этого применение пружин для захватывания ограничивается рабочими органами для работы с небольшими объектами — шпильками, гайками и болтами.

Электромагнитный механический привод иногда используют в клещевых захватных устройствах ПР. Он состоит из магнитной головки, имеющей ферромагнитный каркас, электропроводящей катушки и штока, изготовленного из магнитного материала. Когда на катушку подается напряжение, магнитная головка втягивает в себя шток и положение привода строго фиксируется. Если же в катушке тока нет, то шток свободно перемещается вдоль своей оси. В таком приводе обычно имеется возвратная пружина, обеспечивающая фиксацию двух положений штока.

Как правило, величина смещения штока невелика, потому что с ее увеличением сила притяжения магнитной головки уменьшается. Поэтому такой тип привода используется только при работе с небольшими объектами.

Привод «искусственная мышца» основан на способности некоторых веществ изменять свои размеры, форму и другие физические свойства под действием газа, жидкости, электрического тока, света или температуры. Примеры мышц на основе пневматических или гидравлических расширяющихся или изгибающихся эластичных камер см. на рис. 3.19...3.22. Другие конструкции «мышц» состоят из волокон электроактивных полимеров, которые сжимаются или растягиваются при освещении или при подаче электрического тока в зависимости от его полярности. Еще источниками для искусственных мышц могут служить специальные металлические материалы с термомеханическим эффектом памяти формы, реализующимся в ходе мартенситного превращения [12].

Вакуумные и магнитные присоски — см. подраздел 3.3.

Выбор привода осуществляется в зависимости от специфики выполняемых рабочим органом операций. Привод оказывает существенное влияние на эффективность захвата. Если в захвате имеются позиционно управляемые сочленения, то лучше воспользоваться электромеханическим или гидравлическим приводом. Во всех остальных случаях предпочтительнее пневматический привод. Если захват должен работать во взрывоопасной среде (например, на манипуляторе робота системы аэрозольной окраски), следует использовать пневматический или гидравлический привод. При работе в горячих цехах применяют пневматический привод ЗУ. Если необходимо управлять усилием, развиваемым в сочленении или при захватывании ПП, то целесообразно использовать электромеханический или пневматический привод.

Расчет и проектирование конструкции ЗУ ведут с учетом сформулированных выше (см. подраздел 2.2) технических требований. Завершают выбор кинематической схемы и конструкции ЗУ, уточняют расчет статических, динамических и контактных нагрузок на его элементы. Проводят расчеты на прочность элементов конструкции ЗУ. Выбирают тип привода ЗУ. Особое внимание уделяется материалам, форме и расположению поверхностей контакта ЗУ с ПП, а также защищенности датчиков системы информации ЗУ от внешних повреждений. Разрабатывая конструкцию ЗУ, следует иметь в виду, что она должна быть связана с конструкцией робота, ПП и обслуживаемого оборудования.

Необходимо оценить стоимость, сроки разработки и изготовления ЗУ, а также испытаний, эксплуатации и технического обслуживания. Перед началом разработки ЗУ следует определить возможность его приобретения из числа известных конструкций, имеющихся на рынке. Методики расчетов и проектирования зависят от способа захвата и вида устройства ЗУ.

Установку и крепление ЗУ к руке манипулятора проектируют с учетом рекомендаций главы 9.

4.2. Захватные устройства клещевого типа

Механические захватные устройства работают по принципу удержания объекта манипулирования с помощью сил трения и запирающего действия рабочих элементов. Эти устройства характеризуются функциональной универсальностью и конструктивным разнообра-

нием (см. подраздел 3.1). Общая структура механических захватных устройств показана на рис. 4.6. При этом, как правило, предусматривают блокировку ЗУ с помощью муфт и различных запирающих устройств, а также — компенсаторы (см. подраздел 9.1), обеспечивающие податливость и компенсацию погрешностей взаимного положения ПП и ЗУ.

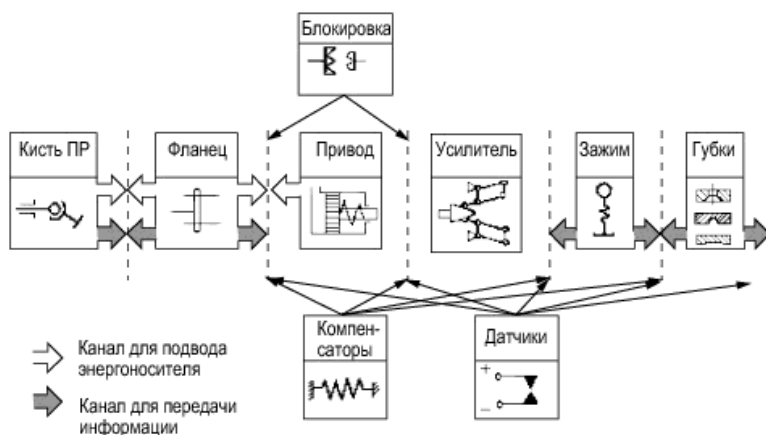


Рис. 4.6. Структура механических захватных устройств

В классе механических ЗУ наиболее распространены захватные устройства клещевого типа.

Последовательность проектирования клещевых механических ЗУ включает пп. 1...11, сформулированные в подразделе 4.1.

Расчет механических захватных устройств включает определение сил и моментов, действующих на ЗУ, установление силовых и динамических характеристик привода ЗУ, проверку отсутствия повреждений поверхности детали при ее захватывании и расчет на прочность деталей ЗУ, а также значений геометрических параметров захватного устройства.

Определение сил и моментов, действующих на ЗУ при удерживании и манипулировании ПП (см. рис. 4.5), позволяет выбрать способ захватывания, определить кинематику ЗУ, установить прочностные и динамические характеристики конструкции.

Способ захватывания связан с выбором схем базирования ПП (рис. 4.7), его геометрических, инерционных и прочностных характеристик, с качеством обработки его поверхностей и т.д. Для захватыва-

ния не могут быть использованы участки поверхностей, по которым базируется объект при захватывании и отпускании. Нежелательно захватывание за грубообработанные участки поверхностей, на которых имеются заусенцы, задиры, облой, а также за поверхности, прошедшие чистовую обработку, без принятия дополнительных мер предосторожности.

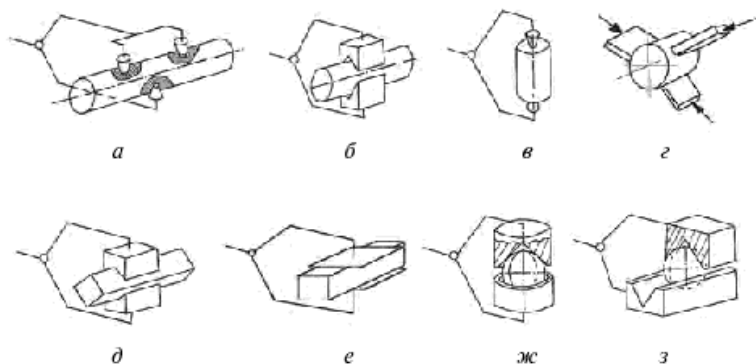


Рис. 4.7. Примеры схем базирования предметов производства в захватных устройствах:

- a* — цилиндр по трем точкам; *б* — цилиндр в призмах по образующим;
в — цилиндр по торцам; *г* — цилиндр по трем образующим;
д — квадрат в призмах; *е* — квадрат по двум плоскостям;
ж — шар по двум конусам; *з* — шар по двум призмам

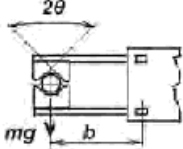
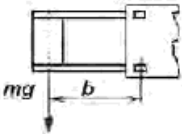
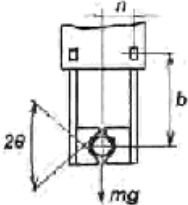
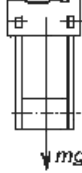
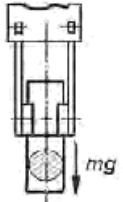
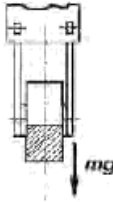
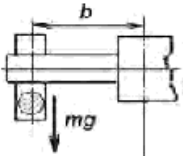
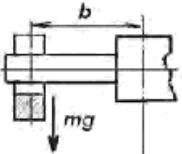
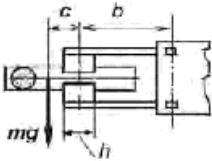
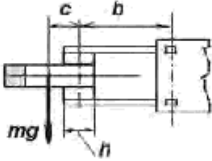
Усилие захватывания N (Н) определяют из предположения, что удерживание объекта манипулирования происходит за счет сил трения, создаваемых этим усилием. В первом приближении эта величина может быть определена:

$$N = m(g + a) K_1 K_2 = (G + P_{\text{и}}) K_1 K_2, \quad (4.15),$$

где m — масса объекта манипулирования; g — ускорение свободного падения ($9,81 \text{ м/с}^2$); a — максимальное ускорение центра масс объекта манипулирования, м/с^2 ; K_1 — коэффициент, зависящий от положения объекта манипулирования по отношению к губкам ЗУ и направления действия силы тяжести и коэффициента μ , выбирают по табл. 4.2 [15]; $K_2 = 1,3 \dots 2,0$ — коэффициент запаса, большие значения K_2 принимают для ЗУ, в которых отсутствует самоторможение; μ — коэффициент трения губки ЗУ с поверхностью ПП (см. табл. 4.2); (для незакаленных губок и губок без насечки, изготовленных из сталей марок 45, 50; выбирают $\mu = 0,12 \dots 0,15$; для закаленных губок в виде гребенки с острой насечкой, изготовленных из сталей марок 65Г, 60С2, У8А, У10А при твердости $\text{HRC} > 55$ выбирают $\mu = 0,3 \dots 0,35$).

Таблица 4.2

Значения коэффициента K_1 в зависимости от схемы удерживания груза в захватном устройстве

Схема удерживания груза в призматических губках ЗУ	K_1	Схема удерживания груза плоскими губками ЗУ	K_1
	$1/2$		$1/2$
	$0,5(\operatorname{tg}\theta + n/b)$		$1/(2\mu)$
	$\operatorname{Sin}\theta / (2\mu)$		$1/(2\mu)$
	$\operatorname{Sin}\theta / (2\mu)$		$1/(2\mu)$
	$3c/h$		$3c/h$

Примечания: 1. Заштрихованные области на эскизах характеризуют форму поперечного сечения ПП.

2. m , g , μ — соответственно масса ПП, ускорение свободного падения, коэффициент трения между поверхностями зажимных губок и ПП.

Силы, действующие в местах контакта поверхностей ЗУ и ПП, определяют по формулам табл. 4.3 [10].

Если ЗУ с ПП движется с переменной скоростью, то расчетное усилие Q , воздействующее на губки захвата, может быть записано в виде:

$$Q = m(g \pm a \cos \theta), \quad (4.16)$$

где m — масса детали; g — ускорение свободного падения; a — ускорение при перемещении схвата; θ — угол между вектором ускорения и вертикальной осью.

Различают следующие (см. табл. 4.3) схемы удержания ПП в клещевом механическом ЗУ:

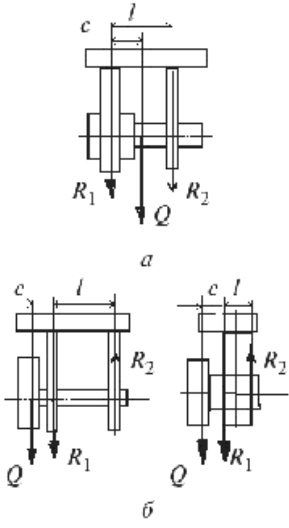
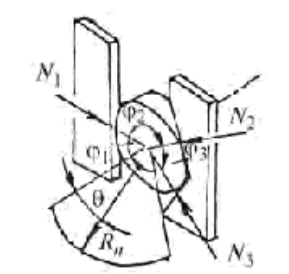
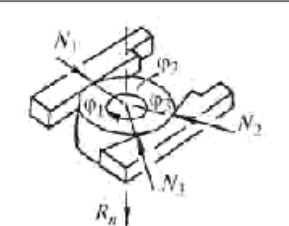
- центр тяжести объекта манипулирования находится между двумя парами губок ЗУ (см. табл. 4.3, позиция a схемы 1);
- центр тяжести объекта манипулирования смещен в сторону относительно одной или двух пар губок ЗУ (см. табл. 4.3, позиция b схемы 1); реакции губок направлены в разные стороны, т.е. имеют разные знаки;
- деталь поддерживается губкой ЗУ, силы трения мало влияют на механизм удерживания детали (см. табл. 4.3, схема 4);
- деталь удерживается благодаря запирающему действию губок при ограниченном влиянии сил трения (см. табл. 4.3, схемы 2 и 5);
- деталь удерживается силами трения (см. табл. 4.3, схемы 3 и 6).

На практике обычно встречается сложное нагружение ЗУ с комбинацией описанных случаев (см. табл. 4.3, схема 2), при этом в процессе манипулирования объектом характер нагрузки ЗУ и схемы удержания детали могут изменяться. Поэтому расчет должен вестись для критического случая нагрузки. При ротации наиболее тяжелым является положение ЗУ, когда удержание объекта происходит за счет сил трения, а силы прижатия в контакте между губками и деталью перпендикулярны направлению сил тяжести (см. табл. 4.3, схема 3).

Дополнительные силы и моменты, действующие на элементы конструкции ЗУ, определяют из условий эксплуатации (возможностей соударений с окружающими предметами, экстренного торможения и других экстремальных нагрузок). Эти силовые факторы учитывают при расчетах на прочность. Так, например, дополнительные динамические усилия возникают в момент захватывания рабочими элементами (губками ЗУ) объекта манипулирования. Они могут значительно превышать статические усилия и приводить к повреждению поверхности объекта, его деформированию и разрушению.

Таблица 4.3

Силы, действующие в местах контакта III и ЗУ

Расчетная схема	Расчетные формулы	
№ п/п	Эскиз	
1	 а б	$R_1 = \frac{l-c}{l} Q;$ $R_2 = \frac{c}{l} Q.$ а $R_1 = \frac{l+c}{l} Q;$ $R_2 = -\frac{c}{l} Q.$ б
2		$\sin \theta [\sin \varphi_j - \sin \varphi_k - \mu (\cos \varphi_j - \cos \varphi_k)] - \frac{\cos \theta}{\mu} \times$ $N_i = R_n \frac{\times (1 - \mu^2) \sin (\varphi_j - \varphi_k)}{(1 - \mu^2) [\sin (\varphi_1 - \varphi_2) + \sin (\varphi_2 - \varphi_3) + \sin (\varphi_3 - \varphi_1)]}$ где $i, j, k = 1, 2, 3; i \neq j \neq k$
3		$N_i = \frac{R_n \sin (\varphi_j - \varphi_k)}{\mu \sin (\varphi_1 - \varphi_2) + \sin (\varphi_2 - \varphi_3) + \sin (\varphi_3 - \varphi_1)},$ где $i, j, k = 1, 2, 3; i \neq j \neq k$

Расчетная схема		Расчетные формулы
№ п/п	Эскиз	
4		$N_i = R_n \frac{\sin \varphi_i - \mu \cos \varphi_j}{\sin(\varphi_1 + \varphi_2) - 2\mu \cos(\varphi_1 + \varphi_2)},$ где $i, j = 1, 2; i \neq j$
5		$N_1 = R_n \frac{\sin \varphi - \mu \cos \varphi}{\cos \varphi + 2\mu \sin \varphi},$ $N_2 = R_n \frac{1}{\cos \varphi + 2\mu \sin \varphi}$
6		$\varphi_1 = \varphi_2 = 90^\circ$ $N_1 = N_2 = \frac{R_n}{2\mu}$

Обозначения: Q — расчетная нагрузка; l — размер ЗУ; c — расстояние от точки приложения нагрузки до рассматриваемой губки ЗУ; R_n — реакция на n -ю губку захвата; θ — угол между осью ЗУ и силой R_n ; N_i — сила на поверхности контакта ПП и губкой ЗУ; φ_i — угол между проекцией силы R_n и силой N_i ; μ — коэффициент трения между поверхностями зажимных губок и ПП.

На рисунке 4.8 изображен момент захватывания упругого объекта массой m упругими рабочими элементами, масса m_1 каждого равна половине приведенной к рабочим элементам массы $m_{пр}$ механизма схвата, т.е. $m_1 = 0,5m_{пр}$.

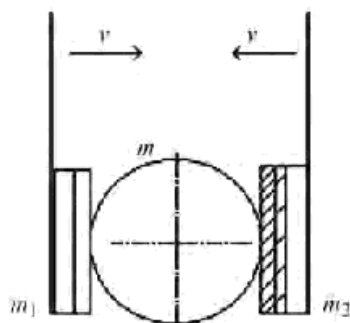


Рис. 4.8. Схема к определению дополнительной динамической силы при захватывании объекта плоскими губками ЗУ

Дополнительную динамическую силу N_d в момент захватывания можно определить по формуле:

$$N_d = C\Delta = \frac{v^2 m_1}{\Delta} = \frac{\delta^2 m_1}{t^2 \Delta}, \quad (4.17)$$

где C — эквивалентная жесткость объекта и рабочих элементов:

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}, \quad (4.18)$$

где C_1 — жесткость накладок рабочего элемента; C_2 — жесткость объекта; Δ — совместная деформация объекта и рабочего элемента; v — скорость рабочего элемента в момент касания; δ — ход рабочего элемента; t — время перемещения рабочего элемента.

Если захватываемый объект первоначально расположен на различных расстояниях от рабочих элементов, то захватыванию предшествуют удары рабочих элементов по отдельности. Динамические усилия при этом оказываются меньшими, чем в предыдущем случае.

Расчет привода ЗУ сводится к определению сил, моментов, динамических и некоторых конструктивных характеристик и позволяет выбрать тип привода.

Усилие привода ЗУ определяют из условия равенства элементарных работ, совершаемых приводом и губками ЗУ:

$$P S_{XP} = N S_{YN}$$

или

$$v_P P = 2v_N N, \quad (4.19)$$

откуда

$$P = N i_3$$

где $i_3 = S_{YN}/S_{XP} = 2v_N/v_P$ — передаточное отношение захватного устройства, которое определяют, исходя из кинематического анализа ЗУ, по соотношениям пути, проходимого пальцами ЗУ к пути конечного звена привода (S_{YN}/S_{XP}), или по соотношению скоростей движения пальцев и конечного звена привода ($2v_N/v_P$).

Расчет требуемого усилия привода сводится к нахождению удерживающего момента M_j и силы P на штоке пневмо- или гидроцилиндра по известным силам прижатия на губках N_i или удерживающему моменту M_j .

Расчет сил и моментов привода для ЗУ с симметричными губками ведется по формулам табл. 4.4, где рассмотрены примеры применения клиновых, рычажных, винтовых и реечных передаточных механизмов. Соотношение между P и M зависит от типа передаточного механизма ЗУ.

В общем случае (для ЗУ с несимметричными губками) для расчетных схем, представленных в табл. 4.4, удерживающий момент M_j (Н·м) для j -й губки, определяемый из условия удержания детали:

$$M_j = \sum_{i=1}^k N_i \cos \varphi_i [a_i \operatorname{tg} \varphi_i \pm c_i - \mu (a_i \pm c_i \operatorname{tg} \varphi_i)], \quad (4.20)$$

где N_i — сила контакта между губкой и деталью, Н, определенная по формулам табл. 4.3 (остальные обозначения — см. в табл. 4.4 [10]).

Тип привода ЗУ выбирают, исходя из требований производства, наличия энергоносителя, элементной базы.

Диаметр поршня привода ЗУ определяют из соотношения (мм):

$$d = 2 \sqrt{P / p \pi \eta_n \eta_{zy}}, \quad (4.21)$$

где d — диаметр поршня; P — усилие привода ЗУ, Н; p — давление энергоносителя: для пневмопривода 0,4 МПа, для гидропривода 3...12,5 МПа; η_n, η_{zy} — к.п.д. привода и механизма ЗУ: $\eta_n = 0,85...0,95$; $\eta_{zy} = 0,9...0,95$; $\eta_p = \eta_n \eta_{zy}$.

Время срабатывания пневмоцилиндра можно приближенно определить по формуле

$$t = D^2 L / d^2 v, \quad (4.22)$$

где D и L — диаметр и ход поршня; d — внутренний диаметр воздухопровода; v — скорость течения воздуха в трубопроводе, $v = 15 \dots 25$ м/с.

Ход поршня L находят из условия: $L = \delta / i$. Скорость поршня: $v_n = v i$, где v — скорость перемещения рабочих элементов губок ЗУ; δ — ход рабочего элемента.

Требуемый расход воздуха пневмоцилиндра

$$Q = v_n S \eta_n, \quad (4.23)$$

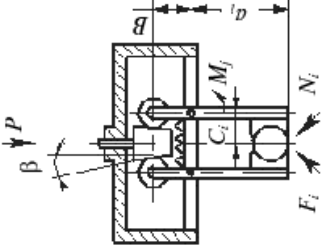
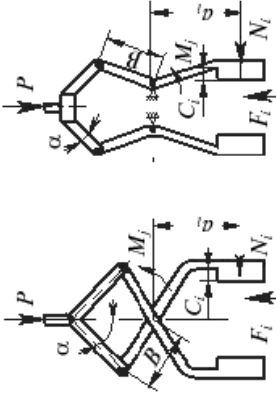
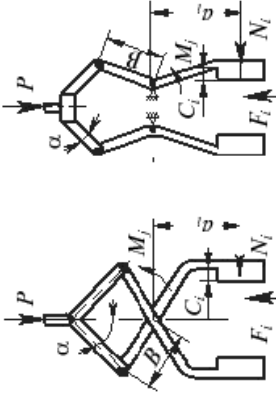
где v_n — скорость перемещения поршня; S — эффективная площадь поршня.

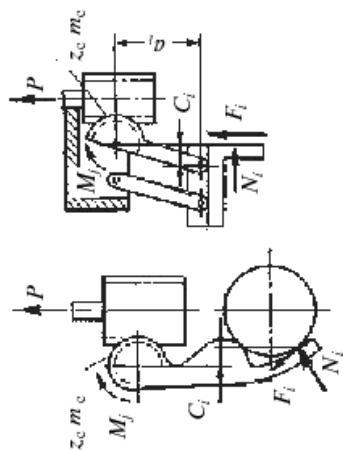
Диаметр пневмоцилиндра уточняют в соответствии с нормализованным рядом (ГОСТ 12 447—80). Ход штока определяют исходя из кинематической схемы с запасом 10...20 мм для компенсации возможных отклонений от расчетных параметров. Типоразмер и исполнение пневмоцилиндра и гидропневмоцилиндра можно выбрать согласно рекомендациям [10, 12, 30].

Применение электродвигателя в захватном устройстве не требует подвода сжатого воздуха, исключает уплотнения и использование электропневмопреобразователей, упрощает наладку и обслуживание. Однако пневмопривод имеет лучшие массогабаритные характеристики, простую конструкцию, высокое быстродействие. Передача от электродвигателя требует достаточно высокой редукции, а также принятия специальных мер для сохранения усилия захватывания при отключенном электродвигателе. Существуют различные конструктивные приемы, позволяющие исключить возможность выпадения захваченного объекта из захватного устройства или уменьшить вероятность этого. Наиболее простой и широко распространенный из них — использование усилия пружины для зажатия губками объекта, а усилия привода — для их разжатия. При этом пружина чаще всего помещается в одну из полостей гидро- или пневмоцилиндра. Захватные устройства, у которых зажимное движение губок обеспечивается пружиной, являются нормально зажатыми, их удерживающая способность не зависит от наличия давления питания и его величины. Этот способ повышения надежности удерживания объектов имеет ряд недостатков: непостоянство усилия зажатия на всем диапазоне рабочего хода губок; сложность обеспечения точного значения требуемого захватного усилия даже для одного положения губок (ввиду разброса фактических усилий пружины) и регулирования этого усилия; установка

Таблица 4.4

Формулы расчета усилий привода для основных групп ЗУ

№ п/п	Расчетные схемы и формулы	
1	 Общий случай $P \geq \frac{\sum_{j=1}^m M_j \operatorname{tg}(\beta + \rho)}{b \eta_\rho}$ Для симметричных губок $P \geq \frac{2 M_j \operatorname{tg}(\beta + \rho)}{b \eta_\rho},$ $m = 2$; $\eta_\rho = 0,9$; $\beta = 4+8^\circ$; $\rho = 1^\circ 10'$ — при осях на подшипниках скольжения; $\rho = 3'$ — при осях на подшипниках качения	Общий случай $P \geq \frac{\sum_{j=1}^m M_j \cos \alpha}{b \eta_\rho}$ Для симметричных губок $P \geq \frac{2 M_j \cos \alpha}{b \eta_\rho}.$ $\eta_\rho = 0,9 \dots 0,95$ 
2		

№ п/п	Расчетные схемы и формулы	
3		Общий случай $P \geq \frac{2 \sum_{i=1}^m M_j}{m_c z_c \eta_p}.$ Для симметричных губок $P \geq \frac{4 M_j}{m_c z_c \eta_p}.$ $\eta_p = 0,94$

Обозначения: m — число губок захватного устройства; M_j — удерживающий момент (Н·м) для j -й губки, определенный по зависимости (4.20); N_j — сила контакта между губкой и деталью, Н, определенная по формулам табл. 4.3; a_j , C_j — расстояние от точки поворота губки до i -й точки контакта, м; ρ — приведенный угол трения, учитывающий сопротивление осей рычагов, град; β — угол клина, град; η_p — коэффициент полезного действия механизма; b — размер рычага, м; α — угол рычага, град; m_c — модуль зубьев сектора, м; z_c — полное число зубьев сектора.

пружины в пневмо- или гидроцилиндре увеличивает габаритные размеры последнего; использование пружины не исключает несанкционированного раскрытия губок захватного устройства, если в его кинематической схеме отсутствует самотормозящаяся передача.

В настоящее время нет схемных и конструктивных решений захватных устройств с электроприводом, которые могли бы считаться типовыми. Выбор электродвигателя осуществляется по требуемому среднему вращающему моменту и угловой скорости с учетом требуемого быстродействия и передаточного отношения привода на основании следующего уравнения:

$$\frac{1}{2} I \omega_0^2 + M_c \varphi = \frac{1}{2} \frac{S^2}{c}, \quad (4.24)$$

где I — момент инерции; ω_0 — угловая скорость, с^{-1} ; M_c — средний вращающий момент двигателя; φ — угол поворота двигателя до остановки; S — усилие захватывания в момент остановки двигателя; c — приведенная жесткость всех упругих элементов;

$$\varphi = S i / c, \quad (4.25)$$

где i — передаточное число, определяемое как отношение угла поворота ротора к перемещению рабочего элемента, м^{-1} .

Решение уравнения:

$$S = i M_c + \sqrt{(i M_c)^2 + I c \omega_0^2}. \quad (4.26)$$

Считая, что основной вклад в усилие захватывания вносит статический момент двигателя, т.е. $(i M_c)^2 > I c \omega_0^2$, получим $S \approx 2 M_c$.

Окончательный выбор двигателя может быть произведен, исходя из требований к быстродействию захватного устройства:

$$M_c = S h_0 / 2 \omega_0 T, \quad (4.27)$$

где h_0 — максимальный ход рабочих элементов захвата; T — требуемое время перемещения (при необходимости учитывается дополнительное запаздывание вследствие разгона двигателя и его торможения).

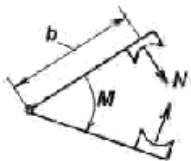
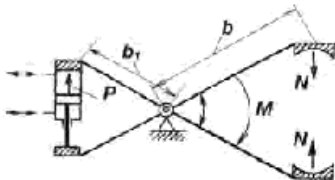
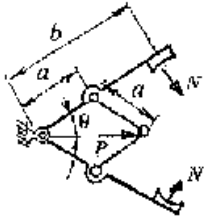
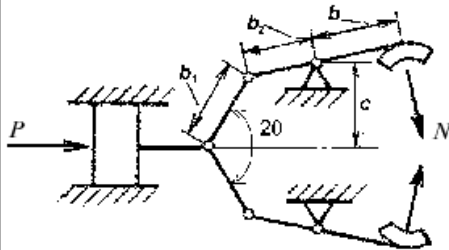
При проектировании захватных устройств часто приходится решать *обратную задачу*: при известном усилии привода определить усилие захватывания — решается как обратное действие нахождению силы привода (табл. 4.5). Такую задачу вызывает необходимость увеличить (уменьшить) усилие зажима ПП за счет изменения передаточного отношения ЗУ.

Для приведенных в табл. 4.5 схем передаточных механизмов при известном усилии привода можно найти усилие захватывания.

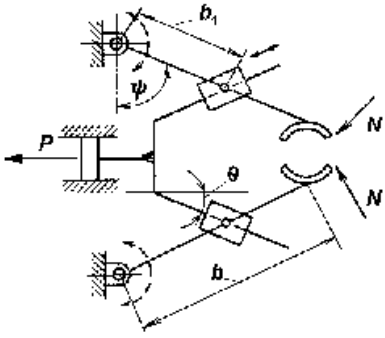
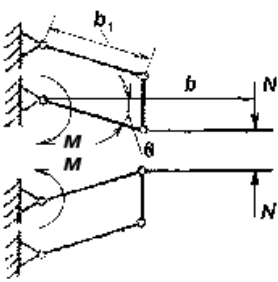
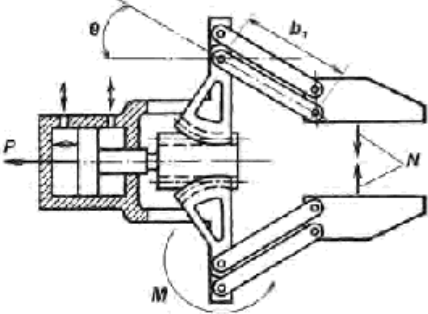
Кинематические схемы механических ЗУ весьма разнообразны (см. рис. 3.5, 3.8, 3.13, 3.14). Связь между P и N в зависимости от принятых кинематических схем иллюстрирует табл. 4.5. При определении реального значения усилия привода P следует учитывать КПД механизма так, как это сделано в табл. 4.4.

Таблица 4.5

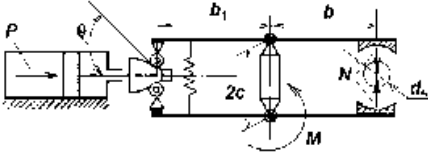
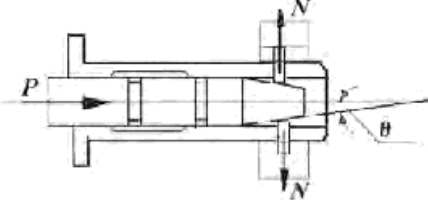
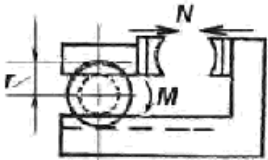
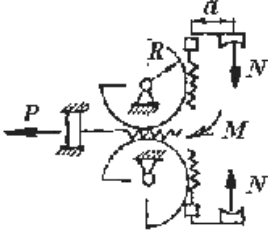
Зависимости усилия захватывания и силы на выходе привода от кинематики захватного устройства

№ п/п	Тип механизма ЗУ и его параметры	Зависимость усилия захватывания и удерживающего момента от силы на выходе привода
1		$M = bN = RP$, где R — радиус приводного шкива; P — окружная сила
2		$M = bN = b_1P$
3		$M = 2Nb = aP \sin \theta$
4		$M = bN = \left[\operatorname{tg} \theta \sqrt{1 - \left(\frac{b_1 \sin \theta - c}{b} \right)^2} - \frac{b_1 \sin \theta - c}{b} \right] \frac{P}{2} b_2$

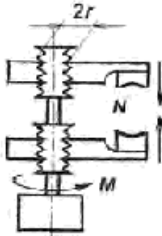
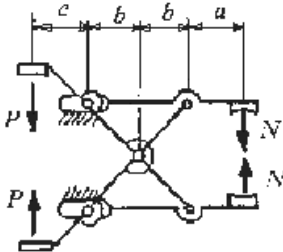
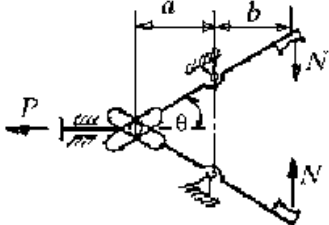
Продолжение

№ п/п	Тип механизма ЗУ и его параметры	Зависимость усилия захватывания и удерживающего момента от силы на выходе привода
5		$M = bN = b_1 \frac{\cos(\psi - \theta)}{2\cos\theta} P$
6		$M = b_1 N \cos\theta$
7		$M = b_1 N \cos\theta,$ $P = \frac{4M}{mz},$ где m — модуль сектора, z — полное число зубьев окружности сектора

Продолжение

№ п/п	Тип механизма ЗУ и его параметры	Зависимость усилия захватывания и удерживающего момента от силы на выходе привода
8		$M = bN = \frac{1}{2} b_1 P \operatorname{ctg}(\theta + \rho),$ где $\theta = 4 \dots 8^\circ$; $\rho = 1^\circ 10' \dots 3^\circ$ — для подшипников скольжения и качения соответственно; d_0 — диаметр захватываемой детали (ПП); $2c$ — расстояние между осями шарниров
9		$P = n N \operatorname{tg} \theta,$ где n — число распорных элементов в ЗУ
10		$M = rN$
11		$M = PR = 2Na$

Окончание

№ п/п	Тип механизма ЗУ и его параметры	Зависимость усилия захватывания и удерживающего момента от силы на выходе привода
12		$M = Nr \operatorname{tg} \theta,$ где θ — угол подъема винтовой линии
13		$M = P(b + c) = Nb$
14		$M = Pa = 2bN \operatorname{ctg} \theta$

Компоновочные и кинематические схемы захватных устройств, работающих от поступательных пневмо- и гидроцилиндров, достаточно просты. Выбор компоновочных решений для электромеханических схватов осуществляют с учетом ограничений на габаритные размеры и на кинематику движений рабочих элементов. При этом необходимо учитывать, что передача движения от электродвигателя к рабочим элементам требует высокой редукции и специальных мер для сохранения усилия захватывания при его отключении.

Для получения больших передаточных отношений могут быть использованы передаточные механизмы: зубчатые, планетарные, волновые, червячные и др. Однако при этом значительно усложняется конструкция ЗУ, увеличивается его масса и снижается надежность. Применение самотормозящихся передач (червячных, винтовых и др.) позволяет получить большие передаточные отношения с небольшим усложнением конструкции захватного устройства и увеличением его массы. При отключении электродвигателя в таких ЗУ положение рабочих элементов остается фиксированным, усилие захватывания — неограниченно. Несущая способность захватного устройства ограничена только условиями сохранения прочности.

В захватных устройствах без самотормозящихся передач для создания стабильного усилия захватывания и его сохранения целесообразно ввести в кинематическую цепь между двигателем и рабочими элементами упругие элементы или тормозные устройства.

Прочностные расчеты ведут по известным методикам деталей машин.

Усилия, действующие на элементы конструкции ЗУ, определяют, исходя из кинематического анализа, прикладывая к губкам ЗУ усилие зажима объекта манипулирования.

Для примера определим усилия, действующие на элементы конструкции ЗУ, показанного на рис. 4.9.

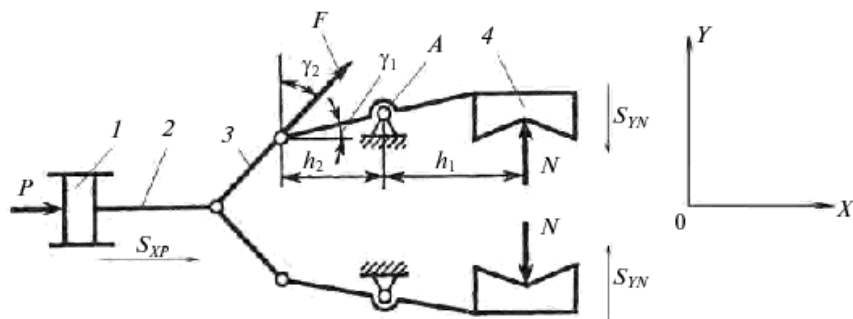


Рис. 4.9. Схема к определению усилий, действующих на элементы конструкции механического захватного устройства клещевого типа:

1 — поршень; 2 — шток; 3 — звено ЗУ, переходное от пальца к штоку; 4 — палец ЗУ с зажимной губкой; А — шарнир; N — усилие зажима (сопротивления зажиму); P — сила привода (на поршне); F — сила, действующая на переходное звено 3; S_{XP} , S_{YN} — взаимосвязанные перемещения поршня привода и губок ЗУ под действием силы P; h_1 , h_2 — плечи действия сил N и F относительно шарнирной опоры А; γ_1 , γ_2 — углы между направлением действия силы F и осями системы координат XOY

Равновесие звена (пальца) 4, вращающегося вокруг шарнира А, по сумме моментов:

$$\Sigma M_A = N h_1 - F h_2 \cos \gamma_2 = 0,$$

откуда

$$F = N h_1 / (h_2 \cos \gamma_2).$$

Усилие R_A , действующее на шарнир А, находим из суммы проекций сил на оси x и y :

$$F \sin \gamma_2 - R_{Ax} = 0,$$

откуда

$$R_{Ax} = F \sin \gamma_2.$$

$$F \cos \gamma_2 + N - R_{Ay} = 0,$$

откуда

$$R_{Ay} = F \cos \gamma_2 + N = N (1 + h_1/h_2),$$

$$R_A = \sqrt{R_{Ax}^2 + R_{Ay}^2}.$$

Усилие, действующее на звено 3, направлено по его оси и равно F .

Усилие привода

$$P = 2 F \sin \gamma_2.$$

По найденным значениям сил рассчитывают размеры элементов, входящих в ЗУ: рычагов, тяг, шарниров, рабочих элементов пальцев и губок.

Поперечное сечение рычагов клещей (пальцев) ЗУ рассчитывают на изгиб. Опасным сечением обычно является место установки шарнира:

$$\sigma_{из} = 10^3 M_{из} / W \leq [\sigma]_{из}, \quad (4.28),$$

где $\sigma_{из}$ — расчетное напряжение изгиба; $M_{из}$ — изгибающий момент, действующий в опасном сечении, Н·м; W — момент сопротивления сечения изгибу, мм³; $[\sigma]_{из}$ — допускаемое напряжение изгиба, МПа, $[\sigma]_{из} = (0,4 \dots 0,5) \sigma_T$, где σ_T — предел текучести материала шарнира, МПа.

Схема к расчету параметров опасного сечения показана на рис. 4.10. Согласно обозначениям рис. 4.10 получим

$$W = \frac{b}{6D} (D^3 - d^3), \quad (4.29),$$

где D — внешний диаметр втулки шарнира; d — диаметр оси шарнира; $2b$ — длина оси шарнира; b — ширина втулки шарнира¹ (ширину рычагов принима-

¹ Для ПП типа валов часто приравнивают к ширине губки ЗУ.

ют обычно из конструктивных соображений, равной или несколько меньшей b).

$$M_{\text{н}} = NR. \quad (4.30)$$

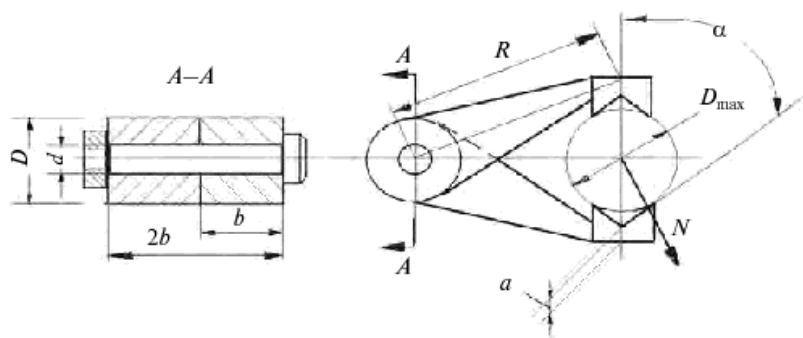


Рис. 4.10. Схема к расчету на прочность конструктивных элементов клещевых ЗУ:

$A-A$ — опасное сечение шарнира ЗУ; D — внешний диаметр втулки шарнира; d — диаметр оси шарнира; $2b$ — длина оси шарнира; b — ширина втулки шарнира; a — толщина опасного сечения рабочего элемента ЗУ; α — половина угла раскрытия призматического рабочего элемента (губки); R — длина рычага клещей (пальца); D_{max} — наибольший диаметр объекта манипулирования, захватываемый ЗУ; N — силы захвата

Толщину a рабочего элемента (см. рис. 4.10) находят из условия изгибной прочности:

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{N \frac{D_{\text{max}}}{2 \tan \alpha}}{W_{\text{н}}} \leq [\sigma]_{\text{н}},$$

где N — наибольшее нормальное усилие в точке контакта объекта с губкой; 2α — угол раскрытия призматического рабочего элемента (губки); D_{max} — наибольший диаметр объекта манипулирования, захватываемый ЗУ; $W_{\text{н}}$ — осевой момент сопротивления изгибу поперечного сечения полки рабочего элемента.

Для плоского сечения размером $a \times b$ имеем $W_{\text{н}} = ba^2/6$, тогда толщина полки

$$a \geq \sqrt{\frac{6NR_{\text{max}}}{b[\sigma]_{\text{н}} \tan \alpha}}. \quad (4.31)$$

Шарниры ЗУ рассчитывают на срез и смятие:

- диаметр оси шарнира (мм)

$$d = \sqrt{4F / \tau \pi}, \quad (4.32)$$

где F — поперечная сила, действующая на шарнир, Н; $\tau = [\tau]_{\text{ср}}$ — допускаемое напряжение среза, МПа, $[\tau]_{\text{ср}} = (0,2 \dots 0,3) \sigma_T$;

- длина оси в рабочей части шарнира:

$$2b = l = F / \pi d [\sigma]_{\text{см}}, \quad (4.33)$$

где $[\sigma]_{\text{см}}$ — допускаемое напряжение смятия, МПа $[\sigma]_{\text{см}} = (0,4 \dots 0,6) \sigma_T$.

Губки захватного устройства контактируют с объектом манипулирования, поэтому от их конструкции во многом зависят точность и надежность работы ЗУ, а также обеспечение целостности поверхности объекта манипулирования. При конструировании сменных губок следует учитывать, что на них действуют значительные нормальные усилия и силы инерции, которые сдвигают губки со своего места. С другой стороны, губки должны обеспечить наибольшую силу трения, что позволяет уменьшить размеры ЗУ. Поэтому в конструкции крепления сменных губок следует предусмотреть их жесткую фиксацию, выполнение губок с высокой твердостью поверхности и возможностью их быстрой и легкой замены.

В то же время в целях исключения повреждения обработанной поверхности объекта манипулирования в качестве материала для губок (или накладок на губки) применяют бронзу, пластиковые материалы, а также текстолит, жесткую и пористую резину.

На рисунке 4.11, *а* — *г* показаны способы фиксации губок в клещах ЗУ. Губка 1 (см. рис. 4.11, *а, б*) базируется в теле ЗУ своим наружным диаметром и крепится винтом 2. На рисунке 4.11, *в* — губка 1 прямоугольной формы базируется в пазу клещей 3 и крепится винтом 2. Губки могут быть выполнены в виде роликов 1 (см. рис. 4.11, *г*), закрепленных на осях 4 в клещах 3 ЗУ. Такая конструкция позволяет загружать детали типа тел вращения во вращающиеся патроны станков. Роликовые губки позволяют ориентировать детали, имеющие дисбаланс относительно оси: под действием силы тяжести детали сами поворачиваются в роликах.

Рекомендации по конструкции и размерам губок (с рифлением) приведены на рис. 4.12 и в табл. 4.6.

Размеры губок определяют, исходя из расчета на контактную прочность.

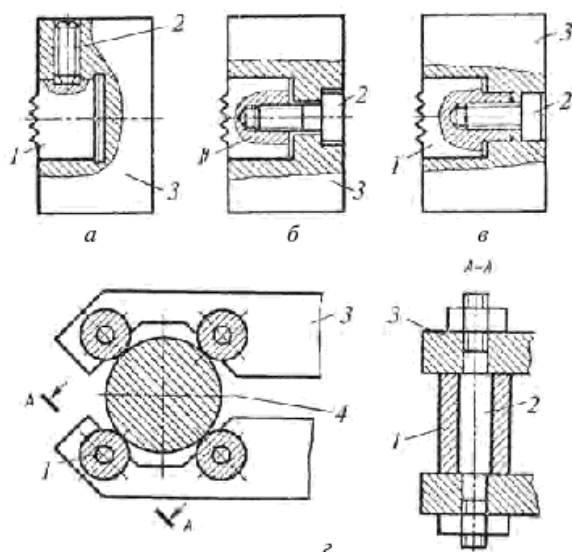


Рис. 4.11. Способы фиксации сменных губок в клещах ЗУ:
а, б — крепление цилиндрических губок 1 винтом 2; *в* — крепление призматической губки 1 винтом 2 в тело клещей 3; *г* — крепление губок, выполненных в виде роликов 1, установленных в теле клещей 3 на осях 4

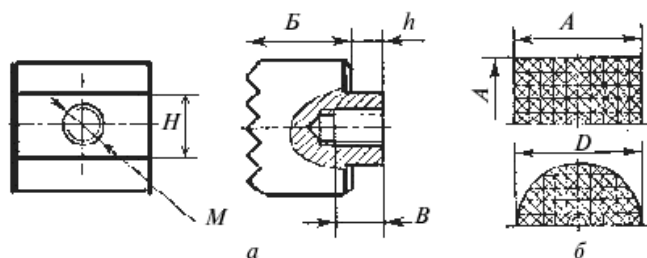


Рис. 4.12. Размеры сменных губок для механических ЗУ с рифлениями на поверхностях:
а — плоской; *б* — цилиндрической

Определение напряжений на поверхностях контакта ЗУ с объектом манипулирования (ПП) может потребоваться как при расчете ЗУ, так и при установлении возможности повреждения объекта при его захватывании и удержании. В ряде случаев, особенно при удержании детали благодаря силам трения, усилия, действующие в местах контакта с ЗУ, бывают значительными. Это может привести к повреждению зажим-

ных губок ЗУ или к повреждению поверхности деталей, что недопустимо при их чистовой обработке. Расчетные контактные напряжения σ_k меньше допустимых $[\sigma_k]$.

Таблица 4.6

Размеры сменных губок для механических ЗУ

Типо- размер	Размеры, мм (см. рис. 4.12)					
	<i>D</i> или <i>A</i>	<i>B</i>	<i>M</i>	<i>B</i>	<i>H</i>	<i>h</i>
1	10	10	M5	6	10	4
2	15	10	M5	6	10	4
3	20	12	M6	6	12	5
4	30	14	M8	8	14	6
5	40	14	M8	8	14	6

Допустимое контактное напряжение $[\sigma_k]$ приближенно может быть определено по формулам:

- для стали:
 $[\sigma_k] = (2,5 \dots 4,5) \text{HB}$ — при линейном контакте;
 $[\sigma_k] = (6 \dots 11) \text{HB}$ — при точечном контакте;
- для чугуна:
 $[\sigma_k] = (1,3 \dots 1,8) \text{HB}$ — при линейном контакте;
 $[\sigma_k] = (3 \dots 4,5) \text{HB}$ — при точечном контакте,

где HB — твердость материала по Бринелю.

