

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Пермский национальный исследовательский
политехнический университет»

К.В. Шаров, А.В. Богомяков, Д.О. Пустовалов

ПРОМЫШЛЕННЫЕ РОБОТЫ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Утверждено

*Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия*

Издательство
Пермского национального исследовательского
политехнического университета
2016

УДК 621.74:621.865.8 (075.8)

Ш26

Рецензенты:

канд. техн. наук *В.А. Дубровский*

(ПАО «Протон-ПМ»);

д-р техн. наук, профессор *Ю.Н. Симонов*

(Пермский национальный исследовательский
политехнический университет)

Шаров, К.В.

Ш26 Промышленные роботы в литейном производстве :
учеб. пособие / К.В. Шаров, А.В. Богомягков, Д.О. Пусто-
валов. – Пермь : Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та,
2016. – 125 с.

ISBN 978-5-398-01712-0

Рассмотрены вопросы автоматизации и роботизации различных видов литья. Приведены общие положения гибкой автоматизации. Описаны конструкции рабочих органов и приводов промышленных роботов. Представлены способы автоматизации литья в разовые песчано-глинистые формы, литья в кокиль, литья под давлением, литья по выплавляемым моделям. Уделено внимание компоновкам робототехнических комплексов указанных видов литья.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению 05.04.01 «Машиностроение».

УДК 621.74:621.865.8 (075.8)

ISBN 978-5-398-01712-0

© ПНИПУ, 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	5
1. Общие представления о роботизации.....	6
1.1. Основные понятия и определения.....	6
1.2. Некоторые проблемы и принципы роботизации.....	7
1.3. Проблематика автоматизации и роботизации литейного производства.....	9
2. Структура промышленного робота.....	13
2.1. Структурные составляющие промышленного робота.....	13
2.2. Кинематика руки промышленного робота.....	14
3. Приводы промышленных роботов.....	18
3.1. Выбор типа привода.....	18
3.2. Пневматический привод.....	19
3.3. Гидравлический привод.....	22
3.4. Электрогидравлический привод.....	24
3.5. Электромеханический привод.....	28
4. Рабочие органы промышленных роботов.....	31
4.1. Свойства рабочих органов и требования к их конструкции.....	31
4.2. Предметы производства и требования к ним.....	34
4.3. Захватные устройства и технические требования к ним.....	37
4.4. Классификация хватных устройств.....	42
4.5. Конструкции хватных устройств.....	47
5. Гибкие производственные системы.....	64
5.1. Основные понятия гибкой автоматизации.....	64
5.2. Построение эффективного гибкого производства.....	68
6. Автоматизация изготовления форм и стержней.....	74
6.1. Изготовление оболочковых форм и стержней.....	74
6.2. Изготовление разовых песчаных форм.....	75
6.3. Автоматизация процессов изготовления стержней, их простановки и сборки форм.....	79

7. Автоматизация литья под давлением	84
7.1. Автоматизация заливки металла	84
7.2. Смазывание пресс-форм.....	86
7.3. Автоматизация извлечения отливок	88
7.4. Компоновки РТК литья под давлением	89
8. Роботизированные комплексы литья в кокили.....	95
9. Роботизация процессов литья по выплавляемым моделям	102
10. Автоматизация финишных операций изготовления отливок	106
10.1. Роботизированные комплексы очистки отливок дробью	106
10.2. Абразивная зачистка литья	110
11. Автоматизация транспортных операций.....	117
Список рекомендуемой литературы	122

ВВЕДЕНИЕ

Предприятия литейной отрасли являются поставщиками деталей и готовых изделий для общего машиностроения, а это предполагает как мелко- и среднесерийный выпуск продукции, так и крупносерийный и массовый. И если в последнем случае иногда простительно отсутствие технологической гибкости, то в первом отсутствие гибкости губительно для предприятия.

Развитие техники задает высокий темп сменяемости объектов производства. Сроки выпуска деталей уменьшаются, и в большинстве случаев они много меньше сроков износа оборудования и даже сроков износа оснастки. Также становится невозможным применять грубый ручной труд большого числа работников низкой квалификации. Возрастают требования к величине минимальной заработной платы, повышение уровня образования кадров и другие социальные факторы заставляют повышать и эффективность труда каждого рабочего, задействованного на производстве. Следовательно, традиционное производство должно претерпеть серьезные изменения.

В связи с этим современным можно считать производство, обладающее достаточной технологической гибкостью и высокой эффективностью. Одним из средств повышения гибкости производства являются промышленные роботы. С их помощью разрозненное оборудование соединяется в единое гибкое автоматизированное производство.

1. ОБЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О РОБОТИЗАЦИИ

1.1. Основные понятия и определения

Поскольку промышленные роботы являются универсальным оборудованием, то при рассмотрении роботизации литейного производства можно начать с общих определений.

Робот – автоматическая машина, включающая перепрограммируемое устройство управления и другие технические средства, обеспечивающие выполнение тех или иных действий (в зависимости от назначения робота), свойственных человеку в процессе его трудовой деятельности [14].

Промышленный робот (ПР) – робот, служащий для выполнения части технологического процесса.

В идеале в процессе трудовой деятельности робот должен самостоятельно получать данные об окружающей среде и об объекте производства, на основании которых принимать необходимые меры. Еще одной отличительной особенностью робота является технологическая мобильность, т. е. способность к быстрому переходу на выпуск новой продукции [3].

Роботизированными техническими системами (РТС) называют системы, содержащие одного робота или нескольких. Эти системы могут быть разделены на следующие классы:

- информационные и управляющие (осуществляют контроль над процессами производства и управление ими);
- мобильные (движущиеся) (обслуживают склады, выполняют операции автоматической смены оснастки и инструмента и прочие транспортные операции);
- манипуляционные (производят перемещение объекта манипулирования в пределах рабочего пространства).