Значения допустимых контактных напряжений для различных типов материалов даны в табл. 4.7. Более точные показатели приведены в соответствующих справочниках-марочниках, содержащих сведения о механических свойствах материалов.

Таблица 4.7

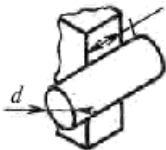
Допустимые контактные напряжения

Материал	Вид контакта	$[\sigma_k]$, МПа
Сталь	Линейный	450...850
	Точечный	1 100...2 200
Чугун	Линейный	260...350
	Точечный	600...800

Формулы, определяющие напряжения на поверхностях контакта ПП с ЗУ в зависимости от нагрузки, геометрии контактной зоны и характеристик материала губок ЗУ и ПП, приведены в табл. 4.8 [10].

Таблица 4.8

**Схемы контакта губок ЗУ с объектом манипулирования
и зависимости для расчета контактных напряжений**

Схема контакта	Расчетная зависимость
	$\sigma = 0,418 \sqrt{\frac{NE_{\text{пп}}}{l} \left(\frac{2}{d} + \frac{1}{r} \right)}$
	$\sigma = 0,418 \sqrt{\frac{NE_{\text{пп}}}{l} \left(\frac{2}{d} - \frac{1}{r} \right)}$
	$\sigma = 0,418 \sqrt{\frac{NE_{\text{пп}}}{ld} 2}$
	$\sigma = m \sqrt{\frac{N(E_{\text{пп}})^2}{r^2}} \text{ при } \frac{d}{2} < r$

Обозначения: N — сила, действующая в месте контакта губок ЗУ с деталью (ПП); $E_{\text{пп}}$ — приведенный модуль упругости, МПа; l — ширина губки ЗУ, мм; d — диаметр детали, мм; r — радиус губок ЗУ, мм; m — коэффициент, зависящий от отношения диаметров $2r/d$ соприкасающихся шаровой и цилиндрической поверхностями (см. табл. 4.9)

Значения коэффициента m [10] представлены в табл. 4.9.

Таблица 4.9

Значения коэффициента m в зависимости от отношения $2r/d$

$2r/d$	m	$2r/d$	m
1,0	0,388	0,4	0,536
0,9	0,4	0,3	0,6
0,8	0,42	0,2	0,716
0,7	0,44	0,15	0,8
0,6	0,468	0,10	0,97
0,5	0,49	0,05	1,98

Приведенный модуль упругости материалов $E_{\text{пр}}$ подсчитывают по формуле:

$$E_{\text{пр}} = \frac{2E_{\text{д}}E_{\text{г}}}{E_{\text{д}} + E_{\text{г}}}, \quad (4.34)$$

где $E_{\text{д}}$ — модуль упругости материала объекта манипулирования (детали); $E_{\text{г}}$ — модуль упругости материала губок ЗУ.

Значения модуля упругости для различных материалов даны в табл. 4.10.

Таблица 4.10

Значения модуля упругости для различных материалов

Материал	Модуль упругости, МПа
Сталь	$(1,9...2,15) \cdot 10^5$
Чугун серый	$(1,2...1,55) \cdot 10^5$
Медь техническая	$(1,1...1,3) \cdot 10^5$
Бронза	$(0,8...1,2) \cdot 10^5$
Алюминиевые сплавы	$(0,69...0,7) \cdot 10^5$
Текстолит	$(0,8...1,0) \cdot 10^5$

Ширина губки захватного устройства обычно выбирается по конструктивным соображениям и может быть для тяжелых случаев нагружения (несимметричный зажим) проверена по формуле:

$$b \geq \frac{1,5mgl}{(N + 1,5mg)}, \quad (4.35)$$

где N — усилие, действующее на каждую губку при зажиме; m — масса детали; l — длина детали; b — ширина губки; g — ускорение свободного падения.

Определение геометрических параметров ЗУ необходимо прежде всего для проектирования профиля зажимных пальцев и губок с целью обеспечения центрирования и постоянства базирования ПП.

Профиль рабочих элементов пальцев клещевых ЗУ должен в наименьшей мере зависеть от изменения формы и размеров объектов манипулирования, обеспечивая их надежный зажим и базирование. Поэтому очень часто рабочие элементы пальцев, имеющих встречное параллельное сближение, выполняют в виде плоских пластин. Для зажима цилиндрических деталей чаще всего применяют пальцы с V-образными углублениями на рабочих элементах. При этом каждый палец контактирует с объектом в двух местах. В таком ЗУ большее усилие распределяется по меньшей поверхности контакта, что может привести к повреждению или разрушению объекта манипулирования.

При работе с достаточно простыми объектами пальцы с V-образными углублениями предпочтительнее, чем плоские или спрофилированные так, чтобы повторять форму объекта. Помимо простоты изготовления и надежности зажима объекта, первое преимущество — возможность применения в любых конструкциях ЗУ с криволинейным (см. рис. 3.5) или встречным параллельным сближением пальцев (см. рис. 3.15). Другое преимущество состоит в том, что с помощью одного углубления можно захватывать объекты разного диаметра (в пределах типоразмера «от—до»), т.е. размеры углубления не зависят от диаметра объекта.

Диапазон раскрытия рабочих элементов ЗУ представляет собой величину их перемещения при захватывании объекта минимального и максимального размеров. Величина диапазона связана с размерами, формой, погрешностями изготовления и базирования ПП, формой профиля рабочих элементов ЗУ и погрешностью позиционирования промышленного робота.

Определение диапазона раскрытия ΔH проиллюстрируем на примере призматических рабочих элементов ЗУ при их коллинеарном сближении (рис. 4.13):

$$\Delta H = H_{\max} - H_{\min}$$

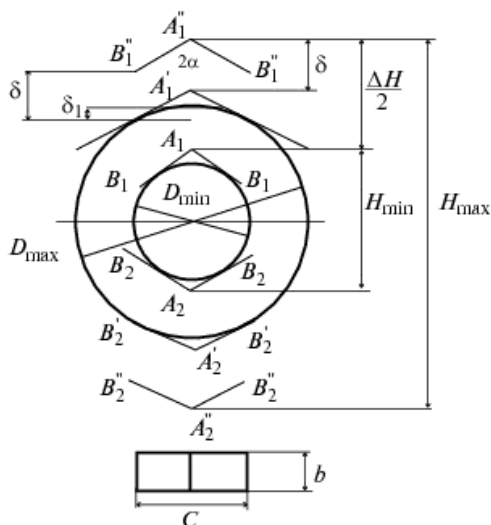


Рис. 4.13. Расчетная схема для определения диапазона раскрытия рабочих элементов захватного устройства

Раскрытие каждого рабочего элемента ЗУ при захватывании объекта радиуса $R_{\max}$ равно:

$$H_{\max} / 2 = R_{\max} / (\sin \alpha + \delta),$$

$$\delta = \sum_{i=1}^4 \delta_i,$$

где δ — ход рабочего элемента; $\delta_1 = R_{\max} - R_{\min} \sin \alpha = R_{\max} (1 - \sin \alpha)$ — минимальная величина зазора между рабочими элементами и поверхностью объекта, за которую осуществляют захват; δ_2 — половина погрешности изготовления объекта; δ_3 — погрешность базирования объекта на позиции, с которой происходит его захватывание; δ_4 — погрешность позиционирования промышленного робота.

Раскрытие рабочего элемента при захватывании объекта радиусом $R_{\min}$:

$$H_{\min} / 2 = R_{\min} / \sin \alpha.$$

Диапазон раскрытия одного рабочего элемента:

$$\Delta H / 2 = (R_{\max} - R_{\min}) / (\sin \alpha + \delta) = \Delta R / (\sin \alpha + \delta),$$

где ΔR — изменение радиуса объекта.

Диапазон раскрытия ЗУ равен

$$\Delta H = \Delta D / (\sin \alpha + \delta), \quad (4.36)$$

где ΔD — изменение диаметра объекта $\Delta D = D_{\max} - D_{\min}$.

Геометрические параметры рабочих элементов пальцев ЗУ рассмотрим на примере конструкций с V-образными углублениями (см. рис. 4.13). Основными параметрами рабочих элементов являются: угол 2α раскрытия рабочего элемента, длина C и ширина b . Угол α выбирают из диапазона допустимых значений. Наибольшее значение угла $\alpha_{\max} = 80^\circ$ принимают из условия отсутствия заклинивания объекта при захватывании. Наименьшее значение угла определяют из условия нормального захватывания объектов с заданным отношением минимального $R_{\min}$ и максимального $R_{\max}$ радиусов:

$$\alpha_{\min} = \arccos \sqrt{\frac{R_{\min}}{R_{\max}}}. \quad (4.37)$$

В большинстве случаев $\alpha = 60^\circ$, реже $\alpha = 45^\circ$.

Длину C рабочего элемента выбирают с учетом следующих требований: при захватывании объекта минимального размера крайние точки B_1 и B_2 рабочих элементов не должны соприкасаться друг с другом, и при захватывании объекта максимального размера крайние точки B_1 и B_2 рабочих элементов не должны вступать в контакт с объектом, т.е:

$$2 R_{\max} \cos \alpha \leq C \leq \frac{2 R_{\min}}{\cos \alpha}. \quad (4.38)$$

В целях уменьшения габаритов рабочего элемента размер C рекомендуют выбирать близким к минимальному значению. Ширину b находят из условия контактной прочности: $\sigma_k \leq |\sigma_k|$. Толщину рабочего элемента a (см. рис. 4.10) находят по зависимости (4.31).

Отклонение центров ПП от оси симметрии шарнирных ЗУ происходит при использовании конструкций с V-образными углублениями на рабочих элементах для манипулирования деталями типа тел вращения (рис. 4.14).

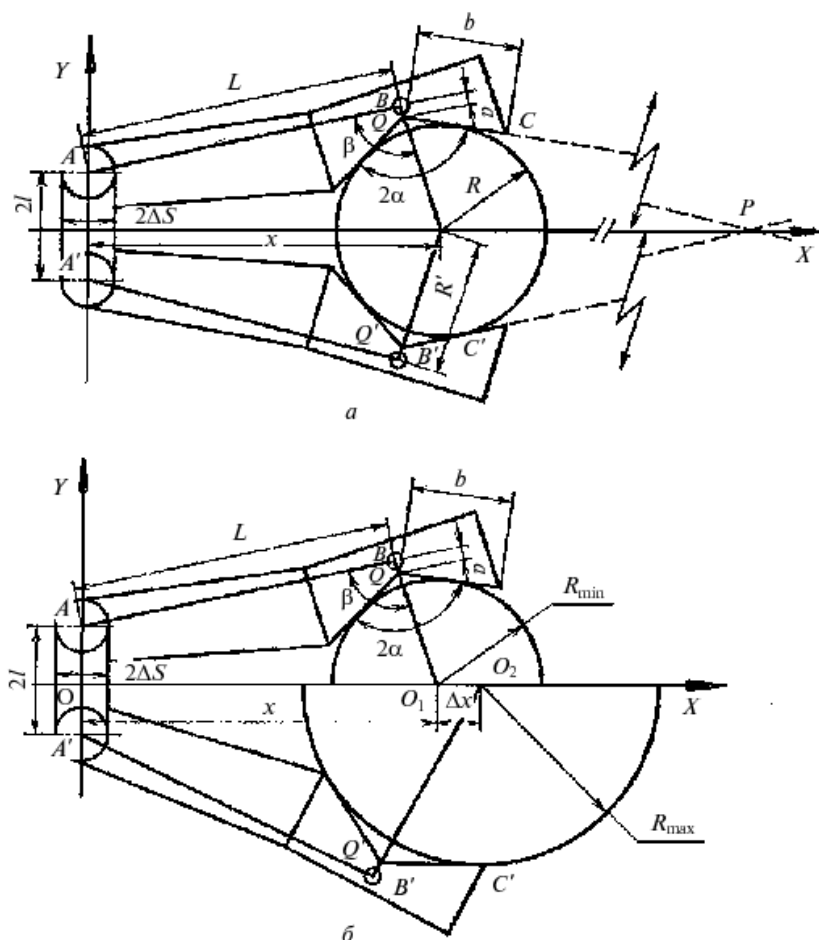


Рис. 4.14. Геометрическая схема захваченного цилиндрического объекта двумя пальцами клещевого ЗУ с V-образными углублениями на рабочих элементах (а) и отклонение центров захваченных объектов (б)

На рисунке изображен типовой захват с V-образными углублениями на рабочих элементах пальцев [31]. Между геометрическими размерами V-образного углубления и диаметром захватываемого цилиндрического объекта существует связь. Введем в рассмотрение параметры захвата y, β, R, R', L, l, a и b ; точки B, C, Q, B', C', Q', O_1 и O_2 ; промежуточную систему координат OXY .

Из геометрических соображений ясно, что размеры объекта должны быть меньше размеров ЗУ, т.е. должно выполняться неравенство

$$x - R < L, \quad (4.39)$$

где L — длина звена (пальца).

Расстояние между центром цилиндрического объекта и началом координат O равно x . Оно выражается следующим образом:

$$x = \sqrt{\left[L^2 + \left(\frac{R}{\sin \alpha} + a \right)^2 - 2L \left(\frac{R}{\sin \alpha} + a \right) \cos \beta \right] - l^2}. \quad (4.40)$$

Для шарнирного ЗУ значение угла β постоянно. Для типового значения $\beta=90^\circ$ получаем:

$$x = \sqrt{L^2 + \left(\frac{R}{\sin \alpha} + a \right)^2 - l^2}. \quad (4.41)$$

Для ЗУ, в котором поверхности углублений попарно параллельны, имеем:

$$\cos \beta = \frac{R' - l}{L}, \quad R' = \frac{R}{\sin \alpha} + a. \quad (4.42)$$

Подставляя (4.42) в (4.40) получаем для

$$x = \sqrt{L^2 - \left(\frac{R}{\sin \alpha} + a - l \right)^2}. \quad (4.43)$$

При соприкосновении объекта с каждым пальцем в двух точках параметры D, α и b должны удовлетворять следующему неравенству:

$$D < 2b \operatorname{tg} \alpha, \quad (4.44)$$

где D — диаметр цилиндрического объекта, равный $2R$.

Для шарнирного ЗУ выполняется другое соотношение, так как положение рабочих элементов обоих пальцев по оси X меняется с из-

менением размеров объекта. Очевидно, для того, чтобы захватывание было надежным и деталь не проскальзывала, продолжения линий QC и $Q'C'$ должны пересечься в точке P впереди захвата (рис. 4.14, а).

Максимальный диаметр цилиндрического объекта, который может быть зафиксирован в захвате с заданными параметрами и геометрическими характеристиками углублений, определяется следующим неравенством:

$$D < 2 \sin \alpha \left[L \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{2} - \alpha \right) + \frac{l}{\operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{2} - \alpha \right)} \right]. \quad (4.45)$$

Для частного случая, когда $l = 0$ (см. рис. 4.10), неравенство принимает вид:

$$D < 2 \sin \alpha L \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{2} - \alpha \right). \quad (4.46)$$

При встречном параллельном движении губок неравенства (4.45) и (4.46) не имеют смысла, так как ориентация пальцев и, следовательно, V-образных углублений постоянна.

Из соотношений (4.39), (4.44), (4.45) и (4.46) можно определить максимальный диаметр объекта, который может быть зафиксирован в захвате с заданными геометрическими характеристиками.

Из соотношений (4.40), (4.41) в (4.43) видно, что координата x центра цилиндрического объекта зависит от его диаметра. На рисунке 4.14, б показано отклонение ($O_1 O_2 = \Delta x$) положений центров двух цилиндров разного диаметра.

На рисунке 4.15 [31] изображены зависимости величины отклонений центра цилиндрического объекта $ex = x - L$ от диаметра $D = 2R$ и длины L (см. рис. 4.14) при $2\alpha = 140^\circ$, рассчитанные по уравнению (4.40). Пунктирными линиями на графиках обозначены области превышения предельных значений диаметра детали, определяемых по неравенству (4.45). Из графика видно, что ЗУ с более длинными пальцами обеспечивает меньшее отклонение центра объекта.

Построение профиля поворотных пальцев центрирующих клещевых захватных устройств для деталей типа тел вращения [10]. К механическим захватным устройствам клещевого типа, предназначенным для манипулирования ступенчатыми валами и фланцами, часто предъявляют требования обеспечения центрирования деталей при изменении их диаметров, происходящем в результате обработки. Такие захваты оснащают поворотными губками криволинейной формы (рис. 4.16).

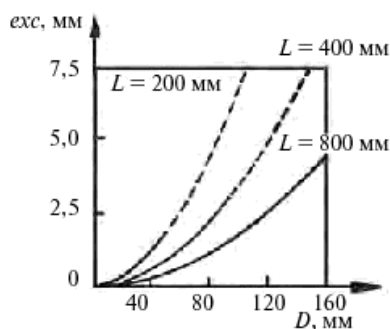


Рис. 4.15. Зависимость величины отклонений центра цилиндрического объекта $exc = x - L$ от диаметра D при $2\alpha = 140^\circ$

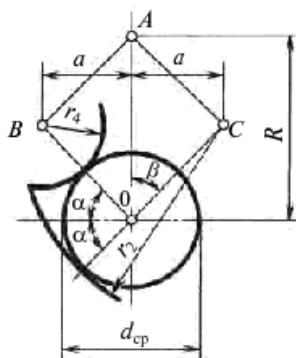


Рис. 4.16. Схема построения профиля поворотных губок центрирующих клешневых ЗУ для деталей типа тел вращения

Губки должны быть спрофилированы так, чтобы обеспечивать в определенном диапазоне центрирование шеек вала (или фланца) различного диаметра. Верхние части губок делают одинаковой ширины, а нижние срезают так, чтобы они заходили одна за другую. Это позволяет надежно центрировать вал даже в том случае, когда в зоне действия губок оказывается ступень с перепадом диаметров. Для точного центрирования детали профиль губок аппроксимируется дугами окружности. При этом погрешность центрирования:

$$\Delta = \pm \frac{(D_{\max} - D_{\min})^2}{4096R^3} \lg^2 \beta, \quad (4.47)$$

где $D_{\max}$, $D_{\min}$ — возможный перепад диаметров зажимаемых деталей, мм; R — радиус поворота губок, мм; β — угол, получаемый построением (см. рис. 4.16).

Исходными параметрами при построении профиля губок являются диапазон диаметров зажимаемых деталей ($D_{\max}$ и $D_{\min}$) и центральный угол между точками контакта губок с деталью 2α .

Рекомендуется принимать $D_{\max} / D_{\min} = 2,5$ и $2\alpha = 40 \dots 50^\circ$.

Последовательность построения профиля показана на рис. 4.16. Размер R между центром зажимаемого вала и осью поворота губки выбирается конструктивно и должен быть больше $d_{\text{ср}}$:

$$d_{\text{ср}} = \frac{D_{\max} + D_{\min}}{2}. \quad (4.48)$$

Из точек B и C очерчивают дуги профиля радиусами r_1 и r_2 . Эти точки лежат на расстоянии $R/2$ от оси поворота губки. Горизонтальная координата точек B и C определяется по формуле:

$$a = \frac{R}{2} \operatorname{ctg} \alpha. \quad (4.49)$$

Радиусы дуг профиля губок:

$$r_1 = R \sin \alpha - d_{\text{ср}},$$

$$r_2 = R \sin \alpha + d_{\text{ср}}.$$

Профили губок симметричны. Если обе губки поворачиваются вокруг общей оси (точка A), то точки контакта губок с деталью располагаются симметрично. Если губки имеют разные оси поворота (A_1 и A_2), то точки контакта детали с профилями радиуса r_1 удаляются, а с профилями радиуса r_2 — сближаются.

Центральный угол φ между осями поворота губок и центром детали O (угол A_1OA_2) рекомендуется выбирать в пределах $0 \leq \varphi \leq (2\alpha - 40^\circ)$.

4.3. Многозвенные, эксцентрикые и цанговые захватные устройства

Захватные устройства с многозвенными пальцами обеспечивают равномерный зажим и охват по внешней поверхности практически любой выпуклой формы объекта манипулирования. Они построены на принципе управления натяжением гибких передаточных элементов (тросов, проволоочных нитей, ремней, лент), которые через посредство шкивов и шарниров обеспечивают угловые перемещения связанных с ними звеньев, составляющих пальцы механической руки (см. рис. 3.29...3.31).

Пример конструкции механического ЗУ с многозвенными пальцами приведен на рис. 4.17. Звенья пальцев приводятся в действие передаточным механизмом, представляющим собой шкивы и тросы, встроенные в эти звенья. Известные способы фиксации предметов с помощью ремней или лент дают возможность манипулировать только объектами выпуклой формы, что сужает область применения показанного ЗУ. Смежные звенья 6, 8 и шкивы 1, 4, 5 соединены шпильками 7 и могут свободно вокруг них поворачиваться. Механизм приводится в действие с помощью двух тросов 2 и 3, каждый из которых связан с электродвигателями 9 через шкив 11, редуктор и фрикционную муфту 10. Шкивы 1 и трос 2 предназначены для освобождения, а блок шкивов 4 и 5 с тросом 3 — для захватывания объекта. Трос 3 охватывает большой шкив 4 со стороны звена, ближней к опорному звену пальца, а со стороны, ближней к концу пальца, охватывает малый шкив 5. Трос 2 последовательно охватывает шкивы 1, имеющие одинаковые диаметры. При подаче команды на захватывание объекта трос 3 натягивается, создавая крутящий момент в первом звене до соприкосновения его с объектом. Затем крутящий момент передается следующему звену и так до последовательного охвата объекта всеми звеньями ЗУ. При этом поведение каждого звена определяется степенью его механического взаимодей-

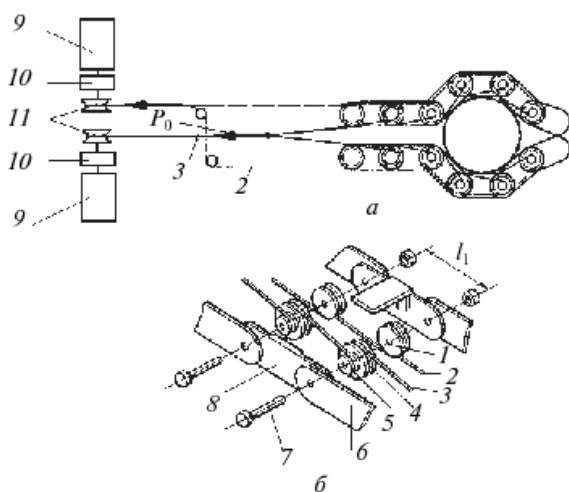


Рис. 4.17. Механическое ЗУ с многозвенными пальцами: *a* — кинематическая схема передаточного механизма привода пальцев; *б* — звено пальца; 1, 4, 5 — шкивы; 2 — приводной трос открытия ЗУ; 3 — приводной трос закрытия ЗУ; 6, 8 — звенья пальца; 7 — шпилька; 9 — двигатель; 10 — муфта; 11 — шкивы; P_0 — сила натяжения троса 3; l_1 — длина звена 1 пальца ЗУ, состоящего из n звеньев

ствия с захваченным объектом. В процессе захватывания, после того как i -е звено соприкасается с объектом, а натяжение троса продолжается, начинает поворачиваться в сторону детали следующее, $(i + 1)$ -е звено. Его движение продолжается до тех пор, пока и оно не соприкоснется с объектом. В результате объект охватывается пальцами.

После завершения охвата объекта необходимое давление звеньев на объект q может быть получено дальнейшим натяжением троса 3 с усилием P_0 . Давление на единицу ширины звена при равной длине всех звеньев $l_i = l = \text{const}$ и равном диаметре больших шкивов 4 составит:

$$q = \frac{D}{n(n+1)l^2} P_0, \quad (4.50)$$

где n — число звеньев; D — диаметр больших шкивов 4 ; l — длина звеньев пальца; P_0 — сила натяжения троса 3 (усилие привода).

При правильном расчете звеньев этой конструкции можно достичь равномерного распределения давления на поверхность захваченного объекта.

Эксцентриковые захватные устройства зажимают объект манипулирования под действием его массы. Они достаточно распространены при механизации погрузочно-разгрузочных и складских работ (см. табл. 3.1 главы 3). Иногда этими ЗУ оснащают и промышленные роботы.

При подъеме детали под действием ее массы G (рис. 4.18, *а*) эксцентрик затягивается, в результате чего возникает усилие распора N , создающее силу трения:

$$F = F_1 + F_2 = N\mu_1 + N\mu_2 > G, \quad (4.51)$$

где $\mu_1 = 0,15$ и $\mu_2 = 0,1$ — коэффициенты трения детали соответственно об эксцентрик и заднюю стенку ЗУ.

Если толщина детали a , а радиус эксцентрика r , то из уравнения моментов относительно оси эксцентрика следует:

$$Nrs \sin \alpha - N\mu_1 r \cos \alpha - N\mu_2 (r \cos \alpha + a) = 0$$

или

$$\sin \alpha - \mu_1 \cos \alpha - \mu_2 (r \cos \alpha + a) = 0,$$

откуда:

$$\operatorname{tg} \alpha \leq \mu_1 + \mu_2 \left[1 + \frac{a}{r \cos \alpha} \right], \quad (4.52)$$

что и определяет параметры эксцентрика (табл. 4.11).

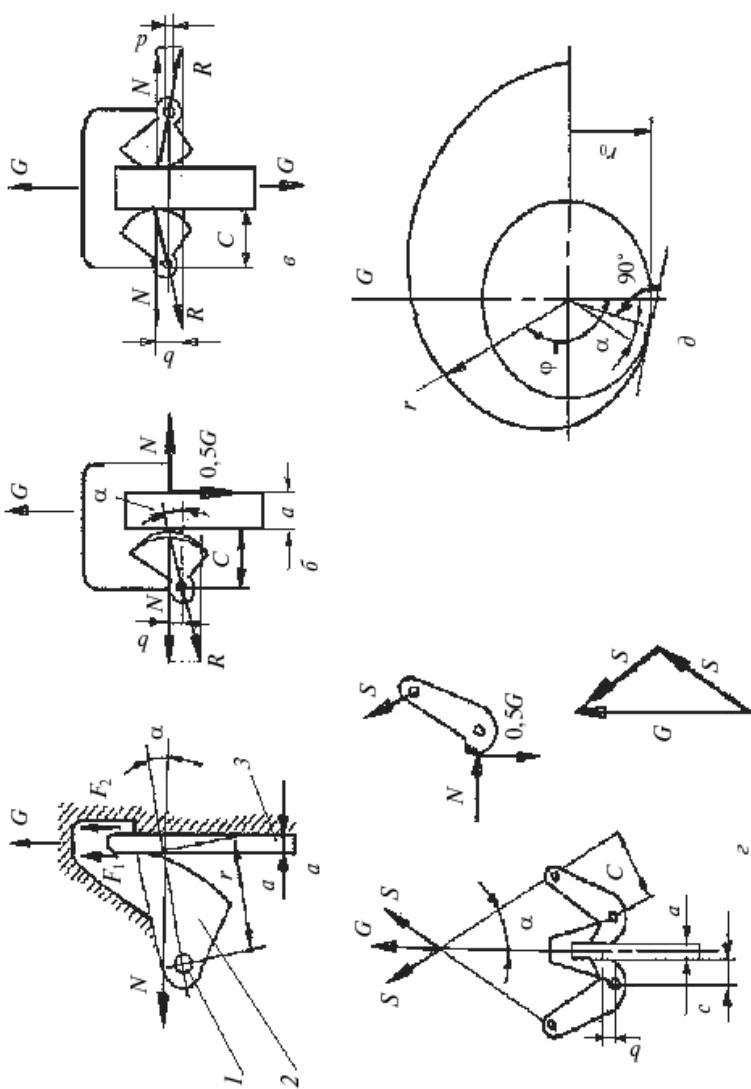


Рис. 4.18. Схемы эксцентриковых захватных устройств:
 a — определение удерживающей силы; b — одностороннее эксцентриковое ЗУ; a — двухстороннее эксцентриковое ЗУ; z — рычажно-эксцентриковое ЗУ; ∂ — схема профилирования рабочего профиля эксцентрика; 1 — ось; 2 — эксцентрик; 3 — объект манипулирования

Эксцентрикые ЗУ выпускают одностороннего и двухстороннего действия (рис. 4.18, б, в). Усилие, удерживающее объект манипулирования, передается непосредственно эксцентриками, или с помощью рычажного механизма (рис. 4.18, г). Рабочую поверхность эксцентриков рекомендуется профилировать по логарифмической спирали $\operatorname{tg} \alpha = \text{const}$ (рис. 4.18, д). В этом случае $r = r_0 e^{t \operatorname{tg} \alpha}$, где $t = \operatorname{tg} \alpha$.

Таблица 4.11

Параметры эксцентрикых ЗУ

Параметр	Захватное устройство	
	Эксцентрикое	Рычажно-эксцентрикое
Передаточное число	$i = c / b = 1 / \operatorname{tg} \alpha$	$i = [a + (c / \cos \alpha)] / b$
Сила сжатия	$N = 0,5 G \sqrt{i^2 + 1}$	$N = 0,5 G [a + (c / \cos \alpha)] / b$
Реакция в шарнире	$R = 0,5 G \sqrt{i^2 + 1}$	$S = G / (2 \cos \alpha)$
КПД	$\eta = 1 - 0,5 \rho \left(\frac{d}{c} \right) \sqrt{i^2 + 1}$	$\eta = 1 - 0,5 \rho \left(\frac{d}{c} \right) \sqrt{i^2 + 1}$

Обозначения: d — диаметр оси шарнира; ρ — коэффициент трения в шарнирах.

Для повышения значения μ и надежного в связи с этим удержания детали рабочие поверхности эксцентриков снабжают насечкой, а угол α доводят до 10° . Делать его меньше не рекомендуется, поскольку при $\alpha < 10^\circ$ ЗУ заклинивается и трудно снимается с детали.

Цанговые (клиновые) захватные устройства в основном предназначены для подъема и транспортирования деталей, имеющих полость, выполненную обычно в виде круглого отверстия необходимого диаметра для взаимодействия с распорными элементами ЗУ. Значительно реже клиновые ЗУ применяют для захвата изделий за боковые поверхности или выступающие элементы. Применяют два типа клиновых ЗУ: распорные и зажимные (рис. 4.19). Основными частями наиболее распространенного клинового ЗУ, размещаемого в отверстиях груза, являются подвижные в горизонтальном направлении распорные элементы и конусообразный клин, подвижный в вертикальном направлении (см. рис. 4.19).

Сила зацепления в клиновом ЗУ:

$$P = \sum \mu N > G, \quad (4.53)$$

где μ — коэффициент трения между деталью и распорным элементом; N — сила нормального давления.

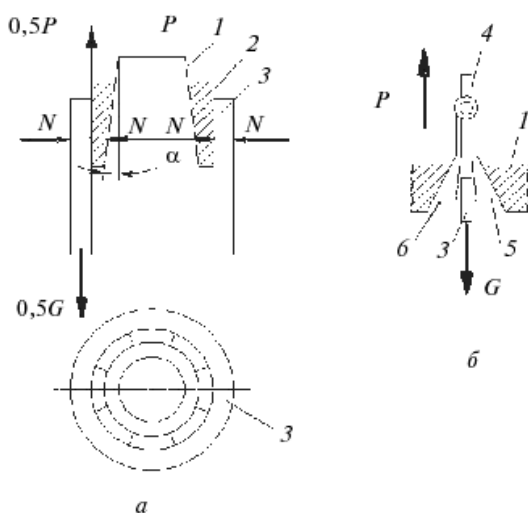


Рис. 4.19. Схемы цанговых (клиновых) захватных устройств: *a* — распорное ЗУ; *б* — зажимное ЗУ; 1 — конусообразный клин; 2 — конический сегмент; 3 — деталь; 4 — подъемное звено; 5, 6 — распорные элементы

Передаточная функция клиновой пары зависит от коэффициента μ_1 трения распорного элемента о клин:

$$i = (\cos \alpha - \mu_1 \sin \alpha + \mu_1 \cos \alpha). \quad (4.54)$$

Тогда при числе n распорных элементов:

$$N = \frac{G \cos \alpha - \mu_1 \sin \alpha}{n \sin \alpha + \mu_1 \cos \alpha}. \quad (4.55)$$

Сумма горизонтальных сил, действующих на груз:

$$\sum N = G i. \quad (4.56)$$

При проектировании ЗУ следует избегать малых углов наклона граней клина, которые могут вызвать заклинивание.

Контрольные вопросы

1. Расскажите о последовательности проектирования ЗУ.
2. Как определить силу сжатия ЗУ и усилие привода?
3. Расскажите об этапах расчета на прочность элементов ЗУ.
4. Каковы особенности расчета и проектирования многозвенных, эксцентриковых и цанговых ЗУ?

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ, ВАКУУМНЫХ И АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ЗАХВАТНЫХ УСТРОЙСТВ

5.1. Притягивающие захватные устройства

Притягивающие магнитные и вакуумные захватные устройства. Необходимые статические усилия притяжения в вакуумных и магнитных ЗУ определяют из условий удержания ПП при действии на него различных сил в процессе захватывания и транспортирования (рис. 5.1):

$$\begin{cases} \mu [F_{\text{ст}}(mk_z k_1)^{-1} - g \cos \theta_0 + a \cos \theta] \geq g \sin \varphi_0 \sin \theta_0 + a \sin \varphi \sin \theta; \\ \mu [F_{\text{ст}}(mk_z k_1)^{-1} - g \cos \theta_0 + a \cos \theta] \geq g \cos \varphi_0 \sin \theta_0 + a \cos \varphi \sin \theta, \end{cases} \quad (5.1)$$

где $F_{\text{ст}}$ — статическая сила притяжения ПП, Н; μ — коэффициент трения между поверхностями ПП и ЗУ (для металлических ЗУ и стальных ПП $\mu = 0,17$; для резиновых манжет и стальных ПП $\mu = 0,3$); g — ускорение свободного падения, м/с^2 ; a — ускорение ЗУ, м/с^2 ; θ — угол между вектором ускорения a и осью Z , совпадающей с осью ЗУ; θ_0 — угол между вектором g и осью Z , совпадающей с осью ЗУ; φ — угол между проекцией вектора a на плоскость, перпендикулярной к оси Z , и осью Y ; φ_0 — угол между проекцией вектора g на плоскость перпендикулярно к оси Z и осью Y ; k_z — коэффициент запаса; k_1 — коэффициент, учитывающий смещение точки приложения подъемной силы и центра тяжести ПП (для крутлых ЗУ $k_1 = r / (r + \Delta x)$, где r — средний радиус магнитного диска или уплотнительной поверхности пневмоприсоски, Δx — относительное смещение оси ЗУ и центра тяжести ПП).

Приведенная зависимость является общей для притягивающих ЗУ любой конструкции (вакуумных и магнитных в том числе [10]). Упрощая граничные условия, связанные с расположением ЗУ и ПП в пространстве, получаем и более простые зависимости для определения $F_{\text{ст}}$ (табл. 5.1 [10]). Естественно, что величину $F_{\text{ст}}$ для электромагнитных и вакуумных ЗУ определяют различными путями.

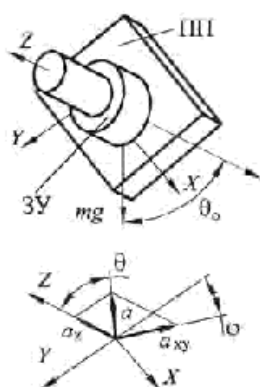


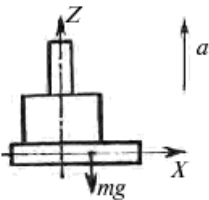
Рис. 5.1. Схема для определения условий удержания ПП притягивающими (магнитными или вакуумными) захватными устройствами

Таблица 5.1

Формулы для проверки условий удержания предметов производства магнитными и вакуумными захватами

Расчетная схема	Расчетная формула
	$\varphi = \varphi_0 = 90^\circ;$ $\mu \left(\frac{F}{mk_1 k_2} - g \cos \theta_0 + a \cos \theta \right) \geq g \sin \theta_0 + a \sin \theta $
	$\varphi_0 = \varphi = 90^\circ; \theta_0 = 0^\circ;$ $\mu \left(\frac{F}{mk_1 k_2} - g + a \cos \theta \right) \geq a \sin \theta$
	$\varphi_0 = \varphi = 90^\circ; \theta_0 = 90^\circ;$ $\mu \left(\frac{F}{mk_1 k_2} - a \cos \theta \right) \geq g + a \sin \theta$

Окончание

Расчетная схема	Расчетная формула
	$\varphi_0 = \varphi = 90^\circ; \theta_0 = \theta = 0^\circ;$ $\frac{F}{mk_1 k_2} \geq g + a$

Обозначения: см. пояснения к формуле (5.1).

Электромагнитные захватные устройства. Усилие захватывания F электромагнитов может быть определено с помощью выражений, полученных на основании формулы Максвелла:

для электромагнитов постоянного тока

$$F = \frac{1}{2}(IW)^2 \mu_0 \frac{S}{\delta^2}; \quad (5.2a)$$

для электромагнитов переменного тока

$$F = \frac{1}{4}(IW)^2 \mu_0 \frac{S}{\delta^2}, \quad (5.2б)$$

где I — сила тока, А; W — число витков катушки электромагнита; δ — магнитная проницаемость воздуха; S — площадь рабочего контакта ПП и ЗУ; μ_0 — ширина воздушного рабочего зазора между поверхностями ПП и ЗУ.

Значения F подставляют в формулу (5.1) или в зависимости табл. 5.1.

Наличие примесей (марганца, серы, фосфора, никеля и т.п.) в материале предмета производства снижает подъемную силу электромагнита. Дальнейшие расчеты параметров электромагнита сводятся к решению известных уравнений магнитной цепи, нагрева и электрической цепи.

Вакуумные захватные устройства удерживают ПП за счет вакуумного притяжения, действующего вследствие образования пониженного давления на определенном участке изделия. Основная деталь ЗУ — вакуумная полость или присоска, которая при наложении на ПП образует между его поверхностью и своими стенками замкнутое пространство — камеру. При создании разрежения в этой камере на площади, ограниченной стенками присоски, можно получить положительную разницу давлений, произведение которой на площадь действия соз-

дает силу, позволяющую захватному устройству удерживать изделие. Значение удерживающей силы F для различных конструкций вакуумных ЗУ определяют по-разному и подставляют в формулу (5.1) или в зависимости табл. 5.1.

Пассивные присоски обеспечивают образование вакуума за счет вытеснения воздуха из полости присоски прижатием ее к поверхности детали (см. рис. 3.38). В зависимости от характера работы эти присоски могут быть сплошными эластичными (удержание детали обеспечивается вакуумом, созданным за счет одной только упругой деформации присоски) или снабжаться различными запирающими устройствами: шариковыми, пружинными, электромагнитными и др.

Удерживающее усилие, развиваемое вакуумным ЗУ, рассчитывают по формуле

$$F_{\text{уд}} = SK_y(p_a K_a - p_b)K_{\Pi}, \quad (5.3)$$

где S — геометрическая площадь проекции присоски, ограниченная внутренним контуром, м^2 ; K_y — коэффициент уменьшения площади присоски вследствие ее деформации. На практике для присосок из пористых (губчатых) резин при площади, равной 0,2...0,4 м^2 , можно принять $K_y = 0,95...1,0$; p_a и p_b — соответственно атмосферное и остаточное давление внутри камеры, Па; K_a — коэффициент, учитывающий изменение атмосферного давления по сравнению с нормальным $P_a \approx 100$ кПа (для практических расчетов достаточно учитывать минимальное атмосферное давление — для средней полосы европейской части России его принимают равным 93 кПа (700 мм рт.ст.). В этом случае можно принимать $K_a \approx 0,9$); K_{Π} — коэффициент увеличения силы вакуумного притяжения в результате тока воздуха, просачивающегося в щель стыка присоски с поверхностью детали (принимают равным 1,1...1,05). При этом большее значение относится к присоскам с относительно малой рабочей площадью (0,05...0,1 м^2), а меньшее — к присоскам с рабочей площадью более 0,1 м^2 .

Если вакуумное захватное устройство рассчитано не для захватывания и переноса конкретных деталей в конкретных условиях, то значения вышеперечисленных коэффициентов принимают для наихудших условий работы и их можно заменить общим коэффициентом фактической силы вакуумного притяжения $K_p = K_y K_a K_{\Pi} = 0,8...0,85$. Тогда

$$F = SK_p(p_a - p_b), \quad (5.4)$$

где $K_p = 0,8...0,85$; $(p_a - p_b) = 0,03...0,035$ МПа.

Активные вакуумные ЗУ действуют от вакуумных насосов (форвакуумных или поршневых), а также от эжекторных систем подачи сжатого воздуха.

Активные ЗУ с созданием вакуума автономным вакуумным насосом.

Удерживающее усилие рассчитывают по формулам (5.3) и (5.4), но величина p_b определяется степенью разрежения, обеспечиваемой насосом. Многие вакуумные насосы дают разрежение более 90% и соответственно $(p_a - p_b) = 0,08...0,095$ МПа.

Грузоподъемность активного ЗУ зависит от геометрических параметров присосок, их числа и от величины разрежения воздуха в ЗУ $p_p = (p_a - p_b)$.

В процессе захвата, подъема и перемещения детали грузоподъемность вакуумного ЗУ не остается постоянной, а зависит от положения его в пространстве и взаимодействия сил, удерживающих деталь, стремящихся оторвать и сдвинуть ее.

Условия удержания ПП определяют, подставляя значения силы F в зависимость (5.1) или в формулы табл. 5.1.

Часто необходимо рассчитать предельное значение нормальной силы N отрыва груза от захватного устройства и величину силы сдвига груза T . Эти силы зависят не только от активной площади присоски и разрежения воздуха в ней, но и от удельного давления (удельного притяжения) присоски, обеспечивающего необходимую герметичность стыка ЗУ с поверхностью захваченной детали. Между этими параметрами существует зависимость

$$\xi = N/F_{уд} = (F_{уд} - S_k q) / (S p_o), \quad (5.5)$$

где ξ — коэффициент снижения грузоподъемности ЗУ; N — предельное значение силы отрыва груза; $F_{уд}$ — сила притяжения детали, создаваемая ЗУ; q — минимально необходимое удельное давление на площади S_k контакта присоски с деталью; S — площадь присоски; $p_o = (p_a - p_b)$ — разрежение воздуха в ЗУ.

Для круглых камер

$$\xi = 1 - 4 \left(\frac{B}{D} - \frac{B^2}{D^2} \right) \frac{q}{p_o}, \quad (5.6)$$

где B — ширина уплотнительного борта; D — диаметр присоски.

При небольшой активной площади присоски и грубой поверхности груза коэффициент ξ может приближаться к нулю, и захватное устройство становится неработоспособным. При этом имеется в виду, что теоретическая грузоподъемность ЗУ — функция его диаметра, т.е. $F = f(D)$.

Зависимость q и ξ от диаметра присосок показывает преимущества тех, которые имеют большую площадь. Значения удельных давлений q зависят от качества поверхности груза, размеров и материала уплотнений и могут быть установлены экспериментально. Например, для

изделий с гладкой поверхностью (стекло, пластик) $q = 30 \dots 90$ кПа, а с грубой поверхностью (бетон, прокат с окалинами) $q = 300$ кПа и более. Для типовых условий работы $\xi = 0,6 \dots 0,9$.

Для надежной работы вакуумного захвата необходимы следующие условия:

$$F_{уд} = \frac{N}{\varepsilon} K_N = N + \frac{T}{\mu} K_T, \quad (5.7),$$

где K_N и K_T — соответственно коэффициенты запаса по силам отрыва и сдвига перемещаемого груза.

Для вакуумного ЗУ, не связанного с особыми условиями работы, с некоторым допущением в сторону увеличения силы можно принять

$$F_{уд} = \left(\frac{N}{\varepsilon} + \frac{T}{\mu} \right) K, \quad (5.8),$$

где $K_N = K_T = K = 2$.

При совмещении трех движений (подъема руки робота, поворота руки в горизонтальной плоскости и выдвижении руки) для расчета допустимой массы m перемещаемого груза можно воспользоваться зависимостью

$$m \leq \frac{n\pi d^2(p_a - p_b)}{4K \left[1 + \frac{a_{\Pi}}{g} + \frac{1}{\mu g} \sqrt{(\varepsilon r)^2 + (a_{\text{выд}} + r\omega^2)^2} \right]}, \quad (5.9)$$

где d — диаметр входного отверстия присоски у среза; K — коэффициент надежности удержания ($K = 1,5 \dots 2$); a_{Π} — ускорение подъема заготовки; g — ускорение свободного падения; r — расстояние от оси вращения руки до центра заготовки; ε — угловое ускорение руки робота; μ — коэффициент трения; $a_{\text{выд}}$ — ускорение при выдвижении руки; ω — угловая скорость руки.

Площадь присосок и разрежение в них определяют из уравнения:

$$S = \frac{\left(\frac{N}{\varepsilon} + \frac{T}{\mu} \right) K}{(p_a - p_b)n K_p}, \quad (5.10)$$

где μ — коэффициент трения на контактной поверхности ЗУ и ПП; p_a — атмосферное давление; p_b — давление разрежения; n — число присосок в захватном устройстве.

Оборудование и параметры вакуумной системы. Работа вакуумных ЗУ во многом зависит от правильности выбора оборудования и параметров

вакуумной системы. Поэтому необходимо определить не только силу вакуумного притяжения ЗУ, но и некоторые параметры пневмосистемы.

Быстроту создания вакуума в полости присоски находят, используя основные уравнения вакуумной техники:

$$S_{\text{об}} = \frac{S_{\text{н}}}{1 + S_{\text{н}}/U} = \frac{S_{\text{н}} U}{S_{\text{н}} + U}, \quad (5.11)$$

где $S_{\text{об}}$ — быстрота разрежения объекта, $\text{м}^3/\text{с}$; $S_{\text{н}}$ — подача вакуумного насоса, $\text{м}^3/\text{с}$; U — пропускная способность трубопровода, $\text{м}^3/\text{с}$.

Откуда следует, что при $U \geq S_{\text{н}}$ $S_{\text{об}} \approx S_{\text{н}}$ и при $U \leq S_{\text{н}}$ $S_{\text{об}} \approx U$.