Манипулятор – устройство для выполнения двигательных функций, аналогичных функциям руки человека при перемещении предметов в пространстве, оснащенное рабочим органом.

Объект манипулирования – тело, перемещаемое манипулятором.

Автооператор – автоматическая машина, состоящая из исполнительного устройства в виде манипулятора (или совокупности манипулятора и устройства передвижения) и неперепрограммируемого устройства управления, другими словами, автооператор – неперепрограммируемый автоматический манипулятор.

Автоматическая линия – комплекс основного, вспомогательного и подъемно-транспортного технологического оборудования, на котором без непосредственного участия человека в требуемой технологической последовательности с определенным ритмом выполняются операции по получению продукта [18; 29].

1.2. Некоторые проблемы и принципы роботизации

В ряде случаев внедрение робототехники в производство не приносит ожидаемых результатов, несмотря на эффективность и качество вводимого оборудования. Промышленные роботы появились относительно недавно, чтоб иметь только достоинства и не иметь недостатков, и при их внедрении допускаются некоторые распространенные ошибки [4; 24].

Попытка просто заменить человека. Под действием рекламных кампаний сложилась концепция «Робот заменит человека». Робот не прогуливает, не устраивает забастовок, не имеет вредных привычек. Что характерно, ни один другой вид автоматов не обсуждался в таком ключе, ни одно другое оборудование не сравнивают с человеком. А в некоторых ситуациях возможности роботов не превышают возможностей других средств автоматизации.

Чрезмерная антропоморфность. Долгое время при проектировании и разработке конструкций роботов стремились добиться имитации действий человеческой руки. Однако это далеко не всегда рационально. Робот не должен изображать человека. Он должен выполнять работу на качественно новом уровне, с интенсивностью, недоступной человеку. Организация рабочего пространства для робота также не должна рассматриваться аналогично организации рабочего пространства для человека, ведь робот может работать, например, «вниз головой».

Преувеличение возможностей роботов. В некоторых случаях человек справляется с задачей лучше, чем робот. Например, на многих автоматических формовочных линиях операция простановки стержней выполняется вручную либо стержни устанавливаются манипулятором с помощью специального кондуктора, куда стержни опять же устанавливаются вручную [18]. Операции загрузки станков также зачастую эффективнее осуществлять вручную [5; 24].

Неэффективная технология. Никакая автоматика не даст более того, что заложено в технологии. При модернизации производства в первую очередь нужно обратить внимание на применяемую технологию и, если она основывалась на ограниченных возможностях человека, ее следует усовершенствовать.

Отсутствие комплексности. Внедряемое оборудование не должно рассматриваться отдельно от уже существующего на предприятии.

Роботизация ради самой роботизации. Если робот устанавливается в отрыве от конечных целей производства, то это может привести к неэффективным решениям.

Для того чтобы комплекс мер по роботизации привел к желаемому результату, следует, помимо методов расчета, руководствоваться принципами технической политики, изложенными Л.И. Волчкевичем [5]:

1. Принцип достижения конечных результатов. Средства автоматизации, в том числе и роботы, будут эффективны только тогда, когда будут не просто замещать ручной труд, а выполнять эти действия быстрее и лучше человека. Целью автоматизации должно быть увеличение количества и/или улучшение качества продукции, а не изменение численности персонала или замена ручного труда автоматическим.

2. Принцип комплексности. При проведении роботизации все технологии, все оборудование, системы управления, контроля и обслуживания, способы удаления отходов и готовой продукции, системы подготовки материалов и др. должны быть рассмотрены на новом, качественно ином уровне, согласующемся

с интенсивностью принимаемых решений. Оставить без внимания хотя бы один аспект – значит создать «узкое место» в производственном процессе. А это может привести к потере всех преимуществ, получаемых при создании высокоэффективного автоматизированного производства.

3. Принцип необходимости. Робототехнические системы следует встраивать туда, где без них нельзя обойтись. Это, в первую очередь, высокоинтенсивные производства с большой концентрацией операций, где ограниченные возможности человека можно превзойти, а также производства в условиях, не подходящих для человека.

4. Принцип своевременности. Необходимо внедрять только созревшие технические решения. При введении недоработанного оборудования время на его пуск, наладку и освоение сильно увеличится, а также такое оборудование, возможно, не будет выполнять заявленных функций в полном объеме.

Таким образом, промышленные роботы – это такое же оборудование, как и любое другое, и их внедрение должно быть обдуманным шагом на пути к конечной цели – снижению себестоимости продукции и стабилизации качества.

1.3. Проблематика автоматизации и роботизации литейного производства

Многие вспомогательные процессы литейного производства, например складирование и своевременная подача опок, инструмента и другой литейной оснастки к формовочным машинам, требуют только надлежащей организации известных средств автоматизации. Они тождественны процессам других производств, поэтому возникающие здесь проблемы можно решить на основе общих принципов гибкой автоматизации.

Применение роботов в литейном производстве не ограничено каким-либо одним видом литья или какой-либо одной операцией. Роботы успешно выполняют следующие операции: проста-

новка стержней в форму, обдув, покраска формы, постановка грузов, заливка и дозирование расплава, транспортировка отливок и манипулирование ими, создание керамической оболочки при литье по выплавляемым и выжигаемым моделям и др.

Тем не менее, построение гибкого автоматического литейного производства сопряжено с рядом специфических трудностей. Одними из главных проблем являются высокая стоимость оснастки и большие сроки ее изготовления. Применение полимеров для лазерного спекания или фотополимеров сокращает эти сроки, но зачастую увеличивает цену оснастки.