Время откачивания t при $S_{\text{об}} \approx U$ определяется по зависимости:

$$t = 2,3 \frac{V_{\text{с}}}{U} \lg \frac{p_1}{p_2}, \quad (5.12)$$

где $V_{\text{с}} = V_{\text{р}} + V_{\text{т}}$ — суммарный объем вакуумной системы, м^3 ; $V_{\text{р}}$ — объем вакуумного ресивера, м^3 ; $V_{\text{т}}$ — объем трубопровода между насосом и ресивером, м^3 ; p_1 — первоначальное давление в системе, обычно равное атмосферному; p_2 — конечное давление в разреженном объекте, в данном случае в ресивере (p_1 и p_2 в любых единицах измерения).

Если не учитывать сопротивление вакуум-провода, подача вакуумного насоса должна соответствовать скорости разрежения объекта (ресивера):

$$t = 2,3 \frac{V_{\text{с}}}{S_{\text{н}}} \lg \frac{p_1}{p_2}, \quad (5.13)$$

где $S_{\text{н}}$ — среднее значение подачи насоса, $\text{м}^3/\text{с}$.

Время захватывания предмета вакуумным ЗУ после откачки ресивера и соединения последнего с вакуум-камерами ЗУ после открытия перекрывающего клапана (крана, вентиля):

$$t_3 = \frac{V_{\text{а}}}{S_{\text{об}}} 2,3 \lg \frac{p_1}{p_2}, \quad (5.14)$$

где $V_{\text{а}} = V_{\text{т}} + V_{\text{к}}$ — суммарный откачиваемый объем, влияющий на время захватывания предмета производства, м^3 ; $V_{\text{т}}$ — объем трубопровода между вакуум-камерами ЗУ и ресиверами, м^3 ; $V_{\text{к}}$ — объем вакуум-камер ЗУ с учетом деформации уплотнения после наложения на ПП, м^3 .

При низких давлениях, начиная с 1 кПа, пропускная способность вакуум-проводов резко падает, а время откачивания системы возрастает. Учитывая, что падение давления ниже 1 кПа не увеличивает грузоподъемность вакуумных ЗУ, низкие давления в них нецелесообразны.

Время откачки системы до давления 133 Па (1 мм рт.ст.) можно приближенно найти по формуле

$$t = 8 \frac{V}{S_{\text{н}}}, \quad (5.15)$$

где $S_{\text{н}}$ — минимальная подача насоса при $P_{\text{в}} = 0,1$ мПа.

Этой формулой можно пользоваться, выбирая насос для откачки вакуумной аппаратуры.

Необходимая производительность вакуумного насоса и объем ресивера зависят от количества воздуха, попадающего в вакуумную систему в единицу времени, т.е. герметичности системы в целом и ее отдельных элементов. Учитывая, что состояние воздуха в камере ЗУ соответствует условию $PV = \text{const}$

$$g_{\text{в}} = \frac{V \Delta p}{\Delta t}, \quad (5.16)$$

где $g_{\text{в}}$ — натекание, $\text{м}^3 \cdot \text{Па}/\text{с}$; V — объем вакуумной системы, м^3 ; Δp — изменение давления в изолированном от насоса вакуумном объеме за время Δt , Па.

При известной величине натекания, отнесенной к единице периметра поверхности касания уплотнения к грузу, суммарное натекание воздуха в вакуум-камеру ЗУ составит

$$g_{\text{у}} = g_{\text{с}} C, \quad (5.17)$$

где $g_{\text{с}}$ — удельная величина натекания м^3 на единицу периметра уплотнения, Па/с; C — периметр уплотнения присоски, м.

При известной величине натекания необходимый объем ресивера вакуумного ЗУ определяется как:

$$V_{\text{р}} = \frac{g_{\text{в}} t}{\Delta p} - V_{\text{в}}, \quad (5.18)$$

где $V_{\text{в}}$ — суммарный объем вакуумной системы от ресивера до вакуум-камеры ЗУ, м^3 ; t — заданное время удержания груза вакуумным ЗУ при выключенном насосе, с;

$$t = \frac{(V_{\text{в}} + V_{\text{р}}) \Delta p}{g_{\text{в}}}. \quad (5.19)$$

Для создания вакуума может быть использована цеховая установка с очистителем воздуха и вентилем, препятствующим засасыванию

форвакуумного масла в бак-ресивер из насоса, когда последний не работает.

Активные вакуумные ЗУ на базе эжекторных систем. Эжекторы конструктивно проще насосов и широко применяются в конструкциях захватных устройств небольшой грузоподъемности. Их выполняют, как правило, одноступенчатыми и размещают непосредственно на кронштейне захватного устройства, соединяя через канал подсоса воздуха с одной или несколькими камерами присосок. Вопросы проектирования оптимальных конструкций эжекторов для вакуумных схватов сложны, так как необходимо учитывать множество эксплуатационных, технологических и конструктивных параметров с использованием законов газодинамики.

Конструктивная схема эжектора вакуумного ЗУ с основными размерами показана на рис. 5.2.

В целях подналадки эжектора сопло 5 может быть регулируемым, выполненным в виде игольчатого дросселя. Кроме того, целесообразно устанавливать сопло с возможностью осевого перемещения относительно камеры всасывания 1 с последующей фиксацией его положения. Чем больше диаметр смесительного участка 2 и путь струи до соприкосновения со стенками, тем больший объем воздуха подсасывается. С целью уменьшения соприкосновения образующая внутренней поверхности коллектора 4 может быть выполнена по сложной кривой. Диффузор 3 эжектора предназначен для преобразования динамического напора в статическое давление. Для манипуляторов грузоподъемностью 0,3...1 кг размеры эжектора: $d_1 = 2...4$ мм; $d_2 = 10...18$ мм; $D = 6...8$ мм; $l_1 = 20...50$ мм; $l_2 = 20...60$ мм; $l_3 = 10...20$ мм и угол конуса диффузора $\alpha = 6...10^\circ$.

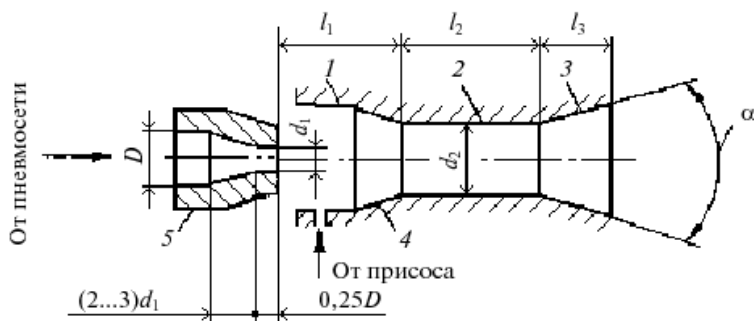


Рис. 5.2. Конструктивная схема эжектора вакуумного ЗУ:

1 — камера всасывания; 2 — смесительный участок;

3 — диффузор; 4 — коллектор; 5 — сопло

Аэродинамические притягивающие захватные устройства действуют на основании аэродинамического эффекта, возникающего при обтекании воздушной струей фасонных криволинейных поверхностей и изменения скоростей воздушных потоков.

Струйно-вакуумные захватные устройства. В основу их конструкций положен известный эффект возникновения присасывающего действия, выражающийся во взаимодействии сформированной сопловыми элементами и истекающей из них струи сжатого воздуха с обтекаемой ею плоской, цилиндрической или шаровой поверхности заготовки. Основным требованием следует считать наличие ярко выраженной плоской базовой поверхности захватывания, которая не имела бы выступов, буртиков, препятствующих течению потока воздуха. Захват деталей в большом диапазоне размеров делает экономичным и целесообразным их применение в условиях любого производства.

Пример конструкции струйного захватного устройства показан на рис. 5.3 (см. также рис. 3.44).

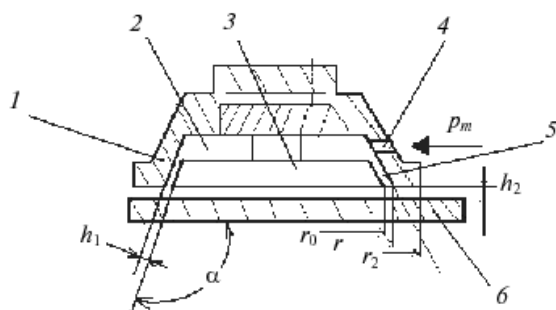


Рис. 5.3. Струйно-вакуумное захватное устройство:
1 — корпус; 2 — камера; 3 — упорные элементы; 4 — сопло;
5 — кольцевая щель; 6 — предмет производства

Направленная параллельно или под углом к плоскости заготовки струя воздуха постоянного магистрального давления p_m истекает через кольцевую щель 5 в зазор h_2 между торцом корпуса 1 и плоскостью заготовки, образуя в дальнейшем плоский кольцевой радиальный поток. Скорость течения потока, примерно равная в начале щели критической, постоянно снижается по параболическому закону до нуля по мере удаления от начала щели. Она определяет энергию движущегося сплошного потока воздуха. Эта энергия, характеризующаяся полным напором, состоящим из суммы пьезометрического и динамического напором, вызывает в зоне торца захвата понижение давления до зна-

чения ниже атмосферного. Падение давления приводит к появлению в зоне торца захватного устройства с радиусом r_2 аэродинамического эффекта притяжения. Величина силы притяжения для струйного захвата с кольцевой щелью на торце зависит от оптимального соотношения между зазором h_2 и толщиной h_1 конической щели, измеряемой в нормальном к поверхности фасок направлении и равной порядка 0,12 мм. Отношение h_2/h_1 для конической щели с углом $\alpha = 120...150^\circ$, при котором обеспечивается максимальное усилие притяжения, должно находиться в пределах 2,8...3,2 ($h_1 \approx 0,12$ мм).

С определенного расстояния под действием возрастающей по параболическому закону силы притяжения заготовка будет поднята вверх и прижата к торцу захвата. Она не находится в непосредственном контакте с торцом захвата, а свободно плавает на образованной в зазоре взаимодействующих торцов захвата и заготовки воздушной подушке, автоматически поддерживая зазор h_2 толщиной примерно 0,08...0,15 мм.

Усилие притяжения рассчитывают по зависимости

$$F = \pi V_0^2 \rho_a r_0^2 \left(\frac{r_2 \ln \frac{r_2}{r_0} - r_2 + r_0}{r_2 - r_0} + 0,5 - \frac{h_2}{r_0} \cos \frac{\alpha}{2} \right), \quad (5.20)$$

где

$$V_0 = \frac{\mu}{\rho_a} \left(\frac{h_1}{h_2} \right)^n p_m \sqrt{\frac{n}{RT} \left(\frac{2}{n+1} \right)^{\frac{n+1}{n-1}}},$$

здесь $\alpha = 120...150^\circ$, $\mu = 0,6...0,7$ — коэффициент расхода; ρ_a — плотность воздуха при атмосферном давлении; n — показатель адиабаты ($n = 1,4$); p_m — магистральное давление; R — газовая постоянная; T — абсолютная температура воздуха. Для устойчивой работы струйных захватов рекомендуется магистральное давление $(18,6...49,0) \cdot 10^4$ Па.

Для захвата деталей, не имеющих отверстий, служат гнездовые захватные устройства, поддерживающие сопла которых размещены по периферии гнезда.

Важной характеристикой струйных захватов, функционально зависящей от параметров захвата и сжатого воздуха, является средняя удельная сила, определяемая как отношение силы захвата к площади рабочего торца

$$F_{уд} = F / \pi r_2^2. \quad (5.21)$$

При проектировании точку приложения сил надо выбирать так, чтобы центр тяжести заготовок находился ближе к центру захвата. Грузоподъемность регулируется плавным изменением давления в магистрали. Один и тот же захват может быть использован для подачи различных по размерам и конфигурации заготовок.

Ориентирование захватываемых объектов. При определенной конструкции струйное захватное устройство 1 позволяет осуществлять одновременно угловую ориентацию объекта 5 (например, прямоугольной пластины) и его базирование (рис. 5.4). В этом случае канал 2, по которому подводится сжатый воздух, соединяется с наклонным соплом 3, формирующим плоский поток воздуха в зазоре между торцом захвата и объектом в направлении окна, образованного двумя ограничительными стенками 4. Из-за большой скорости потока воздуха давление в зазоре уменьшается и происходит подъем и удержание объекта на некотором расстоянии δ от торца захватного устройства, причем величина зазора устанавливается автоматически из условия равновесия объекта. При этом объект 5 (прямоугольник, показанный жирной линией) будет поворачиваться вокруг вертикальной оси захватного устройства и одновременно перемещаться в диагональном направлении к окну, пока не окажется прижатым к боковым стенкам 4.

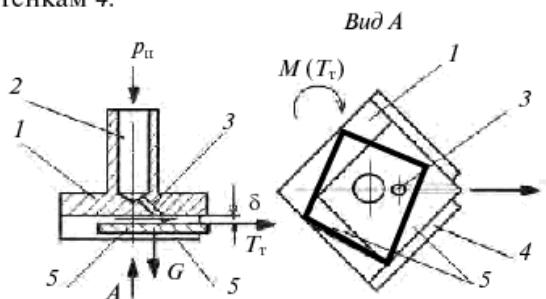


Рис. 5.4. Струйное захватное устройство, обеспечивающее ориентацию объекта:

1 — корпус струйного ЗУ; 2 — подводный воздушный канал;
3 — наклонное сопло; 4 — ограничительные стенки; 5 — предмет
производства; G — вес предмета; $M(T_r)$ — ориентирующий момент

Подъемную силу, действующую на пластину в бесконтактном струйном захватном устройстве (см. рис. 5.4), определяют по формуле:

$$F = \frac{\pi p_a R_{\max}^2}{3} \left[\frac{(1 - 2S_0)\eta}{(1 - S_0^2)(1 - 6m\eta)} - (1 - 2S_0)\eta \right], \quad (5.22)$$

где P_a — давление воздуха на выходе из зазора (атмосферное давление); $R_{\text{пгх}}$ — максимальное значение радиуса торца захвата (вписанной окружности в пластинку); $S_0 = r/R_{\text{пгх}}$; r — внутренний радиус подводящего канала; $\eta = 1 - p_{\text{п}}/p_a$; $p_{\text{п}}$ — давление сжатого воздуха в подводящем канале; $m = 2/7$.

Условие равновесия пластины в струйном захватном устройстве при установившемся адиабатическом движении воздуха в зазоре δ имеет вид:

$$0,65\sqrt{\alpha} < S_0 < 0,5.$$

При изотермическом движении воздуха:

$$0,18(1 + 2,7\sqrt{\alpha}) < S_0 < 0,5,$$

где $\alpha = \frac{3G}{\pi p_a R_{\text{пгх}}^2}$; G — вес пластины.

Необходимым условием перемещения пластины в плоскости захвата и ее базирования является смещение центра масс пластины относительно оси сопла. Даже при малом значении этого смещения пластина под действием сил вязкого трения T_t будет удаляться от оси захвата со скоростью, возрастающей во времени по закону гиперболического синуса. Поворот пластины будет происходить, если центр тяжести сопла не лежит на одной из главных осей инерции пластины или оси ее симметрии. В этом случае сумма проекций сил трения на прямую, соединяющую центр масс пластины и центр сопла, не равна нулю.

Вихревые ЗУ. Действие вихревых захватных устройств (см. рис. 3.45...3.47) основано на свойстве изолированного вихря создавать вдоль своей продольной оси область пониженного давления, в результате чего из-за разности атмосферного давления и давления внутри вихря возникает подъемная сила.

Вихревое захватное устройство (рис. 5.5, а) состоит из корпуса 7 с цилиндрической камерой, завихрителя 5 с соплами 6, расположенными по касательной к внутренней окружности завихрителя, втулки 3, насадки 2 с отверстиями 8. При работе захватного устройства сжатый воздух из магистрали через штуцер 4 поступает в камеру корпуса 7, где устанавливается давление, превышающее атмосферное, и далее через сопла 6 во втулку 3.

Благодаря высокой скорости истечения воздуха через сопла формируется сильно закрученный поток воздуха, движущийся вдоль стенок втулки 3 в направлении уменьшения давления сверху вниз. Вдоль оси этого потока устанавливается разрежение, что способствует

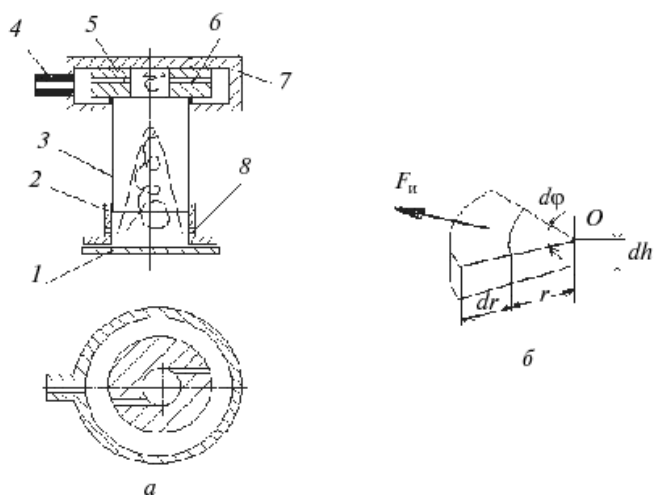


Рис. 5.5. Пневмовихревое захватное устройство (а) и схема к расчету подъемной силы ЗУ (б):

1 — предмет производства; 2 — насадка; 3 — втулка; 4 — штуцер; 5 — завихритель; 6 — сопла; 7 — корпус; 8 — выходные отверстия

засасыванию атмосферного воздуха через отверстия 8 внутрь втулки 3. В результате в нижней части устройства образуется вихревая воронка, в которой частицы воздуха движутся по восходящей спирали, и в ней возникает область пониженного давления. Притягивание предмета производства 1 к насадке 2 осуществляется за счет разности атмосферного и внутривихревого давлений.

Вблизи завихрения формируется верхний вихрь, в котором воздух движется по нисходящей спирали, оттесняясь вихревой воронкой к стенкам втулки 3 и устремляясь в атмосферу через боковые отверстия 8.

Приближенно подъемную силу такого устройства можно определить следующим образом. Двумя параллельными плоскостями, отстоящими друг от друга на расстоянии dh , вырежем из насадки 2 элементарный цилиндр. На расстоянии r от центра O элементарного цилиндра вырезаем элементарный объем воздуха размером $dh \, dr \, d\varphi$ (рис. 5.5, б). При вихревом движении этого объема воздуха с угловой скоростью w возникает элементарная центробежная сила (сила инерции):

$$dF_n = dm w^2 r = r d\varphi dh dr \rho w^2,$$

где dm — масса элементарного объема воздуха; ρ — плотность воздуха.

Элементарное приращение давления в сечении, отстоящем от центра цилиндра на расстоянии r , можно определить в виде

$$d\Delta p = \frac{dF_{\text{и}}}{dS},$$

где dS — площадь элементарного объема воздуха вдоль образующей цилиндра; $dS = r d\varphi dh$.

Подставляя $dF_{\text{и}}$ и dS и интегрируя это выражение в пределах от 0 до R (R — радиус насадки), получим приращение давления на стенке насадки

$$\Delta p = \int_0^R w^2 \rho r dr = \frac{w^2 R^2 \rho}{2} = \frac{v^2 \rho}{2},$$

где v — скорость подачи воздуха в вихревую камеру.

Так как в стенках насадки имеются отверстия, то воздух через них выходит наружу и давление на стенки насадки практически не изменяется.

Тогда давление внутри вихря

$$p_{\text{в}} = p_{\text{а}} - \Delta p.$$

Подъемная сила захватного устройства:

$$F = K_p(p_{\text{а}} - p_{\text{в}})A = K_{\text{в}}\Delta p A, \quad (5.23)$$

где $K_{\text{в}} = (0,3...0,5)$ — коэффициент запаса; A — площадь захвата (насадки).

5.2. Поддерживающие захватные устройства

Поддерживающие захватные устройства обеспечивают поддержание объекта манипулирования воздействием нормального давления струи воздуха на его нижнюю поверхность. Аэродинамическое воздействие на деталь поддерживает ее в подвешенном состоянии, причем усилие поддержки пропорционально квадрату скорости струи. Такие захватные устройства наиболее пригодны для деталей с центральным отверстием, через которое пропускается стержень, выполняющий функцию питающего канала (рис. 5.6).

В центральный канал пустотелого стержня 3 подается сжатый воздух под давлением $p_{\text{с}}$. В стержне 3, размещенном в корпусе 1 захватного устройства, имеется ряд прямых сопел 4, расположенных под углом к поверхности захватываемого объекта. При захватывании стержень

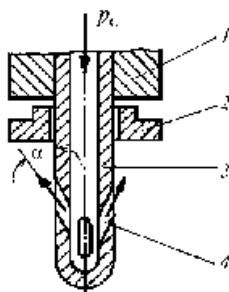


Рис. 5.6. Аэродинамическое поддерживающее захватное устройство:
1 — корпус; 2 — поддерживаемая деталь; 3 — пустотелый стержень; 4 — выходные сопла

проходит через отверстие в детали 2, струи воздуха из сопел 4 подхватывают деталь и прижимают ее к торцу захвата. В случае необходимости ориентации объекта в захватном устройстве по угловой координате устройство может быть снабжено дополнительным рядом сопел, расположенных тангенциально к оси корпуса 1. В этом случае крутящий момент образуется в результате воздействия струй воздуха, истекающих спирально из тангенциальных сопел.

Силу P , необходимую для удержания объекта манипулирования, можно определить из зависимости

$$P \geq kG \left(1 + \frac{a}{g} \right), \quad (5.24)$$

где k — коэффициент запаса ($k = 1,5 \dots 1,8$); G — масса объекта; a — ускорение подъема объекта; g — ускорение свободного падения.

Усилие удержания, которое образует конструкция захватного устройства с двумя соплами, определяется по формуле:

$$F = \frac{V^2}{\pi r \rho} \sqrt{2(1 + \cos 2\alpha)}, \quad (5.25)$$

где r — радиус сопла; ρ — плотность воздуха на срезе сопла; V — расход воздуха через одно сопло; α — угол наклона сопла к поверхности объекта.

Необходимое условие

$$F \geq P. \quad (5.26)$$

Быстродействие устройства может быть оценено временем t_n прохождения волны высокого давления по каналу между клапаном включения и выходом сопел:

$$t_v = \frac{l_k}{U_3}, \quad (5.27)$$

где l_k — длина канала; U_3 — скорость распространения звука в воздухе (341 м/с при $T = 293$ К).

Для захвата деталей, не имеющих отверстий, служат гнездовые захватные устройства, поддерживающие сопла которых размещены по периферии гнезда.

5.3. Захватные устройства с эластичными камерами

Захватные устройства с расширяющимися эластичными камерами под давлением газа или жидкости воздействуют непосредственно на стенки камеры (или нескольких камер) захватываемого органа. Типовые конструкции таких захватных устройств показаны на рис. 3.19... 3.22.

Пневмокамерные захватные устройства наиболее распространены. Их применяют для манипулирования хрупкими объектами.

Силовые показатели пневмокамерных ЗУ с расширяющимися камерами фирмы Simrit (Германия) приведены в табл. 3.3 и 3.4. Общие зависимости для расчета таких захватных устройств даны на рис. 5.7.

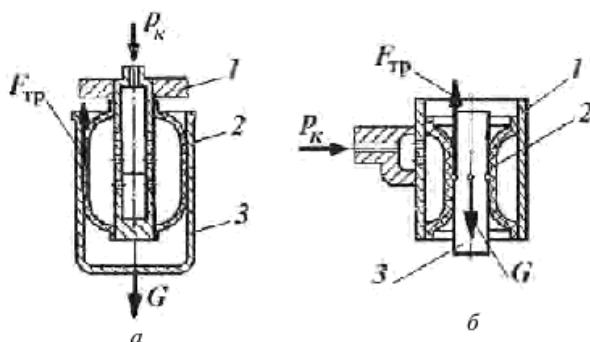


Рис. 5.7. Схема к расчету удерживающих сил ($F_{тр}$) захватных устройств с эластичными камерами при удерживании предмета производства за поверхности: *а* — внутреннюю; *б* — наружную; 1 — корпус захватного устройства; 2 — эластичная камера; 3 — предмет производства

Грузоподъемность пневмокамерных захватных устройств зависит от целого ряда факторов: формы захватываемой поверхности и ее ше-

роховатости, площади поверхности захвата, направления силы веса захватываемого объекта по отношению к оси захвата. Наиболее неблагоприятным является случай захватывания по цилиндрической поверхности. Когда вертикальное расположение захвата, то сила веса G объекта будет уравниваться суммарной силой трения $F_{\text{тр}}$ между поверхностями соприкосновения объекта и захвата. Сила трения $F_{\text{тр}}$, в свою очередь, зависит от нормального усилия прижатия стенки камеры к объекту, т.е. от давления p_k в камере захватного устройства и от коэффициента трения μ . Таким образом, требуемое усилие удержания ЗУ с расширяющимися камерами

$$F = F_{\text{тр}} = p_k S \mu, \quad (5.28)$$

где S — площадь поверхности захватывания; μ — коэффициент трения; p_k — давление в пневмокамере.

Следовательно, можно либо, задавая значение давления p_k в камере захватного устройства, определить требуемую площадь поверхности захвата, либо, задавая значение площади поверхности S , определить требуемое давление в камере устройства:

$$p_k = Gk/S\mu, \quad (5.29)$$

где G — вес ПП; $k = 1, 2 \dots 1, 5$ — коэффициент запаса.

При горизонтальном расположении захвата под действием момента силы веса объекта манипулирования захват будет поворачиваться в вертикальной плоскости.

Угол отклонения объекта от вертикальной оси $\theta = M/c$, где c — угловая жесткость захватного устройства; M — момент силы веса относительно центра поворота.

Усилие удержания объекта захватным устройством с изгибающимися пальцами с охватом по внешней цилиндрической поверхности определяют по формуле (5.28) при переносе с вертикальным расположением продольной оси объекта манипулирования (см. верхнюю часть рис. 3.22, а). При переносе цилиндрического объекта с горизонтально расположенной продольной осью (см. нижнюю часть рис. 3.22, б) усилие удержания будет равно

$$F = p_k S. \quad (5.30)$$

Поскольку объекты манипулирования перемещаются рукой работа с различными скоростями и в различных положениях, часто подвергаясь кантованию, расчеты усилий удержания целесообразно вести, пользуясь зависимостью (5.28) для всех конструкций. При этом надо

иметь в виду, что пневматические ЗУ часто запитывают от общезаводской системы сжатого воздуха, который подается в помещения при относительно низких давлениях, обычно не превышающих $p_k = 1$ МПа.

Быстродействие пневмокамерных захватных устройств оказывает влияние на общий цикл работы робототехнологического комплекса. Считая, что основным режимом движения воздуха в камере является докритический, время захвата и отпускаания можно определить по следующим зависимостям:

$$\bullet \text{ время захвата} \quad t_3 = \frac{0,57V_k}{W}; \quad (5.31)$$

$$\bullet \text{ время отпускаания} \quad t_{\text{отп}} = \frac{V_k}{0,685W}, \quad (5.32)$$

где V_k — объем камеры;

$$W = k\vartheta f \sqrt{RT},$$

где k — коэффициент адиабаты ($k = 1,4$); ϑ — коэффициент расхода канала, равный 0,5...0,6; f — площадь канала; R — газовая постоянная (187,14 Дж/(кг · К)); T — абсолютная температура воздуха в магистрalli.

Гидравлические захватные устройства с эластичными камерами. Их расчет и проектирование ведут так же, как и для пневматических ЗУ.

Для гидравлических ЗУ с расширяющимися камерами используют более плотные и прочные материалы, чем для пневматических ЗУ. В качестве рабочей жидкости применяют минеральное масло с такими же характеристиками, как и в гидравлических приводах ПР. При этом рабочая жидкость подается обычно под давлением не выше 5 МПа.

Контрольные вопросы

1. Расскажите об особенностях расчета и проектирования вакуумных и электромагнитных притягивающих захватных устройств.
2. На чем основан эффект притяжения аэродинамических притягивающих захватных устройств?
3. Опишите устройство эжектора. На чем основан принцип его действия?
4. Как определить силу притяжения струйного ЗУ?
5. Как определить силу притяжения вихревого ЗУ?
6. Расскажите об устройстве аэродинамического поддерживающего захватного устройства и о расчете величины удерживающей силы.
7. Опишите конструктивные особенности захватных устройств с эластичными камерами. Как определяют удерживающую силу таких устройств?

СЛЕСАРНЫЙ И СБОРОЧНЫЙ ИНСТРУМЕНТ

6.1. Механизированный инструмент

Инструмент для промышленных роботов проектируют либо специальный автоматический, либо модернизируют механизированный инструмент (гайковерты, винтоверты, шпильковерты, шлифовальные, сверлильные машины и т.п.), приспособлявая его для работы в автоматическом режиме.

При работе с ПР инструмент (особенно механизированный) используют по двум схемам:

- модернизируют для работы с ПР так, чтобы робот мог автоматически заменять инструмент и манипулировать им, обеспечивая обработку или сборку предмета производства;
- закрепляют инструмент на неподвижной стойке так, что робот, манипулируя предметом производства, обеспечивает его обработку инструментом.

Во всех случаях у инструмента заменяют рукоятку хвостовиком из размерно-конструктивного ряда хвостовиков ЗУ, приспособленных для автоматической смены при работе с ПР, и соединяют системы управления и информации робота и инструмента для обеспечения передачи управляющих сигналов «включено-выключено», а также — контроля и управления режимами работы инструмента.

В качестве механизированного инструмента при работе с промышленными роботами обычно применяют группу технологических машин со встроенными двигателями общей массой 1,5...10 кг.

Механизированный инструмент оснащают пневматическими, электрическими и гидравлическими приводами. По назначению различают:

- инструменты общего применения (сверлильные, шлифовальные, полировальные, фрезерные);

- инструменты для слесарно-доводочных работ (развальцовочные, развертывающие, зенковальные, опиловочные, ножницы, кромкорезы, шаберы, пилы по металлу, зачистные и рубильные молотки);
- сборочные инструменты (резьбонарезные, резьбозавертывающие, клепальные молотки, скобозабивные, винто- и гайковерты и т.п.).

Большая часть конструкций таких машин при незначительной модернизации может работать в автоматическом режиме, получая команду от СПУ сборочного центра или промышленного робота. Технические данные отдельных моделей механизированных инструментов, рекомендуемых к модернизации в целях последующего оснащения промышленных роботов, приведены в табл. П.1.1...П.1.14 приложения; развернутые технические данные и более подробное описание их конструкций — см. соответствующие каталоги, а также [11, 27, 32].

Наиболее распространены инструменты с пневматическим и электрическим приводами. Они легче поддаются и модернизации для работы в автоматическом режиме.

КПД механизированного инструмента с пневматическим приводом 7...11%, с электрическим 50...60%. По удобству пользования они равноценны, но электроинструмент более бесшумен в работе. Эксплуатационные затраты при работе с электрифицированным инструментом ниже, чем с пневматическим. Масса пневматического инструмента меньше; он способен выдерживать продолжительные перегрузки, что недопустимо для электроинструмента. Гидравлический инструмент отличается значительно меньшей массой благодаря высокому давлению рабочей жидкости, а также относительной бесшумностью в работе. В гидравлических инструментах применяют ротационные лопастные, поршневые и винтовые приводы с давлением рабочей жидкости до 8 МПа.

В пневматических инструментах применяют ротационные лопастные, турбинные и поршневые приводы, питаемые давлением воздуха 0,5 МПа.

Электроинструменты имеют двигатели переменного тока коллекторные или асинхронные, питаемые током нормальной (50 Гц) или повышенной (180...200 Гц) частоты, который получают от специальных преобразователей. Наиболее распространены встроенные электродвигатели с короткозамкнутым ротором трехфазового тока напряжением 36 В и частотой 180...200 Гц.

Инструменты общего применения обычно используют для пригоночных работ. С промышленными роботами часто используют сверлильные и шлифовальные машины.

Сверлильные машины предназначены для сверления отверстий диаметром 3...32 мм. Большинство конструкций машин выполнено с рукоятками пистолетного типа. Их применяют для сверления отверстий диаметром до 12...14 мм. Для сверления отверстий больших диаметров используют машины примерно таких же конструкций с боковыми дополнительными рукоятками. Сверление отверстий малого диаметра (1,5...3 мм) целесообразно выполнять пневматическими машинами турбинного типа с частотой вращения шпинделя до 30 000 мин⁻¹. На переднем конце шпинделя предусмотрена цапга для закрепления инструмента.

Шлифовальные машины используют для зачистки сварных швов, чугуновых и стальных отливок, снятия заусенцев, шлифования и полирования различных поверхностей. Их изготавливают с электро- и пневмоприводом, прямыми и угловыми.

Инструменты для слесарно-доводочных работ применяют и в целях пригонки собираемых деталей.

Ножницы применяют для прямолинейной и фасонной резки листовой стали и сплавов цветных металлов. Максимальная толщина листа стали средней твердости до 2,5 мм. Выпускают ножевые, вырубные, дисковые и рычажные ножницы.

Пневматические рубильные молотки используют для рубки и чеканки металла, доводки отливок, клепки заклепок и других работ.

Резьбонарезные машины используют для нарезания резьбы в стальных деталях, обычно в комплексе со сборочными инструментами.

Инструмент для сборки резьбовых соединений. Для механизации сборки резьбовых соединений применяют ручные одношпиндельные резьбозавертывающие машины: гайко-, шпилько- и винтоверты. Их выпускают с пневматическими ротационными, с электрическими высокочастотными двигателями и с однофазными коллекторными двигателями нормальной частоты. По принципу работы их подразделяют на машины вращательного действия, частоударные и редкоударные. Ударные гайковерты выполняют в виде ручных машин. Они обладают высокой производительностью, им требуется меньшая мощность, чем для гайковертов вращательного действия, имеют меньшую массу, чем гайковерты вращательного действия. Реактивный момент в процессе работы ударных гайковертов практически отсутствует. Это позволяет использовать их при значительных моментах затяжки. Срок службы

ударных гайковертов меньше, чем у гайковертов вращательного действия, выше уровень шума и вибрации.

Редкоударные гайковерты имеют меньшую на 20...40% массу по сравнению с частоударными, более высокий (в 2...5 раз) КПД, для них требуются двигатели меньшей мощности (на 15...35%).

Частоударные гайковерты совершают 16...40 ударов в секунду, редкоударные — до трех ударов в секунду.

Процесс затяжки частоударными гайковертами осуществляется за 110...200 ударов, редкоударными за 4...15 ударов энергией большого удара постоянной величины. Энергия частоударных гайковертов меняется от удара к удару, у редкоударных остается постоянной по величине, что позволяет вести сборку ответственных резьбовых соединений.

Для сборки резьб М3...М8 применяют винтоверты.

Многошпиндельные гайковерты komponуют из нормализованных резьбозавертывающих силовых головок, снабженных встроенными пневматическими, электрическими или гидравлическими двигателями. Для крепления в корпусе головки имеют специальные соединительные фланцы и посадочные диаметры. Заданная точность затяжки обеспечивается специальными устройствами. Точность затяжки многошпиндельными гайковертами составляет 12...15%.

На основе силовых головок созданы многошпиндельные гайковерты серии ЭГ с электрическим приводом и серии ГП с пневматическим приводом.

Силовые головки многошпиндельных гайковертов для удерживания гаек и винтов оснащены головками, шпильковерты — патронами.

6.2. Автоматический сборочный инструмент

Требования к технологичности изделий и деталей при автоматической сборке роботизированными комплексами и особенности проектирования технологии роботизированной сборки (см. [12]).

Требования к автоматическому сборочному инструменту для промышленных роботов. Специфика условий выполнения с помощью ПР операций соединения разнообразных по конструкции деталей диктует создание специализированного сборочного инструмента достаточно широкой номенклатуры. Инструменты снабжаются устройствами, обеспечивающими выполнение движений, необходимых для соединения деталей: поисковых, силовых, контрольных.

Наибольшее применение находят сборочные инструменты для выполнения типовых операций. К таким инструментам относятся:

- захваты для перемещения и установки деталей без точного ориентирования, с большими зазорами (установка базовых деталей в приспособление, укладка прокладок, удаление собранных изделий);
- инструменты для захватывания, перемещения и присоединения деталей с малыми зазорами или небольшими натягами (в том числе инструменты со встроенным механизмом компенсации погрешности взаимного положения сопрягаемых поверхностей);
- инструмент для захватывания, перемещения и установки нежестких деталей (например, резиновых манжет);
- инструмент для захватывания, перемещения и установки упругих деталей, например пружинных колец (в том числе инструменты со встроенным механизмом предварительной деформации);
- инструмент для выполнения резьбовых соединений (в том числе с контролем крутящего момента или других параметров);
- инструмент для установки деталей на вал, включая инструмент со встроенным механизмом дополнительной ориентации присоединяемой детали по базовой;
- инструмент для сборки с пластической деформацией детали (клепка, раскатка, развальцовка и т.п.);
- контрольно-измерительные головки, в том числе для осуществления сборки по методам, отличным от метода полной взаимозаменяемости.

В зависимости от области применения используют сменный или быстросменный сборочный инструмент, различающийся местом и способом крепления. С помощью сменного инструмента выполняется одна и та же операция сборки деталей во всей партии собираемых изделий, затем инструмент снимается и закрепляется в конечном звене ПР вручную при наладке оборудования на сборку очередной партии изделий. Быстросменный инструмент автоматически сменяется в цикле сборки одного изделия, что обеспечивает широкую универсальность при сборке изделий разного типа.

Для успешного соединения деталей с возможно меньшими удельными затратами на единицу продукции и наибольшей производительностью сборочный инструмент для ПР должен отвечать ряду требований, важнейшими из которых являются:

- унификация по элементам базирования деталей и месту присоединения к руке ПР;

- допустимая по условиям сборки погрешность захватывания деталей;
- надежность захватывания и транспортирования детали на сборочную позицию;
- обеспечение компенсации погрешности взаимного расположения сопрягаемых поверхностей перед соединением;
- легкость регулировки и переналадки для присоединения однотипных деталей в установленном диапазоне размеров;
- возможность встраивания элементов контрольных устройств и средств адаптации.

Соединение деталей по цилиндрическим поверхностям — операция, наиболее часто встречающаяся в машиностроении. Это установка валов, подшипников, вкладышей, колец в корпус, надевание втулок, подшипников, колец на вал и т.п. Соединение выполняют либо последовательно, устанавливая манипулятором сопрягаемые детали на стол запрессовщика (при этом пуансон запрессовщика через ловители вставляет с необходимым зазором или натягом вал в отверстие базовой детали), либо используя специальный инструмент для захватывания и монтажа валов в отверстия базовой детали. Требуется высокая точность взаимного расположения сопрягаемых поверхностей и траектории перемещения вставляемой детали, а также компенсация погрешностей взаимного расположения соединяемых деталей.

Для компенсации погрешностей взаимного расположения сопрягаемых деталей применяют два принципиально различных способа:

- *активный способ* — с применением датчиков, измеряющих усилия и моменты, возникающие при сопряжении деталей, и выдающих команды на дополнительные перемещения исполнительных узлов ПР и ЗУ;
- *пассивный способ* — с применением кинематических элементов и приспособлений, устанавливаемых обычно непосредственно на сборочном ЗУ или инструменте (см. главы 7 и 9) и обеспечивающих «автопоиск» сопрягаемых поверхностей. Для обеспечения «автопоиска» на сопрягаемых деталях необходимо иметь соответствующие вспомогательные поверхности: фаски, скосы и т.п.

Инструменты для сборки деталей по цилиндрическим поверхностям достаточно многообразны, обеспечивая сопряжение деталей по различным посадкам.

Монтаж подшипников в базовый корпус. На рисунке 6.1 показан инструмент для захватывания и монтажа подшипника качения в базовый

корпус по посадке Н7/Б6, на примере которого можно проиллюстрировать возможность компенсации погрешностей по второму способу при сопряжении жестких деталей. В корпусе 8 по направляющим скольжения 7 и 9 перемещается рабочий шток 10, головка 11 которого связана со штоком гидроцилиндра привода, расположенного внутри руки ПР. Пневмодатчик 19, установленный на стакане 4, подключен к пневморазъему 6 воздухопровода 5. Он контролирует наличие в сборочном инструменте монтируемой детали (подшипника).

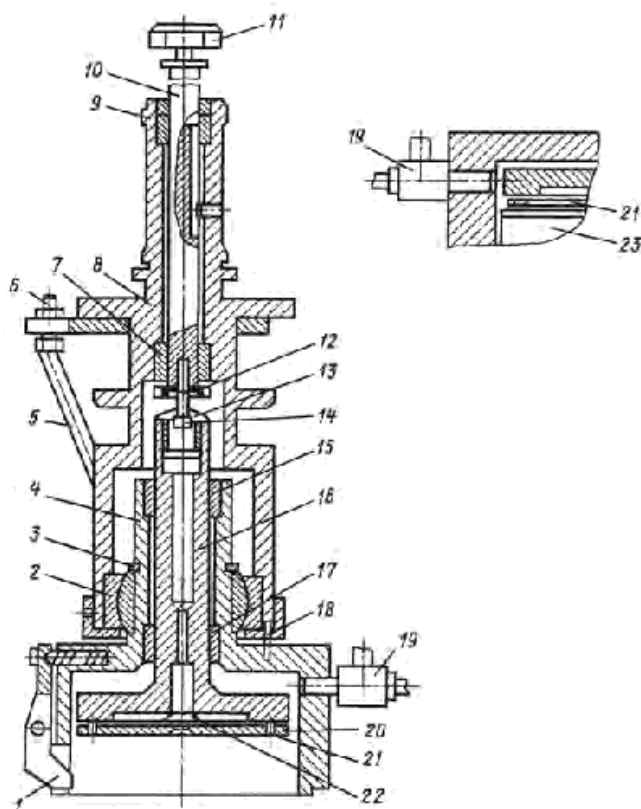


Рис. 6.1. Инструмент для захватывания и монтажа подшипников в отверстие базовой детали:

- 1 — подпружиненная губка для захватывания детали; 2 — сферическая опора;
3 — стопорное кольцо; 4 — стакан; 5 — воздухопровод; 6 — пневморазъем;
7, 9, 15, 17 — цилиндрические направляющие скольжения; 8 — корпус;
10 — рабочий шток; 11 — головка штока; 12 — гайка; 13, 14 — упор;
16 — прессующий шток; 18 — штифт; 19 — пневмодатчик; 20 — шарик;
21 — диск; 22 — эластичная струна; 23 — монтируемая деталь

Детали, подлежащие установке (диски, кольца, подшипники и т.п.), устанавливают на начальной позиции в кассетах. Сборочный инструмент, установленный в руке ПР, размещается над первой верхней деталью соосно с ней и опускается ходом руки ПР вниз. При этом рабочий шток 10 находится в крайнем верхнем положении, а прессующий шток 16 висит на упоре 14. Между монтируемой деталью (подшипником) и фланцем прессующего штока расположен сепаратор (диск 21 с шариками 20), прикрепленный к штоку эластичной струной 22. Монтируемая деталь 23 центрируется и захватывается тремя подпружиненными губками с усилием, выбираемым в соответствии с массой детали. При движении инструмента вниз деталь 23 перемещает прессующий шток до тех пор, пока его фланец не перекроет датчик 19. По команде датчика движение инструмента вниз прекращается, и инструмент вместе с деталью 23 поднимается и перемещается на сборочную позицию. Стакан 4 располагается соосно отверстию в корпусе и прижимается к его торцу. Усилие прижима контролируется силовым датчиком, встроенным в руку ПР. По команде на выполнение соединения встроенный в руку ПР гидроцилиндр перемещает рабочий шток 10, который через гайку 12 со сферическим торцом передает усилие на шаровую поверхность упора 13, укрепленного на прессующем штоке 16. Прессующий шток по направляющим 15 и 17 перемещается внутри стакана 4, который на сферической опоре 2 вмонтирован в корпус 8 и предохранен от осевого перемещения стопорным кольцом 3, а от проворота штифтом 18. Перемещаясь вниз, прессующий шток устанавливает (запрессовывает) деталь 23 в отверстие базовой детали (корпуса).

Компенсация смещения осей сопрягаемых деталей происходит при радиальном перемещении присоединяемой детали под действием усилий, возникающих при контакте заходных фасок сопрягаемых поверхностей. Сепаратор (20...21) уменьшает сопротивление радиальному перемещению детали.

Для надежного соединения деталей несовпадение их осей не должно превышать 0,5 размера радиусной и 0,8 размера прямолинейной заходной фаски (на той детали, где фаска большего размера). С этой же целью и отклонение от перпендикулярности торца (по которому базируется рабочая часть сборочного инструмента) оси отверстия в базовой детали (корпусе) должно быть не более 0,2 мм на 100 мм. Самоустановка инструмента по торцу базовой детали (корпуса) допускает значительные (до 1,6 мм на 100 мм) перекосы монтируемой детали в приспособлении.

Переналадка инструмента, показанного на рис. 6.1, заключается в регулировании положения губок 1, усилий их сжатия и положения датчика 19, а также в установке сепаратора соответствующих размеров.

При монтаже деталей, одна из которых является нежесткой, несопадение их осей компенсируется упругой деформацией присоединяемой (нежесткой) детали или ее элементов.

Инструмент для запрессовки армированной резиновой уплотнительной манжеты с пружиной в гнездо базового корпуса показан на рис. 6.2. Инструмент состоит из цилиндрического корпуса 1 с хвостовиком и фланцем для подсоединения к руке ПР. Внутри корпуса расположена подпружиненная оправка 2, вылет которой ограничен упором 3. На оправке на двух полуосях 4, проходящих через пазы 9 в корпусе 1, смонтирован рычаг 6, представляющий собой полувтулку, несущую с одной стороны шуп 5, а с другой — кулачок 7, взаимодействующий с закрепленным на оправке 2 пневмодатчиком 8. При опускании инструмента в накопитель манжета 10 надевается на оправку 2, диаметр которой соответствует диаметру уплотняемого вала, и удерживается на ней силой трения. При этом манжета отжимает шуп 5. Рычаг 6 поворачивается, перекрывает кулачком 7 сопло датчика 8, и движение вниз руки ПР прекращается. Затем инструмент с захваченной манжетой перемещается на сборочную позицию. Упор 11 (рис. 6.2, б), установленный в приспособлении 13 на сборочной позиции, центрирует базовую деталь 12, а также служит направляющей для манжеты. При запрессовке манжеты оправка 2 упирается торцом в упор 11, а корпус 1, продолжая двигаться вниз, сжимает пружину и запрессовывает манжету в гнездо. Затем инструмент перемещается вверх и удаляется из зоны сборки.

При присоединении манжета центрируется наружной (монтажной) поверхностью по заходной фаске *f*, выполненной в отверстии базовой детали. Смещение осей оправки и манжеты не должно превышать размера фаски *C* на оправке. Вылет оправки выбирают в зависимости от конструкции манжеты.

Применяя соответствующие насадки на корпусе 1 и оправке 2, можно использовать инструмент, показанный на рис. 6.2, для запрессовки армированных резиновых уплотнительных манжет с наружным диаметром 32...125 мм в гнезда базовых деталей типа корпусов, крышек, стаканов и т.п.