В литейном производстве значительная гибкость достигается при изготовлении отливок в разовые песчаные формы на автоматических формовочных линиях (АФЛ). Основу автоматической линии должен составлять один или два высокопроизводительных формовочных автомата, стержневой автомат, устройства для выбивки и транспортные системы. Также нельзя забывать о смесеприготовительном отделении и о таких операциях, как разрыхление, дозирование, перемешивание, регенерация смеси – все эти операции должны быть достаточным образом автоматизированы [18].

Применение роботов требует изменения конструкции стержней с точки зрения возможности их автоматического захватывания, ориентировки и установки в формы, при этом в одну форму может быть установлено 20–30 различных стержней.

Заливка металла в формы требует гибкости дозирования количества металла не только по массе металла, но и по режиму заполнения формы. Важным является процесс охлаждения различных форм, от точного соблюдения режимов которого зависят кристаллизация металла, свойства и качество поверхности отливок.

Простая для автоматизации операция выбивки форм также имеет проблемы при гибком производстве, связанные с распознаванием отливок после их выбивки традиционным способом – навалом на вибрационный конвейер.

Применение роботов для выемки отливок из форм, их очистки, обрубки и удаления литников может упростить задачу сорти-

ровки отливок. Обрубка отливок требует создания специального (в зависимости от контура каждой отливки) инструмента.

Проблема очистки заготовок может решаться созданием новых способов формовки и новых формовочных смесей, не пригорающих к поверхности заготовок и способствующих ее высокой чистоте.

Автоматизация литейного производства требует разработки и создания специальных датчиков контроля технологических параметров. Агрессивная среда не позволяет применять в литейном производстве общетехнические датчики; наличие шлака также искажает их показания. Автоматизация измерения таких простых показателей, как температура отливки и влажность формовочной смеси, которая должна сохраняться в определенных пределах длительное время, становится в этих условиях весьма трудной задачей. Качество отливок зависит во многом от стабилизации свойств исходных материалов.

Создание гибких производственных систем (ГПС) в литейных цехах идет путем не только автоматизации существующих, но и разработки новых технологий, соответствующих гибкому производству. Применение безопасной формовки позволяет сократить число операций, связанных со сборкой, распаровкой и выбивкой [19]. Также возрос интерес к методу литья по газифицируемым пенополистироловым выжигаемым моделям, позволяющему частично устранить применение стержней, заменить многокомпонентные формовочные смеси кварцевым песком, повысить выход годного литья, улучшить точность и качество отливок. В сочетании с системой автоматического управления на базе микропроцессоров и роботами процесс позволяет создать гибкое производство, эффективное как для крупных, так и для мелких серий. Этому способствуют такие особенности данной технологии, как использование единой опоки-контейнера для различных по размерам моделей; упрощение системы транспортирования и выбивки опок, рециркуляции формовочного песка (применяемого без связующих); использование относительно недорогих алюминиевых пресс-форм для получения пенополистироловых моделей и т.п.

Способ вакуумно-пленочного получения форм не требует специальных операций уплотнения (прочность форм обеспечивается вакуумом) и выбивки, так как после снятия вакуума смесь легко удаляется из форм, оставляя отливки чистыми.

Многие проблемы получения литых заготовок могут быть решены еще на стадии проектирования деталей и заготовок увязкой различных проблем как механической обработки, так и получения отливок за счет соответствующей конструкции деталей, выбора материалов.

Высокое качество отливок позволяет избежать многих проблем для гибких производственных систем механообработки, а их сложность – проблем для ГПС сборки, так как отливки сложной конфигурации сокращают количество деталей на сборке.

Вопросы для повторения

1. Какие проблемы возникают в промышленности при переходе от традиционных форм производства к гибким?
2. Какие факторы влияют на эффективность предприятия?
3. В чем заключаются трудности автоматизации литейного производства?
4. Что такое промышленный робот? Чем он отличается от других средств автоматизации?

2. СТРУКТУРА ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА

2.1. Структурные составляющие промышленного робота

Промышленный робот – сложная многокомпонентная система (рис. 2.1). В состав этой системы входят два больших блока: система управления и механическая система; в процессе эксплуатации они взаимодействуют с предметом производства. Вся система в целом подвержена влиянию окружающей среды.

Механическая система состоит из манипулятора (руки), рабочего органа и подвижного или неподвижного основания. Система управления состоит из устройства памяти, программирующего устройства, датчиков информации и преобразователей сигнала.

Запоминающее устройство – устройство, предназначенное для записи, хранения и выдачи управляющих программ.

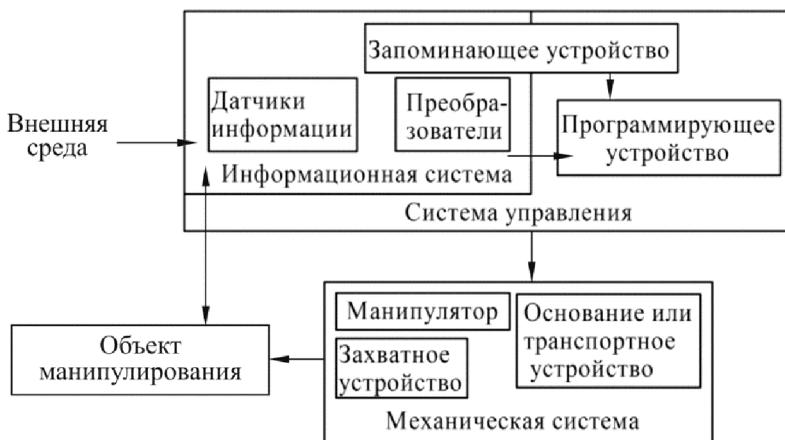


Рис. 2.1. Структура промышленного робота

Управляющая программа – последовательность инструкций, записанных на формальном языке, причем выполнение этих инструкций приводит к решению поставленной задачи.

Информационная система обеспечивает сбор, первичную обработку и передачу данных о внешней среде, предмете производства и о механической системе робота в систему управления. Информационную систему можно разделить условно на три подсистемы [14].

Подсистема внешней информации предназначена для контроля состояния предмета производства, обслуживаемого оборудования и предоставляет информацию о внешней среде.

Подсистема внутренней информации оценивает положение элементов промышленного робота, проверяет правильность выполнения закона движения; служит для диагностики состояния промышленного робота, определения причин отказов, для аварийной блокировки.

Подсистема информации о безопасности на основе данных первых двух систем предотвращает нанесение ущерба здоровью персонала, обслуживаемому оборудованию и самому роботу в результате поломки системы, нарушения отработки программы, сбоя в подаче энергии, а также появления человека в зоне работы оборудования.

2.2. Кинематика руки промышленного робота

Все движения, выполняемые роботом, можно разделить на глобальные, региональные и локальные. *Глобальные* движения превышают размеры самого робота; как правило, эти движения осуществляются путем установки робота на какой-либо транспортный механизм, управляемый самим роботом. *Региональные* движения – это перемещение захватного устройства или инструмента робота в пределах рабочего пространства. К *локальным* относят перемещения захвата, соизмеримые с его размерами.

Понятие о локальных и региональных движениях позволяет рассматривать кисть и руку робота отдельно. Кинематика кисти определяет ориентирующие возможности робота, кинематика руки – конфигурацию рабочей зоны.

Структурные кинематические схемы руки промышленного робота образуются сочетанием трех пар пятого класса (подробнее о кинематических парах см. в учебнике [2]), вращательных (В) и поступательных (П), причем не каждое их сочетание обеспечивает получение объемного движения выходного звена. Выяснено [27], что для обеспечения объемного движения структурная схема должна удовлетворять одному из следующих условий:

1) имеются две вращательные пары, оси которых непараллельны (исключение составляет механизм, имеющий только вращательные пары, оси которых пересекаются в одной точке);

2) имеются две вращательные пары с параллельными осями и поступательная пара, ось которой перпендикулярна к осям вращательных пар;

3) имеются две поступательные пары с непараллельными осями и вращательная пара, ось которой перпендикулярна к плоскости, образованной направлениями осей поступательных пар, или поступательная пара, ось которой непараллельна той же плоскости.

На рис. 2.2–2.5 [22] показаны возможные структурные кинематические схемы руки робота и рабочие зоны (показаны тонкими линиями).

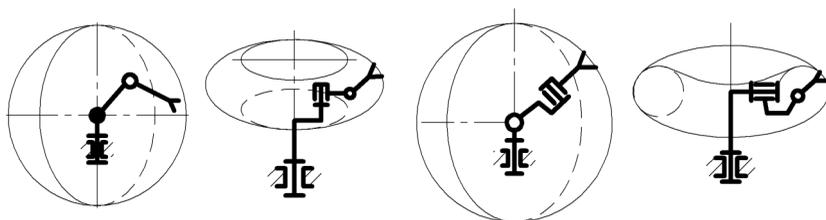


Рис. 2.2. Кинематическая структура руки робота с тремя вращательными парами

Невыполнение указанных условий исключает объемное движение и приводит к движению по поверхности. Такие структуры не могут быть использованы для реализации региональных движений руки робота.

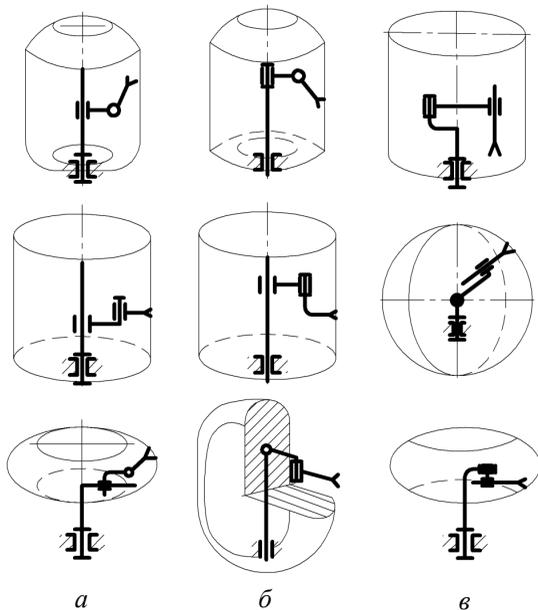


Рис. 2.3. Кинематическая структура руки робота с двумя вращательными парами и одной поступательной:
а – ВПВ; *б* – ПВВ; *в* – ВВП

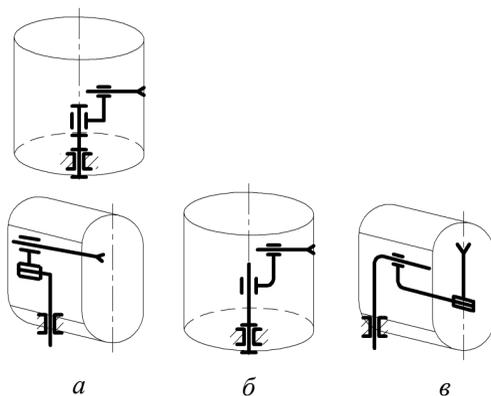


Рис. 2.4. Кинематическая структура руки робота с одной вращательной парой и двумя поступательными:
а – ПВП; *б* – ВПП; *в* – ППВ

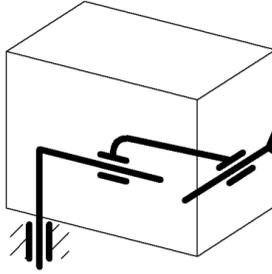


Рис. 2.5. Кинематическая структура руки робота с тремя поступательными парами

Анализ приведенных схем показал, что количество возможных вариантов уменьшается с уменьшением числа вращательных пар. Максимальное число вариантов (4) дает схема ВВВ. Схема ППП возможна только в одном варианте. Подробнее с кинематикой промышленных роботов можно ознакомиться в специальной литературе [20; 22; 27].