Для уменьшения деформации манжет и облегчения входа в них оправок манжеты и гнезда можно смазывать минеральным маслом, что облегчает монтаж и предотвращает повреждение манжет.

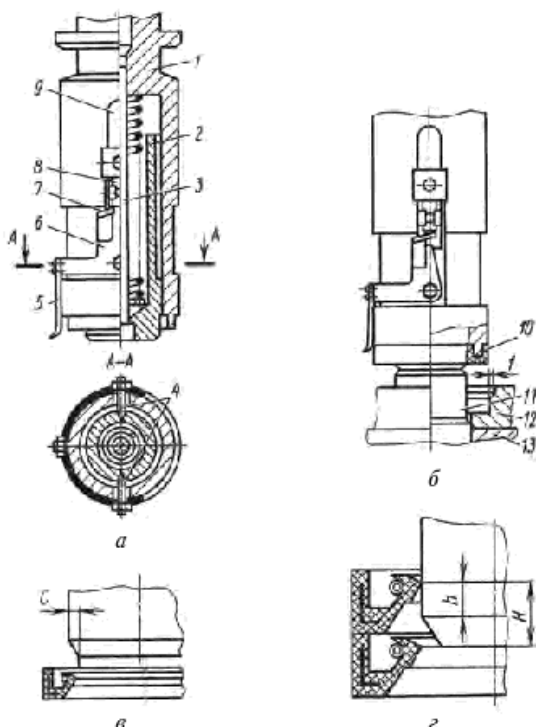


Рис. 6.2. Инструмент для запрессовки резиновой уплотнительной манжеты до (а) и в момент (б) запрессовки. Положение оправки инструмента относительно манжеты до (в) и после (г) насадки:

- 1 — корпус; 2 — оправка подпружиненная; 3, 11 — упор; 4 — полуось;
 5 — шуп; 6 — рычаг; 7 — кулачок; 8 — пневмодатчик; 9 — паз;
 10 — манжета; 12 — базовая деталь; 13 — сборочное приспособление

Сборка деталей по коническим поверхностям обеспечивается инструментом, по конструкции аналогичным показанному на рис. 6.1, а также с помощью ЗУ, соединяемых с рукой манипулятора устройствами с пассивной или активной самокорректировкой положения.

Установка прокладок и колец является одной из распространенных операций при сборке изделий.

Установка плоских прокладок из листового материала на торцы деталей (между корпусом и крышкой) производится с помощью электромагнитных или вакуумных ЗУ. Материал прокладок: металл (жесткая стальная, медь, алюминий и т.п.), картон, бумага, ткань, войлок. Вакуумные ЗУ обеспечивают большую точность установки, и их работа не зависит от материала прокладок. На рисунке 6.3 показано вакуумное ЗУ,

выполненное в виде цилиндрического корпуса 1, где закреплен сменный диск 5, в пазах которого установлены присоски 6 с эжекторами 12 и струйный датчик 7. Число присосок выбирают в зависимости от формы, размеров и массы прокладки. Воздух подается от силовой пневмосети через часть пневморазъема 2, патрубок 3 и трубки 9 в корпус 1, где размещен распределитель 4. К струйному датчику 7 воздух подается через патрубки 8 и 10. Струйный датчик 7 формирует команды на останов руки ПР при контакте присосок 3У с прокладкой 11 и на перемещение руки на сборочную позицию. На исходной позиции прокладки располагаются стопой в ориентирующем магазине. Инструмент переналаживается сменой дисков 5, установкой соответствующего числа присосок и регулировкой их положения в пазах дисков, а также перенастройкой положения датчиков 7. При смене дисков (три типоразмера) подобные 3У могут быть использованы для работы с картонными и текстолитовыми прокладками, имеющими размеры: $D = 28...37$ мм, $40...95$ мм, $100...220$ мм и соответственно $D_1 = 42...48$ мм, $54...110$ мм, $120...250$ мм, а также $D_2 = 55...65$ мм, $70...130$ мм и $145...280$ мм.

Инструмент для захватывания и установки плоских пружинных колец в канавки деталей типа валов и втулок.

Инструмент для установки наружных пружинных колец в канавки деталей типа валов показан на рис. 6.4. Внутри корпуса 1 проходит тяга 2, связанная с приводом, размещенным в руке ПР. Там же размещена втулка 5, прижимаемая пружинами 8 к подшипнику 3. На диаметрально противоположных сторонах втулки 5 вырезаны два фигурных окна 6, имеющих наклонный 12 и два горизонтальных (13 и 14) участка, а в корпусе 1 вырезаны продольные пазы 4. Концы штифта 7, соединенного с тягой 2, через фигурные окна 6 входят в пазы 4. На торце втулки 5 закреплена насадка 9, несущая подвижный упор 23, два регулируемых толкателя колец 15 и подпружиненный штырь 16 для установки монтируемого пружинного кольца 17. Регулирование толкателей 15 осуществляется их передвижением в пазах детали 20. Планка 22 служит ограничителем поворота втулки 5.

Инструмент располагают над кассетой с ориентированными пружинными кольцами 17. Он опускается, касаясь торцами насадки 9 и планки 19 на кольцо 17. При этом установочные штыри 16 и 18 входят в отверстия проушин кольца 17. Пневмодатчик, зафиксировав наличие монтируемой детали, формирует сигнал, включается привод 3У, и тяга 2 движется вверх. Штифт 7 поворачивает втулку 5 относительно корпуса 1, разжимая монтируемое кольцо 17 и возвратную пружину 21, прикрепленную одним концом к планке 22, установленной на корпусе 3У, а другим — к на-

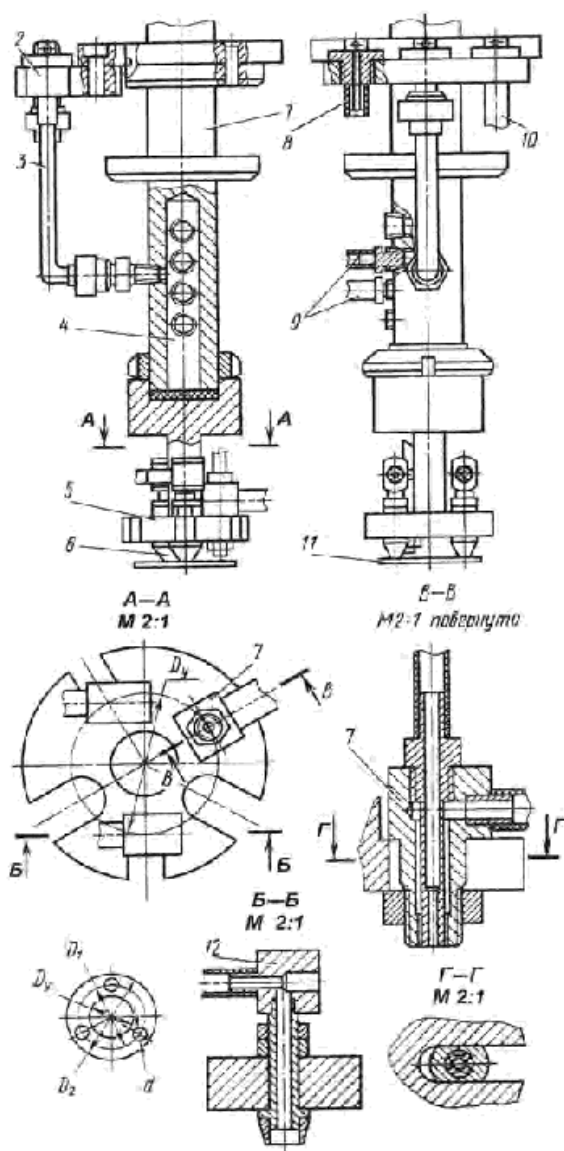


Рис. 6.3. Широкодиапазонное вакуумное ЗУ для установки прокладок из листового материала:

- 1 — корпус; 2 — пневморазъем; 3, 8, 10 — патрубки; 4 — распределитель; 5 — сменный диск; 6 — присоски; 7 — струйный датчик; 9 — трубки; 11 — прокладка (предмет производства); 12 — эжектор

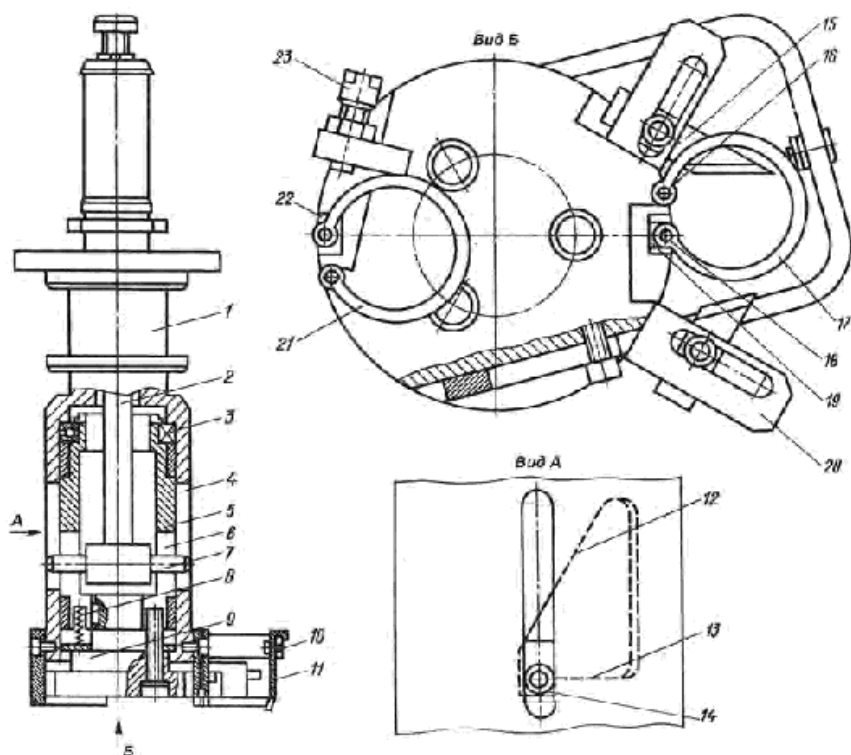


Рис 6.4. Сборочный инструмент для автоматической установки на вал плоских наружных пружинных колец, изготовленных по ГОСТ 13942—68:

- 1 — корпус; 2 — тяга; 3 — подшипник; 4 — паз продольный; 5 — втулка; 6 — окно фигурное; 7 — штифт; 8 — пружина; 9 — насадка; 10 — скоба выдвижная; 11 — упор подпружиненный; 12, 13, 14 — профилированные участки окна 6; 15 — толкатель; 16, 18 — установочные штыри; 17 — пружинное кольцо (предмет производства); 19 — планка; 20 — деталь, регулирующая положение толкателя; 21 — возвратная пружина; 22 — планка-ограничитель; 23 — регулируемый упор

садке 9. При разжиме монтируемое кольцо 17 фиксируется в углублении на установочных штырях 16 и 18 подпружиненным упором 11, который установлен на выдвижной скобе 10 и подводится под два регулируемых толкателя 15. Затем инструмент перемещается соосно валу, закрепленному в сборочном приспособлении, и опускается, надевая разжатое кольцо 17 на вал до тех пор, пока изменится сигнал пневмодатчика, что свидетельствует о наличии канавки. При опускании тяги 2 штифт 7 освобождает фигурные окна 6, вследствие чего втулка 5 разворачивается под действием возвратной пружины 21 и монтируемого кольца 17, которое

охватывает канавку сопрягаемого вала. Продолжая опускаться, штифт 7 доходит до горизонтальных участков фигурных окон 6 и смещает втулку 5 вместе с насадкой 9, которая с помощью двух регулируемых толкателей 15 сталкивает монтируемое кольцо 17 в канавку вала, освобождая установочный штырь 18. Другой штырь 16, высота которого превышает толщину кольца 17, упирается в торец упора, смонтированного в сборочном приспособлении, и утапливается. При движении инструмента вверх все его элементы занимают исходное положение.

Инструмент для захватывания и установки плоских внутренних пружинных колец в выточки отверстий базовых деталей (корпусов, крышек и т.п.) показан на рис. 6.5. Внутри корпуса 1 проходит тяга 2 со штифтом 6, в верхней части которой ввернут наконечник 13, соединяющий тягу с приводом. Концы штифта 6 через два противоположных продольных паза 12, прорезанных в корпусе 1, входят в фигурные окна 5 внешней втулки 4, установленной через упорный подшипник 3 коаксиально относительно корпуса 1. Между втулкой и корпусом установлено пружинное кольцо 7, аналогичное монтируемому пружинному кольцу 9 так, что один конец кольца 7 закреплен на корпусе, а другой — на втулке 4. На боковой стороне корпуса 1 снизу закреплен пружинный упор 8, а на торце с противоположной стороны — установочный штырь 10. Второй штырь 11, подпружиненный пружиной 14, смонтирован на торце втулки 4. Расстояние между штырями равно межосевому расстоянию отверстий в проушинах недеформированного кольца 9 и задается пружинным кольцом 7. Длина штырей больше толщины монтируемого кольца 9. На установочных штырях выполнены углубления 15, длина которых равна толщине монтируемого кольца. На концах штырей имеются конусные участки 16, облегчающие введение их в отверстия кольца 9.

Монтируемые кольца 9 расположены стопой в ориентирующем магазине на начальной позиции. Инструмент перемещается соосно стопе и опускается до касания торцом втулки 4 плоскости верхнего кольца. При этом установочные штыри 10 и 11 входят в отверстия в проушинах монтируемого кольца. При движении тяги 2 вверх штифт 6 поворачивает внешнюю втулку 4 относительно корпуса 1, сжимая пружинное кольцо 7 и монтируемое кольцо 9 (посредством штырей 10 и 11), которое фиксируется углублениями 15 этих штырей. Пружинный упор 8 препятствует провисанию и срыву монтируемого кольца. Затем инструмент перемещается соосно отверстию в базовой детали и опускается в него, не доходя до выточки на высоту установочного штыря 10. При движении тяги 2 вниз штифт 6 высвобождает внешнюю втулку 4 так, что она проворачивается относительно корпуса 1. Установочные штыри 10

и 11 расходятся, а пружинное кольцо 9 расходится до тех пор, пока не коснется стенок отверстия базовой детали. При дальнейшем движении вниз тяги 2 штифт 6 опускает втулку 4, которая сталкивает монтируемое кольцо 9 в выточку, освобождая при этом установочный штырь 10. Штырь 11 утапливается специальным упором, расположенным в сборочном приспособлении, и выходит из контакта с кольцом 9, которое, разжимаясь, устанавливается в выточке внутреннего отверстия базовой детали. При движении инструмента вверх втулка 4 под действием пружинного кольца 7 поворачивается и занимает исходное положение.

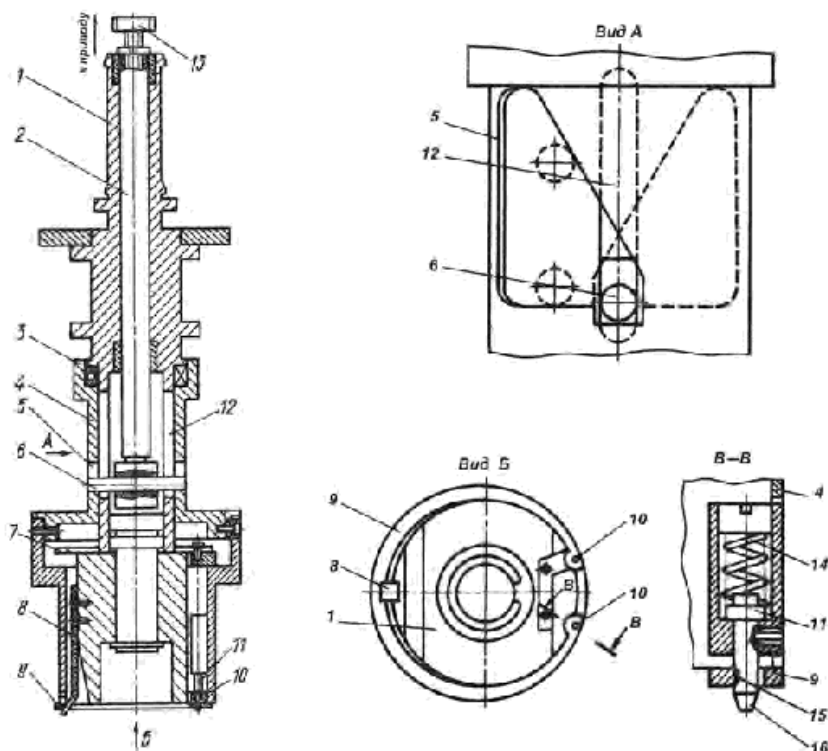


Рис. 6.5. Сборочный инструмент для автоматической установки в выточки отверстий базовых деталей плоских пружинных колец:
 1 — корпус; 2 — тяга; 3 — упорный подшипник; 4 — внешняя втулка;
 5 — окно фигурное; 6 — штифт; 7 — кольцо пружинное; 8 — пружинный упор; 9 — монтируемое пружинное кольцо (предмет производства); 10, 11 — установочные штыри; 12 — паз продольный; 13 — наконечник; 14 — пружина; 15 — фиксирующие углубления штырей 16

Инструменты для сборки резьбовых соединений наиболее распространены. В качестве рабочего инструмента используют шлицевые и крестообразные отвертки и торцевые шестигранные ключи. Эти устройства имеют ряд преимуществ, которые особенно важны для роботизированной сборки. К ним можно отнести универсальность, многообразие готовых конструкторских решений, небольшие габаритные размеры, оснащение средствами контроля момента затяжки. В резьбовом соединении следует различать детали, в которых стержень имеет наружную нарезку резьбы (болт, винт, шпилька), и детали, имеющие резьбовые отверстия (гайка, любая деталь с резьбовым или рядом резьбовых отверстий). Разделение деталей в резьбовом соединении на два вида диктуют различные методы подачи, базирования и фиксации в процессе сборки. Осуществление сборки резьбовых соединений требует выполнения двух движений: поступательного и вращательного. При проектировании средств автоматизации существенное значение имеет выбор способа сборки, который определяется методами базирования и относительного ориентирования собираемых деталей, методами воздействия на объекты сборки.

Существуют два основных метода относительного ориентирования собираемых деталей: в первом используется базирование по неподвижным базам, во втором — одну из собираемых деталей или обе сразу базируют в подвижных базах. Наибольшее распространение для винтовых соединений 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 относительного 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.

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. Последний способ затяжки нашел применение в специальных резьбовых соединениях. В автоматических винтовертах, гайковертах нашли широкое распространение первый и второй способы затяжки.

Средства автоматизации сборки резьбовых соединений можно разделить на три группы (рис. 6.6). К первой относятся средства для механизированной ручной сборки (механизированные и автоматические винтоверты, гайковерты, шпильковерты), ко второй — полуавтоматы и автоматы, работающие в автоматическом цикле, и к третьей — промышленные роботы. Все три группы оборудования содержат однотипные механизмы, из которых они komponуются. К таким механизмам можно отнести: привод вертикальной подачи, привод вращения инструмента, инструмент (отвертка, ключ и т.д.), узел базирования (винта, болта, гайки), узел поштучной подачи деталей, муфту предельного момента. Примеры технологических устройств для сборки резьбовых соединений приведены на рис. 6.6.

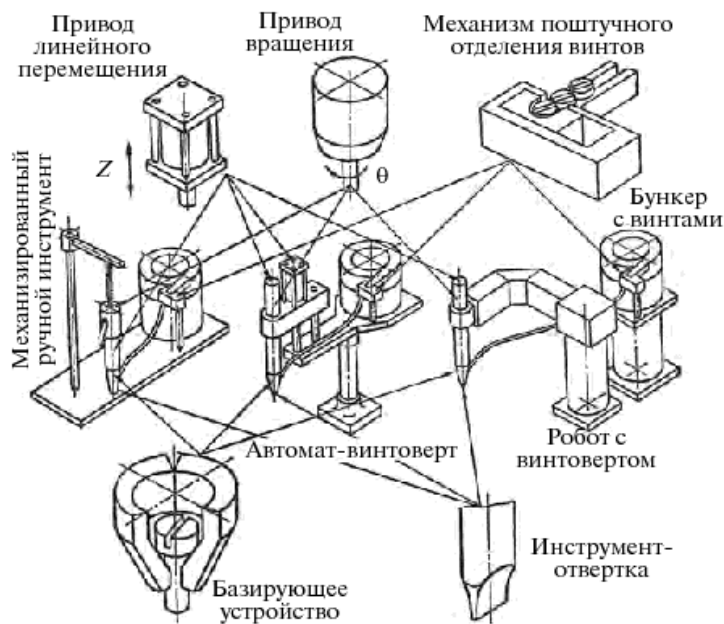


Рис. 6.6. Примеры технологических устройств для сборки резьбовых соединений

Винтоверт (рис. 6.7) 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 и 8 установлен полый ротор 6 с пнев-

моторбиной 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, имеющим на конце лезвие отвертки 2 и насадку 3.

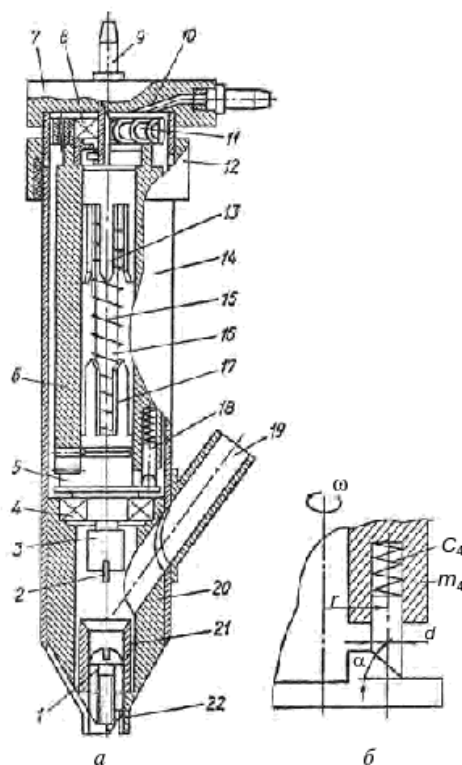


Рис. 6.7. Инерционный винтоверт (а) и схема ударной муфты (б):

ω — угловая скорость вращения ротора, с^{-1} ; α — угол захода резьбы;
 r — расстояние оси пальца от оси вращения ротора; d — диаметр пальца;
 m_4 — масса ротора; C_4 — жесткость пружины, поджимающей палец; 1 — винт (предмет производства); 2 — отвертка; 3 — насадка; 4, 8 — подшипники;
 5 — выступ; 6 — ротор; 7 — крышка; 9 — штуцер; 10 — канал подачи сжатого воздуха; 11 — пневмотурбина; 12 — глушитель; 13 — поршень-полумуфта; 14 — корпус; 15 — пружина возврата; 16 — шток; 17 — зубья; 18 — палец; 19 — патрубок; 20 — наконечник; 21 — втулка; 22 — лепестки

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 сцеплений с полумуфтой 13. Насадка 3 входит в контакт с втулкой 21, раскручивает ее и находящийся в ней винт 1. Затем лезвие отвертки входит в шлиц винта 1, осуществляя его завинчивание в резьбовое отверстие. После завинчивания винта на полную глубину происходит остановка штока 16, полумуфт 13, однако массивный ротор 6 продолжает по инерции вращаться, а скошенный палец 18, ударяя по выступу 5, осуществляет ударно-импульсную затяжку винта 1. После пяти-шести ударов ротор 6 останавливается. Подача воздуха в полость ротора прекращается, пружина 15 возвращает поршень 13 и шток 16 в исходное положение.

Инструмент для сборки резьбовых соединений показан на рис. 6.8. Инструмент предназначен для захвата, наживления и завинчивания болтов и гаек. В корпусе 9 размещен пневмодвигатель с ударным механизмом. Корпус прикреплен к хвостовику 5. Пневморазъем 22 и трубопровод 21 служат для подачи воздуха из сети к пневмодвигателю, который вращает шпиндель 11. На шпинделе установлен с возможностью осевого перемещения торцовый ключ 12, подпружиненный пружиной 13. На корпусе закреплен кронштейн 10, несущий датчик 15 контроля положения торцового ключа 12 относительно корпуса. В корпусе расположен переключатель реверса со штоком 24 и кольцо реверса 8 с каналами 7. В зависимости от положения кольца 8 воздух подается в один из каналов, обеспечивая «правое» или «левое» вращение шпинделя. Тяга 2 фиксируется в хвостовике от проворота винтом 26, скользящим по пазу 25 при осевом перемещении тяги. На тяге также выполнен винтовой паз 4. При осевом перемещении винта 1 и тяги 2 штифт 3 скользит по винтовому пазу, поворачивая шток 24 на угол 90° и, тем самым, реверсируя вращение шпинделя. Осевое перемещение тяги выполняется с помощью штока гидро- или пневмоцилиндра, который располагается внутри руки ПР. На торцовом ключе выполнено гнездо 18, соответствующее по форме головке болта, и кольцевой выступ 19, соединенный посредством шлангов 14 и 16 с расположенной на фланце 6 нижней частью 23 пневморазъема. Завинчивание болта контролируется по относительному положению торцового ключа и корпуса.

Болт захватывается из накопителя магнитным элементом 17 и подносится к базовой детали. Сжатый воздух через пневморазъем 22 и трубопровод 21 поступает к пневмодвигателю. Шпиндель 11 начинает вращаться, осциллируя при этом вдоль оси. Происходит наживление болта. При завинчивании шпинделю сообщают рабочее движение

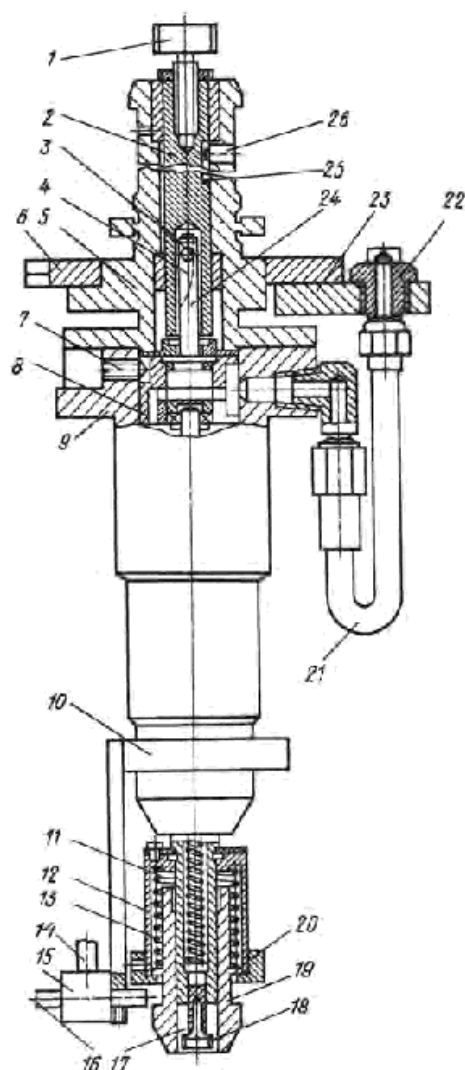


Рис. 6.8. Инструмент для автоматической сборки резьбовых соединений:

- 1 — винт; 2 — тяга; 3 — штифт; 4 — винтовой паз; 5 — хвостик;
 6 — фланец; 7 — воздуховодные каналы; 8 — кольцо реверса; 9 — корпус;
 10 — кронштейн; 11 — шпindel; 12 — торцовый ключ; 13 — пружина;
 14, 16 — шланги; 15 — датчик; 17 — магнитный элемент; 18 — гнездо,
 соответствующее по форме головке болта (предметы производства);
 19 — кольцевой выступ; 20 — оправка; 21 — трубопровод; 22 — пневморазъем;
 23 — нижняя часть пневморазъема 22; 24 — шток; 25 — паз; 26 — винт

вдоль оси резьбового соединения. Оправка 20 с базирующим элементом 17 утапливается в гнезде 18 завинчиваемым болтом, входящим в это гнездо. Перемещение руки ПР и шпинделя в осевом направлении продолжается и тогда, когда вследствие каких-либо причин соединения не произошло, например заклинило болт. В этом случае торцовый ключ, оставаясь неподвижным в осевом направлении, кольцевым выступом 19 взаимодействует с датчиком 15. При этом давление в измерительном канале пневмодатчика повышается и подается команда на прекращение осевого перемещения шпинделя в течение заданного времени. Если по прошествии определенного времени сигнал исчезнет (прокручивающийся торцовый ключ сместится вместе с болтом и кольцевой выступ 19 «откроет» датчик), то поступит команда на дальнейшее осевое перемещение на заданную глубину свинчивания. Если после выдержки времени пневмодатчик останется включенным, то от системы управления роботом поступит сигнал на реверс и отвод инструмента.

Инструмент для сборки неразъемных соединений. К неразъемным соединениям относятся соединения сваркой, пайкой, склеиванием, запрессовкой по горячей посадке, развальцовкой. Инструменты и приемы для соединений сваркой связаны с особенностями и требованиями конкретного технологического процесса, а запрессовка, пайка и склеивание — освещены в [27]. Наиболее универсальными считаются конструкции автоматического инструмента для операций развальцовки.

Инструмент для операций развальцовки. Режимы работы на прессовом оборудовании характеризуются усилием и скоростью деформации. В качестве вальцовочного инструмента часто применяют вальцовки в форме сплошного конуса, входящего в отверстие стержня заклепки и развальцовывающего его.

Данные по определению усилия деформации при вальцевании в зависимости от материала и диаметра заклепок приведены в табл. 6.1.

От выбранных режимов зависит качество и надежность собираемого узла, а также надежность и долговечность сборочного оборудования. Выбор режимов вальцевания состоит в определении для заданных условий сборки частоты вращения инструмента, усилия вальцевания и скорости осевой подачи инструмента (скорости деформации). Кроме того, рентабельность режима вальцевания определяется правильным выбором конструкции инструмента, геометрических параметров его рабочей части, материала инструмента, качества заточки, правильной установкой и креплением.

Таблица 6.1

Усилие деформации при вальцевании

Диаметр заклепки, мм	Усилие деформации (Н) при материале заклепок			
	Сталь 10	Медь М1	Латунь Л62	Алюминиевый сплав Д1-П
2	5 360	3 540	5 130	7 700
2,6	10 230	6 060	8 200	8 700
3	16 330	9 260	14 960	13 200
4	23 900	17 763	25 330	21 000

Для вальцевания деталей типа втулок применяют конусный пуансон. Усилие P_k , необходимое для развальцевания втулки, изготовленной из латуни, определяют по эмпирической формуле:

$$P_k = k s (D + d) D_1 \sigma_T / 2D,$$

где D и d — соответственно наружный и внутренний диаметры втулки, мм; D_1 — диаметр развальцовочного торца втулки, мм; s — толщина стенки, мм; σ_T — предел текучести материала, кг/мм²; $D_1/D = 1,15 \dots 1,2$ — степень деформации конца втулки; k — коэффициент, характеризующий состояние материала при различных условиях деформирования (для меди и латуни $k = 4,5$ — инструмент конус; $k = 1,3 \dots 1,4$ — инструмент в виде лопаточки).

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

$$M_{кр} = 0,5fp \pi D l,$$

где f — коэффициент трения; p — давление, кг/мм²; l — длина соединения, мм.

Для развальцовки деталей типа втулок применяют также вальцовочный инструмент, рабочая часть которого выполнена в виде лопаточки (рис. 6.9, б). Применение такого инструмента позволяет снизить осевое усилие P_k , которое достигает значительных величин при использовании инструмента (вальцовок) в форме сплошного конуса.

Одношпиндельная вальцовочная головка представлена на рис. 6.9, а. Конструкция вальцовочной головки включает пневмоцилиндр 20, закрытый с обеих сторон крышками 1 и 8, и электродвигатель 2, закрепленный на верхней крышке 1. Внутри корпуса пневмоцилиндра находится поршень 4 с уплотнениями 5, соединенный 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 2 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 (например, вальцовочная лопатка).

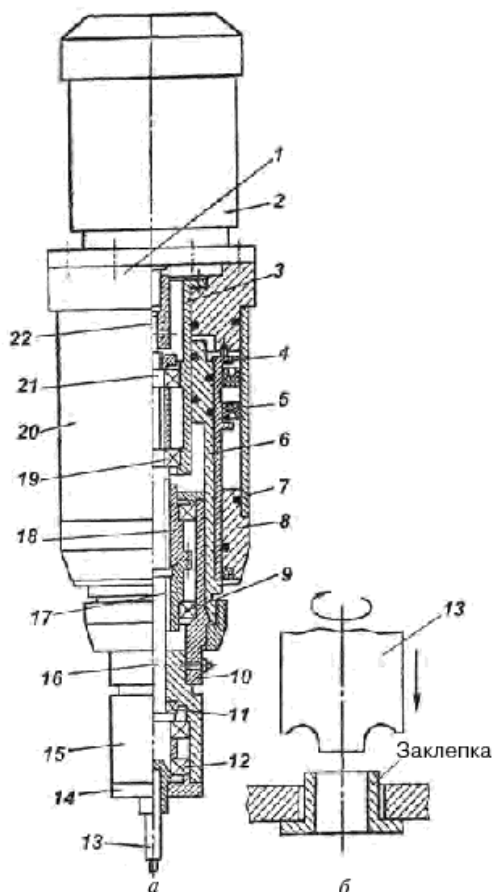


Рис. 6.9. Одношпиндельная вальцовочная головка (а) и схема вальцевания (б):

1, 8, 14 — крышки; 2 — электродвигатель; 3 — стакан; 4 — поршень;
5 — уплотнение; 6, 10 — втулки; 7 — маслосъемное кольцо; 9, 11, 12,
19 — подшипники; 13 — вальцовочный инструмент; 15 — корпус; 16 — вал;
17, 18 — полумуфты; 20 — пневмоцилиндр; 21 — шлицевой вал; 22 — муфта

От электродвигателя вращение передается инструменту через вал 21 и полумуфты 18 и 17. При подаче воздуха в полость цилиндра 20 поршень 4 вместе с втулками 6 и 10, корпусом 15 перемещается вниз до контакта инструмента 13 с кромками детали (см. рис. 6.9, б), которые деформируются

под действием осевого усилия вращающегося инструмента и облегают края отверстия, в котором эта деталь предварительно была установлена.

Двухшпиндельная развальцовочная головка представлена на рис. 6.10, а. Вальцовочные инструменты, установленные в двух шпинделях, закреплены в наконечниках 5, поджимаемых пружинами 3 к сферическим поверхностям шайб 1, установленных в корпусах 22 с помощью крышек 2. На валу каждого из приводных электродвигателей 13 размещено центральное зубчатое колесо, находящееся в зацеплении с шестернями-сателлитами, установленными на осях 11, закрепленных в диске 10. Диск напрессован на втулку 8, установленную в подшипниках 9 и несущую шестерни-сателлиты, входящие в зацепление с валом-шестерней 7, смонтированной внутри втулки 8 на подшипниках и имеющим эксцентрично расположенную сферическую опору 6, размещенную в насадке 5.

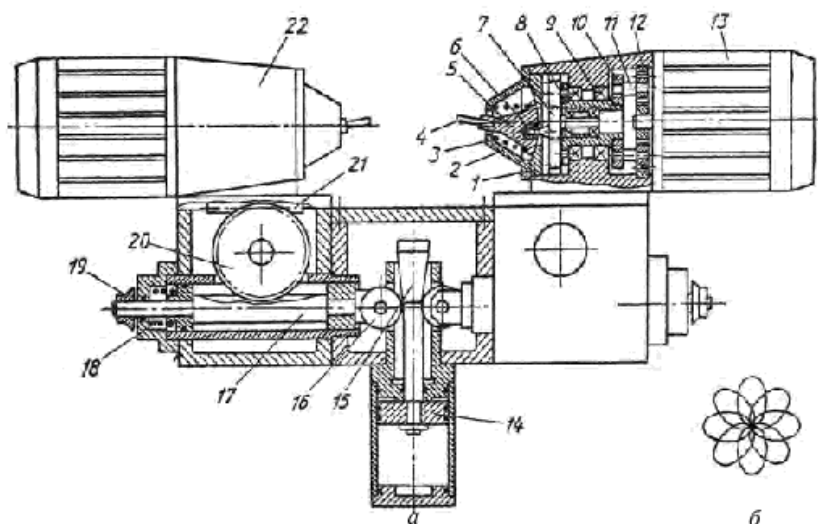


Рис. 6.10. Двухшпиндельная развальцовочная головка (а) и траектория движения инструмента (б):

- 1 — шайба; 2 — крышка; 3 — пружина; 4 — шпиндель; 5 — наконечник;
- 6 — сферическая опора; 7 — вал-шестерня; 8 — втулка; 9 — подшипник;
- 10 — диск; 11 — ось; 12 — фланец; 13 — электродвигатель; 14 — пневмоцилиндр;
- 15 — разжимной шток-конус; 16 — ролик; 17 — шток-рейка; 18 — полость пневмоцилиндра; 19 — лимб; 20 — зубчатое колесо; 21 — рейка; 22 — корпус

Осевое перемещение шпинделей с развальцовочными инструментами обеспечивается с помощью закрепленных на корпусах 22 реек 21, связанных зубчатыми колесами 20, штоками-рейками 17 и ролика-

ми 16 с разжимным штоком-конусом 15 пневмоцилиндра 14. Регулировка величины перемещения шпинделей осуществляется с помощью лимбов 19. Разведение шпинделей осуществляется подачей воздуха в полости 18 после возврата поршня пневмоцилиндра 14 в исходное положение. Рабочая часть инструментов (вальцовок) описывает сложную траекторию, изображенную на рис. 6.10, б. Вальцовочные инструменты, совершая вращение, давят с двух сторон на развальцовываемую деталь и деформируют ее кромки.

Применение автоматических инструментов иллюстрирует пример создания и эксплуатации сборочного центра на базе промышленного робота РВ-50Ф2 (рис. 6.11). Созданный в НПО-ЭНИМС сборочный центр обеспечивает автоматическую сборку подшипниковой опоры сельскохозяйственного комбайна. Ряд конструкций автоматических сборочных инструментов, упомянутых в данном подразделе, отрабатывался для этой цели.

Собираемый узел состоит из корпуса, крышки, двух резиновых манжет, подшипника, картонной прокладки и трех болтов с шайбами. На сборку болты поставляются с накатанной резьбой и предварительно надетыми шайбами.

Последовательность операций сборки узла следующая:

- 1) установка базовой детали собираемого узла (корпуса) в первое сборочное приспособление;
- 2) установка крышки во второе приспособление;
- 3) запрессовка манжеты в крышку;
- 4) запрессовка манжеты в корпус;
- 5) установка подшипника в корпус;
- 6) укладка картонной прокладки на корпус;
- 7) сборка крышки с корпусом;
- 8) установка трех болтов с шайбами, их наживление и завинчивание;
- 9) выгрузка собранного изделия.

В состав сборочного центра входит следующее оборудование, приспособления, инструменты и оснастка (см. рис. 6.11):

- промышленный робот 6, управляемый позиционной системой ЧПУ мод. УПМ-331;
- магазин сборочных инструментов 7, выполненный в виде поворотного стола с позициями-ячейками, в которых располагаются сборочные инструменты 8 и захватное устройство;
- две рабочие сборочные позиции 1 и 2 с приспособлениями, обеспечивающими установку и фиксацию основных деталей (корпуса и крышки) и представляющими собой трехкулачковый

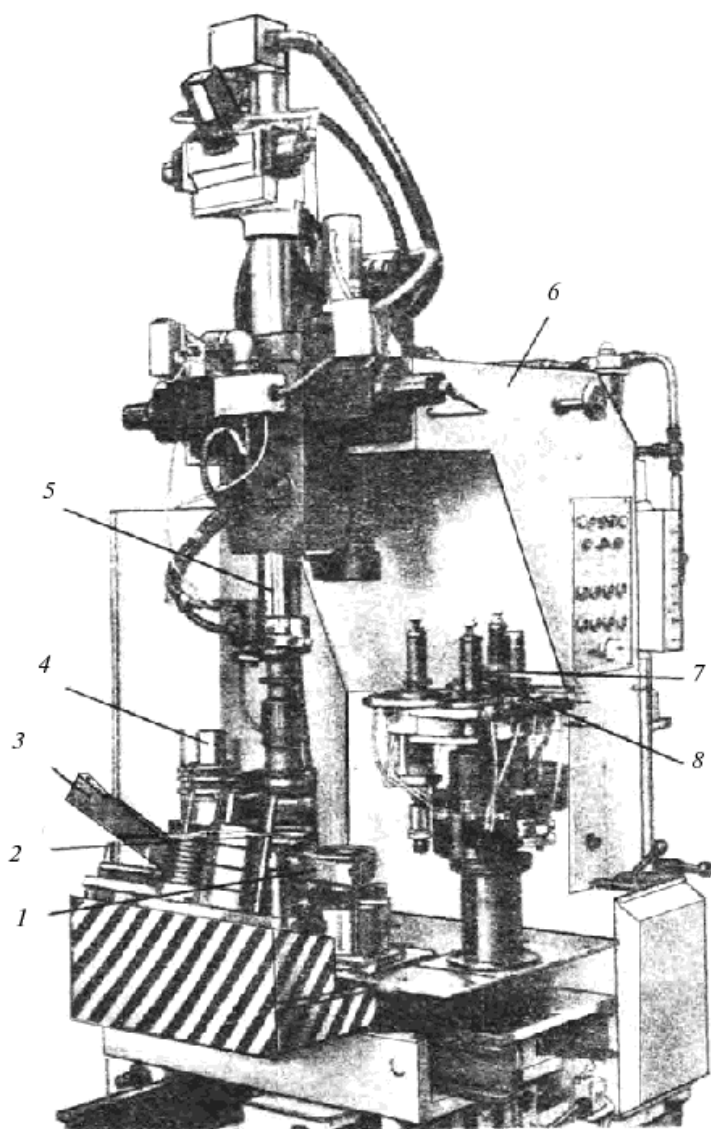


Рис. 6.11. Сборочный центр на базе промышленного робота мод. РВ-50Ф2:
 1, 2 — рабочие сборочные позиции; 3 — лоток; 4 — кассетные
 магазины собираемых деталей; 5 — рука робота; 6 — робот;
 7 — магазин сборочных инструментов и захватных устройств;
 8 — сборочные инструменты и захватные устройства

самоцентрирующий патрон с пневмоприводом (для корпуса) и плиту с двумя установочными пальцами (для крышки);

- накопители собираемых деталей; конструкции накопителей различны: магазин болтов с шайбами выполнен в виде наклонного лотка-питателя 3, а пять других магазинов 4 выполнены в виде кассет, в которых вертикально стопой (одна над другой) в ориентированном положении размещаются собираемые детали.

Процесс установки сменного сборочного инструмента 8 и ЗУ в руке 5 ПР, а также возврат его на хранение в ячейки поворотного инструментального магазина 7 осуществляются автоматически. Для крепления инструментов и захватного устройства в руке ПР используется конструкция типа байонет.

В состав комплекта сборочного инструмента входят:

- захватное устройство (см. рис. 3.52) с пневмоприводом для установки корпуса и крышки в приспособления, кантования крышки на 180°, установки ее на корпус после запрессовки манжеты и для удаления собранного изделия;
- инструмент для захватывания и установки подшипника качения (см. рис. 6.1);
- инструмент для захватывания и установки резиновых манжет (см. рис. 6.2);
- вакуумный захват для картонных прокладок (см. рис. 6.3);
- гайковерт с пневматическим приводом (см. рис. 6.8).

Инструменты для установки резиновых манжет и подшипника, а также гайковерт позволяют в определенных пределах компенсировать погрешность позиционирования сопрягаемых деталей.

Процесс взятия всех деталей, кроме болтов с шайбами, — однотипный и заключается в сканировании кассет деталей сверху вниз соответствующим сборочным инструментом и захватывании верхней детали из стопы. Для этого все захваты и инструменты снабжены пневматическими струйными датчиками, установленными таким образом, чтобы при подходе к верхней детали обеспечивалось формирование сигнала на прекращение движения вниз и захватывание детали.

Так как операции 1, 2, 7 и 9-я выполняются с помощью одного захвата, а операции 3-я и 4-я — одним сборочным инструментом, то при переходе с 1-й на 2-ю, с 9-й на 1-ю операции и с 3-й операции на 4-ю замены инструмента не требуется. Во всех других случаях при переходе от одной сборочной операции к другой требуется автоматическая смена сборочного инструмента или захвата.

Последовательность движений ПР при реализации указанных операций однотипны и состоят из взятия из магазина требуемого сборочного инструмента, захватывания и переноса нужной детали, выполнения операции присоединения, установки обратно в магазин сборочного инструмента (в ряде случаев эти переходы отсутствуют).

Следует отметить, что установка специальных датчиков на сменные сборочные инструменты позволила контролировать наличие деталей в соответствующих магазинах, а также детали в инструменте в процессе ее транспортирования.

Операция установки, наживления и завинчивания трех винтов осуществляется гайковертом, в конструкции которого предусмотрен струйный датчик перемещений. Его применение позволяет обеспечить контроль попадания переносимого болта в отверстие крышки и завинчивания его в резьбовое отверстие корпуса, синхронизацию скоростей поступательного движения руки ПР и болта при его завинчивании, контроль качества, сборки резьбового соединения. Для выполнения этих функций гайковерт имеет насадку с ключом и постоянным магнитом для захватывания болта (см. описание работы гайковерта на рис. 6.8).

Контрольные вопросы

1. Расскажите о схемах применения инструментов при работе с промышленными роботами.
2. Как различают инструменты по назначению?
3. Какими приводами оснащают механизированные и автоматизированные инструменты?
4. Для каких операций чаще всего применяют промышленные роботы, оснащенные автоматическим инструментом?
5. Перечислите требования к автоматическому сборочному инструменту для промышленных роботов.
6. Расскажите о конструктивных особенностях автоматических сборочных инструментов для промышленных роботов.

СБОРОЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ГОЛОВКИ

7.1. Основные типы сборочно-ориентирующих технологических головок

Сборочно-ориентирующие технологические головки позволяют вести автоматическую сборку деталей с применением промышленных роботов или без обязательного применения манипуляционных систем. В любом случае для взаимной ориентации и сопряжения деталей достаточно в соответствующей последовательности подать их из питателей в рабочую зону технологической головки, поскольку относительное ориентирование деталей, их сопряжение и сборка осуществляются под действием физических эффектов (вихревого потока газов или электромагнитных сил).

Работа с использованием таких сборочных технологических головок может осуществляться по следующим схемам:

- 1) к подаче деталей в рабочую зону привлекают манипуляционные системы (промышленные роботы), действующие автономно или совместно с автоматическими питателями;
- 2) детали поступают в рабочую зону непосредственно из автоматических питателей;
- 3) промышленный робот в определенной последовательности перемещает технологическую головку к питателям, обеспечивая автоматическую сборку.