Вопросы для повторения

1. Что входит в состав промышленного робота?
2. Что представляет собой информационная система? Какие подсистемы можно в ней выделить?
3. Что подразумевается под локальными, региональными и глобальными движениями робота?
4. Каким условиям должна удовлетворять структурная схема робота, чтобы обеспечить объемное движение рабочего органа?

3. ПРИВОДЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ

3.1. Выбор типа привода

Серьезным вопросом является выбор типа привода, так как привод определяет динамические характеристики робота, его точность, число точек позиционирования, требования к условиям эксплуатации и т.д.

При выборе типа привода необходимо учитывать следующие *факторы* [25]:

- нагрузку, действующую на рабочий орган;
- кинематику манипулятора, т.е. законы движения всех звеньев и рабочего органа, учитывающие процессы разгона и торможения;
- требуемую точность позиционирования, воспроизведения траектории и скоростных характеристик звеньев;
- условия окружающей среды (загрязненность, запыленность, пожаро- и взрывоопасность, агрессивность, высокая температура и др.);
- регламент эксплуатации робота (желательный КПД, надежность, срок службы, компоновка и др.).

В связи с вышесказанным можно сформулировать *требования* к приводам для промышленных роботов [25]:

- высокая удельная мощность (отношение мощности привода к массе его элементов, расположенных на манипуляторе);
- высокая точность позиционирования по каждой координате, несмотря на высокие динамические нагрузки и большое количество кинематических пар;
- изменяющийся диапазон нагрузок на привод с преобладанием инерционных усилий;
- большой ресурс работы и высокая надежность.

При выборе типа привода необходимо ориентироваться на следующую их *классификацию*:

- *по способу отсчета координат* выделяются приводы с относительным или абсолютным отсчетом. При относительном способе

следующая координата отсчитывается от того положения, которое привод занял при выполнении предыдущей части программы. Погрешность перемещения будет накапливаться. При абсолютном способе отсчет ведется каждый раз от начала координат, и если на одном из участков возникнет ошибка, то она не скажется на дальнейших перемещениях. Примером привода с относительным отсчетом может служить шаговый привод, с абсолютным отсчетом – электропривод с обратной связью по положению;

– *по виду движения* выделяются приводы, задающие вращательное (ротационное) или возвратно-поступательное движение;

– *по виду используемой энергии* приводы подразделяются на пневматические, гидравлические, электромеханические, электрогидравлические и др.

Рассмотрим подробнее некоторые виды приводов.

3.2. Пневматический привод

Пневмопривод широко применяется в простых роботах и захватных устройствах малой грузоподъемности.

Наиболее широко применяется *пневматический цилиндр двустороннего действия* для возвратно-поступательного (рис. 3.1, *а*) и вращательного (рис. 3.1, *б*) движения. Пневмоцилиндры работают на сжатом воздухе с температурой 0–60 °С и степенью очистки не грубее 10-го класса загрязненности по ГОСТ 17433–80. Пневматические цилиндры изготавливаются в двух исполнениях: с регулируемым и нерегулируемым ходом поршня.

Принцип работы такого привода заключается в следующем [7]. Поршень 1 под воздействием сжатого воздуха перемещается в цилиндре 2, передавая штоку 3 поступательное движение. Воздух подается через воздухопровод 4 в обе полости цилиндра попеременно с помощью системы воздухораспределения 5. Для получения вращательного движения (см. рис. 3.1, *б*) используется сочетание зубчатого колеса 6 и шток-рейки 7.

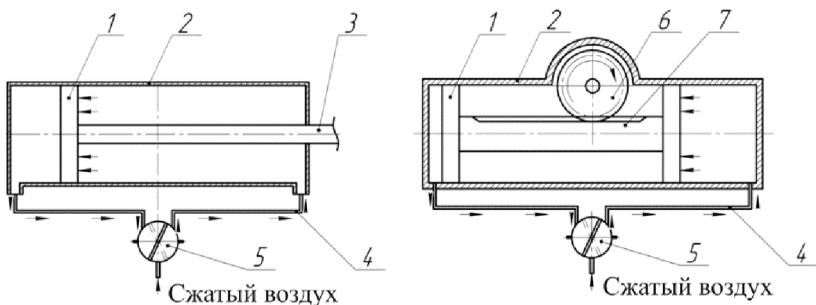


Рис. 3.1. Схемы пневматического цилиндра двустороннего действия:
а – пневмопривод для возвратно-поступательного движения;
б – поворотный пневмодвигатель

К основным преимуществам пневмопривода относятся следующие:

- простота конструкции и компоновки элементов и надежность конструкции;
- низкая стоимость конструкции и обслуживания;
- быстрое действие;
- высокий КПД (до 0,8);
- возможность использования сжатого воздуха из заводской сети;
- возможность применения в пожаро- и взрывоопасных средах;
- экологичность.

Недостатками пневмопривода являются:

- нестабильность скорости выходного звена при изменении нагрузки;
- невозможность осуществить программное перемещение без упоров;
- ограниченность числа точек позиционирования;
- необходимость демпфирования движения привода в конце хода для погашения удара по упорам.

Обычный пневмопривод не способен воспроизводить заданную программу. Для реализации сложного движения применяют цифровой пневмопривод.

Цифровые многопозиционные пневмоприводы могут задавать вращательное и линейное движение. Последние могут быть с внешним и внутренним расположением поршней.