Каждая из перечисленных схем предусматривает использование различных методов и устройств взаимного ориентирования деталей при их сборке¹.

Основные типы технологических сборочных головок при взаимном ориентировании деталей реализуют методы направленного автопои-

¹ Методы и устройства взаимного ориентирования деталей при сборке см. [11].

ска, основанные на использовании пневмовихревых и электромагнитных устройств¹ [11].

7.2. Пневмовихревые технологические головки

Пневмовихревые методы широко используют для автоматизации операций контроля, сортировки, относительной ориентации и сборки деталей. Простота устройств и доступность энергоносителя являются основными преимуществами вихревых технологических головок [3, 11]. Ряд факторов, характерных для вихревого потока, может существенно благоприятствовать протеканию сборочного процесса. К ним в первую очередь относится отсутствие жесткого кинематического замыкания между ориентируемой деталью и ориентирующим устройством, что значительно снижает возможность заклинивания сборочных единиц в процессе их соединения.

Вихревой поток способен передавать детали значительный крутящий момент, что улучшает условия сборки цилиндрических соединений, а в случае нецилиндрических соединений создает возможности для автоматического поиска по сопрягаемым поверхностям. Значительное разрежение в приосевых слоях позволяет влиять на усилие, необходимое для ориентирования детали при сборке, и, следовательно, на весь сборочный процесс в целом. Помимо этого, стабилизация осевого положения детали в вихревой трубе обеспечивает использование ориентирующего устройства в качестве грузозачной механической руки. Взаимное ориентирование двух деталей относительно общей вертикальной оси позволяет приложить осевую силу для их соединения с натягом. Кроме того, возможно использование разрежения в центре потока для создания необходимого при сборке осевого усилия. Это усилие может быть получено путем искусственного асимметричного расположения детали в вихревой трубе. Преимуществом осевого усилия вихревого по-

¹ Ориентирование методами направленного автопоиска осуществляют за счет принудительного перемещения сопрягаемых деталей по определенным траекториям, обеспечивающим высокую вероятность совпадения сопрягаемых поверхностей деталей. Поисковые перемещения осуществляют в плоскости, перпендикулярной к оси сопряжения. Перемещения деталей контролирует система обратной связи, которая определяет направление смещения контуров собираемых деталей и с помощью исполнительных механизмов обеспечивает уменьшение смещения этих контуров до тех пор, пока они не совпадут. Эти методы реализуют за счет различного типа адаптивных устройств, а также методов, использующих физические эффекты, применяя методы электромагнитного манипулирования деталями (ЭМАГО) или методы пневмовихревой сборки.

тока по сравнению с усилием, создаваемым механическими системами, является то, что оно не гасит осевых вибраций детали и воздействует на нее по оси независимо от характера перемещений.

Деталь, помещенная в вихревую трубу, подвержена вибрации в широком диапазоне. При этом колебания могут развиваться как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях, что облегчает взаимное соединение собираемых деталей.

Взаимодействие сил, действующих на деталь в вихревой трубе, иллюстрируют схемы рис. 7.1 [3]. Под действием силы F_0 (рис. 7.1, а) центр детали O перемещается влево. В результате этого перемещения образуется смазочный клин с зонами избыточного давления и вакуума, вызывающих появление некоторых сил. Равнодействующую этих сил можно заменить составляющими F_1 и F_2 (рис. 7.1, б). Воздействие силы F_1 вызывает ускоренное перемещение точки O_1 в направлении действия этой силы. Сила F_2 сообщает точке O_1 ускорение, направленное к центру O . С известным приближением силу F_1 можно считать тангенциальной составляющей, а силу F_2 — нормальной составляющей силы F_0 .

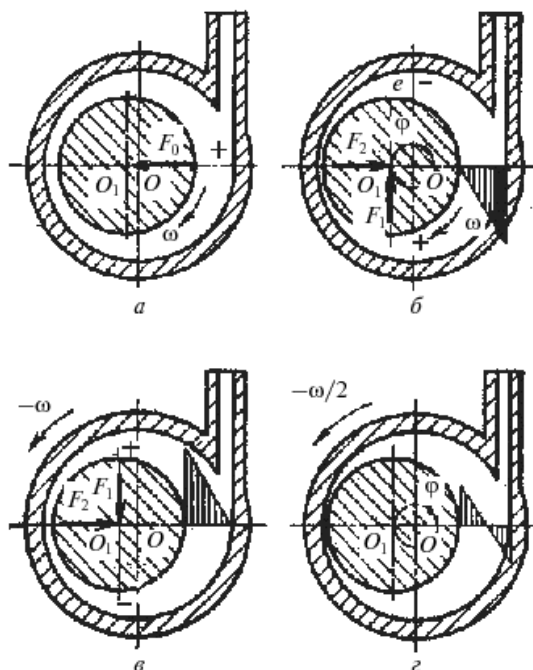


Рис. 7.1. Схемы действия сил и движение детали в вихревой трубе.

Таким образом, центр детали O начинает двигаться по развертывающейся спирали под действием сил F_1 и F_2 и центробежной силы инерции. Угловая скорость перемещения точки O_1 возрастает, и при достижении определенного значения силы F_1 и F_2 резко уменьшаются.

Допустим, что угловая скорость φ точки O_1 относительно центра O вихревой трубы достигла значения $\varphi = \omega$. Если сообщить всей системе воображаемое вращение в противоположную сторону со скоростью $(-\omega)$ относительно точки O (рис. 7.1, θ), то линия центров OO_1 детали и вихревой трубы будет неподвижной. Вихревой поток в зоне, прилегающей к детали, меняет свое направление на противоположное, в результате чего в зоне, где ранее было повышенное давление, образуется вакуум, а в зоне разрежения давление повышается. Соответственно изменяется на противоположное и направление действия силы F_1 .

Если придать всей системе вращение со скоростью $\omega/2$, то газовый поток относительно линии центров имеет одинаковые и противоположно направленные скорости (рис. 7.1, ε). Следовательно, отсутствуют зоны повышенного и пониженного давлений. Таким образом, при скорости $(-\omega/2)$ силы F_1 и F_2 обращаются в нуль. Рассмотренные схемы показывают, что центральное положение детали, введенной в вихревую трубу, неустойчиво. При $\varphi = \omega/2$ деталь находится под действием центробежной силы, которая прижимает ее к стенкам вихревой трубы. Этот вывод сделан при определенных допущениях. Прежде всего, рассматривается система, в которой деталь не вращается, а следовательно, угловая скорость газа в слоях, граничных с деталью, равна нулю. Силы трения газа о поверхность цилиндрической детали невелики, но при отсутствии торцового трения могут создать крутящий момент в направлении потока. Рассматривая экспериментальный случай, можно предположить, что в состоянии равномерного движения деталь вращается с окружной скоростью потока. Таким образом, задача сводится к рассмотрению движения твердого тела, ось которого вместе с центром тяжести осуществляет поступательное перемещение под действием приложенных сил.

Колебательный процесс в вихревой трубе с помещенной в нее деталью проходит весьма интенсивно с частотой до 80 кГц. При этом вихревое движение детали контактным методом может передаваться другим деталям, обеспечивая их стабильную относительную ориентацию и сборку.

Пневмовихревые технологические головки применяют для контроля, сортировки, ориентации и сборки деталей [3, 11].

Принципиальная схема пневмовихровой головки для сборки цилиндрических и (или) резьбовых соединений представлена на рис. 7.2.

Устройство состоит из втулки 2, в которую через сопла 4 тангенциально к ее внутренней поверхности подается сжатый воздух, вследствие чего во втулке создается вращающийся газовый поток.

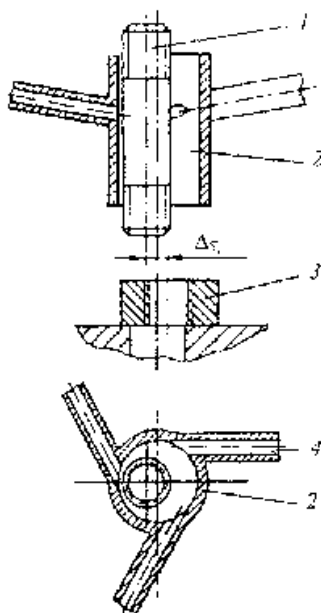


Рис. 7.2. Принципиальная схема технологической головки для ориентирования и сборки деталей во вращающемся потоке газов: 1, 3 — сопрягаемые детали; 2 — втулка; 4 — сопла

Помещенная в эту втулку сопрягаемая деталь 1 под воздействием сил вращающегося потока газов совершает колебательные движения в горизонтальной и вертикальной плоскостях. При контакте детали 1 со второй собираемой деталью 3 возникающая в точке контакта сила трения заставляет перемещаться центр нижнего торца детали 1 по свертывающейся кривой, близкой к логарифмической спирали. При этом происходит автоматическое взаимное ориентирование деталей по сопрягаемым поверхностям и их сборка.

Отсутствие кинематического замыкания между ориентируемой деталью и ориентирующим устройством исключает возможность заклинивания деталей в процессе сборки. Поток передает детали значительный крутящий момент, что улучшает условия сборки цилиндрических и резьбовых соединений, а в случае нецилиндрических соединений создает возможности для автоматического поиска по сопрягаемым поверхностям.

Высокая надежность ориентирования и сборки обеспечивается при первоначальном рассогласовании сопрягаемых контуров до 5 мм. Отсутствие каких-либо дополнительных требований к собираемым деталям, высокая скорость ориентирования (0,1...0,2 с для цилиндрических соединений), возможность сборки различных деталей, в том числе без фасок, некруглой формы, резьбовых и пазовых соединений, открывают широкие возможности для применения этого метода в сборочных автоматах.

К недостаткам метода вихревого ориентирования следует отнести ограничение зоны автоматического поиска пределами сопрягаемых контуров, недостаточную эффективность при сборке тонких деталей.

Примеры конструкций пневмовихревых технологических головок достаточно многообразны.

Технологическая головка для сборки резьбовых деталей (рис. 7.3) включает резьбозавертывающий патрон 5, оснащенный пневмовихревой головкой, состоящей из втулки 4 приспособления, смонтированного в корпусе 3. Втулка имеет каналы с сопловыми отверстиями для подачи сжатого воздуха, направленные по касательной к ее внутренней поверхности. Патрон связан с подпружиненной на шпинделе 1 привода вращения насадкой 2 замковым соединением с осевым и радиальным зазорами s и r . Величина осевого зазора s должна превышать шаг резьбы в соединении детали 6, завинчиваемой в другую деталь (на рисунке не показана). Радиальный зазор r превышает зазор между патроном 5 и втулкой 4. Шпиндель имеет пневматический привод. Резьбозавертывающий инструмент (винтоверт, гайковерт) по конструкции аналогичен описанным выше (см. рис. 6.7 и 6.8). Он отличается наличием пневмовихревой головки, расширяющей возможности инструмента, позволяя завинчивать любые детали, зажимаемые губками патрона (винты, болты, гайки, шпильки, втулки и т.п.), поскольку их сопряжение обеспечивают поисковые движения патрона.

Работает устройство следующим образом. Робот перемещает технологическую головку к питателю (на рисунке не показан), откуда патрон захватывает резьбовую деталь 6 и головка перемещается на рабочую позицию для осуществления сборки со второй деталью, установленной в базирующем приспособлении. Робот ориентирует технологическую головку относительно второй детали. При вращающемся шпинделе во внутреннюю полость втулки через сопловые отверстия подается сжатый воздух, и устройство перемещается к собираемой детали; при этом патрон с установленной в нем резьбовой деталью, поданной из питателя, получает вращение через подпружиненную

насадку также от шпинделя. Воздушный поток, направленный по касательной к внутренней поверхности втулки, вызывает продольные и крутильные колебания патрона с резьбовой деталью 6. При соприкосновении резьбовых деталей под воздействием вибрационных колебаний патрона обеспечивается надежный поиск и наживление их с последующим завертыванием на всю длину резьбовой части и затяжкой до заданного крутящего момента.

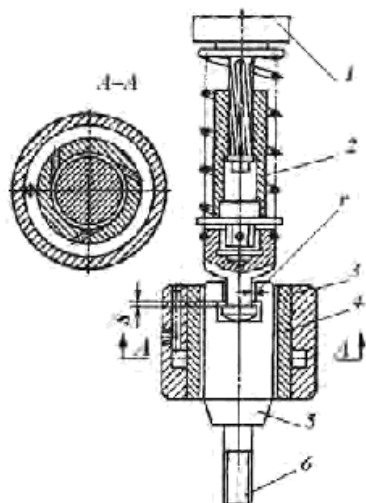


Рис. 7.3. Технологическая головка для сборки резьбовых деталей:

1 — шпиндель; 2 — насадка; 3 — корпус; 4 — втулка;
5 — патрон; 6 — собираемая деталь; s , r — осевой и радиальный зазоры в замковом соединении насадки и патрона

Завертывание резьбовых деталей до нужного крутящего момента в условиях вихревых колебаний происходит более стабильно, так как коэффициент трения в колебательном процессе заметно ниже.

Относительное ориентирование и сборка плоских деталей также могут осуществляться в вихревой камере. Решение этой задачи обычными методами часто связано с трудностями, особенно при недостаточной точности базирования. В таких случаях приходится повышать точность базирования даже тогда, когда это не требуется функциональным назначением деталей.

Пневмовихревая технологическая головка для сборки плоских деталей без предварительного их базирования показана на рис. 7.4. Собираемые в комплект детали 1, 4 и 6 поступают в устройство по питателям 2,

3, 7 поштучной выдачи, к которым рука робота последовательно подносит сборочную технологическую головку. Фланец 8 головки имеет в центре торца соосные гнезда 5 и 12, соответствующие по профилю ориентируемым деталям 1 и 4. Стержень 11 помещен в зону колебаний, которые создаются сжатым воздухом, поступающим по соплам 9, расположенным по касательной к внутреннему диаметру втулки 10.

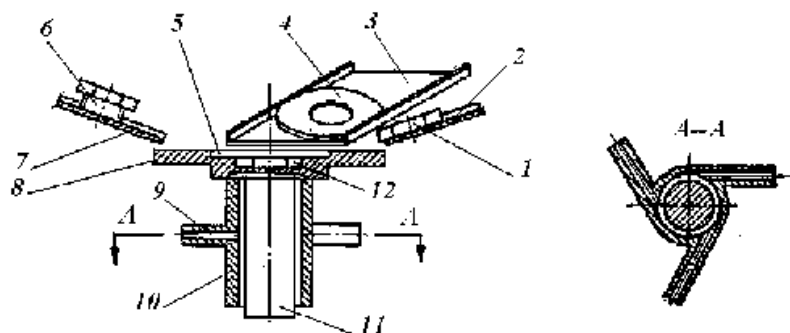


Рис. 7.4. Пневмовихревая технологическая головка для сборки комплекта деталей 1, 4, 6:
2, 3, 7 — питатели; 5, 12 — соосные гнезда, выполненные по профилю деталей 1 и 4; 8 — фланец; 9 — сопла; 10 — втулка; 11 — стержень

Под действием воздушного вихревого потока фланец совершает колебательные движения. Под действием колебаний ориентируемые детали, поступающие поочередно из питателей, перемещаются по пространственной траектории к центру фланца, вращаясь при этом относительно собственных осей.

В результате поступательно-вращательного перемещения детали 1 и 4 последовательно занимают ориентированное положение в гнездах 5 и 12 фланца; при этом они ориентируются относительно друг друга, а деталь 6 ориентируется по деталям 1 и 4. Таким образом осуществляется автоматическая сборка комплекта деталей.

РТК со сборкой изделия в ориентирующем устройстве, установленном в руке робота, показан на рис. 7.5. Робот 1 мод. ТУР-10 обеспечивает сборку двух модификаций кранов управления давлением в системе накачивания шин автомобилей ЗИЛ-131 и ЗИЛ-157. В состав каждого изделия входят девять деталей шести наименований. Вместо захватного устройства в руке робота закреплен пневмовихревой генератор колебаний 2, получающий энергию от пневмосистемы робота. Робот по программе выбирает соответствующее пневмовихревое ориентирующее приспособление 7 и стыкует его с генератором колебаний. Рука

робота по заданной программе в соответствии с технологической последовательностью сборки перемещается между питающими бункерами 6 и магазином 4, осуществляющими подачу собираемых деталей, и исполнительными механизмами 3, 5, выполняющими операции сборки (соединение, завинчивание, расклепывание), смазки и контроля. К РТК примыкает транспортная система 8 с кассетами для базовых деталей и собранных изделий.

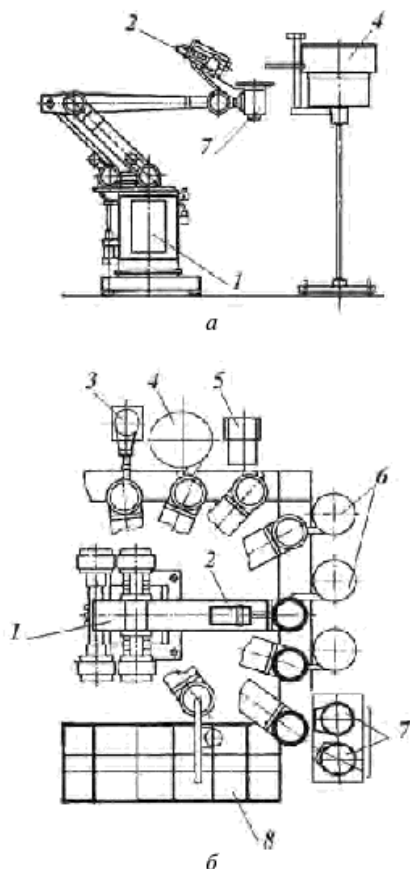


Рис. 7.5. Роботизированный сборочный комплекс на базе промышленного робота ТУР-10:

- a* — вид сбоку; *б* — вид в плане; 1 — промышленный робот;
 2 — пневмовихревой генератор колебаний; 3 — питатель смазки;
 4 — подающий магазин; 5 — исполнительный механизм сборки;
 6 — вибробункеры; 7 — вихревая технологическая головка; 8 — транспортная система с кассетами для базовых деталей и собранных изделий

Сборочно-ориентирующее приспособление, расположенное в руке робота, обеспечивает ориентирование поступающих в него деталей или может само ориентироваться относительно загрузочных или исполнительных силовых механизмов, поэтому высокая точность позиционирования руки робота не требуется, что позволяет использовать для сборки относительно недорогие роботы.

Комплекс дает возможность автоматизировать сборку даже при относительно небольших сериях выпуска изделий, так как времени на переналадку практически не требуется. Изменение программы перемещения руки робота и замена в его руке сборочно-ориентирующей технологической головки происходят автоматически по команде из центра управления.

Такие комплексы можно объединять в гибкие сборочные участки. При этом роботы имеют возможность передавать сборочно-ориентирующие технологические головки один другому, что значительно расширяет номенклатуру собираемых деталей и используемых исполнительных силовых механизмов, а также обеспечивает высокую технологическую гибкость.

При разработке технологических процессов с применением пневмовихревых технологических головок особое внимание должно быть уделено оптимальному выбору сочетания следующих параметров: давления сжатого воздуха, диаметра сопел и зазора между внутренней стенкой трубы и помещенной в нее деталью. Правильный выбор этих параметров обеспечивает стабильность технологического процесса.

7.3. Многофункциональные технологические головки на основе метода электромагнитного ориентирования

Метод электромагнитного ориентирования (ЭМАГО) основан на бесконтактном взаимодействии электромагнитного поля с токопроводящими деталями. При этом возникают целенаправленные перемещения деталей и изменения параметров поля в зависимости от физических свойств и конструктивного выполнения деталей. Этот метод позволяет обеспечить перемещение детали или нескольких деталей в угловых и прямолинейных координатах, а также распознавать их по материалу, конструктивным признакам, определять их количество.

Преимуществом использования электромагнитного поля при автоматизации технологических процессов является возможность выполнения различных функций в одной рабочей зоне одновременно. Например, ориентирование детали с одновременным контролем качества и отбраковкой некондиционных деталей или сборка узла в магнитном поле с контролем комплектности, правильности сборки, счетом собранных узлов. Многофункциональность метода определяется возможностью бесконтактного перемещения и опознавания деталей или узлов одним универсальным средством — электромагнитным полем.

Задачи, решаемые с помощью ЭМАГО, следующие:

- опознавание детали или узла, в том числе — определение наличия, места нахождения, положения, материала, формы, конструкции и взаимного расположения деталей, их количества;
- приведение детали или узла в определенное, заданное положение в соответствии с какими-либо физическими или геометрическими признаками, в том числе и групповое ориентирование;
- контроль размеров детали, наличие или отсутствие какого-либо признака, контроль качества изготовления детали, контроль сборки и комплектности;
- сортировка или разбраковка по результатам опознавания или контроля;
- поштучное или групповое отделение деталей от потока, разделение деталей на потоки или объединение потоков в один по определенным признакам;
- фиксирование деталей в необходимом положении и требуемой точке пространства, в том числе и во взвешенном состоянии;
- выборка определенных деталей из непрерывного потока хаотично расположенных разных деталей;
- нагрев деталей в процессе выполнения технологической операции.

Метод ЭМАГО позволяет ориентировать детали как по внешним, так и по внутренним скрытым признакам, благодаря чему расширяются возможности автоматизации.

Недостаток метода ЭМАГО заключается в том, что он эффективен в основном при ориентировании небольших деталей. С увеличением размеров и массы ориентируемых деталей значительно возрастают затраты энергии и размеры устройств для создания электромагнитных полей. Имеются определенные сложности при ориентировании ферромагнитных деталей. Кроме того, сильные магнитные поля могут оказывать побочное влияние на различные приборы системы управле-

ния автомата. Детали из разных материалов (например, латуни, меди, алюминия) в одинаковых условиях дают разную погрешность ориентации.

Распознавание и ориентирование деталей методом ЭМАГО обеспечивается электродинамическим воздействием на них магнитного поля, в результате которого деталь отделяется от общего потока или детали разделяются на два потока при отклонении одного из параметров.

Контроль и сортировка деталей методом ЭМАГО включают в себя предварительное распознавание и управление их положением. Применение электромагнитного воздействия позволяет отказаться от ряда механизмов, традиционно присущих контрольно-сортировочному оборудованию: предварительной ориентации, фиксации, распознавания и сортировки, функции которых выполняет электромагнитная система.

На рисунке 7.6 показаны две структурные схемы автоматических загрузочных устройств для подачи ориентированных деталей на сборочную позицию. На рисунке 7.6, *а* показана одна из возможных традиционных структурных схем загрузочного устройства, оснащенного вибробункером, транспортерами и механическими отсекателями деталей, а также системой технического зрения для распознавания деталей (всего 11 позиций). На рисунке 7.6, *б* приведена структурная схема загрузочного устройства с системой ЭМАГО, состоящая из 7 позиций, которая одновременно выполняет функции распознавания, ориентирования, контроля параметров деталей, их сортировку, а также фиксацию детали в определенном положении. При этом, разделение деталей на два потока также может быть осуществлено системой ЭМАГО, т.е. число позиций структурной схемы может быть сокращено до 6.

Возможность электромагнитного контроля и сортировки по наличию или отсутствию в деталях трещин, раковин или конструктивных признаков основана на том, что такого рода признаки вызывают разрывы индуцированных в детали токов и, как следствие, более слабое взаимодействие индуцированного и внешнего магнитного полей. В результате сила, действующая на дефектную деталь, будет меньше силы, действующей на деталь без дефектов. Это различие и положено в основу электромагнитной сортировки. Проходя зону действия электромагнита, контролируемые детали испытывают различное его воздействие. Выбором значений индукции можно добиться, чтобы контролируемые детали, проходя зону действия электромагнита, разделялись на годные и бракованные. Посредством такого же вида устройств можно производить и ориентацию асимметричных деталей.

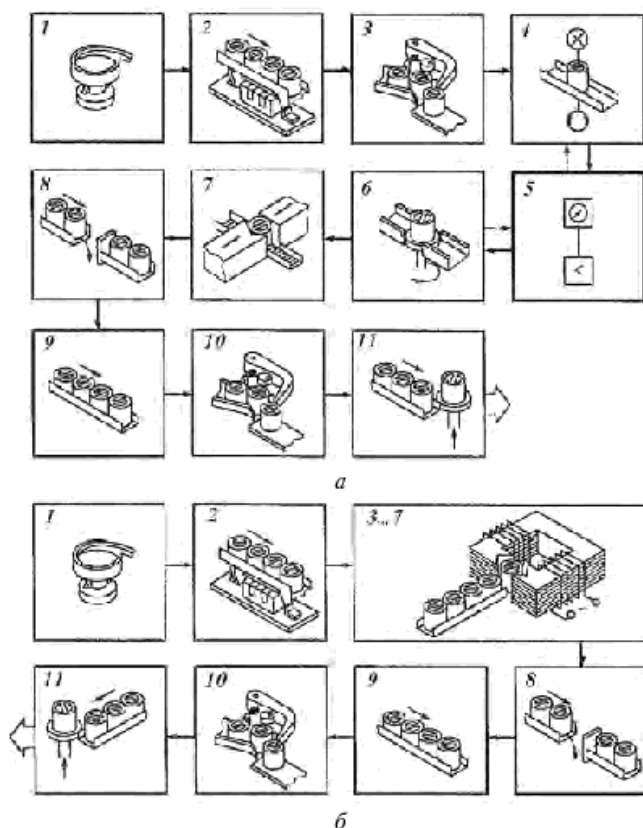


Рис. 7.6. Структурные схемы автоматических загрузочных устройств для подачи ориентированных деталей на сборочную позицию:

a — традиционная схема: 1 — вибробункер; 2 — промежуточный транспортер; 3 — отсекающий; 4 — устройство распознавания (например, система технического зрения); 5 — устройство анализа информации и управления; 6 — механизм ориентирования; 7 — механизм фиксации; 8 — механизм разделения деталей на два потока; 9 — транспортер; 10 — отсекающий; 11 — механизм подачи на сборочную позицию; *б* — схема с системой ЭМАГО: 3...7 — система ЭМАГО, обеспечивающая распознавание (3), ориентирование (4), контроль параметров детали (5), сортировку по наличию или отсутствию определенного признака (6), фиксацию детали в определенном положении (7)

Для более полного использования магнитного поля в рабочей зоне электромагнита, увеличения чувствительности контрольно-сортiroвочного устройства к контролируемому параметру и снижению энергетических затрат необходимо сконцентрировать внешнее поле в зоне признака. С этой целью немагнитный зазор магнитной системы

заполняется токопроводящим вкладышем из пластины высокой электрической проводимости.

Комплектование и сборка с помощью магнитного поля. Наиболее эффективным является использование электромагнитного поля для взаимного центрирования сопрягаемых деталей, взаимного их перемещения вдоль сопрягаемой оси, попутного проведения вспомогательных операций, например контроля деталей, управления процессом сборки и других, с учетом их выполнения в одной рабочей зоне. Можно осуществить воздействие магнитного поля на несколько деталей, выполненных из токопроводящих немагнитных материалов (рис. 7.7).

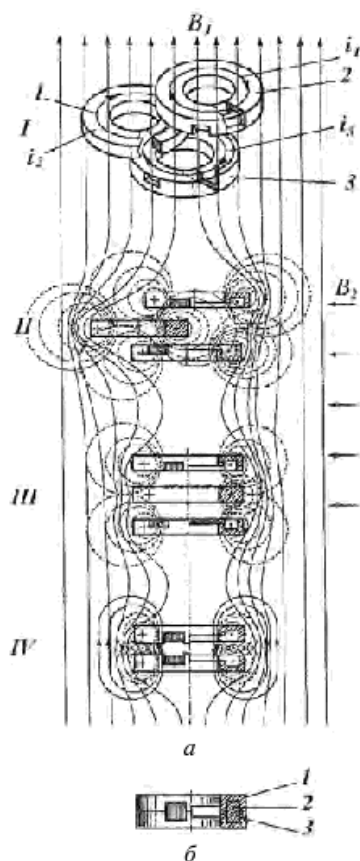


Рис. 7.7. Этапы сборки (а) трехкомпонентного изделия (б) в электромагнитном поле:
 I, II, III, IV—этапы сборки; 1, 2, 3—детали; B_1 ,
 B_2 — векторы индукции; $i_1...i_3$ — токи

На сопрягаемые детали (*I*) воздействует переменное магнитное поле, вектор индукции которого B_1 (рис. 7.7, *a*) совпадает с направлением оси сборки. При этом детали 2 и 3 перемещаются в горизонтальной плоскости к оси сборки (к оси детали 1). Под действием первичного магнитного поля в деталях 1, 2 и 3 индуцируются контуры тока i_1, i_2, i_3 . В результате взаимодействия первичного магнитного поля с магнитным полем, имеющим вектор индукции B_2 , возникают силы, которые перемещают детали в направлении оси сборки (*II*), так как детали поступают на сборку соосно. Одновременно в результате взаимодействия магнитных полей контуров тока i_1-i_3 происходит «сцепление» индуцированных магнитных потоков. Возникающее при этом силовое воздействие обеспечивает дальнейшее сближение деталей (*III*) и в конечном итоге их соединение (*IV*). Таким образом, необходимо, чтобы контуры индуцированных токов, возникающие в паре соседних собираемых деталей, хотя бы частично перекрывали друг друга. Электродинамические силы, действующие на детали, возрастают по мере сближения последних. Эти силы прямо пропорциональны индуцированным в деталях токам, которые, в свою очередь, прямо пропорциональны индукции первичного магнитного поля. Таким образом, изменением индукции магнитного поля можно подбирать необходимое для сборки силовое воздействие. При направлении вектора индукции переменного магнитного поля вдоль оси симметрии сопрягаемых деталей действуют силы, благодаря которым происходит установка их по одной оси и одновременное сопряжение деталей вдоль оси, что обеспечивает законченный цикл сборки.

В результате ориентирования контуры деталей полностью совмещаются и осуществляется сопряжение по вертикальной оси под действием электродинамических сил. Таким образом, комплектование, фиксация, сопряжение деталей и сборка совмещаются по времени. Если бы на рис. 7.7 средняя деталь 2 была изготовлена из припоя, то при ее нагревании в переменном магнитном поле (за счет действия вихревых токов и выделения тепла) она расплавится и узел соединится пайкой.

К устройству для удаления собранного изделия из зоны электромагнита предъявляются те же требования, что и к устройству перемещения деталей в зоне электромагнитного воздействия, т.е. скорость отвода детали должна быть не менее чем в 1,1 раза выше скорости ее движения в зоне электромагнита. Благодаря этому можно избежать скопления нескольких деталей в межполюсном пространстве. Скорость отвода детали можно увеличить, используя для этого электродинамические силы.

Функциональные устройства, в которых можно использовать метод ЭМАГО, разнообразны.

Многофункциональное электромагнитное захватное устройство для оснащения промышленных роботов отличается тем, что его характеристики (качество захвата, сила тока и напряжение в обмотке) меняются в зависимости от конструктивных и физических свойств объекта манипулирования.

Поэтому сравнительно просто удастся установить отсутствие или наличие детали в схвате, ее положение, вид детали по геометрическому (форма, размеры, конструкция) и физическому (свойства материала) признакам, скорость перемещения детали и др.

Обработка информации о детали осуществляется относительно несложной пороговой схемой без использования ЭВМ, а сам информационный сигнал формируется непосредственно в электромагните при отсутствии специальных сенсорных систем «осязания» и «зрения».

Возможен вариант РТК с использованием опознающего ориентирующего электромагнита в зоне захватного устройства ПР (рис. 7.8). Даже такая простая, на первый взгляд, конструкция дает ряд преимуществ. Отпадает необходимость применения сенсорной системы для получения зрительной информации о расположении объекта, так как без дополнительных средств обеспечивается ориентирование детали в определенных координатах. При этом для решения задач, связанных с распознаванием ориентируемой детали, не требуется сложного математического обеспечения, так как достаточно реализовать для управления ЗУ либо другим

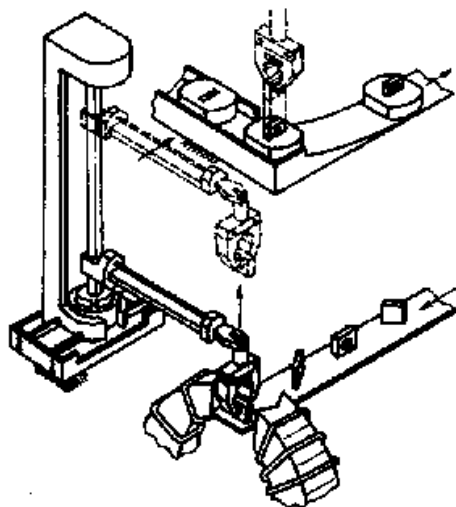


Рис. 7.8. Робототехнический комплекс с электромагнитным ориентированием деталей в зоне их захватывания промышленным роботом

органом или механизмом промышленного робота двухуровневый сигнал «деталь не ориентирована» и «деталь ориентирована», поступающий от магнитной системы. Число степеней подвижности промышленного робота может быть ограничено лишь задачей перемещения детали. Сравнительно просто увеличивается точность позиционирования, обусловленная электромагнитным фиксированием в заданной точке.

Транспортирование деталей посредством электромагнитного поля возможно при сочетании манипулирования объектом с одновременным его перемещением. Разработаны несколько приемов и устройств, где этот принцип реализован для деталей как из ферромагнитных, так и из диамагнитных материалов.

Счет деталей с помощью электромагнитного поля осуществляется попутно с распознаванием, ориентацией и контролем. По сравнению с известными фотоэлектрическими датчиками магнитное поле позволяет улучшить условия эксплуатации, упростить конструкцию оборудования благодаря совмещению функций. Сигнал для счета формируется при изменении магнитного сопротивления сердечника, вызванного тем, что ориентации детали соответствует экстремальное значение энергии системы «деталь—поле», а значит, и силы тока.

Посредством электромагнитного поля возможен счет и диэлектрических деталей. С этой целью детали перед транспортированием смачивают токопроводящей жидкостью (например, водой) и направляют их на токопроводящие электроды высокочастотного контура, в который входит электромагнитный датчик. Контур и датчик находятся в резонансе, но при замыкании электродов деталью на землю происходит «срыв» генерации, что фиксируется счетчиком импульсов. Сигнал о «срыве» генерации используется не только для счета, но и для контроля наличия детали или разбраковки деталей по наличию признаков (паза, отверстия и др.).

Нагрев магнитным полем в устройствах с использованием метода ЭМАГО может применяться для расплава припоя при сборке узлов пайкой или нагрева охватываемой детали при сборке цилиндрических пар с натягом в целях ее расширения.

Ограничение возможности применения метода ЭМАГО для нагрева при сборке связано с соблюдением условия, по которому мощность магнитной системы должна быть больше или равна требуемой мощности нагрева для получения необходимого приращения. Обычно индукционный нагрев для мелких деталей (диаметром до 50 мм) требует затрат энергии 0,1...0,2 кВт·ч, что также обеспечивается системой ЭМАГО.

Таким образом, метод ЭМАГО можно использовать для создания ряда эффективных устройств. К ним в первую очередь следует отнести

устройства, которые реализуют распознавание детали (наличие, местонахождение, положение, материал, форма, конструкция и т.п.), ее ориентирование, сборку или комплектацию с предварительным центрированием и сближением элементов и др.

Применение метода ЭМАГО позволяет создавать комплексные многофункциональные технологические головки и устройства.

7.4. Силовые и сборочные технологические головки с наложением ультразвуковых колебаний на инструмент

Наложение ультразвуковых колебаний (УЗК) на инструмент или обрабатываемую деталь позволяет снизить мощность силового контакта пары инструмент—деталь, что вызывает значительный интерес для использования этого физического эффекта в технологических головках, которыми оснащают производственные (технологические) промышленные роботы. Поскольку ПР являются машинами пониженной жесткости, снижение сил, действующих при контакте инструмента с обрабатываемой деталью, является важным фактором обеспечения технологических параметров (прежде всего точности) производственного процесса.

Наложение ультразвуковых колебаний производят либо на инструмент (вдоль его продольной оси), либо на ПП (деталь), либо на инструмент и деталь одновременно.

В процессе нарезания резьбы с наложением на инструмент ультразвуковых колебаний происходит улучшение микрогеометрии обработанной поверхности, определяемое комплексом взаимосвязанных факторов, таких как снижение сил резания, исчезновение нароста, изменение напряженно-деформированного состояния в зоне резания, более стабильное протекание процесса резания и др. Следует также отметить, что при этом на обработанной поверхности отсутствуют такие дефекты, как наволакивание, надиры и другие, характерные для обработки титановых и жаропрочных сплавов. Наложение УЗК обеспечивает более интенсивное и равномерное проникновение СОЖ в зону резания и снижает силы трения.

Роботизируемые операции с использованием УЗК. Наложение УЗК часто используют при операциях сверления, резьбонарезания, шлифования отверстий, обдирки заготовок, сборки резьбовых деталей, запрессовки деталей пары вал—втулка. Для этой цели на инструменты,

подобные изображенным на рис. 6.1 и 6.8, с помощью концентраторов известных конструкций накладывают УЗК. Ультразвуковые колебания, как уже отмечалось, могут быть наложены и на базовую деталь, закрепленную в держателе сборочного стола.

Применение УЗК при сборке-разборке резьбовых соединений. Процессы сборки и эксплуатации резьбовых соединений выдвигают противоречивые требования к коэффициенту трения: в процессе сборки он должен быть минимальным, чтобы прикладываемая работа в основном шла на создание силы затяжки, а при эксплуатации резьбовых соединений коэффициент трения должен быть максимальным для обеспечения надежного силового замыкания соединяемых деталей и отсутствия самоотвинчивания.

Одним из путей преодоления указанного противоречия является применение ультразвуковых колебаний при сборке резьбовых соединений. Приложение УЗК при сжатии и растяжении материалов способствует снижению сопротивления пластической деформации, пределов текучести и прочности, причем наряду с объемным эффектом введение ультразвука в зону контакта существенно влияет на характер и основные показатели фрикционного взаимодействия соединения. Механизм воздействия УЗК на силы трения заключается в изменении кинематических условий контактирования поверхностей, а также в изменении характера напряженного состояния металла в зоне трения. Известно, что в зависимости от схемы подведения колебаний при оптимальных амплитудах и от величины удельных нагрузок коэффициент трения снижается в 2—4 раза.

В то же время приложение УЗК к соединению в процессе его разборки способствует разрушению адгезионных и коррозионных связей в результате разрыва контакта между поверхностями и ведет к снижению момента развинчивания. Причем действие УЗК на металл является обратимым и в случае прекращения колебательных воздействий механические характеристики материала восстанавливаются.

Указанные свойства являются предпосылкой широкого применения ультразвуковых гайковертов, в том числе и для оснащения ими промышленных роботов.

Ультразвуковой гайковерт для сборки и разборки резьбовых соединений, охваченных коррозией, показан на рис. 7.9 [53]. На рисунке представлена его рабочая часть, которой может быть оснащен ручной механизированный или автоматизированный по схеме рис. 6.8 инструмент.

Ультразвуковой гайковерт состоит из пакетного пьезокерамического преобразователя 1, который зажат с помощью шпильки 2 между

стержнем-концентратором 3 и корпусом 4 с обоймой 5. На обойме расположен квадрат 6 для фиксации рукоятки (при ручном исполнении) или для соединения с ключом пневмопривода (для обеспечения автоматической работы). Для снижения уровня передаваемых на обойму 5 и рукоятку колебаний между торцом корпуса 4 и обоймы 5 размещена виброизолирующая шайба 7. Наружная боковая поверхность верхней части корпуса 4, а также внутренняя стенка обоймы 5 выполнены в форме многогранника. Нижняя часть корпуса 4 выполнена в виде торсиона 8, представляющего собой стакан с наклонными пазами 9 на его образующей, причем наклон пазов в ту или другую сторону определяет либо режим свинчивания резьбовых соединений, либо режим развинчивания. Рабочий торец стержня-концентратора 3 взаимодействует с болтом 10, а на гайку 11 надет специальный наконечник 12, внутренними гранями сопряженный с нижней частью торсиона 8.

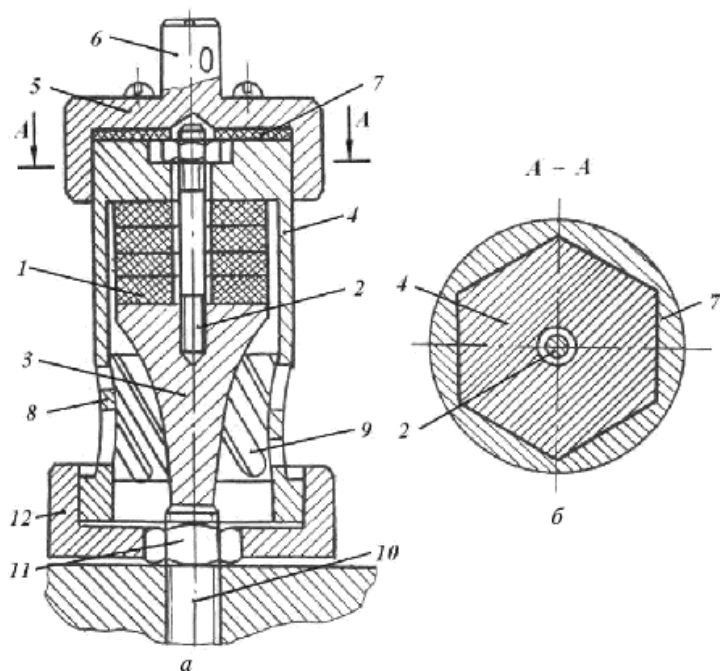


Рис. 7.9. Ультразвуковой гайковерт:

a — схема гайковерта; *б* — разрез по А—А; 1 — пакетный пьезокерамический преобразователь; 2 — шпилька; 3 — стержень; 4 — корпус; 5 — обойма; 6 — квадрат; 7 — шайба; 8 — торсион; 9 — наклонные пазы; 10 — болт; 11 — гайка; 12 — наконечник

При разборке резьбовых соединений ультразвуковой гайковерт работает следующим образом. При подаче с генератора (на рисунке не показан) напряжения синусоидальной формы и резонансной частоты на обкладки пакетного пьезокерамического преобразователя он, изменяя вследствие обратного пьезоэффекта свои геометрические размеры, возбуждает механические колебания стержня-концентратора, корпуса и наконечника. При этом стержень-концентратор возбуждается одним торцом пакетного пьезокерамического преобразователя, а корпус и наконечник — вторым его торцом. Будучи поджатым к торцу болта, стержень-концентратор передает на него продольное вибрационное воздействие. Продольные колебания второго торца пакетного пьезокерамического преобразователя передаются в виде волны деформаций на корпус.

В результате осуществляется возбуждение колебаний нижней части корпуса и торсиона, наклонные пазы которого обеспечивают крутильные колебания нижней части торсиона и наконечника, который, взаимодействуя с гайкой, обеспечивает ее отворачивание или затяжку в зависимости от направления пазов. Для исключения демпфирования продольных колебаний верхней части корпуса его сопряжение с обоймой осуществлено по боковым граням, а винты крепления обоймы на корпусе размещены в зоне узловой линии нулевой амплитуды. Таким образом, в разработанном устройстве для вибрационного воздействия на разбираемое резьбовое соединение используется почти вся ультразвуковая энергия, генерируемая пакетным пьезокерамическим преобразователем.

При сборке резьбовых соединений вращение шпинделя передается на квадрат 6 и происходит соединение деталей 10 и 11.

Ультразвуковое устройство реализовано на основе пакетного пьезокерамического преобразователя, набранного из четырех шайб пьезокерамики типа ЦТС-19, причем четное количество электрически параллельно собранных шайб позволяет иметь на наружных обкладках пакетного пьезокерамического преобразователя одинаковый потенциал, что исключает возможность короткого замыкания источника питания через элементы устройства и упрощает задачу электроизоляции обкладок преобразователя от стержня-концентратора и корпуса. Элементы конструкции устройства выполнены частично из высокоупругой стали 65Г и термообработанного дюралюминия Д16Т. Резонансная частота изготовленного устройства равна 16 750 Гц, а напряжение питания пакетного пьезокерамического преобразователя 200 В.

Применение разработанного устройства позволяет на 40...50% повысить эффективность работы за счет более полного использования ультразвуковой энергии при сборке и разборке резьбовых соединений.

Контрольные вопросы

1. Что вы знаете о методах ориентирования деталей при сборке?
2. Как осуществляют ориентирование деталей методом направленного автопоиска?
3. Расскажите о конструктивных особенностях вихревых сборочных технологических головок. Приведите примеры технических решений.
4. Перечислите задачи, решаемые с помощью метода ЭМАГО.
5. Приведите примеры технических решений устройств, разработанных на основе метода ЭМАГО.
6. Расскажите о наложении ультразвуковых колебаний при обработке и сборке.

ОКРАСОЧНЫЕ ПУЛЬВЕРИЗАТОРЫ И СВАРОЧНЫЕ АППАРАТЫ

8.1. Окрасочные pulverизаторы

Лакокрасочные покрытия предназначены для предохранения поверхности изделия от вредных воздействий внешней среды за счет нанесения тонкого плотно прилегающего слоя лакокрасочного материала, что позволяет уберечь изделие от загрязнения агрессивными веществами и от разрушающего влияния избыточной влажности, а также смягчить последствия легких механических повреждений.

В зависимости от требований, предъявляемых к покрытию (декоративное, антикоррозийное, бензостойкое, щелочестойкое и т.п.), выбирают окрасочные материалы и технологию их нанесения. Часто при разработке технологии окраски одного изделия применяют несколько методов.

Лакокрасочные материалы (ЛКМ) можно классифицировать по целому ряду независимых признаков. Например, по назначению все краски принято подразделять на следующие группы: для первичной обработки поверхности (грунтовые), для нанесения вторичного защитного покрытия, для нанесения внешнего декоративно-защитного покрытия (лаки и эмали). Краски различают по типу красителей: на основе синтетических смол, водных растворов, порошков и металлов; по типу устойчивого покрытия: жаропрочные, кислотоустойчивые и матовые. Наконец, еще одним устойчивым признаком являются тип материала и область применения окрашиваемого изделия, для которого будет использоваться краситель — металл, пластмассы, дерево, кожа и т.п.

Способы нанесения лакокрасочных покрытий весьма разнообразны и зависят от типа производства (единичное, серийное, массовое), массы, габаритных размеров и формы окрашиваемых изделий, условий среды, свойств лакокрасочных материалов, требований к покрытию (класс покрытия). В настоящее время применяют: окраску кистью;

окраску окутанием с выдержкой в парах растворителя; электростатический способ окраски; окраску электроосаждением; окраску струйным обливом; окраску порошковыми красителями; окраску распылением краскопультами в окрасочных камерах с горизонтальным или вертикальным отсосом воздуха.