Цифровой позиционный пневмопривод состоит из n поршней, находящихся в зацеплении между собой, причем ход i -го поршня в два раза превышает ход $(i-1)$ -го (рис. 3.2). Число дискретных положений (точек позиционирования) такого привода $N = 2^n$. Последний поршень жестко связан со штоком, который, в свою очередь, связан с магистралью противодавления. Противодействие позволяет вернуть поршни в исходное положение.

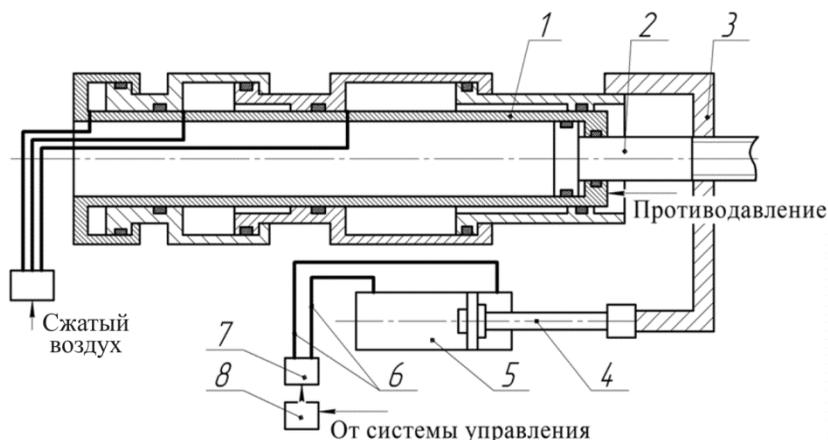


Рис. 3.2. Схема цифрового линейного пневмопривода с внешним расположением поршней: 1 – двигатель; 2 – шток привода; 3 – жесткая связь; 4 – шток демпфера; 5 – демпфер; 6 – каналы; 7 – источник электрического поля; 8 – система управления

На рис. 3.2 изображен пневмопривод с внешним расположением поршней, что обуславливает его технологичность при сборке.

Принцип работы цифрового привода можно описать так. Системой управления программируются координаты позиционирования и задается момент начала демпфирования. Рабочее тело (воздух) подается из магистрали в поршни двигателя 1, вследствие этого

шток 2 перемещается в требуемую позицию. Благодаря жесткой связи 3 шток демпфера 4 увлекается вслед. Управляемый источник электрического поля 7 отключен, поэтому через каналы 6 жидкость проходит без сопротивления и шток 2 движется с рабочей скоростью.

Для того чтобы предотвратить ударные взаимодействия элементов манипулятора и большие инерционные нагрузки, необходимо плавно погасить скорость штока 2. Для этого и служит демпфер. При достижении штоком привода критического положения в блоке управления 8 формируется закон нарастания напряжения, которое обеспечивается управляемым источником электрического поля 7. Под воздействием электрического поля жидкость с электрореологическим эффектом изменяет свою вязкость и начинает перетекать медленнее. Закон нарастания напряжения может формироваться для плавного либо ступенчатого снижения скорости до полной остановки штока в заданной координате. После полного торможения источник электрического поля обесточивается, жидкость обретает начальную вязкость и более не оказывает сопротивления движению штока привода. Далее шток перемещается на следующую координату, причем это может быть и реверсивное движение.

Из пневматических приводов следует упомянуть *флажковые ротационные механизмы* (поворотные моментные цилиндры). Они достаточно просты конструктивно, легки в сборке, обладают высокой точностью углового позиционирования вала ротора.

3.3. Гидравлический привод

Гидравлические приводы отличает большая удельная мощность, поэтому они нашли широкое применение в роботах средней, большой и сверхбольшой грузоподъемности. Принципы работы гидро- и пневмоцилиндра схожи, но имеются различия, связанные с особенностями энергоносителя.

Аппаратура, входящая в состав гидроцилиндра, показана на рис. 3.3. Гидроаккумулятор необязательно входит в состав насосно-аккумуляторной установки (НАУ). У него двойная функция: при

резком возрастании потребления рабочей жидкости (например, при одновременном использовании нескольких устройств) гидроаккумулятор обеспечивает дополнительную ее подачу, а также демпфирует резкие колебания давления при переключении распределителей. НАУ предназначены для очистки, охлаждения и подачи рабочей жидкости в гидросистемы промышленных роботов.

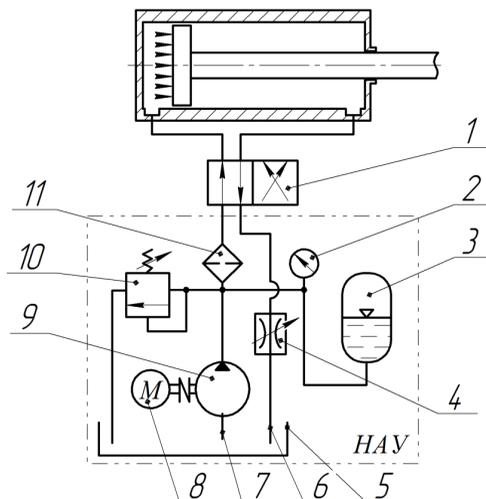


Рис. 3.3. Схема гидравлического цилиндра двустороннего действия с насосно-аккумуляторной установкой: 1 – гидрозолотник; 2 – манометр; 3 – гидроаккумулятор; 4 – регулируемый дроссель; 5 – сливной бак; 6 – сливной трубопровод; 7 – заборный трубопровод; 8 – электродвигатель гидронасоса; 9 – гидронасос; 10 – регулируемый предохранительный клапан; 11 – масляный фильтр

Поворотные гидродвигатели типа ДПГ предназначены для осуществления неполноповоротных вращательных движений механизмов промышленных роботов. В качестве рабочей жидкости в них следует применять минеральные масла вязкостью $(12-250) \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ при температуре масел $0-60 \text{ }^\circ\text{C}$, а окружающей среды $0-50 \text{ }^\circ\text{C}$. Степень очистки масла должна быть не грубее 14-го класса по ГОСТ 17216-71.