В настоящее время около 80% промышленных изделий защищают от коррозии с помощью лакокрасочных покрытий. При этом 70...80% покрытий наносят методом распыления. Распыление можно назвать наиболее универсальным способом нанесения лакокрасочных материалов на изделие, позволяющим окрашивать детали самой разнообразной конфигурации и размера. В настоящее время распыление широко применяется как для окрасочных работ небольшого объема, выполняемых вручную, так и в серийном и массовом производстве. Окраска распылением наиболее подготовлена к автоматизации промышленными роботами в составе окрасочных РТК.

Технологический процесс окраски изделий методом распыления и оборудование РТК. Каждая составная часть окрасочного РТК выполняет конкретные функции, определенные содержанием технологического процесса.

Технологический процесс окраски изделий методом распыления состоит в том, что изделия, размещенные на конвейере, проходят зону распыления, где установлены автоматические краскораспылители с дистанционным управлением, наносящие ЛКМ на поверхность изделий без участия человека. В некоторых установках автоматического распыления ЛКМ краска наносится на неподвижную деталь. Автоматические краскораспылители в зоне окрашивания также либо подвижны (механически перемещаются), либо закреплены стационарно. Автоматическая распылительная система позволяет окрашивать профильные детали и кромки. Стационарные распылители используются, как правило, для окраски кромок узких рамочных деталей и плоских изделий. Для отделки более крупных деталей применяют распылители с горизонтальным, вертикальным или карусельным движением. Подвижными распылителями окрашиваются как перемещаемые, так и неподвижные изделия; изделия, окрашиваемые стационарно закрепленными распылителями, совершают линейно-поступательные либо вращательные перемещения. Распыление ЛКМ с помощью роботов применяется при отделке более сложных деталей, когда необходимо имитировать движение человеческой руки.

Автоматическое окрашивание применяется, прежде всего, для достижения большой производительности и является наиболее эф-

фективным при нанесении ЛКМ на поточных линиях при массовом или серийном производстве, при окрашивании изделий одинаковых габаритов: кабин, бортов, платформ грузовых и кузовов легковых автомобилей, электробытовых приборов, металлических листов, деревянных и асбоцементных строительных панелей. Такое окрашивание позволяет вывести рабочего-маляра из зоны, загрязненной парами растворителей и красочного аэрозоля; повысить уровень техники безопасности (взрыво- и пожаробезопасность) процесса покраски; уменьшить содержание сольвентного аэрозоля в производственных помещениях и снизить выбросы вредных веществ в атмосферу. Кроме того, при автоматическом окрашивании можно оптимизировать такие параметры, как расход ЛКМ через сопло и давление сжатого воздуха на распыление. Траекторию перемещения краскораспылителя относительно окрашиваемой поверхности (расстояние, угол) в автоматическом режиме легко поддерживать постоянной, снижая тем самым расход ЛКМ.

Факторы, ограничивающие использование автоматического окрашивания: высокие по сравнению с ручной окраской затраты на оборудование; более высокие требования к квалификации обслуживающего персонала и сложность перенастройки системы автоматизации при переходе на окраску новых, отличающихся конфигурацией и размерами изделий.

Технологический процесс окраски распылением состоит из следующих операций, которые необходимо автоматизировать:

- подача изделия к окрасочному участку;
- предварительная обработка (обезжиривание, травление, грунтовка и т.п.);
- транспортирование изделия в окрасочную камеру с возможным изменением положения изделия (кантование);
- идентификация изделий и нанесение покрытия;
- установка в сушильную камеру или помещение для сушки и сушка;
- разгрузка и складирование;
- управление, диспетчирование и контроль хода технологического процесса и качества покрытия;
- подготовка, подача и доставка краски;
- промывка трубопроводов, очистка и удаление отходов производства.

Основная часть перечисленных задач решается с помощью окрасочных РТК.

Изделия подразделяют:

- по форме окрашиваемых поверхностей:
плоские и приводимые к ним;
незамкнутые коробчатые и цилиндрические;
замкнутые коробчатые и цилиндрические;
образованные вращением линии или контура вокруг оси;
комбинированные;
- по одному из наибольших размеров (мм):
особо мелкие — до 300;
мелкие — 300... 630;
средние — 630... 1600;
крупные — 1600... 4000;
особо крупные — свыше 4000 [1, 10].

Схемы автоматического окрашивания, применяемые в промышленности, различаются сочетаниями движений краскораспылителей и окрашиваемых изделий. В качестве примера можно описать три такие схемы:

- изделия выпуклой или вогнутой формы передвигаются на горизонтальном конвейере, а краскораспылитель, установленный на подвижной каретке, совершает возвратно-поступательное движение в плоскости, параллельной поверхности изделий, в направлении, перпендикулярном их движению;
- изделия выпуклой или вогнутой формы, установленные вертикально, перемещаются на горизонтальном или подвешенном конвейере, а краскораспылители совершают возвратно-поступательное криволинейное движение в вертикальной плоскости, параллельной поверхности изделий, перпендикулярно их перемещению;
- цилиндрические изделия с боковой и торцевой окрашиваемыми поверхностями перемещаются на напольном цепном конвейере и вращаются в зоне окраски перед установленными перед ними автоматическими распылителями, закрепленными под определенными углами, один из которых окрашивает боковую поверхность, а другой — торцевую.

Перечисленные схемы могут реализовываться окрасочными автоматами и промышленными роботами. Выбор схемы окрашивания зависит от производительности линии, типа конвейера, размера и формы окрашиваемых деталей.

Основное оборудование. В качестве основного технологического оборудования применяют универсальные («Asea», «Unimate», «Versatran»)

и специализированные промышленные роботы («Колер», «Контур», «Trallfa», «Renault-Асма» и др.) [10, 12, 30].

Все ПР, применяемые для работ в окрасочных камерах, должны быть герметизированы. Роботы, применяемые при окраске распылением, оснащают контурными системами программного управления. Погрешность позиционирования должна быть не хуже ± 3 мм. Число степеней подвижности и компоновка ПР должны обеспечивать выполнение технологического процесса окраски в соответствии с формой, габаритными размерами и относительными перемещениями изделия. Технические требования к ПР, предназначенным для перемещения и окунания подвесок с изделиями в ванны, соответствуют требованиям к роботам для обслуживания автоматических линий ванн гальванопокрытий.

Для уменьшения загрязнения воздушной среды и ликвидации ручного труда маляров в процессе смены лакокрасочного материала одного цвета другим в составе РТК предусматривают пневматическое устройство подачи краски (УПК).

УПК предназначено для подачи к краскораспылителю определенного цвета лакокрасочного материала как в автоматическом, так и в ручном режиме, а также для промывки краскопроводов, распылителя и всех функциональных узлов. В зависимости от условий производства УПК позволяет использовать в качестве энергоносителя как сжатый воздух, так и инертный газ.

НПО «Лакокраскокрытие» разработано УПК со следующими характеристиками:

Рабочее давление, МПа:

в подводящей сети0,55

в сети лакокрасочных материалов..... 0,05...0,20

в сети управления окрасочным пульверизатором0,3

Расход сжатого воздуха, приведенный

к нормальным условиям, м³/мин0,4

Число цветов красителя5

Число подсоединяемых пульверизаторов1

Цикл промывки (при длине краскопровода

от УСК до пульверизатора 3 м), с90

Число баков с краской6

Рабочий объем одного бака, л 16

Максимальная производительность по расходу

лакокрасочного материала, г/мин..... 500

Вспомогательное оборудование выбирают или проектируют специально для каждого способа окраски и каждого типа красителя, а также — применительно к конструктивным особенностям конкретной модели окрасочного робота. Особое внимание уделяют транспортным устройствам. В комплекте с окрасочными роботами применяют поворотные столики, подставляющие под краскораспылитель робота различные поверхности изделия.

Управление работой всего оборудования, входящего в состав окрасочного РТК, осуществляет окрасочный робот. Робот может автоматически заменять цвет красителя, регулировать интенсивность его напыления, выдавать различные управляющие сигналы в адрес вспомогательного оборудования. Кроме того, на подготовительном этапе робот может управлять подачей изделия к месту окраски, а на заключительном этапе — установкой окрашенных изделий в сушильные камеры и разгрузкой этих камер.

Организация роботизированных рабочих мест при окраске распылением. Окраска должна производиться в специальной пылевытяжной камере. Робот должен быть герметизирован от воздействия внешней среды. При окрасочном производстве необходимо соблюдение дополнительных требований по технике безопасности, связанных с пожароопасностью в окрасочном помещении и взрывоопасностью применяемых лакокрасочных материалов. Вторым требованием является высокая скорость перемещения краскораспылителя.

Окрасочные pulverизаторы (краскораспылители). Для автоматической окраски могут использоваться автоматические краскораспылители пневматического, безвоздушного и комбинированного распыления, а также электростатические. Наиболее распространены пневматические краскораспылители. Распылитель состоит из корпуса, в котором помещен механизм дистанционного управления, и распылительной головки (воздушная головка и сопло, закрываемое запорной иглой). Вместо рукоятки на корпусе автоматического краскораспылителя находится посадочное место для закрепления на кронштейне механизма перемещения.

Устройство автоматического краскораспылителя с пневмоприводом, снабженного механизмом дистанционного управления, показано на рис. 8.1. Преимуществами пневматической системы управления являются простота ее конструкции, взрыво- и пожаробезопасность.

Механизм дистанционного управления состоит из подпружиненного манжетного поршня, который смонтирован на корпусе поршня (он же выполняет одновременно роль воздушного клапана), запорной

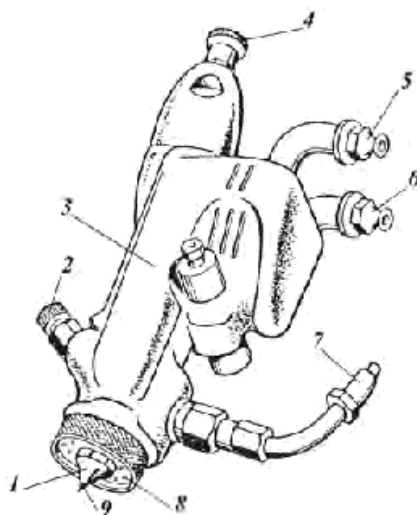


Рис. 8.1. Пульверизатор для окраски распылением:

- 1 — наконечник; 2 — регулировочный винт хода иглы; 3 — корпус;
4 — регулировочный винт подачи краски; 5 — штуцер подачи воздуха для распыления краски; 6 — штуцер подачи краски; 7 — штуцер подачи воздуха для отпирания иглы; 8 — отверстия распылителя; 9 — запорная игла

иглы, связанной подвижно с корпусом поршня пружиной и регулировочными гайками, и подвижного хвостового упора. Этот упор ограничивает перемещение корпуса поршня и запорной иглы в пределах от 0 до 5 мм. Корпус поршня с запорной иглой проходит через две полости корпуса распылителя, камеру поршня и камеру воздушного клапана, которые разделены манжетными уплотнениями. Передний конец поршня упирается в гнездо воздушного клапана, снабженное манжетной прокладкой. Камера поршня и камера воздушного клапана соединены каналами со штуцерами подачи сжатого воздуха на управление и распыление. Полость воздушного клапана двумя отдельными каналами соединена с полостью центрального отверстия воздушной головки, которая образует круглый факел, и полостью боковых воздушных отверстий, с помощью которых формируется плоский факел. С помощью дроссельного винта перекрывается канал, подающий воздух в боковые отверстия. ЛКМ подается в распылитель через штуцер. При подаче ЛКМ и сжатого воздуха на распыление краскораспылитель начинает работать только после того, как в камеру поршня поступит сжатый воздух на управление. При его поступлении корпус порш-

ня начинает двигаться назад, освобождая седло воздушного клапана и давая проход воздуху в распылительную головку. При дальнейшем движении корпус воздействует через регулировочные гайки на запорную иглу и освобождает отверстия сопла для распыления ЛКМ. Для закрепления краскораспылителя на стойке в его корпусе есть отверстие, куда вставляется кронштейн с отверстием для стойки, который закрепляется в корпусе винтом.

Автоматические краскораспылители могут поставляться как в традиционном исполнении (для традиционного пневматического распыления), так и в экономичном (для HVLP-распыления¹). При этом распылитель может быть снабжен либо пружинным, либо пневматическим возвратом запорной иглы.

Существуют модели распылителей, конструкция которых состоит из двух блоков: корпуса краскораспылителя с распылительной головкой и платформы-коллектора, которая с помощью винтов герметично присоединяется к корпусу распылителя и имеет отверстия для закрепления на кронштейне стойки. К штуцерам этой платформы подводится ЛКМ и сжатый воздух на управление и распыление. Материальный и воздушный каналы корпуса распылителя через соответствующие каналы платформы связаны с ее штуцерами. На распылителе такой модели также могут быть установлены и обычная головка, и головка HVLP. Краскораспылитель такого типа эффективен при окраске сложных изделий с помощью роботов, так как изменение формы факела от круглого до плоского осуществляется дистанционно или автоматически с пульта управления.

Блочная конструкция краскораспылителя удобна еще и потому, что дает возможность, используя единые платформу и корпус распылителя и заменяя только корпус распылительной головки с клапанным механизмом, поставлять модели как для безвоздушного, так и для комбинированного распыления.

Детали краскораспылителей изготавливают из нержавеющей стали. Конструкция современных краскораспылителей ориентирована на простоту эксплуатации и позволяет быстро проводить замену пистолета и запасных частей без отсоединения шлангов, что уменьшает время простоя линии. Некоторые модели позволяют быстро менять цвет без промывки пистолета и использовать ЛКМ с малым сроком жизни. В некоторых пистолетах предусмотрена возможность подключения к системе

¹ Системы, относящиеся к HVLP (распыление большим объемом воздуха под низким давлением), должны характеризоваться эффективностью переноса краски не менее 65% и давлением распыления на колпачке не выше 0,7 бар.

циркуляции. Широкое распространение получили распылители с пневматической системой управления. Следует отметить, что работать таким образом могут как пневматические распылители, так и распылители безвоздушного, комбинированного и электростатического распыления.

Автоматические электростатические распылители состоят из корпуса, распылительной головки и пластикового кожуха, защищающего корпус распылителя. Как и ручные, автоматические электростатические распылители в зависимости от способа первоначального распыления ЛКМ делятся на пневмо-, гидро-, гидропневмоэлектростатические и электромеханические (распыление под воздействием центробежных сил).

В электростатических распылителях пневматического, безвоздушного и комбинированного распыления также может быть использована блочная конструкция. К штуцерам коллектора распылителя подводятся ЛКМ, сжатый воздух на управление, распыление и работу патронного источника высокого напряжения (в случае использования для подачи напряжения ИВН, преобразующего энергию сжатого воздуха в электрическую). Такие распылители могут использоваться стационарно либо совместно с манипулятором или роботом.

Автоматический электромеханический краскораспылитель обычно называют высокооборотным дисковым распылителем. Начальное распыление ЛКМ с помощью такого распылителя происходит за счет вращения насадки, имеющей форму плоского диска (скорость вращения до 60 000 мин⁻¹), который приводится в движение сжатым воздухом. Особенностью таких распылителей является то, что для сужения созданного диском факела ЛКМ используется поддув сжатого воздуха по всей периферии факела. Высокооборотные дисковые краскораспылители обладают высокой производительностью и широко используются для конвейерной окраски кузовов автомобилей и их комплектующих, бытовой техники и металлической мебели.

Опыт эксплуатации существующих типов краскораспылителей позволил сформулировать следующие основные требования к автоматическим краскораспылителям для обеспечения эффективной и экономичной работы, а именно:

- дистанционное управление СПУ робота, обеспечивающее заданный режим работы в различных производственных условиях;
- раздельная подача сжатого воздуха на распыление и управление, что позволяет при постоянном давлении воздуха, подаваемого на управление, выбирать оптимальное (минимально возможное) давление сжатого воздуха на распыление;

- возможность регулирования хода иглы, запирающей отверстие материального сопла, с помощью упора, поворачиваемого дискретно и имеющего лимб с делениями, что обеспечивает быструю фиксированную настройку производительности краскораспылителя;
- возможность настройки ширины факела распыленной краски специальным вентилем, поворачиваемым на один оборот; головка вентиля должна иметь лимб с делениями, что позволяет мгновенно устанавливать заданную ширину факела и легко ее воспроизводить;
- возможность прекращения выхода из краскораспылителя при его выключении не только лакокрасочного материала, но и сжатого воздуха, что сокращает расход воздуха (уменьшает энергозатраты);
- четкость последовательного срабатывания механизмов краскораспылителя, подающих для распыления сначала сжатый воздух, а затем краску при включении краскораспылителя и, наоборот, прекращающих подачу краски, а затем воздуха при его отключении;
- возможность подачи лакокрасочного материала в краскораспылитель через штуцер сверху и снизу, что позволяет в зависимости от условий применения выбирать наиболее удобный вариант подключения к краскораспылителю шланга, подающего лакокрасочный материал;
- возможность поворота и закрепления краскораспылителя в любом положении в вертикальной и горизонтальной плоскостях с помощью узла крепления.

С учетом этих требований в НПО «Лакокраспокрытие» была разработана конструкция автоматического краскораспылителя КА-2.

Техническая характеристика краскораспылителя КА-2

Расход краски через сопло, кг/с, не более0,01

Давление воздуха, МПа:

на распыление 0,25... 0,4

на управление..... 0,15... 0,2

Расход воздуха, приведенного к нормальным условиям, м³/с 0,006

Размеры отпечатка факела на расстоянии 300 мм

от головки при давлении воздуха 0,4 МПа, мм:

диаметр круглого факела, не более90

ширина плоского факела, не менее 400

Габаритные размеры, мм..... 180 × 80 × 95

Масса, кг, не более90

8.2. Сварочные аппараты

Сварочное производство охватывает большой комплекс различных по своему характеру технологических операций, начиная от изготовления заготовок и деталей под сварку и кончая отделкой готовых сварных изделий, который может быть разделен на семь групп: заготовительные, подъемно-транспортные, сборочные, сварочные, отделочные, вспомогательные и контрольные.

Свариваемые изделия должны, как правило, иметь непрерывные, достаточно протяженные швы или определенную, четко повторяющуюся систему швов. Все швы должны быть доступны для сварочного инструмента, закрепленного на руке робота, или в сварочном автомате. При этом следует предусматривать группирование швов или точек сварки по доступности со стороны выбранных моделей сварочных роботов.

Перед сваркой должна производиться тщательная подготовка и сборка свариваемых деталей, обеспечивающая отсутствие зазоров, коробления и смещений кромок и нахождение их в пределах заданных допусков. Свариваемый металл должен быть очищен от грязи, масла, смазки, краски и окалины.

Сварку роботами следует проводить после предварительной сборки свариваемых элементов, их механического скрепления между собой или прихватки ручной сваркой. При этом свариваемые швы, как правило, должны находиться в горизонтальном положении.

Виды и способы сварки. Разработано и внедрено большое количество ее видов и способов. Подробнее о видах сварки см. [10, 12, 18, 24, 31, 32, 42]. Следует учесть, что сравнительно просто применять роботы для контактной точечной сварки нахлесточных соединений, сложнее — для электродуговой сварки угловых и тавровых соединений и наиболее сложно — для электродуговой сварки стыковых соединений.

Промышленные роботы для выполнения сварки — это универсальные роботы и роботы, специально предназначенные для выполнения сварочных операций [10, 12, 31].

Модели промышленных роботов должны обеспечивать технологические параметры сварки и в этой связи быть оснащены необходимыми средствами адаптации для контроля и управления процессом. Общие рекомендации: число степеней подвижности должно быть равно или более 5, грузоподъемность не менее 30 кг, погрешность позиционирования не ниже ± 1 мм, объем рабочей зоны не менее 1 м^3 .

Системы адаптивного управления роботами для контактной дуговой и точечной сварки должны реализовывать следующие группы функций:

- управление перемещением сварочного инструмента;
- управление технологическими параметрами;
- управление вспомогательными операциями;
- обеспечение взаимодействия с центральной ЭВМ для взаимосвязи с общим производственным процессом, задания программы работы и т.п.

Реализацию функций первых трех групп обеспечивают датчики различной модальности [10, 12, 29, 31]:

- тахометры, термометры и т.п. (для контроля работы механизмов ПР);
- светочувствительные, пневматические и тактильные (отслеживающие направление кромок, форму и размеры изделия);
- тепловые, силовые, силомоментные, ультразвуковые, преобразователи с электрическими и магнитоуправляемыми контактами (для контроля технологических параметров);
- индикаторы, контактные и бесконтактные выключатели, кодификаторы (для вызова циклов вспомогательных операций) и другие приборы в любых возможных сочетаниях.

Системы внешней информации в сварке. Суммарные погрешности при изготовлении деталей и сборке узла, отклонения в приспособлении, ошибки при позиционировании руки робота могут привести к неправильной укладке сварного шва. Поэтому для направления сварочной головки по линии стыка деталей и обеспечения постоянного расстояния от горелки до изделия применяют различные датчики положения сварочного инструмента, отличающиеся принципом действия. По способу отыскания линии сварного соединения датчики разделяют на контактные и бесконтактные.

Контактные датчики размещают на корпусе сварочного инструмента или на выдвинутом вдоль шва кронштейне перед ним. Эти датчики снимают информацию о месте укладки шва, используя свариваемые кромки или линию сплавления валика с кромкой. Контактные датчики с копируемыми роликами могут быть соединены со сварочной горелкой жестко или гибко — через управляющее механическое устройство для смещения горелки в нужном направлении. Пневматические и электромеханические датчики содержат копирующий элемент — шуп, который под действием пневмоцилиндров, пружин или собственной массы прижимается

к копирующей поверхности с небольшой силой 1...10 Н. Преобразование механического сигнала в электрический сигнал осуществляют электроконтактными, фотоэлектрическими, резисторными или дифференциально-трансформаторными преобразователями. Все эти щупы заблокированы со сварочной горелкой.

К *бесконтактным датчикам* относятся телевизионные, фотоэлектрические, индуктивные, пневматические и другие [12]. Общим недостатком рассмотренных датчиков является то, что они не контролируют блуждание конца электродной проволоки из-за ее искривления или износа токоподвода. Поэтому более перспективна система, при которой в качестве датчика используют сварочную дугу или электрод, что позволяет получать информацию непосредственно в точке сварки. Отпадает необходимость в запоминании информации и в построении следящих систем, заблокированных со сварочной горелкой.

Даже при наличии современных и эффективных средств адаптации роботизация дуговой сварки требует определенного, а в ряде случаев значительного повышения уровня заготовительного производства, раскроя металла, разделки стыка, т.е. подготовки изделий к сварке. В конечном итоге затраты на заготовительное производство и подготовку к сварке элементов изделий окупаются благодаря резкому повышению и стабилизации их качества, экономии материалов, энергии, повышению производительности труда, коэффициента сменности и высвобождению рабочих.

Сварочные инструменты различают в зависимости от способа сварки.

Сварочный аппарат для контактной точечной сварки состоит из трансформатора, вторичной цепи и клещей. Он имеет автоматическое управление, обеспечивающее точное и многократное выполнение всех этапов с учетом условий сварки.

Клещи (рис. 8.2) массой от 20 до 100 кг. Электроды смыкаются пневмо- или гидроцилиндром по команде СПУ робота. Для оснащения ПР рекомендуются клещи облегченной конструкции массой до 40 кг. При необходимости они должны иметь возможность самоустановки по свариваемой детали в пределах ± 5 мм. Диапазон свариваемых толщин 0,5...3,0 и до 10 мм.

Способы установки трансформатора на сварочном роботе. Требуемой мощностью, параметрами электрических элементов и удобством доступа определяется выбор варианта установки трансформатора: подвесной трансформатор, трансформатор в корпусе робота, трансформатор, встроенный в сварочную головку.

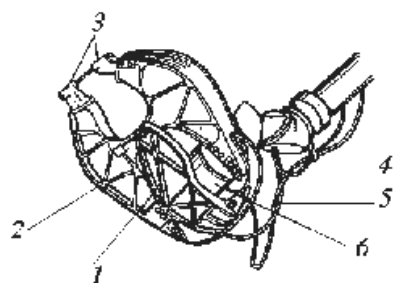


Рис. 8.2. Клещи для точечной сварки:

- 1 — серьга; 2 — корпус; 3 — наконечники с электродами;
4 — кабель; 5 — пневмошланг; 6 — пневмоцилиндр

Трансформатор отдельный подвесной перемещается по монорельсу, следуя за перемещениями руки робота таким образом, чтобы не слишком натягивать кабели. Это самый первый, простой и дешевый способ, позволяющий применять для сварки универсальные роботы и основанный на использовании ручных сварочных клещей, соединенных со сварочными трансформаторами на подвеске. Такое решение позволяет использовать мощные трансформаторы, обеспечивающие большую силу тока и сварку листов и арматуры значительной толщины (6... 10 мм).

Усовершенствование описанной выше конфигурации состоит в установке трансформатора внутри корпуса самого робота как можно ближе к сварочной головке. Для роботов с декартовой системой координат такой вариант, как правило, не представляет сложности, как и для роботов с полярной или сферической системой координат. Установка трансформатора на манипуляторе позволяет существенно уменьшить длину кабелей вторичной цепи. Становится возможным подсоединение выводов вторичной обмотки трансформатора к запястью робота неподвижно закрепленными проводниками. Вместе с тем увеличение нагрузки за счет массивного трансформатора приводит к снижению скорости перемещения манипулятора.

Удобным решением (которое не может быть распространено на все случаи) является использование специально разработанной для роботизированной сварки сварочной головки со встроенным трансформатором. Трансформатор, встраиваемый в сварочную головку, монтируется непосредственно на присоединительный фланец запястья с таким расчетом, чтобы его центр тяжести был как можно ближе к фланцу, что позволяет уменьшить момент инерции.

Основное преимущество такого решения состоит в том, что вместо тяжелых кабелей вторичной цепи к головке подводятся кабели первичной цепи меньшего сечения. Снижается полное сопротивление вторичной цепи (поскольку в этом случае оно определяется лишь зазором сварочных клещей), что ведет к уменьшению массы и габаритных размеров трансформатора. Например, трансформатор мощностью 30 кВ будет иметь габаритные размеры $325 \times 135 \times 125$ мм и массу 18 кг. Использование сварочных клещей со встроенным трансформатором позволяет в соотношении 5:1 уменьшить мощность, необходимую для сварки, и, следовательно, потребляемую электроэнергию. Кроме того, следует учесть значительную экономию на расходе вторичных кабелей, износ которых на роботах является чрезвычайно быстрым.

Описанный вариант имеет два недостатка:

- сварочная головка становится более громоздкой, что может вызывать сложности с доступом к месту сварки (особенно там, где пространство ограничено, например в арках крыльев, в передней и задней панелях, в брызговиках);
- за счет трансформатора заметно увеличивается масса. Трансформатор удваивает массу клещей с кабелем. Допустимая общая масса составляет примерно 40 кг. Если масса доходит до 50 кг или выше — это становится неприемлемым для большинства роботов.

На присоединительный фланец робота действует не столько статическая нагрузка, сколько скручивающий момент, создающий значительное механическое напряжение. Роботы для точечной сварки должны выдерживать скручивающий момент не менее 120 Н·м, что соответствует сварочной головке массой 50 кг, центр тяжести которой смещен на 240 мм относительно оси запястья. Для многих роботов допустим скручивающий момент свыше 200 Н·м, соответственно такие роботы лучше подходят для работы со сварочными головками, имеющими встроенные трансформаторы.

Сварочная горелка для дуговой сварки плавлением обеспечивает точечное или герметическое шовное соединение деталей любой толщины из практически всех используемых для изготовления конструкций, металлов и сплавов.

Нагрев и плавление металла осуществляются дуговым разрядом, возникающим между изделием и электродом. Энергию, необходимую для образования и поддержания дугового разряда, получают от источников питания постоянного или переменного тока. Широкое практическое применение находит дуга прямого действия, горящая между

свариваемым металлом и электродом. Меньше применяют дугу косвенного действия, горящую между двумя электродами.

Для большинства металлов и сплавов используют источники нагрева, имеющие температуру не ниже 3000 °С и тепловую мощность, достаточную для образования сварочной ванны.

При дуговой сварке происходит активное взаимодействие расплавленного металла сварочной ванны с кислородом и азотом воздуха, что приводит к изменению химического состава и ухудшению механических, коррозионных и других свойств металла шва. Поэтому возникает необходимость в защите зоны сварки от окружающего воздуха.

Перспективный способ — сварка с газовой защитой, когда зона сварки окружена газом, подаваемым под небольшим избыточным давлением из сопла, обычно расположенного concentricно электроду. В качестве защитной среды служат инертные и активные газы и их смеси. Этот способ обычно и применяют при роботизированной сварке.

Сварочный инструмент — горелка для дуговой сварки обеспечивает непрерывную подачу электродной проволоки. Она может быть снабжена соплом для подачи углекислого или инертного газа или работать во взаимодействии с аппаратами подачи флюса и присадок.

Сварочная горелка для дуговой сварки стальных деталей в защитной среде углекислого газа и алюминиевых деталей в среде аргона показана на рис. 8.3. Горелка имеет принудительное водяное охлаждение. Электрод подается специальным устройством от автономного барабана по командам СПУ ПР. Газ подается из специального баллона, расположенного рядом с промышленным роботом.

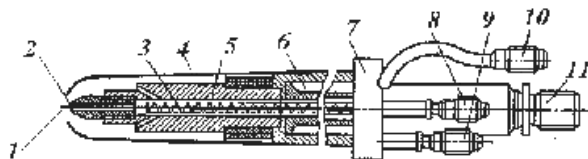


Рис. 8.3. Горелка для дуговой сварки:

1 — электрод; 2 — сопло; 3 — пружина; 4 — кожух; 5 — сопло подачи газа; 6 — рубашка охлаждения; 7 — корпус горелки; 8, 9 — штуцеры подвода и отвода воды; 10 — штуцер подвода газа; 11 — штуцер непрерывного подвода проволоки сварочного электрода

Качество дуговой сварки зависит от следующих факторов: скорости подачи электрода, расстояния между электродом и деталью, скорости перемещения электрода по траектории сварки.

Последовательность сварки. Дуговая сварка состоит из ряда последовательных операций:

- включение подачи защитного газа в сварочное пространство;
- включение подачи электродной проволоки, возбуждение и поддержание дугового разряда, обеспечение постоянного расстояния между электродом и поверхностью шва;
- включение перемещения сварочной головки вдоль шва;
- поддержание скоростей подачи электрода и перемещения сварочной головки, соблюдение траектории сварочного шва;
- прекращение подачи прутка, отключение тока, отключение подачи газа.

Параметры сварки. При дуговой сварке плавлением траектория перемещения электрода в большинстве случаев не может быть рассчитана заранее ввиду случайного характера информации о стыке и неустановившегося характера формирования шва. Поэтому для автоматизации дуговой сварки требуется тщательная подготовка и ужесточение допусков на форму и размеры исходных заготовок, а также создание развитых систем обратной связи, контролирующих качество шва и формирующих команды на коррекцию режимов сварки. При дуговой сварке сложных поверхностей необходимо перемещать электрод не менее чем по пяти управляемым координатам (см. рис. 8.4). Точность перемещения по стыку 0,3... 0,5 мм, скорость сварки 10...180 м/ч, диапазон линейных перемещений 0,1... 10 м. На форму, размеры подготовки кромок и на швы сварных соединений распространяется ГОСТ 14771—76.

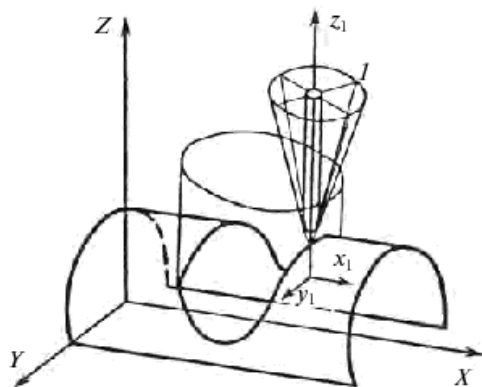


Рис. 8.4. Технологическая схема, показывающая направления перемещения электрода при дуговой сварке криволинейных поверхностей

Методы сварки определяют технологию сварочных работ. В таблице 8.1 приведены сравнительные характеристики контактной точечной и дуговой роботизированной сварки.

Таблица 8.1

Сравнительные характеристики контактной точечной и дуговой шовной сварки

Параметр	Сварка	
	Контактная точечная	Дуговая шовная
Масса инструмента, кг	20... 100*	10... 40*
Вращающий момент, Н·м	120... 240	—
Скорость перемещения, м/с	0,5... 1,5	0,1... 1,0
Погрешность позиционирования, мм	$\pm 0,2... 1,0$	$\pm 0,3... 0,5$ диаметра электрода
Размеры рабочей зоны, м	$1 \times 1 \times 1^{**}$	$1 \times 1 \times 10^{**}$

* Для ПР предпочтительнее до 30 кг.

** Применение позиционеров и тележек позволяет нарастить одну из координат до 60 м.

Контрольные вопросы

1. Какие требования предъявляют к краскораспылителям для промышленных роботов?
2. Расскажите о конструктивных особенностях краскораспылителей для ПР. Приведите примеры технических решений.
3. Что вы знаете о сварочных инструментах для промышленных роботов? Приведите примеры технических решений.
4. Сравните технические показатели контактной точечной и дуговой шовной сварки.

СОЕДИНЕНИЕ ЗАХВАТНЫХ УСТРОЙСТВ И ИНСТРУМЕНТОВ С КОНЕЧНЫМ ЗВЕНОМ МАНИПУЛЯТОРА

9.1. Установка захватных устройств и инструментов на конечном звене манипулятора

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

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

Во всех случаях основным является требование надежного закрепления, исключающего самоотвинчивание, появление люфта и пр. Дополнительным, но практически очень важным является требование простоты сборки и разборки соединения, которое вытекает из необходимости оперативной замены ЗУ. Вследствие этого нежелательны

большие усилия затяжки соединений, исключаются также некоторые способы предотвращения самоотвинчивания. Требуется, чтобы разборка и сборка могли производиться без применения специального инструмента и тем более без средств контроля. В тех случаях, когда после установки ЗУ предусматривается подналадка в целях более точного согласования ПР с обслуживаемым оборудованием, в точном базировании ЗУ (например, с помощью штифтов) нет необходимости.

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

Нежесткая установка и закрепление ЗУ и инструментов к руке манипулятора могут преследовать различные цели: уменьшение сил и моментов взаимодействия объекта с внешними приспособлениями и устройствами, исключение застревания и заклинивания при сборке, приспособление к изменениям положения и формы поверхностей объекта, уменьшение вероятности поломки механизма ПР в аварийных ситуациях. Задачи уменьшения сил и моментов взаимодействия объекта, зажатого в ЗУ, с зажимными приспособлениями станков (например, направляющими или стенками гнезд тары), возникают при существенных линейных и (или) угловых рассогласованиях ЗУ относительно требуемого положения. Повышение упругой податливости механизма за счет упругого крепления ЗУ к руке, естественно, приведет к снижению сил и моментов при заданных рассогласованиях. При аварийных ситуациях с ударами упругое соединение ЗУ с рукой играет роль амортизатора, который может предотвращать поломки. При использовании ПР для операций сборки пар с малыми гарантированными зазорами правильный выбор характеристик упругого соединения ЗУ с рукой исключает застревания и заедания.

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

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

Устройства корректировки взаимного положения ЗУ и объектов манипулирования реализуют за счет упругого соединения ЗУ с рукой манипулятора, которое можно осуществить пассивными и активными средствами.

При пассивном соединении используют упругие элементы — пружины. На рисунке 9.1 показаны схемы крепления захватного устройства при помощи пружин с предварительным натягом. До тех пор, пока сила предварительного натяга не преодолена, упругий элемент работает как жесткий, при преодолении первоначального натяга — как упругий.

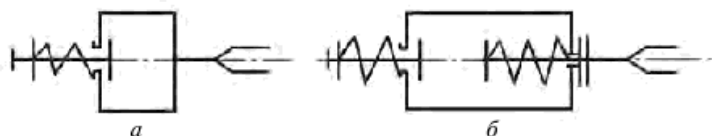


Рис. 9.1. Схемы упругого крепления захватных устройств:
а — с одной пружиной; б — с двумя пружинами

При активном соединении в дополнение к пружинам (или без них) используют силовые и силомоментные датчики и дополнительные приводы. Выходные звенья приводов активных устройств могут выполнять функции закрепления (фиксации) захватного устройства в любом положении (рис. 9.2, а) или приведения в определенное положение с последующим закреплением (рис. 9.2, б).

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

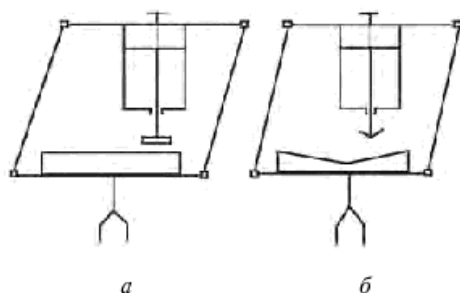


Рис. 9.2. Схемы активного соединения захватных устройств с рукой манипулятора:
а — закрепление (фиксация) захватного устройства в любом положении;
б — приведение в определенное положение с последующим закреплением

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

- случайные ошибки в определении точных размеров собираемых деталей (наличие «допусков» на размеры, несущественные для вида и свойств конечной конструкции);
- случайные ошибки в определении начальных положений собираемых деталей (погрешности исполнительного устройства, удерживающего первичный объект) и манипулятора, подающего вторичные объекты к месту сборки;
- погрешности в позиционировании робота (систематические ошибки, недостаточная разрешающая способность, заедание под действием внешних возмущений, вибрации и т.д.).

Погрешности взаимного расположения, как уже указывалось, компенсируют двумя принципиально различными способами:

- *активный способ* — с применением датчиков, измеряющих усилия и моменты, возникающие при сопряжении деталей, и выдающих команды на дополнительные перемещения исполнительных узлов и захватного устройства робота;
- *пассивный способ* — с применением кинематических элементов и приспособлений, устанавливаемых обычно непосредственно на сборочном захватном устройстве или инструменте. Эти элементы обеспечивают «автопоиск» сопрягаемых поверхностей.

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

Первый способ более универсален, однако требуется оснащение сборочного оборудования широким набором средств адаптации. Второй способ менее универсален, но требуются меньшие затраты времени на выполнение сборочной операции, а сенсорное оснащение ограничивается устройствами поиска детали и контроля ее наличия на сборочной позиции.

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

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

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

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

Ниже рассмотрено несколько решений третьего типа. Эти устройства являются промежуточными узлами между конечным звеном руки манипулятора и его рабочим органом (инструментом или захватным устройством).

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

Геометрически такое устройство должно обеспечить:

- компенсацию отклонений от коаксиальности отверстия и штифта за счет поступательного движения штифта (две поступательные степени подвижности в плоскости, перпендикулярной оси);
- компенсацию угловых отклонений за счет поворота штифта до совпадения обеих осей (две вращательные степени подвижности вокруг взаимно ортогональных осей, перпендикулярных оси штифта).

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

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

Устройство податливости с удаленным центром корректировки (УПУЦ или — Remote Compliance Center — RCC) представляет собой пассивное устройство, сопряженное с ЗУ, предназначенное для упрощения сборки. Принцип действия этого устройства, запатентованного в США в 1979 г. Дж.Л. Невинсом и Д.Е. Уитни, основан на геометрических свойствах шарнирного четырехугольника, обобщенных на случай трехмерного пространства (рис. 9.3):

- конструкция из трех параллельных стержней позволяет осуществлять поступательное перемещение (пространственная аналогия шарнирного параллелограмма);
- конструкция из трех стержней с пересекающимися осями позволяет получить подобие сферического шарнира, обеспечива-

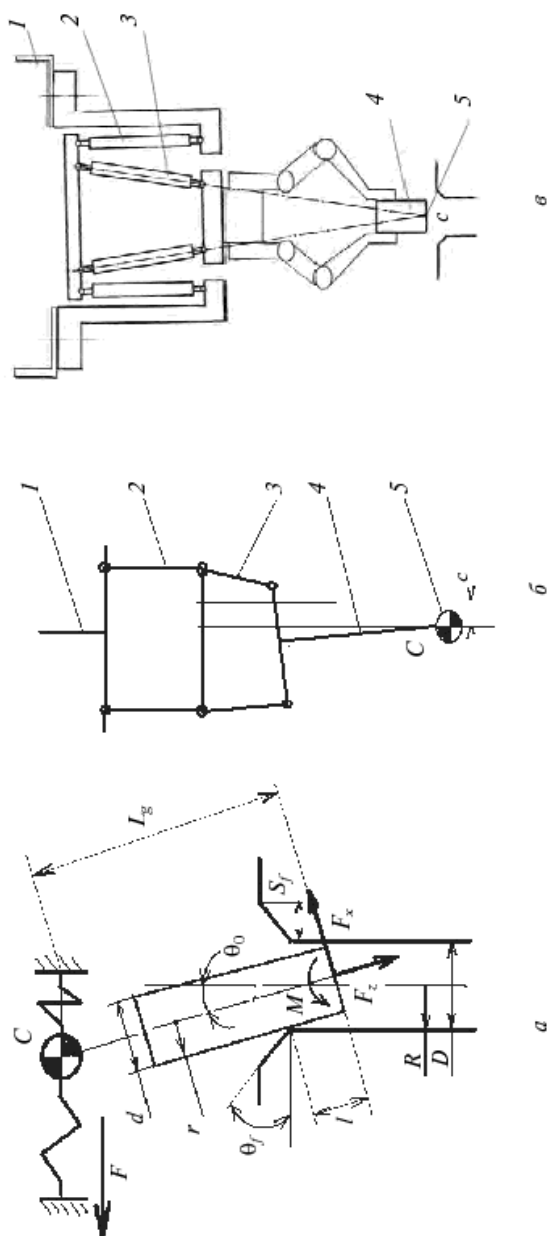


Рис. 9.3. Устройство податливости с удаленным центром корректировки (УПУЦ): *а* — штифт, подвешенный на УПУЦ; *б* — схема работы УПУЦ; *в* — пример конструкции УПУЦ, в котором стержни, составляющие его структуру, подвижно закреплены на основаниях с помощью шаровых цапф (точка *С* является удаленным центром корректировки положений); *1* — рука манипулятора; *2* — стержни линейной части УПУЦ; *3* — стержни вращательной части УПУЦ; *4* — деталь; *5* — удаленный центр

ющего повороты с небольшой амплитудой вокруг точки пересечения осей стержней, которая в данном устройстве называется центром корректировки и расположена в конце стержня.

Подобное устройство позволяет разграничить поступательное и вращательное перемещения стержня, которые вызваны усилиями, приложенными в центре корректировки C . Очевидно, при сборке эти усилия совпадают с силами и моментами реакции, возникающими при контакте штифт—отверстие. В данном случае центровка обеспечивается за счет скольжения фаски стержня по фаске зенковки отверстия.

Двухмерная схема УПУЦ, в которой предусмотрена только податливость в направлении бокового смещения, представлена на рис. 9.3, а. Штифт диаметром $d = 2r$ закреплен в УПУЦ на расстоянии L_g от своего торца. Он вставляется в отверстие диаметром $D = 2R$ с перекосом под углом θ_0 так, что при продвижении в отверстие на глубину l возникают силы сопротивления F_x и F_z и момент M . Отверстие имеет зенковку с параметрами θ_f и s_f . Штифт смещен влево от оси отверстия и при вхождении в зенковку отверстия наклоняется, деформируя пружины УПУЦ с силой F . Связь силы F с силами, действующими на торец штифта при его вставлении в отверстие, выразится в виде следующих зависимостей:

$$F_x = -F; \quad (9.1)$$

$$M = L_g F = -L_g F_x. \quad (9.2)$$

Разделив (9.2) на $r F_z$, получим

$$\frac{M}{rF} = -\frac{L_g}{r} \left(\frac{F_x}{F_z} \right), \quad (9.3)$$

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

$$\frac{F_x}{F_z} = \frac{W}{\frac{L_g}{r} - l(1+W)} \quad (9.4)$$

или, если пересекаются его вертикальные стороны, при

$$\frac{F_x}{F_z} = \pm \frac{1}{f}, \quad (9.5)$$

где $W = l/(2rf)$; f — коэффициент трения.

На рисунке 9.3, б разъясняется схема работы УПУЦ: одна из частей устройства (вращательная — 3) удерживает штифт так, что он может совершать угловые перемещения в пространстве вокруг некоторой определенной точки (удаленного центра — С), а другая (линейная — 2) часть обеспечивает смещения штифта в боковых направлениях. При выполнении типовой операции часть 3 работает при прохождении штифтом зоны зонковки, а часть 2 — непосредственно при вставлении в отверстие.

На рисунке 9.3, в показан вариант конструктивного оформления УПУЦ.

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

Устройство податливости с пассивной корректировкой положения (Passive Compliance device — PCD), разработанное в Новой Зеландии в Университете Canterbury, по конструкции напоминает устройство с удаленным центром корректировки, однако принципы их работы различаются (рис. 9.4). Оно представляет собой деформируемую конструкцию из жестких, но с изменяемой длиной составных стержней, которые образуют две группы параллельных соединений, шарнирно закрепленных на двух пластинах. При поступательном движении удерживаемого предмета соединительные стержни поворачиваются, а при его вращении (с малой амплитудой) они незначительно удлиняются или укорачиваются. Представляют интерес некоторые оригинальные идеи, лежащие в основе создания этого устройства:

- изменение длины соединительных элементов осуществляется с помощью поршней, размещенных на пружинах;
- соединительные элементы крепятся с помощью шаровых цапф.

Самокорректирующееся по положению устройство с изменяемой структурой разработано в Лаборатории автоматизации г. Безансона (Франция) и изготовлено фирмой Sormel. Устройство обеспечивает вставку штифта в отверстие втулки или корпусной детали. Корректировка движения ЗУ производится с помощью системы с упругими связями, осуществляющими поворот захвата и его поступательное движение, а также датчиков и приводов, работающих по принципу прерывателей релейного типа (рис. 9.5). Стратегия действий робота вырабатывается на основе анализа последовательности операций при выполнении данной задачи человеком вручную. Особое внимание обращается на предварительный наклон вставляемого штифта относительно оси отверстия. При этом отпадает необходимость в изготовлении фаски, но может быть уве-

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

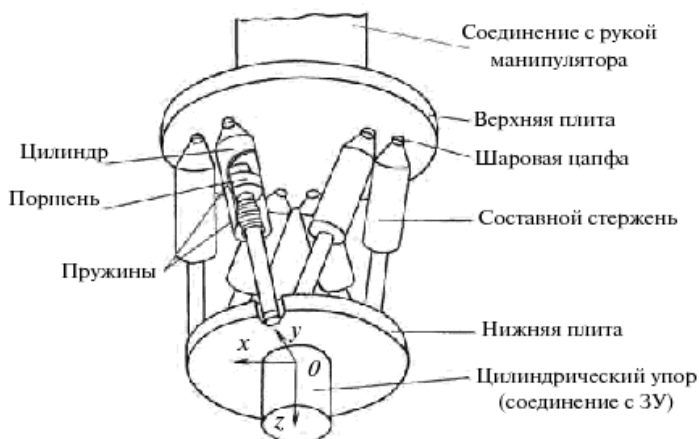


Рис. 9.4. Устройство с пассивной самокорректировкой положения

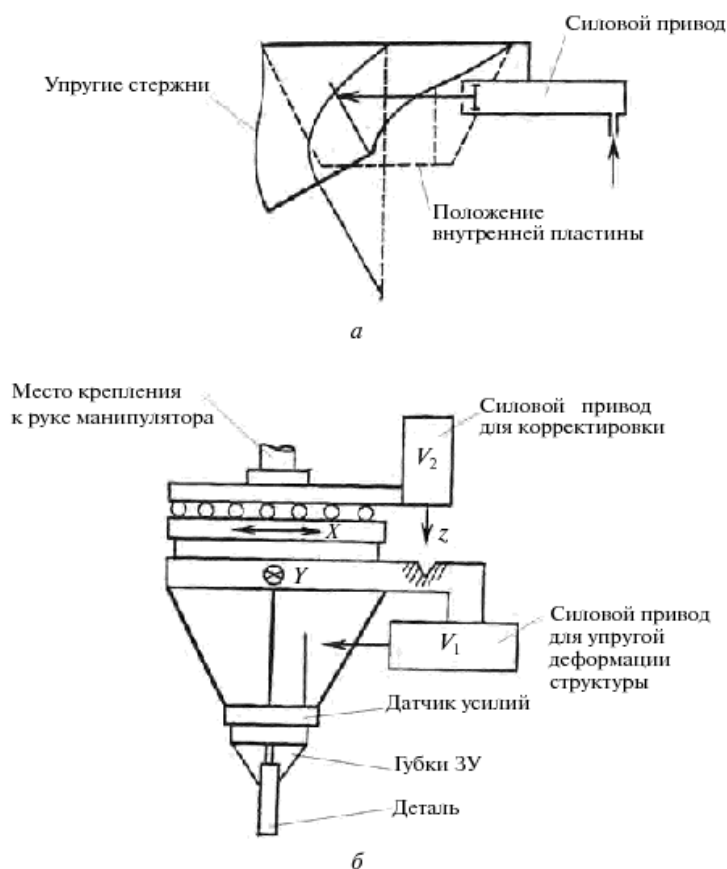


Рис. 9.5. Принцип действия самокорректирующегося по положению устройства с изменяемой структурой: *а* — воздействие привода на упругие стержни; *б* — принципиальная схема ЗУ

На рисунке 9.6 представлен вариант схемы ЗУ, работающего по описанному выше принципу. Корпус 4 устройства самокорректировки через специальный фланец 12 крепится к руке 1 манипулятора. К соединенной с корпусом 4 верхней плите 5 через упругие 6 и составные 11 стержни подсоединена нижняя плита 10, где закреплен корпус захватного устройства 7, в котором с помощью цангового зажима 9 удерживается вставляемая деталь — штифт 8. Энергоподводы 2 и 3 обеспечивают подачу сжатого воздуха к пневмоцилиндрам силовых приводов, предназначенных для корректировки положения устройства и деформации упругих стержней 6.

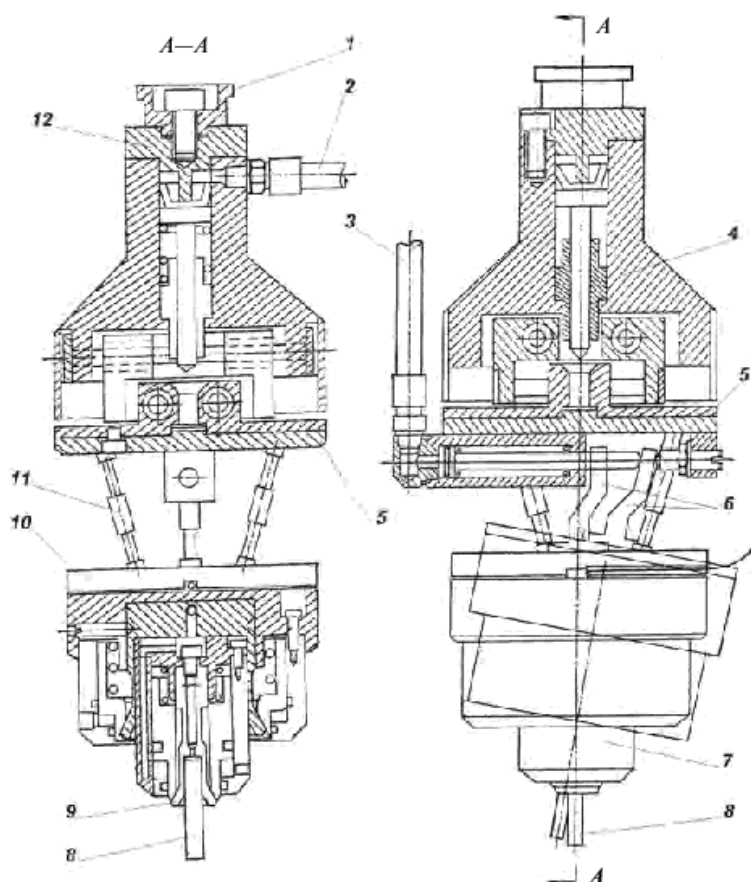


Рис. 9.6. Пример конструкции самокорректирующегося по положению устройства с изменяемой структурой:

1 — место крепления к руке манипулятора; 2 — энергоподвод силового привода для корректировки положения; 3 — энергоподвод привода для упругой деформации стержней 6; 4 — корпус устройства самокорректировки; 5 — верхняя плита; 6 — упругие стержни; 7 — захватное устройство; 8 — штифт (вставляемая деталь); 9 — цанговый зажим; 10 — нижняя плита; 11 — составные стержни; 12 — фланец А

Подобное 3У обеспечивает вставку стального штифта диаметром 2 мм в расточное отверстие из того же материала с зазором 0,01 мм, при этом допустимо первоначальное отклонение оси захвата от оси отверстия до 1,2 мм. Такое устройство особенно пригодно для монтажа мелких деталей, так как в данном случае фаска (если она существует)

всегда выполнена с низким качеством и имеет малую величину. Диапазон работы—штифты диаметром 0,5...8 мм.

Устройства с активной самокорректировкой положения за счет упругих связей. В основе конструкции всех данных устройств лежит принцип проведения корректирующих движений в соответствии с точно измеренными усилиями в контакте пары штифт—отверстие. Поэтому эти устройства должны оснащаться датчиками усилий на исполнительном органе, системой обработки информации, определяющей по измеряемым усилиям величину необходимых перемещений, и специальными приводами для проведения корректирующих движений.

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

Активное самокорректирующееся устройство, показанное на рис. 9.7, создано в Лувенском католическом университете (Бельгия). Корректирующее устройство представляет собой плиту 2, к которой крепится ЗУ. На плите 2 установлены два программируемых модуля вращения 1 и три программируемых модуля сдвига 3, которые обеспечивают корректирующему устройству пять степеней подвижности. Перемещение корректирующего устройства по каждой координате производится по сигналам датчиков контроля внутренних усилий. Таким образом, искусственно достигается регулируемая корректировка движений в течение всего времени (даже во время ввода), что обуславливает широкие возможности данной системы.

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

Применение устройства податливости с удаленным центром корректировки [41]. Как уже указывалось выше, устройство с удаленным центром корректировки (УПУЦ или RCC) представляет собой приспособление, предназначенное для упрощения операции вставления деталей при сборке. Это — механическое устройство, свойства которого обусловлены геометрическими характеристиками и эластичностью входящих в него частей. Его основная функция — обеспечить пространственное «плавание» детали, позволяющее компенсировать линейные и угловые погрешности. Применение RCC позволяет упростить соединение двух деталей, детали и инструмента, детали и фиксирующего устройства, инструмента и держателя и многих других сопрягаемых

пар. Как правило, устройство устанавливается в исполнительном органе (руке) манипулятора непосредственно за сборочным инструментом или захватом. Совокупная длина захвата и захватываемой детали должна быть такой, чтобы торец детали находился вблизи удаленного центра (положение которого относительно рабочего органа известно). Точное совпадение торца с удаленным центром не обязательно — опытная эксплуатация показала, что при осевых отклонениях до 10...15% рабочие характеристики RCC практически не снижаются.

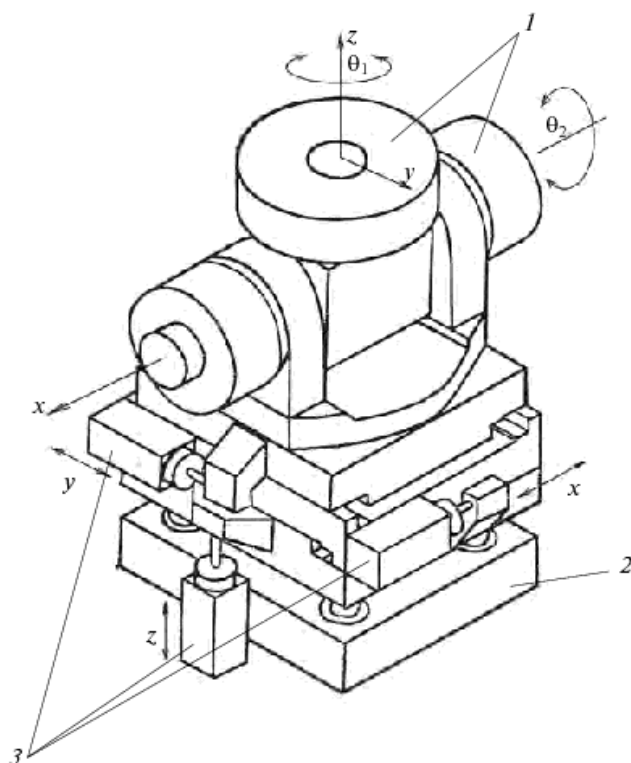


Рис. 9.7. Механизм соединения с рукой манипулятора активного самокорректирующегося захватного устройства:
1 — поворотные двигатели; 2 — место крепления ЗУ;
3 — модули сдвига по координатам x , y , z

При проектировании рабочих органов, имеющих в своем составе устройство с удаленным центром, следует иметь в виду некоторые ограничения. Устройство не предназначено для компенсации больших погрешностей (когда стержень при опускании не попадает в зону фаски).

В настоящее время смещение оси, по которой перемещается захват, в процессе сборки не предусмотрено, хотя технически это вполне возможно. Если предполагается использовать указанное устройство для вставления деталей вдоль горизонтальной оси, может понадобиться применение противовесов. Кроме того, существуют предельные значения погрешностей, компенсируемых каждым конкретным устройством; они обусловлены ограниченной эластичностью применяемых амортизаторов. Наконец, необходимо соблюдать условия взаимного положения деталей, исключающие их заклинивание или деформацию. При соблюдении этих условий можно считать устройство корректировки погрешностей с удаленным центром универсальным компенсатором погрешностей, способным обеспечить сборочные операции над парами деталей с малым зазором. Диапазон, в котором RCC компенсирует погрешности, достаточно широк (типовые значения — 1...2 мм и от одного до двух градусов), и это позволяет ослабить многие ограничения, возникающие при проектировании робототехнических систем (на юстировку питателей, точность изготовления палет и деталей). Такое ослабление требований позволяет снизить стоимость системы, сократить время на ее установку и настройку, повысить надежность системы (или увеличить ее сложность без снижения надежности).

Примеры применения. В настоящем подразделе приводится список операций, при выполнении которых целесообразно применять устройства с удаленным центром корректировки. Конечно, он не полон. Выделены проверенные группы операций: сборка с зазором, сборка «внатяг», установка инструмента [10, 31].

1. Сборка с зазором.

Установка подшипника в корпус. Начальная линейная погрешность позиционирования подшипника может достигать 2 мм, при этом он успешно вставляется в отверстие диаметром 40 мм (с зазором 0,01 мм). Половину погрешности (1 мм) составляют неточности определения параметров положения центра отверстия и захвата. На сопряжение деталей и вставление уходит 0,2 с.

Установка оси в подшипник. Ось легко входит в отверстие подшипника, несмотря на наличие резьбы на ее концах.

Установка зубчатого колеса на изогнутую ось. В этом случае используется способность устройства корректировки адаптироваться к изменению направления оси вставления.

Установка заклепок в отверстия. Расположение отверстий может быть недостаточно точным, отверстия могут находиться в деформирующемся материале.

Установка винтов в отверстия с резьбой. Случай аналогичен вставлению гладкого стержня в отверстие, за исключением того, что после прекращения перемещения винта по вертикали к нему прикладывается вращающий момент.

Надевание кожуха на прямоугольный блок. Устройство корректировки может успешно применяться и для работы с прямоугольными в проекции деталями. Необходимо обеспечить совмещение фасок на кожухе и блоке.

Установка оправки на головку заклепки. Устройство корректировки позволяет сопрягать выпуклые детали с вогнутыми. Точно так же выполняется операция надевания гайки на шпильку.

Укладка поковки в штамп. После грубой обработки поковки могут иметь непредсказуемую форму. Как правило, их кидают в матрицу, где они самовыравниваются. Но если самовыравнивания не происходит, возможно повреждение штампа. Если такое возможно, необходимо избежать заклинивания поковки в промежуточном положении.

Надевание отливки на позиционирующие шпильки палеты необработанной стороной. Захват литой детали, как правило, выполняется за обработанные ее участки, но позиционирующие шпильки палеты должны попасть в углубления необработанной части, параметры положения которых точно не известны.

Точная сборка хрупких деталей. В этом случае начальные погрешности позиционирования малы, но также мал и зазор между деталями. Детали хрупкие, их поверхности легко повреждаются. Применение устройства корректировки погрешностей позволяет соединить их, не допуская заклинивания и возникновения больших сил в точках контакта.

2. Сборка внатяг.

Запрессовка подшипника в корпус (см. рис. 6.1).

Запрессовка наконечника в корпус. Наконечник цилиндрической формы изготовлен из латуни, диаметр 3 мм, длина — около 5 мм. Корпус изготовлен из алюминия. Натяг составляет примерно 0,02 мм. Неточность расположения отверстий на корпусе доходит до 0,5 мм, и применение жесткой оснастки приводит к разрушению корпуса (втулка действует как протяжка). Установка оснастки на устройство корректировки погрешностей позволяет выполнять запрессовку за 0,1 с.

Запрессовка втулки в корпус. Тот же случай, что с наконечником, но размеры деталей больше.

Запрессовка штифта в слоистый пластик. Модель этой операции не отличается от модели операции вставления круглого стержня в круглое отверстие. Следует предотвратить расслоение материала.

Установка самонарезающих винтов в отверстия без резьбы. Точно так же, как при установке винтов в отверстия с резьбой.

Скользкая посадка деталей из металлического листа. В этом случае важно, чтобы жесткость деталей была намного больше, чем у устройства корректировки погрешностей. В противном случае не устройство корректировки, а собираемые детали будут деформироваться под действием сил, возникающих в точках контакта.

3. Установка инструмента.

Установка инструмента в держатель. При выполнении этой операции устройство корректировки работает так же, как при сборке с зазором или на скользящей посадке. Однако после того, как инструмент установлен в рабочий орган, необходимо жестко зафиксировать устройство корректировки — без этого инструмент (например, металлорежущий) не сможет работать.

Прижим инструмента к направляющим шпилькам. Направляющие шпильки задают начальное положение инструмента. Они располагаются на устройстве фиксации положения обрабатываемой детали. До начала обработки инструмент прижимается к этим шпилькам, и только после этого включается привод. В данном случае устройство корректировки упрощает подвод инструмента и гарантирует, что при его выполнении не возникнет больших усилий, приложенных к шпилькам, инструменту или устройству фиксации.

Сверление через кондуктор. При выполнении этой операции используется способность устройства корректировки внести сверло во втулку кондуктора с минимальными усилиями в боковом направлении, это существенно замедляет износ втулки. Применение этого приема позволяет выполнять прецизионное сверление с помощью обычного сверлильного оборудования.

Захватывание детали с выхода питателя. Устройство корректировки позволяет компенсировать угловые и линейные погрешности позиционирования захвата, возникающие за счет неточной установки питателя, его износа и разброса параметров деталей.

Подвод силомоментного датчика к объекту. Эта операция выполняется во всех случаях, когда необходимо измерять механические усилия (например, при сборке с силомоментной обратной связью или проверке наличия детали). Если параметры положения объекта, к которому должен подводиться силомоментный датчик, имеют большой разброс или погрешность позиционирования устройства подвода датчика превышает его рабочий диапазон, то выполнить измерение не удастся. Чем чувствительнее датчик, тем сложнее решать задачу. В этом слу-

чае устройство корректировки используется в качестве многомерного демпфера, ограничивающего усилия, приложенные к датчику, и позволяющего их измерять.

Оборудование, в котором может использоваться устройство с удаленным центром корректировки погрешностей. Устройства корректировки могут использоваться для выполнения сборочных операций и работы с материалами в составе такого технологического оборудования, как обрабатывающие головки с механическим приводом, ручные приспособления, промышленные роботы, телеуправляемые механизмы.

Применение устройств корректировки погрешностей в рабочих органах технологического оборудования упрощает решение задач точной установки, настройки и технического обслуживания. С помощью таких устройств можно упростить и ускорить выполнение операции сборки вручную. Для этого при малых величинах зазоров следует использовать сборочные приспособления (например, операция надевания крыльчатки вентиля юра на ось электродвигателя).

Сборочный робот должен выполнять операции в самых различных точках рабочего пространства. Роботизированная сборка предоставляет наиболее широкие возможности применения устройств с удаленным центром корректировки погрешностей, поскольку с их помощью можно компенсировать ошибки позиционирования при любом положении рабочего органа. Возможность использования таких устройств может стать основным аргументом в пользу роботизации сборки.

9.2. Крепление захватных устройств и инструмента

Замена захватных устройств и их элементов бывает необходима в связи с широкой номенклатурой ПП, с которыми приходится взаимодействовать ПР в конкретных производственных условиях. Часто одного ЗУ недостаточно для требуемой широкой номенклатуры предметов производства и приходится предусматривать возможность замены ЗУ или их элементов. Для части серийно выпускаемых ПР предусматривается комплектация сменными ЗУ, однако нередко штатных ЗУ, имеющихся в комплектах, оказывается недостаточно, и комплекты приходится пополнять новыми конструкциями, проектируемыми и изготавливаемыми по месту их эксплуатации.

В механических ЗУ для расширения их технологических возможностей используют различные технические решения.

1. Сменными являются рабочие органы целиком, вместе с приводом. Особенно это касается смены инструментов. Так, если ПР используется как технологический, то предусматриваются сменные рабочие органы (например, сварочные клещи), если как измерительный — то измерительный преобразователь. В подъемно-транспортных (вспомогательных) ПР ЗУ меняют вместе с приводом (рис. 9.8, *а*). При этом появляется возможность вводить в комплект ЗУ с двигателями, имеющими различные энергетические характеристики и значения хода выходного звена, включать в комплекты захваты устройства, имеющие другие принципы действия. Основным недостатком способа замены всего рабочего органа является громоздкость заменяемого блока.

2. Сменными являются механизмы ЗУ или инструментов (рис. 9.8, *б*), а привод, размещенный в руке ПР, остается постоянным. При этом принцип действия ЗУ остается, естественно, тем же, но можно выбором механизма передачи задавать различные направления перемещений рабочих элементов, увеличивать диапазон раскрытия ЗУ за счет уменьшения усилия захватывания, и наоборот. Можно автоматически заменять одну конструкцию ЗУ на другую, менять ЗУ и инструменты. При смене ЗУ не возникают трудности, связанные со стыковкой силовых магистралей; вследствие этого не снижается надежность соединений и уплотнений. Этот способ является наиболее распространенным и наиболее пригоден для автоматической смены.

3. Сменными являются звенья механизма ЗУ. На рисунке 9.8, *в* показано, как заменой рычагов 5, совершающих качательное движение, другими и установкой крышки 4 с серьгами на корпусе 7 ЗУ можно изменить его кинематику и обеспечить плоскопараллельное схождение рабочих элементов.

4. Сменными являются губки ЗУ (рис. 9.8, *г*). При этом обеспечивается приспособляемость ЗУ к форме поверхности предмета, за которую производится захватывание, в определенных пределах можно смещать диапазон раскрытия.

Замена ЗУ может осуществляться вручную, автоматизировано и автоматически. Возможность замены ЗУ предусматривается в большинстве выпускаемых ПР. Для обеспечения такой возможности осуществляются стандартизация и унификация типов соединений и присоединительных размеров ЗУ (ГОСТ 26063—84). Однако в обычных конструкциях смена ЗУ с его базированием и закреплением, производимая вручную, является трудоемкой, развинчивание и свинчивание при приложении больших усилий приводят к снижению надежности соединений.

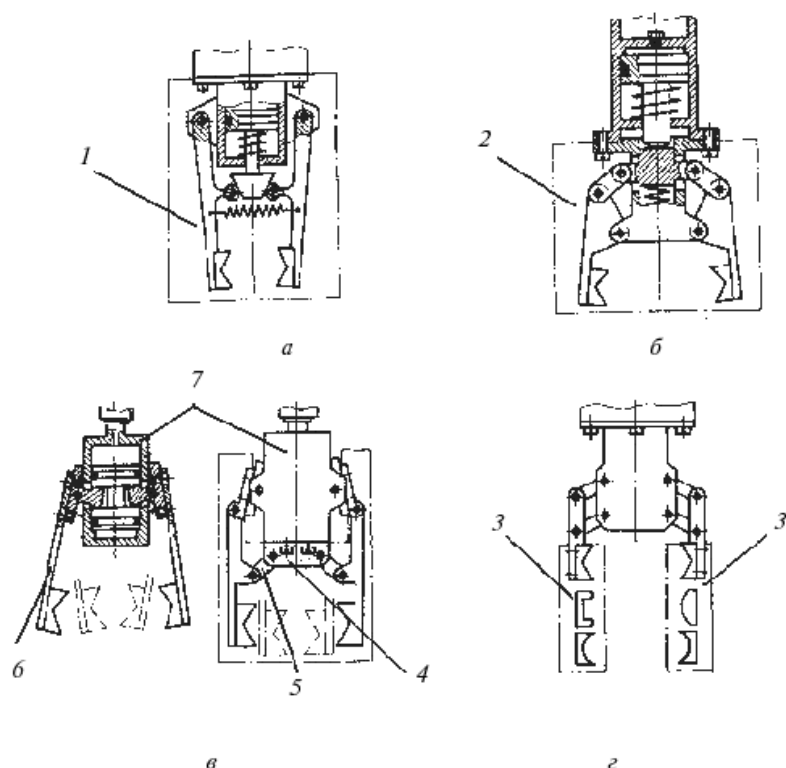


Рис. 9.8. Сменные узлы и элементы механических ЗУ:

а — смена рабочего органа целиком (1) вместе с приводом; *б* — смена механизма (2) ЗУ (привод остается в руке ПР); *в* — смена звеньев механизма ЗУ, крепящихся к его корпусу 7 (пальцев 6, рычагов 5 и крышки 4); *г* — замена губок (3)

К настоящему времени разработано немало конструкций быстро-сменных ЗУ, узлы крепления которых позволяют соединять ЗУ с рукой ПР простейшими движениями и часто без применения специального инструмента. При конструировании стыковочных узлов широко используют накопленный опыт в смежных областях машино- и приборостроения. Вручную могут выполняться все операции снятия старого ЗУ, установки и закрепления нового или только некоторые из них. В последнем случае при автоматизированной замене ЗУ сам процесс соединения может выполняться в режиме ручного управления с основного или выносного пульта. Такой способ замены является предпочтительным для ПР большой грузоподъемности с тяжелыми ЗУ.

В ПР, предназначенных для работы в гибких производственных системах, замена ЗУ должна осуществляться автоматически. При проектировании ПР с автоматической заменой ЗУ наибольшие сложности вызывает конструирование достаточно простых и надежных узлов стыковки ЗУ с рукой ПР. Опыт станкостроения может быть использован в первую очередь в части базирования и закрепления хвостовиков инструмента на рабочих позициях у многооперационных металлорежущих станков.

Конструкции мест крепления и присоединительные размеры являются важными характеристиками захватных устройств, влияющими на их применяемость, взаимозаменяемость, надежность работы промышленных роботов, удобство эксплуатации и ремонта.

Рекомендуется два исполнения мест крепления ЗУ: сменные и быстросменные.

Узлы стыковки. При проектировании узлов стыковки в первую очередь должны решаться три вопроса: задание баз для сменных ЗУ, обеспечение установки на базы и надежное закрепление при базировании. Основные схемы базирования представлены на рис. 9.9. Базирующими могут быть такие сочетания поверхностей: плоскость и поверхности двух штифтов, плоскость и поверхности плоского выступа, конус и поверхности продольного выступа, плоскости пира-

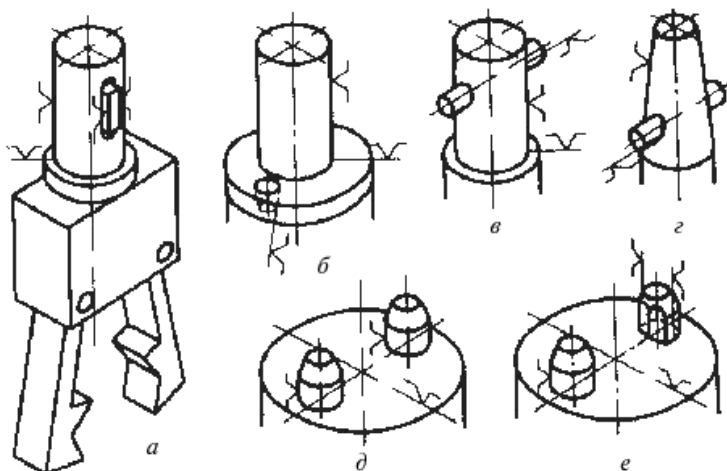


Рис. 9.9. Основные схемы базирования стыковочных узлов ЗУ с рукой ПР:

a — по шпонке; *б* — по цилиндру; *в* — по штифту;
г — по конусу; *д, е* — по штифтам и плоскости

миды. Заметим, что в тех случаях, когда усилия, действующие на ЗУ, относительно невелики, можно использовать базирование по малым участкам поверхностей или по линиям. Важным является требование, чтобы установка на базы осуществлялась простым движением (желательно, прямолинейным) и для удержания сменной части в состоянии базирования было достаточно силы, приложенной в том же направлении. Все описанные схемы удовлетворяют этому требованию.

Задачу обеспечения правильной установки на базы в процессе программного сближения руки с ЗУ при соединении можно рассматривать как частный случай задачи автоматической сборки. Соединение должно произойти при наличии рассогласований в положении и взаимной ориентации хвостовика ЗУ и ответной части на руке ПР; необходимо исключить заедание и заклинивание сочленяемых частей. Для этого нужно обоснованно выбирать зазоры в соединяемых парах вал — втулка, должны быть предусмотрены заходные фаски и скосы поверхностей, по которым происходит скольжение, обеспечена достаточно малая шероховатость поверхностей. Соединение ЗУ с рукой ПР должно легко разбираться, рассоединяться, поэтому некоторые традиционные виды соединений оказываются неприемлемыми. Так, посадка на конус Морзе реализует заклинивание и обеспечивает точное и надежное фиксирование, однако разъединение требует больших усилий (одним из эффективных является способ разъединения ударом, но для его реализации требуется значительное усложнение конструкции). Самостоятельной и наиболее сложной является задача закрепления (удерживания, фиксирования) при базировании ЗУ, соединенного с рукой ПР. Устройство, создающее удерживающую силу при базировании ЗУ по функциональному назначению, само по себе представляет собой узко специализированное захватное устройство, предназначенное для захватывания и удерживания только одного предмета — хвостовика основного ЗУ. Как и для основного ЗУ, удерживающее усилие может создаваться различными средствами и на основе различных физических принципов: с помощью крепежных или упругих элементов, самостоятельными активными приводами (пневматическими, гидравлическими или электрическими двигателями), магнитами или электромагнитами, вакуумными камерами, а также их различными сочетаниями.

Конструкции мест крепления ЗУ и размерные ряды разнообразны. В зависимости от конструкции присоединительных поверхностей захватные устройства подразделяют на:

- захватные устройства с фланцем;
- захватные устройства с цилиндрическим хвостовиком;
- другие (с клеммными, цанговыми зажимами и пр.).

В таблице 9.1 приведены рекомендации по конструктивному оформлению мест крепления ЗУ в зависимости от грузоподъемности ПР.

Согласно ГОСТ 26063—84 присоединительные размеры фланцев роботов для присоединения захватных устройств должны соответствовать рис. 9.10 и табл. 9.2.

Таблица 9.1

Рекомендации по конструктивному оформлению мест крепления захватных устройств в зависимости от грузоподъемности ПР

Промышленный робот		Конструктивное оформление места крепления ЗУ
Тип	Грузоподъемность, кг	
Сверхлегкий	До 1	Зажимы: цанговый или клеммный
Легкий	Свыше 1 до 10	Крепление с хвостовиком или фланцевое, в том числе быстросменное крепление
Средний	Свыше 10 до 200	
Тяжелый	Свыше 200 до 1 000	Фланцевое крепление, несменяемые (постоянные ЗУ)
Сверхтяжелый	Свыше 1 000	

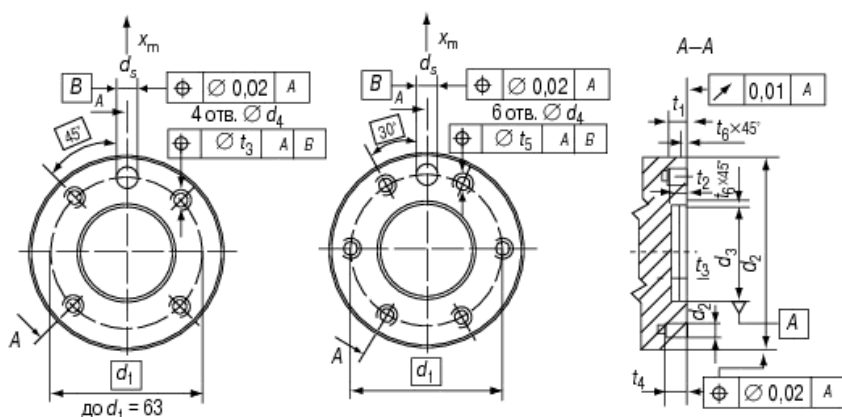


Рис. 9.10. Места крепления сменных ЗУ (см. табл. 9.2) согласно ГОСТ 26063—84

Таблица 9.2

**Присоединительные размеры фланцев роботов по ГОСТ 26063—84
для присоединения захватных устройств (см. рис. 9.10)**

Размеры, мм												
d_1		d_2	d_3	d_4	d_5	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	Число отвер- стий
Ряд 1	Ряд 2	h_8	h_7		h_7	не менее						
25		31,5	16	M4	4	6	4	4	См. п. 10	0,1	0,5	4
	31,5	40	20	M5	5		5					
40		50	25	M6	6			6				
	50	63	31,5									
63		80	40									
	80	100	50	M8	8		8			0,15	Не менее 1	6
100		125	63									
	125	160	80			M10	10					
160		200	100									
	200	250	125	M12	12				12			
250		315	160						0,2			

Пример условного обозначения фланцев с диаметром расположения крепежных отверстий $d_1=40$ мм:

Фланец 40 ГОСТ 26063—84

Примечание. Размеры диаметров фланцев d_1 по ряду 1 являются предпочтительными.

В конструкцию мест крепления введены центрирующие элементы — отверстия на манипуляторе и выступ на захватном устройстве диаметра d_5 . Этот диаметр принят в качестве основного конструктивного параметра. Значения диаметра соответствуют ряду R10 по ГОСТ 6636—69 со значениями от 32 до 160 мм, за исключением размера 45 мм, взятого из ряда R20 вместо значений 40 и 50 мм в целях уменьшения числа типоразмеров фланцев. Поскольку в ряде случаев эксплуатационным требованиям удовлетворяет способ установки захватного устройства на манипуляторе, при котором захватное устройство базируется только по стыковочной плоскости фланца, ГОСТ 26063—84 допускает не выполнять посадочные элементы диаметром d_5 .

Предусмотрено два исполнения фланцев — с восемью и четырьмя отверстиями. Принятое расположение отверстий обеспечивает:

- взаимозаменяемость фланцев разных исполнений одного диаметра;
- возможность переустановки захватного устройства с поворотом вокруг продольной оси на 45 и 90°.

Допускается использовать в конструкциях мест крепления дополнительные конструктивные элементы, например шпоночные пазы, штифтовые отверстия и пр.

Сменные захватные устройства по способу замены подразделяют на заменяемые вручную и заменяемые автоматически. Заменяемые вручную ЗУ могут быть сменными и быстросменными.

К быстросменным относятся ЗУ с цилиндрическими хвостовиками. Диаметры цилиндрических хвостовиков захватных устройств следует выбирать из ряда: 6,0; 10,0; 12,5; (14,0); 20,0; 25,0; 30,0; 40,0; 50,0; 60,0; 80,0; 100,0; 125,0; 160,0.

Ведомственные рекомендации по конструктивному оформлению мест крепления захватных устройств, основываясь на ГОСТ 26063—84, в частности могут отличаться по некоторым параметрам. Обычно такие рекомендации преследуют цель большей унификации мест крепления с приданием им универсальности, т.е. пригодности к применению сменных, быстросменных и автоматически сменяемых захватных устройств.

В РТМ 2 РОО-1—78, разработанных НПО ЭНИМС и утвержденных Минстанкопромом СССР для своей продукции (рис. 9.11 и табл. 9.3),

Таблица 9.3

Основные размеры (мм) мест крепления сменных захватных устройств согласно РТМ 2 РОО-1—78 (см. рис. 9.11)

d	D_1	d_1	l , не ме- нее	D_2	d_3 , не ме- нее	h	t	n^*		Сто- рона квал- д- рата
								Испол- нение I	Испол- нение II	
10	18	M4	6	30	26	3	2	4	4	20
20	30	M5	7	40	40	4	2			30
40	52	M6	9	60	64	R	3			48
60	76	M8	12	90	92	6	3			68
90	110	M10	15	144	130	8	4	7		110
120	140	M10	15	180	160	8	4			140
360	184	M12	18	240	208	10	5			182
200	232	ЛИ 6	24	300	264	12	5			230

* n — число крепежных отверстий.

Примечания: 1. Отклонение центрального угла между осями крепежных отверстий по ГОСТ 14140—81.

2. При использовании ЗУ со встроенным пневмоприводом выполнение канавки размером $h \times t$ необязательно.

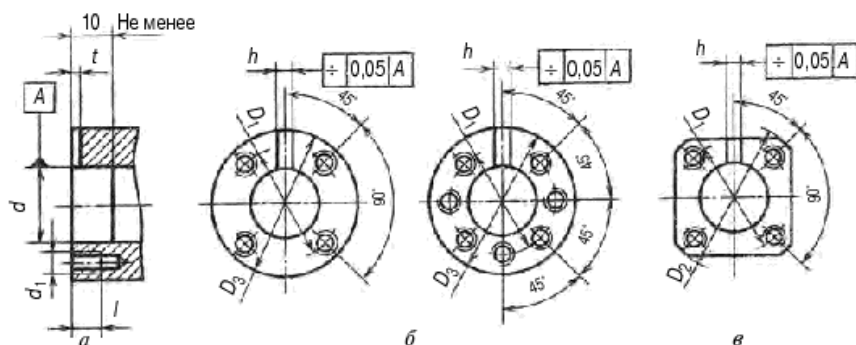


Рис. 9.11. Места крепления сменных ЗУ (см. табл. 12.1) согласно РТМ 2 РОО-1—78: *а* — вид сбоку; *б* — исполнение I; *в* — исполнение II

в качестве конструктивного исполнения мест крепления сменных ЗУ рекомендовано фланцевое крепление, причем на руке ПР выполняется фланец с центрирующим отверстием по оси и с резьбовыми отверстиями вокруг него. Такая конструкция позволяет размещать часть элементов ЗУ внутри руки ПР, осуществлять связь ЗУ, не имеющих встроенного привода, с приводом, находящимся в руке, являясь при этом простой и универсальной.

Предусмотрено два исполнения фланцев: круглой и квадратной формы, причем координаты резьбовых отверстий в обоих случаях остаются постоянными (для данного типоразмера) и оба исполнения креплений — взаимозаменяемы.

Быстросменные ЗУ. РТМ 2 РОО-1—78 рекомендует байонетное крепление, которое можно использовать как для быстрой ручной, так и для автоматической смены ЗУ. Узел крепления (рис. 9.12) включает гнездо *1*, выполненное на руке ПР, хвостовик *2* захватного устройства и приспособление *3* для его угловой фиксации. При установке хвостовик ЗУ вводится в гнездо с одновременным отжимом упора *3*, затем ЗУ поворачивается на 90° (см. вид *А—А*), и упор *3* закликивает в отверстие, выполненное на фланце ЗУ. Для смены ЗУ требуется повернуть его относительно гнезда на 90° и вынуть из гнезда. Конструкция и размеры приспособлений для угловой фиксации ЗУ по отношению к руке ПР зависят от конструкции руки и не регламентируются.

Основные размеры узла крепления, выполненного в соответствии с конструкцией на рис. 9.12, приведены в табл. 9.4.

Допустимые крутящие и изгибающие моменты для мест крепления приведены в табл. 9.5 и 9.6.

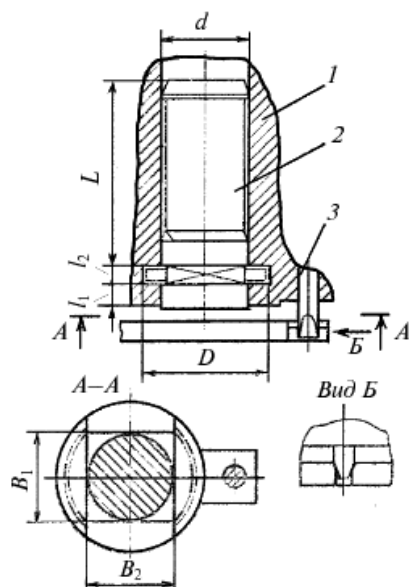


Рис. 9.12. Места крепления быстросменных ЗУ (см. табл. 9.2) согласно РТМ 2 РОО-1—78:

1 — гнездо в руке робота; 2 — хвостовик ЗУ; 3 — фиксатор

Таблица 9.4

Основные размеры (мм) мест крепления быстросменных захватных устройств согласно РТМ 2 РОО-1—78 (см. рис. 9.12)

d	D	L	L_1	L_2	B_1	B_2
20	32	40	7	6	20	21
30	44	60	9	8	30	31
40	56	85			40	41
50	68	100			50	51
60	80	120	11	10	60	61

Таблица 9.5

Допустимые крутящие моменты (Н·м) для мест крепления сменных захватных устройств согласно РТМ 2 РОО-1—78 (см. рис. 9.11)

Исполнение	Диаметр базового отверстия, мм							
	10	20	40	60	90	120	160	200
I	4	12	30	80	310	400	770	1 845
II	4,4				180	230	440	1 050

Таблица 9.6

**Допустимые изгибающие моменты (Н·м) в местах крепления
сменных захватных устройств (см. рис. 9.11)**

Исполнение	Диаметр базового отверстия, мм							
	10	20	40	60	90	120	160	200
I	20	50	140	400	1 300	1 700	3 300	7 800
II					900	1 100	2 200	5 200

Пример другой конструкции байонетного крепления быстросменного ЗУ приведен на рис. 9.13. Фиксирование хвостовика ЗУ происходит в фигурном пазе, вырезанном в корпусе. Движение выступа на хвостовике сменного ЗУ изображено штриховой линией со стрелками. На первом этапе движения поджимается пружина, она осуществляет фиксирование в конечном положении. Закрепление и освобождение осуществляются при относительно небольших усилиях (моментах), которые развиваются двигателями основных приводов ПР. Регулирование усилий может осуществляться предварительным поджатием пружин. Характерным для использования пружин в качестве источника усилий является необходимость выполнения сложных, многоступенчатых движений. В данном случае необходимо двойное движение: сначала выдвижение руки вперед до упора, а затем вращение вокруг продольной оси руки. Соединение с помощью описанного устройства оказывается достаточно надежным, если на всех этапах переноса предмета продольная составляющая силы инерции, действующей на ЗУ вместе с предметом, меньше силы поджатия пружины в положении фиксирования ЗУ.



Рис. 9.13. Схема удержания ЗУ в руке ПР с использованием пружин

Механизм автоматической смены ЗУ согласно РТМ 2 РОО-1—78 выполняется на основе нормализованного быстросменного крепления, показанного на рис. 9.12.

Схема механизма автоматической смены представлена на рис. 9.14.

Захватные устройства, предназначенные для автоматической смены, помещаются в магазинное устройство, которое может быть выполнено в виде неподвижной стойки или поворотного диска с соответству-

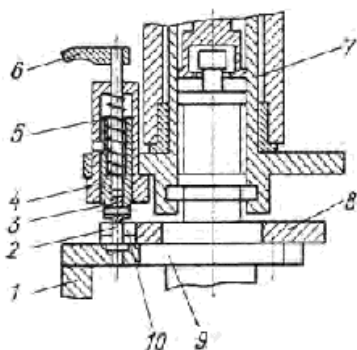


Рис. 9.14. Механизм автоматической смены захватных устройств (конструкция НПО ЭНИМС):

- 1 — гнездо магазина захватных устройств инструментов; 2 — штифт;
3 — ролик; 4 — скалка; 5 — втулка; 6 — рычаг; 7 — рука робота;
8 — фланец; 9 — центрирующий пояс; 10 — паз

ющими гнездами 1. Каждое ЗУ опирается на торцовую поверхность стойки фланцем 8 и центрируется цилиндрическим пояском 9 по гнезду, имеющему форму отверстия с вырезом для прохода верхней части корпуса захвата. Угловое положение ЗУ определяется штифтом 2.

Угловая фиксация ЗУ в руке робота 7 осуществляется фиксатором, который представляет собой подпружиненную скалку 4 с роликом 3. Он закрепляется во втулке 5, помещенной на руке робота 7. От поворота скалка удерживается винтом. Для ручной расфиксации захватного устройства она связана также с рычагом 6. На рисунке 9.14 показана установка ЗУ в гнездо 1 магазина перед раскрытием байонетного замка (схема соответствует взятию ЗУ из магазина). Поскольку штифт 2 магазина входит в тот же паз 10 фланца 8, что и ролик 3 фиксатора, то в момент установки ЗУ в магазин, показанный на рисунке штифт 2, отжимает фиксатор, что обеспечивает поворот руки робота 7 с фиксатором на угол 90° , что необходимо для раскрытия байонетного замка. При повороте руки 7 на угол 90° ролик 3 отжатого фиксатора катится по поверхности фланца 8. После поворота на угол 90° рука 7 уходит вверх, оставляя ЗУ в гнезде магазина 1.

При взятии ЗУ из магазина рука, перемещаясь вертикально, надевается на его хвостовик. При этом фиксатор повернут на 90° относительно паза. Взаимодействуя с фланцем 8, фиксатор отжимается. При повороте руки на 90° байонетный замок замыкается, ролик 3 при этом катится по поверхности фланца 8. В конце поворота ролик 3 оказывается на торце штифта 2. Далее рука поднимается, увлекая за собой

инструмент, причем паз 10 ЗУ сходит со штифта 2, а фиксатор входит в него сверху под действием пружины. Для смены ЗУ ручную расфиксация осуществляется рычагом 6.

Стыковка коммуникаций (трубопроводов, кабелей) является самостоятельной задачей. Штекерные разъемы нужны для электрических каналов связи датчиков очувствления с устройством управления. Для узлов стыковки трубопроводов необходимы уплотнения, которые не препятствовали бы стыковке и допускали бы многократное соединение.

На разъемах стыковочных узлов сменных захватных устройств целесообразно устанавливать контактные или бесконтактные датчики контроля выполнения операций соединения или отсоединения.

Контрольные вопросы

1. Какие применяют виды установки захватных устройств и инструментов на конечном звене манипулятора?
2. Расскажите об устройствах корректировки взаимного положения захватных устройств и объектов манипулирования.
3. Опишите виды крепления захватных устройств к руке робота. Сменные и быстросменные ЗУ. Устройство автоматической смены ЗУ.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ, ИСПЫТАНИЯ И ПРИЕМКА РАБОЧИХ ОРГАНОВ

10.1. Обеспечение безопасности при работе захватных устройств и инструментов

Требования безопасности, предъявляемые к конструкциям захватных устройств и инструментов, которыми оснащают промышленные роботы, в общем виде должны соответствовать ГОСТ 12.2.072—98 «Роботы промышленные. Роботизированные технологические комплексы. Требования безопасности и методы испытаний». В этой связи применительно к рабочим органам ПР требования надежности, простоты обслуживания и безопасности в работе должны прежде всего соответствовать требованиям, сформулированным в подразделах 1.2 и 2.2 настоящей работы. Для обеспечения работоспособности РТК и промышленного робота его рабочий орган должен быть надежным, удобным для технического обслуживания и безопасным в работе. Эти понятия неразрывно связаны между собой. Для любого оборудования и его компонентов выполнение требований надежности, удобства обслуживания и безопасности в работе обязательно.

Рабочий орган, закрепленный на конечном звене манипулятора, является источником повышенной опасности, поскольку перемещается в пределах рабочей зоны ПР с наибольшей скоростью по сравнению с подвижными звеньями других механизмов, входящих в состав РТК. Он должен:

- обеспечить безопасность обслуживающего персонала при возможном контакте с ним в любой ситуации (вызванным неосторожностью рабочего, сбоями в работе, непредусмотренным отключением питания, аварийной командой СТОП и т.д.);
- быть защищен от воздействия вредных и агрессивных факторов производственной среды;

- не допускать собственных повреждений и поломок обслуживаемого оборудования при столкновении, любом другом контакте или заклинивании (вызываемых возможными сбоями управляющих программ ПР и оборудования), взаимодействуя с деталями и узлами производственного оборудования, входящего в состав РТК;
- быть обеспечен сигнализацией о возникновении каких-либо неполадок в работе, выведенной на пульт оператора ПР;
- соответствовать технологическим параметрам и конструктивным показателям согласно разработанной технической документации, в том числе требованиям надежности и безотказности в работе, ремонтпригодности и удобства обслуживания;
- быть экологически чистым, не создавать загрязнений или каким-либо образом мешать протеканию производственного процесса;
- соответствовать требованиям безопасного эргономического оформления: в его конструкции должны быть исключены острые кромки и грани.

Вредные факторы производственной среды, от воздействия которых должен быть защищен рабочий орган ПР.