Гидропривод имеет следующие преимущества:

- стабильность скорости выходного звена и точность позиционирования;
- возможность управления по заданной программе;
- бесступенчатое регулирование скорости;
- высокая удельная мощность.

К недостаткам можно отнести следующее:

- требуется насосно-аккумуляторная установка;
- требуется частая замена рабочей жидкости, фильтров, уплотнений и т.д.;
- применение гидропривода ограничено в пожаро- и взрывоопасных средах и в вакууме;
- характеристики рабочего тела зависят от температуры, которая меняется в процессе работы;
- возможны подтекания уплотнений и других устройств.

3.4. Электрогидравлический привод

Электрогидравлический привод позиционного типа показан на рис. 3.4. Электродвигатель 2 приводит в движение насос 10, засасывающий масло из бака 12 по трубе 1 и подающий его под давлением через фильтр 7 в электрогидравлические преобразователи 6. Регулировка давления происходит с помощью предохранительного клапана 11, контроль – с помощью манометра 9. При превышении давления жидкости в клапане она проходит обратно в бак 12. Гидроаккумулятор 8 обеспечивает необходимый режим работы системы при одновременной работе по нескольким координатам, позволяя обойтись двигателем с минимально возможной мощностью. Дроссель 4 служит для регулировки гидравлического сопротивления: варьируя расходные характеристики системы, он позволяет регулировать скорость движения поршня. В многокоординатной системе такой дроссель нужно устанавливать на каждой координате.

Цилиндры 5 осуществляют возвратно-поступательное или вращательное движение по каждой координате и остановку в любом

положении. Для аварийной остановки предусмотрен кран 3, при открытии которого вся рабочая жидкость сливается обратно в бак 12.

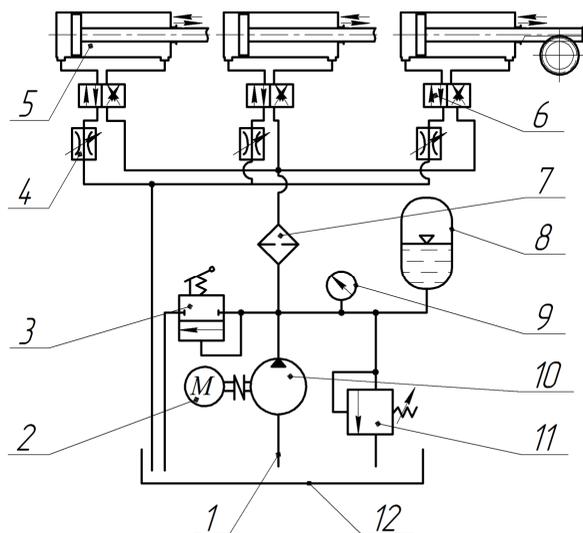


Рис. 3.4. Гидросхема привода промышленного робота для управления по трем координатам с насосно-аккумуляторной установкой: 1 – труба; 2 – электродвигатель; 3 – кран; 4 – дроссель; 5 – цилиндр; 6 – электрогидравлический преобразователь; 7 – фильтр; 8 – гидроаккумулятор; 9 – манометр; 10 – насос; 11 – предохранительный клапан; 12 – бак

Порядок работы гидросистемы следующий. Сначала включается двигатель насоса и достигается требуемое давление в системе. Затем включается устройство управления, которое подает постоянное напряжение по заданному закону на электрогидропреобразователь в соответствии с записанной программой. В зависимости от этого рабочая жидкость подается в нужную полость цилиндра и перемещает поршень. При снятии напряжения с электрогидропреобразователя шток поршня останавливается в заданной точке. Реверсивное движение осуществляется при смене полярности подаваемого напряжения от управляющего устройства.

В таком режиме можно управлять движением манипулятора по всем координатам. Точность такого привода будет достаточной, если он будет охвачен обратной связью по положению. Такое решение позволяет получить точность позиционирования $\pm (0,5 \dots 1,0)$ мм.

Электрогидравлический шаговый привод включает в себя два важных элемента: шаговый электродвигатель (ДШ) и гидроусилитель моментов. Поскольку этот привод по своей конструкции относится к дискретным, то строится он по разомкнутой схеме, без датчиков обратной связи. Это делает конструкцию проще и надежнее, чем у привода с датчиками обратной связи, построенного по замкнутой схеме. Обратной стороной упрощения конструкции является накопление систематической ошибки при реализации управляющей программы. Однако ошибки при смене цикла погашаются, так как отсчет координат снова ведется от нуля.

На рис. 3.5 представлена упрощенная схема электрогидравлического шагового привода. Применяемая насосно-аккумуляторная установка аналогична представленной на рис. 3.4. Для повышения эффективности работы гидросистемы в некоторых случаях целесообразно устанавливать 2–3 гидроаккумулятора.

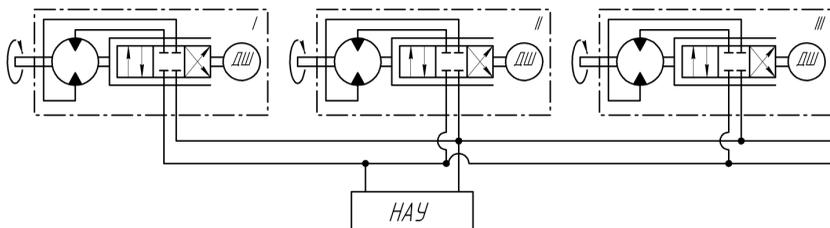


Рис. 3.5. Упрощенная схема электрогидравлического шагового привода

Гидроусилитель моментов (рис. 3.6) работает следующим образом. При подаче одного импульса на шаговый электродвигатель выходной вал 8 привода поворачивается синхронно с входным валом гидроусилителя 7 (валом шагового электродвигателя). Управляющий распределитель 3 размещен в гильзе, заключен в корпус, в осевом направлении жестко связан с резьбовым вали-

ком 4, который может поворачиваться вокруг своей оси. Резьбовой валик 4 может также свободно перемещаться в радиальном направлении относительно управляющего распределителя 3, что компенсирует возможные неточности в расположении распределителя-золотника и резьбового валика. Шлицевой втулкой 2 этот валик связан с валом гидромотора 1.