1. Окружающая температура: до 50 °С без воздушного или жидкостного охлаждения.
2. Тепловое излучение: источник до 1100 °С.
3. Удар: амплитуда от 10 мм, частота до 2 Гц.
4. Электромагнитные помехи: прерывание управляющих сигналов, переходные процессы при включении двигателей, высокочастотное нагревание.
5. Аэрозоли: водные и других охлаждающих жидкостей, часто агрессивных, взвесей покрытий в окрасочных камерах и т.п.
6. Дымы и пары: химикаты, используемые в технологическом процессе, испарения ванн химической очистки и гальванопокрытий, очистка паром.
7. Частицы вещества: песок, металлические опилки, стружка, горячий шлак.
8. Возможность возгорания или взрыва: открытый огонь, взрывчатые газы и смеси паров.

Часто рабочий орган можно сделать невосприимчивым к воздействию того или иного вредного фактора производственной среды за счет конструктивных решений.

Воздействие повышенной температуры и теплового излучения на ЗУ, характерное при работе в термических, литейных, ковочных и горячештамповочных цехах, уменьшают за счет:

- применения жаропрочных сталей в конструкциях рабочих элементов ЗУ;
- обдува захватного устройства сжатым воздухом;
- периодического (предусмотренного циклом работы ПР) опускания захватного устройства в охлаждающую ванну с водой.

Установка электрических и электронных устройств и гидравлических приспособлений на кисти руки манипулятора исключается. Не рекомендуется или исключается применение электромеханического и гидравлического привода ЗУ.

Резкие периодические ударные воздействия на ЗУ, характерные для кузнечных и штамповочных цехов, особенно когда манипулятор должен удерживать заготовку и манипулировать ею во времяковки, компенсируют:

- применением особо прочных захватных устройств;
- применением жестких пружинных демпферов при установке захватных устройств на конечном звене манипулятора.

Электромагнитные помехи, характерные для электродуговой и точечной сварки, а также при работе с установками ТВЧ или вызываемые другими источниками, снижают или исключают за счет применения:

- защитных экранов для систем управления и информации промышленных роботов;
- захватных устройств, не восприимчивых к помехам (с пневматическим, гидравлическим, электромеханическим приводом), в том числе — вакуумных, аэродинамических и пневматических ЗУ.

Применение электромагнитных захватных устройств исключается.

Частицы вещества: песок, металлические опилки, стружка, горячий шлак, способные нарушить работоспособность ЗУ, обычно удаляют сжатым воздухом.

Воздействие агрессивных аэрозолей, паров и испарений химически активных жидкостей исключают применением химически стойких материалов и накладок для рабочих элементов ЗУ.

Защита от силового контакта и взаимодействия с оборудованием обеспечивается средствами безопасности, расположенными непосредственно на элементах конструкции рабочего органа или руки манипулятора.

Защита от заклинивания при непредусмотренном сцеплении с элементами обслуживаемого оборудования, например при сбое управляющей программы, в результате чего кулачки патрона станка не раскрылись, а робот получил команду на съём детали. Робот начинает «выдирать» деталь из патрона. Другая ситуация: самопроизвольное включение станка после захвата детали роботом.

Для недопущения аварии и поломок в месте стыковки рабочего органа с конечным звеном манипулятора устанавливают:

- силовые и силомоментные датчики, формирующие сигналы на аварийный СТОП робота и РТК при превышении предельно допустимых значений сил, а также крутящих и изгибающих моментов в этом узле, предусмотренных программой ПР;
- электромеханические предохранители, при разрушении которых отключается питание ПР и РТК;
- концевые выключатели, отключающие питание ПР и РТК при недопустимом смещении рабочего органа относительно конечного звена манипулятора.

Защита от силового контакта рабочего органа ПР с элементами обслуживаемого оборудования и обслуживающим персоналом обеспечивается датчиками и информационными устройствами, расположенными непосредственно на элементах конструкции рабочего органа или робота и останавливающими его движение при возникновении реальной угрозы силового столкновения. Разнообразные по конструктивному исполнению и физическим принципам, положенным в основу их работы, эти датчики можно подразделить по типу взаимодействия с человеком на тактильные и бесконтактные.

Тактильные датчики представляют собой механическую конструкцию (щитки, усы и т.п.), окружающую рабочий орган ПР. Захватные устройства часто оснащают подпружиненными защитными скобами, соединенными с микропереключателями, срабатывающими при контакте с препятствием на пути перемещения ЗУ. По такому же принципу работают буфера робокар.

При соударении с препятствием эта конструкция меняет свою геометрическую форму, срабатывает коммутирующий элемент и в систему управления поступает сигнал, блокирующий дальнейшее перемещение ПР. При создании устройства подобного типа следует обратить особое внимание на следующие два вопроса. Во-первых, так как механическая конструкция такого датчика может входить в соприкосновение с телом человека, необходимо обеспечить безопасность такого контакта с учетом скорости перемещения ПР и механической жесткости конструкции датчика. Во-вторых, при расчете геометрических параметров конструкции датчика, в частности расстояния от возможной точки соприкосновения механической конструкции с телом человека в момент срабатывания датчика, его следует выполнять таким, чтобы ПР успел полностью остановиться, не нанеся вреда человеку.

Датчики такого типа реализуются с помощью относительно простых и дешевых электрических и механических составляющих, однако имеют существенный недостаток: их срабатывание происходит в результате механического контакта с телом человека. Поэтому наиболее перспективными являются датчики бесконтактного типа.

Датчики бесконтактного типа предназначены для защиты обслуживающего персонала и состоят из совмещенных излучателя и приемника светового или ультразвукового излучения. Отразившись от тела человека, поток излучения возвращается в приемник и вызывает срабатывание датчика. Технические трудности, возникающие при создании датчиков такого типа и оснащении ими роботов, связаны с тем, что практически невозможно обеспечить дискретность отраженного сигнала (например, при расположении излучателя и приемника друг против друга в датчиках ограждения рабочей зоны РТК). Отраженный сигнал в таких датчиках может быть получен не только от тела человека, подошедшего на опасное расстояние к ПР, но и от оборудования, входящего в состав роботизированного производства. Поэтому особое внимание в этом случае должно быть уделено правильной ориентации и фокусировке излучаемого потока.

Пример технического решения приведен на рис. 10.1.

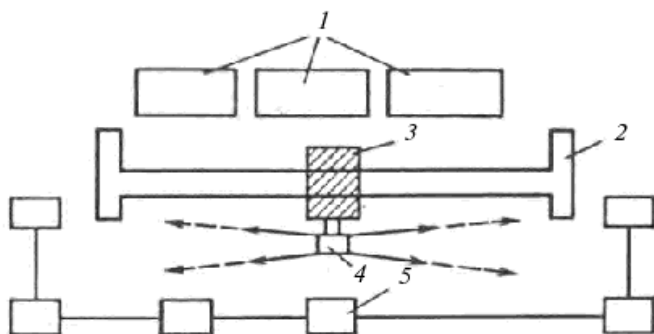


Рис. 10.1. Локационный датчик безопасности:

1 — станок; 2 — монорельс ПР; 3 — каретка с манипулятором ПР;
4 — локационный датчик; 5 — система светоограждения

Разумеется, устройства, обеспечивающие требования безопасности работы рабочего органа, должны быть увязаны с системой безопасности робота и РТК. Избежать столкновения ПР с человеком или по крайней мере уменьшить тяжесть последствий такого столкновения можно также, оборудовав ПР другими средствами обеспечения безопасности [10, 12, 31].

Специальные требования обеспечения безопасности зависят от конструкции и назначения рабочего органа. Рабочие органы ПР должны отвечать следующим требованиям:

- прекращение подачи питания не должно приводить к сбою программы отпусканью груза или к возникновению другой опасной ситуации;
- статические и динамические нагрузки, создаваемые совместно грузом и рабочим органом (например ЗУ), должны быть в пределах грузоподъемности и динамической характеристики ПР.

Требования безопасности к конкретным типам рабочих органов ПР, учитывающие специфические особенности их конструкции и условия эксплуатации, должны быть указаны в стандартах и технических документах на эти ЗУ и инструменты.

Захватные устройства должны обеспечивать следующие требования безопасности.

Усилие захватывания должно соответствовать массе детали и скорости ее перемещения (для предотвращения выпадения детали во время транспортирования), не вызывать повреждений поверхности ПП.

Блокировка раскрытия ЗУ при нажатии кнопки аварийный СТОП и при отключении питания¹. Необходимо предусмотреть специальные технические решения предотвращения выпадения детали из захвата при выключении системы электроснабжения ПР. Одним из таких решений может быть специальная самоудерживающая конструкция захвата; в других случаях можно организовать работу захватного устройства только на раскрытие, а закрытие будет происходить пассивно — под действием усилия, развиваемого устройством, аккумулирующим энергию (например, пружиной).

Сварочные аппараты требуют ограждения рабочего места защитными экранами, предохраняющими глаза от вспышек света и искр.

Краскопульты также требуют защитных экранов и системы вытяжной вентиляции или обеспечения работы окрасочного РТК в специальной изолированной камере.

Силовые технологические головки механообработки (шлифовальные, сверлильные и пр.) должны быть снабжены подачей СОЖ, а рабочая зона РТК — закрыта защитными экранами.

¹ Требование блокировки раскрытия ЗУ должно выполняться и проверяться, если это предусмотрено технической документацией на ЗУ и (или) ПР. Подобные требования, например, не являются обязательными:

- для ПР малой грузоподъемности (в этом случае выпадение детали не представляет опасности для человека, а выполнение рассматриваемого требования может привести к неоправданному усложнению конструкции);
- для ПР, обслуживающих горячепластовые прессы (для таких ПР при внезапных остановках необходимо срочное высвобождение заготовок, чтобы исключить перегрев захватных устройств).

Сборочные и измерительные технологические головки часто требуют обеспечения чистоты помещения, где попадание ничтожно малых частиц смазки на оборудование нарушит нормальный ход технологического процесса.

Надежность рабочего органа и его коэффициент технического использования должны быть равны или выше аналогичных показателей комплектующего промышленного робота, т.е. конструкция рабочего органа должна обеспечивать возможность быстрого и легкого ремонта. Как показывает практика, наработка на отказ T_o захватного устройства должна быть равна или более 2000 ч. Коэффициент технического использования (ТИ) $K_{ТИ}$ рабочего органа не может быть менее 97%.

Готовность, или период работоспособного состояния, зависит не только от собственной надежности рабочего органа, но и от его ремонтпригодности, т.е. от простоты и скорости ремонта при поломке или отказе.

При проектировании рабочего органа между названными показателями устанавливают следующую связь:

$$K_{ТИ} = \frac{T_o}{T_o + T_{пл.р} + T_{ТО}}. \quad (10.1)$$

где $T_{пл.р}$ — среднее время, затрачиваемое на плановый ремонт рабочего органа между его наработками на отказ; $T_{ТО}$ — суммарное время простоев из-за технического обслуживания (ТО) рабочего органа.

$$T_{пл.р} + T_{ТО} \geq T_o \left(\frac{1 - K_{ТИ}}{K_{ТИ}} \right). \quad (10.2)$$

Принимая $K_{ТИ} \geq 0,97$, получим $T_{пл.р} + T_{ТО} \geq 0,308 T_o$.

Для захватных устройств при $T_o \geq 2000$ ч получим $T_{пл.р} + T_{ТО} \geq 62$ ч.

Для различных типов инструментов значения T_o могут отличаться от 2000 ч; они устанавливаются соответствующими нормами, находя отражение в технической документации. Однако и для инструментов следует стремиться к обеспечению $K_{ТИ} \geq 0,97$.

10.2. Испытания рабочих органов

Испытания рабочих органов промышленных роботов (как и других устройств) предусматривают экспериментальное определение конструктивных и эксплуатационных свойств для выявления их соответствия техническим требованиям или для опытного изучения реальных процессов, происходящих в этих механизмах.

Виды испытаний. При приемке и проведении любых видов испытаний обязательным требованием является проверка соответствия всех технических параметров рабочего органа (захватного устройства, инструмента, технологической головки) промышленного робота своему назначению и требованиям безопасности.

Общие правила приемки и методы испытаний захватных устройств и инструментов промышленных роботов установлены ГОСТ 26053—84 «Роботы промышленные. Правила приемки. Методы испытаний». Испытаниям подлежат опытные образцы рабочих органов промышленных роботов, изделия из установочной серии, изделия серийного производства, а также изделия единичного и разового производства.

Испытания опытных образцов рабочих органов предназначены для выявления их основных качеств перед запуском в производство. По результатам исследовательских (лабораторных) и приемочных испытаний составляют соответствующие акты, на основании которых решают вопрос о запуске опытного образца в серийное производство или его доработке.

Испытания образцов серийного производства проводят для проверки качества выпускаемых устройств и их соответствия техническим требованиям. В процессе таких испытаний контролируется в основном правильность сборки и соответствие рабочего органа своему технологическому назначению.

Виды испытаний этих образцов в зависимости от стадии разработки и этапа освоения серийного производства приведены в табл. 10.1.

Таблица 10.1

**Виды испытаний, которым подвергают различные образцы
рабочих органов промышленных роботов**

Образец для испытаний	Доводочные	Приемосдаточные	Исследовательские	Предварительные	Приемочные	Аттестационные	Периодические	Типовые
Опытный	+	+	+	+	+	+	—	—
Из установочной (первой промышленной) серии	+	+	+	—	—	+	—	—
При серийном производстве	—	+	+	—	—	+	+	+
Единичного или разового производства	+	+	+	—	+	—	—	—

* Целесообразность проведения устанавливает разработчик.

Для опытных образцов и установочной серии приемосдаточные и аттестационные испытания проводят по ГОСТ Р 15.201—2000 «Система разработки и постановки продукции на производство».

Испытания опытных образцов, аттестационные, типовые и все виды государственных испытаний проводят по программам и методикам испытаний (ПМИ), утвержденным и (или) аттестованным в установленном порядке. Приемосдаточные и периодические испытания проводят в соответствии с правилами и методами, установленными в технических условиях (ТУ) на конкретный рабочий орган.

Приемосдаточные испытания проводят методом сплошного контроля. В случаях, предусмотренных техническими условиями на конкретные рабочие органы, допускается выборочный контроль.

При выборочном контроле испытаниям следует подвергать рабочие органы, выбранные в соответствии с ГОСТ 18321—73 «Статистический контроль качества. Методы случайного отбора выборок штучной продукции». Если в процессе приемосдаточных испытаний будет обнаружено несоответствие рабочего органа хотя бы одному требованию нормативно-технической документации, результаты испытаний считают неудовлетворительными. После устранения всех выявленных дефектов испытания повторяют в полном объеме.

Периодическим испытаниям подвергают рабочие органы, выдержавшие приемосдаточные испытания, не реже одного раза в два года.

Типовые испытания проводят при внесении изменений в конструкцию, материалы или технологию изготовления серийно выпускаемых рабочих органов (захватных устройств, инструментов, технологических головок), влияющих на их технические характеристики или работоспособность, а также для оценки эффективности указанных изменений. Типовым испытаниям подвергают головной образец рабочего органа каждой серии для проверки его соответствия техническим условиям и документации, а также головной образец из новой серии, изготовленной после изменения конструкции, материалов, технологии по специально разработанным ПМИ в объеме, необходимом для проверки функциональной работоспособности измененной составной части рабочего органа и оценки влияния на его работу в целом.

Все вышесказанное в полной мере относится к захватным устройствам.

При испытаниях захватных устройств номинальную грузоподъемность проверяют контролем надежного захватывания и удержания ПП при работе в автоматическом режиме на максимальных паспортных скоростях, рекомендуемых для ПР подобных типов.

Контрольные испытания на надежность следует проводить по ГОСТ 27.003—90 и ГОСТ 13216—74. Контролируемые показатели надежности выбирают по ГОСТ 4.480—87. Периодичность проведения испытаний показателей надежности устанавливают в технических условиях и ПМИ на конкретные схваты.

Испытания ЗУ проводят в эксплуатационных условиях или на испытательных стендах, в которых обеспечивается имитация эксплуатационных условий.

При испытаниях инструментов и технологических головок различного назначения следует иметь в виду, что лишь часть конструкций проектируют специально для промышленных роботов (и тогда к ним применимы все рекомендации табл. 10.1). Значительная часть инструментов представляет собой покупные механизированные образцы (предназначенные для непосредственного использования оператором вручную), которые модернизируют для комплектации ими промышленных роботов. В последнем случае они подвергаются номенклатуре испытаний по программе для опытного образца, а при принятии решения о расширенном воспроизводстве модернизированного инструмента — по программе образца из установочной серии (см. табл. 10.1). Испытания проводят по специально разработанному ПМИ в объеме, необходимом для проверки соответствия функциональному назначению, показателям надежности, требованиям безопасности и обеспечения технологических показателей комплектующего этим инструментом промышленного робота.

По месту и условиям проведения испытаний различают лабораторные, стендовые (на которых имитируются производственные и экстремальные условия, а также возможные критические нагрузки), полигонные (испытания на опытных роботизированных участках) и эксплуатационные испытания; по продолжительности проведения и объему — расширенные, нормальные, ускоренные (форсированные и сокращенные).

Испытания рабочих органов должны проводиться при всех режимах, применяемых для промышленного робота, который комплектуется этими рабочими органами. Исключения отдельных режимов определяются разработчиком.

При проведении испытаний должны быть обеспечены свободный доступ к контролируемым элементам, а также удобство визуального наблюдения за работой рабочего органа, контрольно-измерительной аппаратуры и приборов. На месте проведения испытаний должны быть обеспечены безопасные условия работы специалистов, принимающих участие в испытаниях, согласно ГОСТ 12.2.072—98.

Подготовку к испытаниям начинают с проверки наличия энергоносителей и значений их параметров на соответствие требованиям, установленным для конкретных рабочих органов. Испытываемый образец должен передаваться для испытаний в окончательно готовом и пригодном для эксплуатации состоянии с полным комплектом принадлежностей. Испытываемый образец должен быть так отрегулирован и обкатан, чтобы исключить возможность существенного изменения его свойств при испытаниях.

Испытываемые рабочие органы должны быть установлены на специальном стенде или руке ПР в соответствии с требованиями руководства по эксплуатации. При этом рабочий орган (ЗУ, инструмент, технологическая головка) рассматривается как самостоятельное изделие. Средства измерений, обеспечивающие проверки параметров рабочего органа с требуемой точностью, должны быть поверены или аттестованы в установленном порядке.

При проведении приемочных испытаний проверяют комплектность представленного образца рабочего органа и степень его подготовленности к проведению испытаний, а также комплектность следующего перечня документов.

1. Техническое задание по ГОСТ Р15.201—2000, утвержденное в установленном порядке.
2. Проект технических условий по ГОСТ 2.114—95, подписанный руководителем организации-разработчика.
3. Эксплуатационные документы по ГОСТ 2.601—2006.
4. Программа и методика испытаний по ГОСТ 2.106—96.
5. Карта технического уровня и качества изделия по ГОСТ 2.116—84.
6. Принципиальные схемы по ГОСТ 2.701—2008 (при отсутствии их в эксплуатационной документации) и сборочный чертеж.
7. Протокол предварительных испытаний образца, предъявляемого на приемочные испытания.

По предложению разработчика, согласованному с членами приемочной комиссии, в перечень могут быть включены дополнительно:

- Паспортные данные рабочего органа, содержащие номенклатуру показателей, относящихся к рабочему органу промышленного робота, согласно ГОСТ 4.480—87, ГОСТ 12.2.072—98, ГОСТ 25686—85 и для захватных устройств — согласно табл. 2 по ГОСТ 26063—84.
- Программа и методика контрольных испытаний на надежность.
- Техничко-экономическое обоснование целесообразности производства конкретного рабочего органа (захватного устрой-

ства, инструмента) для комплектования определенных моделей (типов) промышленных роботов; обоснование значений показателей надежности, установленных в технических условиях, и методов их подтверждения.

По результатам приемочных испытаний должны быть составлены протоколы испытаний, а на основе протоколов — акт приемки опытного образца (опытной партии).

На основании результатов приемосдаточных испытаний заполняют сопроводительную документацию (отметка о приемке в паспорте на ПР). Результаты периодических испытаний оформляют протоколом по форме, установленной ГОСТ Р 15.201—2000.

Результаты типовых испытаний оформляют протоколом, включающим описания всех проведенных проверок и заключение о целесообразности изменений, внесенных в конструкцию, материалы или технологию изготовления изделия (рабочего органа).

Результаты испытаний на надежность оформляют протоколом с обоснованием выбора показателей надежности и методики их проверки.

Протокол любых испытаний подписывают представители организаций, принимавших участие и проводивших испытания. Его утверждает руководитель организации (предприятия), проводившей испытания.

10.3. Методы испытаний

Методы испытаний рабочих органов (ЗУ, инструментов и технологических головок) регламентируют программы и методики испытаний, разработанные для этих изделий в установленном порядке в соответствии с их назначением.

В зависимости от назначения рабочего органа при разработке методов испытаний определяют номенклатуру и значение измеряемых параметров, методы и средства измерений. Так, для краскораспылителей измеряемыми параметрами могут быть: расход краски через сопло (кг/с) при определенном давлении воздуха, размеры и форма отпечатка факела на заданном расстоянии от сопла, производительность; для режущего инструмента определяющим показателем будет его стойкость и т.д.

Методы испытаний захватных устройств можно типизировать и характеризовать с большей определенностью.

При испытаниях любых типов ЗУ проверяют его работоспособность и качество изготовления и определяют такие показатели, как грузоподъемность, возможность удержания объекта, быстродействие, погрешность позиционирования и т.д.

Проверка в исходном состоянии ЗУ предусматривает измерение его габаритных размеров и (если это необходимо) размеров составных частей и (или) модулей. Однократным взвешиванием определяют массу ЗУ в целом или, если этого требуют ТУ, определяют раздельно массу его составных частей и (или) модулей.

Проверяют точность и качество изготовления захватного устройства. Прямым измерением проверяют точность изготовления и визуально качество обработки базовых деталей ЗУ, качество сборки согласно ПМИ конкретных захватных устройств. При необходимости проводят контрольную разборку и сборку. В ПМИ конкретных ЗУ указывают требования к качеству отделки образца, которые визуально проверяют во время испытаний.

Проверка силовых и сигнальных коммуникаций. Должна быть проверена электрическая часть (силовые и сигнальные цепи) ЗУ в целях обеспечения электробезопасности в соответствии с требованиями ГОСТ 12.2.072—98 и ГОСТ 26053—84.

Герметичность гидросистем ЗУ с гидроприводом проверяют по отсутствию утечек масла.

При оценке *герметичности пневмосистем* пневматических схватов устанавливают максимальное давление и мыльным раствором проверяют соединения подводящих трубопроводов, места уплотнений и крышек или проверяют соответствие падения давления в системе за определенное время величинам, приведенным в ТУ, при заполненной сжатым воздухом пневмосистеме и перекрытой подводящей магистрали.

Проверку систем смазки осуществляют согласно ПМИ конкретных ЗУ, после чего проводятся их испытания на холостом ходу.

Проверку на соответствие требованиям безопасности и надежности проводят согласно рекомендациям подраздела 10.1.

Кинематические показатели элементов захватного устройства и его технологические возможности (раскрытие-закрытие губок, ротация ЗУ и т.п.) проверяют в режиме ручного управления визуально, оценивая возможность перемещения рабочих элементов ЗУ на максимальную величину в прямом и обратном направлениях путем включения-выключения двигателя не менее трех раз.

Быстродействие ЗУ определяют промежутком времени с момента команды на срабатывание захватного устройства до момента надежного захватывания объекта манипулирования.

Грузоподъемность захватного устройства (кг) определяют как наибольшее значение массы предмета производства, соответствующей паспортным данным ЗУ, при которой гарантируется надежное его удержание при обеспечении установленных эксплуатационных характеристик промышленного робота. Для этого проверяемое ЗУ устанавливают на руку робота с грузоподъемностью равной (или большей) суммарной массе ЗУ и ПП. Производят захватывание и контролируют надежность удержания ПП при работе в автоматическом режиме на максимальных паспортных скоростях, рекомендуемых для ПР подобных типов.

Максимальные усилия удержания объекта, развиваемые захватным устройством любого типа (нормальное P и касательное T), можно проверить «на отрыв» на стенде, принципиальная схема которого показана на рис. 10.2. Захватное устройство 3, закрепленное на руке 2 манипулятора 1, захватывает объект манипулирования 4, представляющий собой (для проверки, например, вакуумных или электромагнитных ЗУ) плоскую плиту с ввернутыми крюками 5 (по центру и в боковую кромку), расположенную на стойке 7. За один из крюков зацепляют шток пружинного динамометра 6 и, поднимая руку манипулятора вверх или перемещая ее по горизонтальной оси, определяют «на отрыв» максимально возможное значение нормального или касательного усилия удержания объекта. При этом эксперимент можно доводить до отрыва объекта или достижения максимально допустимых показателей на индикаторе 6 (например, значения максимальной грузоподъемности робота, участвующего в эксперименте). Стенды, аналогичные показанному на рис. 10.2, могут быть построены для проверки конструкций ЗУ, действующих по любому принципу.

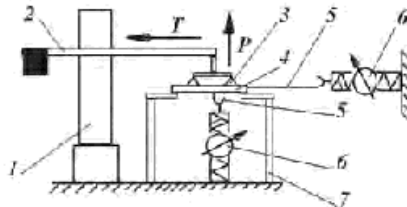


Рис. 10.2. Схема проверки захватного устройства на максимальные усилия удержания (P , T) объекта манипулирования:

1 — манипулятор; 2 — рука манипулятора; 3 — захватное устройство; 4 — объект манипулирования (пластина); 5 — крюк; 6 — пружинный динамометр; 7 — стойка

Усилие захватывания определяется или непосредственно однокомпонентным датчиком силы, или тензометрическим методом. Для многих моделей механических ЗУ усилие захватывания существенно за-

висит от величины раскрытия губок захватного устройства, поэтому и измерения производят для различных (как минимум, для крайних) значений величины раскрытия губок. Обычно в захватное устройство ПР вставляется однокомпонентный датчик силы сжатия вместе с устройством, измеряющим размер раскрытия губок. Если от положения датчика зависит измеряемое усилие захватывания (как для клещевых схватов), в протоколе испытаний это положение должно быть указано.

Наиболее перспективными являются методы измерения, основанные на определении упругих деформаций упругого элемента, поскольку они позволяют определять не только установившееся значение усилия захватывания, но и параметры ударного усилия взаимодействия рабочих элементов ЗУ и объекта в момент захватывания, контролировать величины нормальных реакций в точках контакта в статике и динамике при выполнении ПР операций в ходе исследовательских испытаний или в технологическом процессе.

Для измерения усилия захватывания электрическим методом между рабочими элементами ЗУ вводят упругий элемент с электрическими преобразователями, например тензорезисторами, включенными в измерительные цепи.

Подробнее см. [36].

Погрешность позиционирования является одной из основных характеристик промышленного робота, определяющей его точностные свойства, и формируется всем комплексом — механикой манипулятора и его приводов, системой управления, механикой захватного устройства. При проверке погрешности позиционирования конкретного ЗУ необходимо отделить эту составляющую от погрешности позиционирования, присущей конструкции конкретного робота.

В этой связи, основываясь на рекомендациях [47...49], проводят две серии проверок погрешности позиционирования: собственно промышленного робота с контрольным телом, жестко закрепленным на его руке, и с контрольным телом, которое захватывает ЗУ и переносит к контрольной точке, а затем — на исходную позицию, где и отпускает. Разница в указанных показателях и будет характеризовать погрешность позиционирования ЗУ.

Подробнее о методах испытаний и проверки захватных устройств — см. [36, 44...51].

Контрольные вопросы

1. Охарактеризуйте рабочий орган промышленного робота как источник повышенной опасности. Какими свойствами должен он обладать для обеспечения безопасности?

2. Перечислите вредные факторы производственной среды, от воздействия которых должен быть защищен рабочий орган ПР.
3. Какие вам известны конструктивные решения, уменьшающие или исключаяющие воздействие вредных факторов окружающей среды на рабочие органы промышленных роботов?
4. Назовите известные вам средства безопасности, служащие защитой рабочих органов промышленных роботов от силового контакта и взаимодействия с оборудованием, а также с обслуживающим персоналом.
5. Какие вам известны специальные требования обеспечения безопасности, зависящие от конструкции и назначения рабочих органов промышленных роботов?
6. Охарактеризуйте понятия «надежности рабочего органа» и его «коэффициента технического использования».
7. Что вам известно о видах испытаний рабочих органов промышленных роботов?
8. Назовите основные параметры, проверяемые при испытаниях рабочих органов промышленных роботов.
9. Как проверяют номинальную грузоподъемность промышленного робота и его захватного устройства?
10. Как проверяют другие известные вам показатели, характеризующие захватные устройства?

ПРИЛОЖЕНИЕ

Технические данные отдельных моделей механизированных инструментов

Таблица П.1

Электрические сверлильные машины

Модель	Наибольший диаметр отверстия при сверлении по стали, мм	Частота вращения шпинделя, мин ⁻¹	Мощность, кВт	Напряжение сети, В	Частота тока, Гц	Конус шпинделя	Габаритные размеры, мм	Масса без кабеля, кг
ИЭ-1025А	6	1 230	0,21	36	200	В10	235 × 67 × 162	1,6
ИЭ-1003Б		1 500	0,27	220	50		242 × 71 × 170	1,55
ИЭ-1026А	9	800	0,285	36	200	В12	239 × 67 × 162	1,7
ИЭ-1019А			0,34	220	50		255 × 68 × 210	2
ИЭ-1034			0,32				219 × 63 × 185	1,65
ИЭ-1502	9; 6	800; 1 600	0,42				220	308 × 72 × 186
ИЭ-1032	9	940		245 × 70 × 157	1,7			
ИЭ-1202		940; 1 980		275 × 70 × 157	1,85			
ИЭ-1031А	14	1 380	0,27	36	200	В18	245 × 71 × 170	1,6
ИЭ-1033А		510	0,365				349 × 204 × 127	3
ИЭ-1204У2		14; 9	480; 1 020				400 × 84 × 135	
ИЭ-1022В	14	720	0,4	220	50	В12	406 × 206 × 146	2,8

Окончание

ИЭ-1017А	22	420	0,86	36	200	В18	312 × 384 × 97	4,1
ИЭ-1205	23; 14	240; 480	0,6	220	50		360 × 96 × 407	5
ИЭ-1023А	23	240					340 × 90 × 415	4,5
ИЭ-1015А		450	0,83				460 × 480 × 165	9
ИЭ-1206	32; 23	150; 240	0,86			В24	535 × 160 × 650	7

Таблица П.2

Пневматические сверлильные машины (давление воздуха 0,5 МПа)

Модель	Наибольший диаметр отверстия при сверлении по стали, мм	Частота вращения шпинделя, мин ⁻¹	Мощность на шпинделе, Вт	Расход сжатого воздуха, м ³ /мин	Конус шпинделя (Морзе)	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
СМ11-3-18000	3	18 000	184	0,6	1а	136 × 45 × 145	0,85
СМ21-6-12000		12 000	294	0,8		171 × 55 × 152	1,0
СМ11-6-3600		3 600	184	0,6		150 × 45 × 145	0,9
СМ21-9-2500	9	2 500	294	0,8	1в	180 × 55 × 152	1,2
СМ21-9-300		300				230 × 55 × 152	1,3
ИП-1009		1 400	330	0,6		—	1,0
ИП-1011	12	1 600	290		1	200 × 53 × 178	1,45
ИП-1104							
ИП-1019							
ИП-1020	14	1 000	440	0,9	1	230 × 56 × 178	1,7
ИП-1024				0,8		252 × 58 × 175	2,1
ИП-1021		200	590	1,0		290 × 56 × 178	2,6
ИП-1103А*	32	450	1 800	2	3	396 × 96 × 215	7,5
ИП-1016А*						380 × 160 × 260	8,4

* Угловая.

Таблица П.3

Электрические шлифовальные машины

Модель	Наибольший диаметр шлифовального круга, мм	Частота вращения шпинделя, мин ⁻¹	Потребляемая мощность, кВт	Напряжение питающей сети, В	Частота тока, Гц	Габаритные размеры, мм	Масса (без кабеля и круга), кг
ИЭ-2008	63	6 800	0,6	220	50	575 × 86 × 86	3,45
ИЭ-2009	125	2 600	1,15			620 × 144 × 106	6,5
ИЭ-2004А	150	3 800	1,07	36	200	609 × 204 × 117	
ИЭ-2106*	80	3 300	0,6			420 × 108 × 141	3,8
ИЭ-6103**		2 900/4 080	1,02	220	50	298 × 268 × 284 347 × 246 × 211	3,2/3,7
ИЭ-8201А*	200/125	3 600				261 × 228 × 213 284 × 240 × 255	2,7

* Угловая.

** С гибкими валами. В числителе даны характеристики для прямых головок, в знаменателе — для угловых.

Таблица П.4

Пневматические шлифовальные машины (давление воздуха 0,5 МПа)

Модель	Наибольший диаметр шлифовального круга, мм	Частота вращения шпинделя, мин ⁻¹	Мощность на шпинделе, кВт	Расход сжатого воздуха, м ³ /мин	Габаритные размеры, мм	Масса (без шлифовального круга), кг
ИП-2009А	63	12 100	0,44	0,9	440 × 72 × 65	1,9
ИП-2203А*	125	4 800	1,3	1,6	320 × 150 × 200	4,0
ИП-2015	150	7 600	0,73	1,2	567 × 120 × 100	3,5
ИП-2014А		5 100	1,3	1,8	590 × 164 × 130	5,7

* Угловая.

Таблица П.5

Электрические ножовые ножницы

Модель	Толщина разрезаемого листа, мм	Число двойных ходов в минуту	Потребляемая мощность, кВт	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
ИЭ-5803	0,8...1,0	1 200	0,23	250 × 80 × 200	2,8
ИЭ-5502*	1,0			250 × 80 × 230	2,9
ИЭ-5404	1,6	1 800		250 × 80 × 220	3,0
ИЭ-5403AU2	2,5	990	0,40	330 × 84 × 290	4,7

* Вырубные.

Примечание. Напряжение питающей сети 220 В, частота тока 50 Гц.

Таблица П.6

Пневматические ножницы (давление воздуха 0,5 МПа)

Модель	Толщина разрезаемого листа, мм	Число двойных ходов в минуту	Расход сжатого воздуха, м ³ /мин	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
ИП-5401А*	2,5	2 000	0,8	218 × 88 × 206	2,9
ИП-5502**		1 500	0,9	214 × 56 × 202	3,2

* Ножовые.

** Вырубные.

Таблица П.7

Электрические резбозавертывающие машины-гайковёрты

Модель	Наибольший диаметр резьбы, мм	Момент затяжки, Н·м	Частота вращения шпинделя, с ⁻¹	Потребляемая мощность, Вт	Напряжение питания сети, В	Частота тока, Гц	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
ИЭ-3113	16	125	17	340	220	50	363 × 70 × 243	3,8
ИЭ-3114А			16	270	36	200	300 × 70 × 237	3,5

Таблица П.8

Пневматические резбозавертывающие машины-гайковёрты (давление воздуха 0,5 МПа)

Модель	Наибольший диаметр резьбы, мм	Момент затяжки, Н·м	Время затяжки, с	Расход сжатого воздуха, м ³ /мин	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
ИП-3112А*	14	100	4	0,6	226 × 75 × 173	2,2
ИП-3207А**			5		273 × 65 × 118	2,6
ИП-3113А*	18	250	8	0,7	261 × 64 × 175	2,7
ИП-3114*			10		260 × 87 × 245	4,5
ИП-3106А*	27...36	800; 1 250; 1 600	—	1,05	340 × 160 × 250	8,8
ИП-3205А**					370 × 125 × 195	9,7
ИП-3115*	48...52	3 150	10	1,0	295 × 390 × 160	14,5

* Реверсивные.

** Угловые.

*** С регулируемым моментом.

Таблица П.9

Электрические резьбоваявртывающие машины-винтовёрты

Модель	Наибольший диаметр затягиваемой резьбы, мм	Момент затяжки, Н·м	Частота вращения шпинделя, мин ⁻¹	Потребляемая мощность, Вт	Напряжение питающей сети, В	Частота тока, Гц
ИЭ-601Б	6	13	780	210	36	200
ИЭ-620А		15	420	420	220	50
ИЭ-360З			2 500			

Таблица П.10

Электрические резьбоваявртывающие машины-гайковёрты

Модель	Диаметры затягиваемых болтов, мм, для классов прочности	Энергия удара, Дж	Число ударов за 2 с	Потребляемая мощность, Вт	Напряжение питающей сети, В	Частота тока, Гц	Масса, кг
	3.6...6.6	6.8...14.9	3	350	220	50	4,3
ИЭ-3121	16...27						
ИЭ-3115	18...30	25	4	420	36	200	5,1
ИЭ-3118			3	400			5,7
ИЭ-3119	20...36	40	4	450	220	50	7,4
ИЭ-3120А	22...42	63	2	600			10,5
ИЭ-3112А	24...48	100	1	120	220	50	12,3
ИЭ-3112	22...30						12,4

Таблица П.11

**Пневматические резьбозавертывающие машины-винтоверты
(давление воздуха 0,5 МПа)**

Модель	Наибольший диаметр за-тягиваемой резьбы, мм	Момент за-тяжки, Н·м	Расход сжа-того воздуха, м ³ /мин	Масса, кг
ВП-02	3	2	0,4	0,8
ВП-08	5	8	0,2	0,9
ВП-2	8	20	0,8	2,0

Таблица П.12

Электрические резьбозавертывающие головки серии ГСЭ

Параметр	ГСЭ-2	ГСЭ-6	ГСЭ2-6	ГСЭ-10	ГСЭ-16	ГСЭ-25
Момент затяжки, Н·м	20	63	63	100	160	250
Частота вращения шпинделя, мин ⁻¹	77	82	52	38	30	45
Потребляемая мощность, кВт	0,12	0,18	0,18	0,25	0,25	0,6

Таблица П.13

**Пневматические резьбозавертывающие головки
серии ГСП (давление воздуха 0,5 МПа)**

Параметр	ГСП-1,6	ГСП-2	ГСП-3	ГСП-6	ГСП-16	ГСП-25	ГСП-40
Момент затяжки, Н·м	16	20	32	63	160	250	600
Частота вращения шпинделя, мин ⁻¹	500	420	400	220	170	160	200
Потребляемая мощность, кВт	0,59	0,59	0,736	0,92	1,1	1,5	1,6
Расход сжатого воздуха, м ³ /мин	0,9	0,9	1,0	1,25	1,3	1,4	1,6

Таблица П.14

Гидравлические резьбозавертывающие головки серии ГБ (давление масла 6 МПа)

Параметр	ГБ-10К	ГБ-12К	ГБ-14К	ГБ-16
Момент затяжки, Н·м	80	180	320	600
Частота вращения шпинделя, мин ⁻¹	150	120	100	80
Расход масла л/мин	27	30	42	73

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизированные технологические комплексы «оборудование — робот» : методические рекомендации. М. : НИИМАШ, 1981.
2. *Артоболевский И.И.* Теория механизмов и машин. М. : Наука, 1975.
3. Автоматизация дискретного производства / В.Е. Бонев, Г.Й. Бохачев, И.К. Бояджиев [и др.] ; под общей ред. Е.И. Семенова, Л.И. Волчкевича. М. : Машиностроение, 1987 ; София : Техника, 1987.
4. *Белянин П.Н.* Промышленные роботы и их применение. Робототехника для машиностроения. М. : Машиностроение, 1983.
5. *Герц Е.В., Крейнин Г.В.* Расчет пневмоприводов: справочное пособие. М. : Машиностроение, 1975.
6. Гибкие производственные системы сборки / П.И. Алексеев, А.Г. Герасимов, Э.П. Давыденко [и др.] ; под общ. ред. А.И. Федотова. Л. : Машиностроение, ленингр. отд-ние, 1989.
7. *Данилов А.А.* Сенсорные устройства автоматов контроля и сборки. Л.: Машиностроение, ленингр. отд-ние, 1984.
8. Иллюстрированный определитель деталей общемашиностроительного применения. Руководящие технические материалы. Классы 40 и 50 Общесоюзного классификатора промышленной и сельскохозяйственной продукции. М. : Изд-во стандартов, 1976.
9. Классификатор технологических операций в машиностроении и приборостроении : в 2 ч. Ч. 2. М. : Изд-во стандартов, 1973.
10. *Козырев Ю.Г.* Промышленные роботы : справочник. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Машиностроение, 1988.
11. *Козырев Ю.Г.* Программно-управляемые системы автоматизированной сборки. М. : Издательский центр «Академия», 2008.
12. *Козырев Ю.Г.* Промышленные роботы. Основные типы и технические характеристики. М. : КноРус, 2010.
13. Конструирование роботов : пер. с франц. / П. Андре, Ж-М. Кофман, Ф. Лот, Ж-П. Тайар. М. : Мир, 1986.
14. *Корендясев А.И., Саламандра Б.Л., Тывес Л.И.* Теоретические основы робототехники : в 2 кн. М. : Наука, 2006.

15. Механика промышленных роботов : учеб. пособие для вузов : в 3 кн. / под ред. К.В. Фролова, Е.И. Воробьева. М. : Высш. школа, 1989.
16. Не счесть у робота профессий : пер. с англ. / П. Марш, И. Александер, П. Барнетт, Д. Дулинг, К. Гилл, П. Мэьюз, Г. Моравек; под ред. В.С. Гурфинкеля. М. : Мир, 1987.
17. *Отений Я.Н., Ольштынский П.В.* Выбор и расчет захватных устройств промышленных роботов : учеб. пособие. Волгоград : ВолгГТУ, 2000.
18. *Патон Б.Е., Спыну Г.А., Тимошенко В.Г.* Промышленные роботы для сварки. Киев : Наукова думка, 1977.
19. *Попов Е.П., Письменный Г.В.* Основы робототехники. М. : Высш. школа, 1990.
20. Приводы и робототехнические системы с использованием материалов с эффектом памяти формы / И.Э. Вяххи, А.И. Прядко, С.А. Пульнев, В.И. Юдин, В.А. Лапота // Конверсия. 1997. № 6. С. 16—19.
21. Проблемы создания гибких автоматизированных производств / под ред. И.М. Макарова, К.В. Фролова, П.Н. Белянина. М. : Наука, 1987.
22. Проектирование и разработка промышленных роботов / С.С. Аншин, А.В. Бабич, А.Г. Баранов [и др.] ; под общ. ред. Я.А. Шифрина, П.Н. Белянина. М. : Машиностроение, 1989.
23. Промышленные роботы агрегатно-модульного типа / Е.И. Воробьев, Ю.Г. Козырев, В.И. Царенко ; под ред. Ю.Г. Козырева. М. : Машиностроение, 1988.
24. Промышленные роботы. Внедрение и эффективность: пер. с яп. / К. Асаи, С. Кигами, Т. Кодзима [и др.]. М. : Мир, 1987.
25. Робототехника / Ю.Д. Андрианов, Э.П. Бобриков, В.Н. Гончаренко [и др.] ; под ред. Е.П. Попова, Е.И. Юревича. М. : Машиностроение, 1984.
26. Робототехнические системы в сборочном производстве / под ред. Е.В. Пашкова. Киев : Вища школа, головное изд-во, 1987.
27. Сборка и монтаж изделий машиностроения : справочник : в 2 т. / ред. совет В. Корсаков (пред.) [и др.]. М. : Машиностроение, 1983.
28. Системы осязания и адаптивные промышленные роботы / под ред. Е.П. Попова, В.В. Ключева. М. : Машиностроение, 1985.
29. Системы технического зрения в робототехнике / Г.В. Письменный, Б.Б. Михайлов, А.Ю. Корнеев. М. : Машиностроение, 1991.

30. Современные промышленные роботы : каталог / под ред. Ю.Г. Козырева, Я.А. Шифрина. М. : Машиностроение, 1984.
31. Справочник по промышленной робототехнике : в 2 т. : пер. с англ. / Ш. Ноф (ред.). М. : Машиностроение, 1989.
32. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / А.М. Дальский, А.Г. Сулов, А.Г. Косилова [и др.] ; под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Сулова. М. : Машиностроение-1, 2003.
33. Оборудование машиностроительных предприятий / А.Г. Схиртладзе, В.И. Выходец, Н.И. Никифоров, Я.Н. Отений. Волгоград : РПК «Политехник», 2005.
34. Тимофеев А.В. Адаптивные робототехнические комплексы. Л. : Машиностроение, ленингр. отд-ние, 1988.
35. Управляющие системы промышленных роботов / Ю.Д. Адрианов, Л.Я. Глейзер, М.Б. Игнатьев [и др.] ; под ред. И.М. Макарова, В.А. Чиганова. М. : Машиностроение, 1984.
36. Челпанов И.Б., Колпашиников С.Н. Схваты промышленных роботов. М. : Машиностроение, 1989.
37. Юревич Е.И. Основы робототехники. СПб. : Изд-во БХВ, 2005.
38. Automatizacia Technologickych Procesov Priemyselnymi Robotami a manipulatorami / U. Cop, J. Buda, Ju. Kozyrev. CSc. Bratislava : Alfa, 1989.
39. Handbook of Design for Manual and Automatic Assembly // University of Massachusetts and University of Safford, 1980.
40. Industrial Robots of Japan: Catalogue. Tokyo, 1999.
41. International Encyclopedia of Robotics. New York, 1988.
42. Kozyrev J.G. Application of industrial robots in complex production systems. The Industrial Robot, Vol. 4. U.K. Bedford, 1977.
43. Ranky P. Flexible Manufacturing Systems. The design and operation of FMS. IFS (Publications) Ltd. U.K. North-Holland Publishing Co., 1983.
44. Robot Grippers // D.T. Pham, W / B / Heginbotham. (International Trends in Manufacturing Technology series). IFS (Publications) Ltd., U.K., Springer-Verlag Berlin, 1986.
45. Wichiro Kato. Mechanical hands illustrated. Survey. Tokyo, 1982.
46. Испытания промышленных роботов. Методические рекомендации. М. : Минстанкопром СССР : ЭНИМС : НИИМаш, 1983.
47. Методические рекомендации. Основные положения стандартизации методов испытаний промышленных роботов. М. : Госстандарт : ВНИИМаш, 1984.

48. P50-54-10—87. Рекомендации. Стандартизация и аттестация испытаний промышленных роботов.
49. P50-54-23—87. Рекомендации. Стандартизация испытаний промышленных роботов. Исследовательские испытания.
50. P50-54-24—87. Рекомендации. Стандартизация испытаний промышленных роботов. Метрологическое обеспечение испытаний. Автоматизированные испытания.
51. P50-54-53—88. Рекомендации. Методы оценивания точности результатов испытаний промышленных роботов.
52. P50-54-101—88. Рекомендации. Методы расчета основных показателей захватных устройств промышленных роботов.
53. Патент РФ на полезную модель № 73637. Ультразвуковой гайковерт / В.Г. Шуваев, В.А. Папшев, И.В. Шуваев, М.Б. Кузнецов. Опубликовано 27.05.2008. Бюл. № 15.