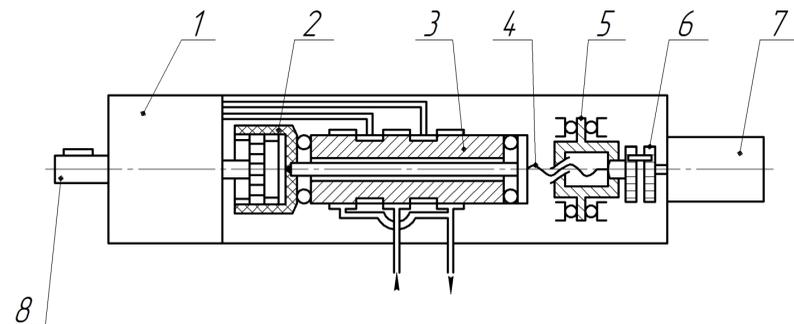


Рис. 3.6. Упрощенная схема гидроусилителя моментов Г18-2:
 1 – гидромотор; 2 – шлицевая втулка; 3 – распределитель; 4 – валик;
 5 – втулка; 6 – муфта; 7 – вал двигателя; 8 – выходной вал

Когда управляющий распределитель 3 находится в среднем относительно гильзы положении, в обе полости гидромотора поступает одинаковое количество масла и вал 8 не вращается. При повороте входного вала, жестко связанного со втулкой 5, которая имеет винтовую нарезку, валик 4 и управляющий распределитель 3 перемещаются в осевом направлении и соединяют полости гидромотора с гидросистемой так, что вал 8 вращается в том же направлении, что и входной вал. Вращаясь, вал 8 гидромотора 1 шлицевой втулкой 2 поворачивает валик 4, который, ввертываясь или вывертываясь из втулки 5, перемещается вместе с управляющим распределителем 3 в обратном направлении до тех пор, пока не займет среднее положение относительно гильзы, при котором вал гидромотора остановится. Вал шагового двигателя 7 связан с входным валом гидроусилителя муфтой 6, которая состоит из поводка, закрепленного на валу винтами, и хомутика.

3.5. Электромеханический привод

В последнее время все большее распространение получают электромеханические приводы; на практике используются высокомоментные двигатели постоянного тока, асинхронные двигатели с частотным управлением, бесколлекторные двигатели постоянного тока и силовые шаговые двигатели. Электроприводы этих серий обеспечивают регулирование скорости в большом диапазоне и имеют хорошие показатели по габаритным размерам и массам.

К достоинствам данного вида приводов следует отнести:

- быстрое действие;
- простоту подачи энергоносителя (по проводам);
- высокую точность позиционирования;
- широкий диапазон изменения частоты вращения (до 15 000 мин⁻¹)

и крутящих моментов;

- взаимозаменяемость приводов;
- высокую удельную мощность;
- компактность двигателя и преобразователя;
- равномерность вращения;
- возможность встраивания различных датчиков (скорости, положения и др.);

- малую шумность;
- низкую вибрацию;
- высокую надежность.

Недостатками являются:

- наличие передаточного механизма между приводом и звеном манипулятора;
- наличие в конструкции двигателя щеток;
- ограниченность применения во взрывоопасных средах.

Электрический двигатель является основным элементом привода, именно он преобразует электрическую энергию в механическую. Управляющую функцию выполняют преобразовательные и управляющие устройства, обеспечивая необходимую статику и динамику привода и, главное, оптимальный режим работы

манипулятора или рабочего органа, сочетающий требуемую точность и максимально возможную производительность.

Электромеханические приводы *классифицируются* по различным признакам.

По степени управляемости выделяют следующие их типы:

1) нерегулируемый (выдает на исполнительный орган одну строго определенную скорость; она может изменяться только ввиду возмущающих воздействий);

2) регулируемый (выдает как постоянную, так и переменную скорость, параметры задаются через управляющее устройство);

3) программно-управляемый (параметры скорости задаются управляющей программой);

4) следящий (отслеживает положение исполнительного органа относительно управляющего органа и сверяет его с заданным, в случае необходимости в управляющий сигнал вносятся корректировки);

5) адаптивный (управляющий сигнал от системы управления корректируется автоматически при изменении параметров внешней среды или условий работы машины).

По роду передаточного механизма электроприводы делятся на редукторные и безредукторные. В первом случае для передачи движения используются редукторы, во втором движение передается непосредственно на исполнительный орган.

По уровню автоматизации различают следующие электроприводы:

1) неавтоматизированный (все параметры управляющего сигнала задаются вручную), сейчас этот тип мало распространен;

2) автоматизированный (корректировка управляющего сигнала происходит за счет обратной связи);

3) автоматический (управляющий закон обрабатывается автоматически, при необходимости корректируется тоже автоматически). Автоматизированные и автоматические приводы применяются наиболее часто.

По наличию обратной связи приводы делятся на замкнутые (охваченные обратной связью) и разомкнутые (без обратной связи). Замкнутый привод содержит три крупных элемента: механическую часть привода, которая включает исполнительный орган и передаточный механизм; сам электродвигатель и систему управления. Последняя состоит из силовой преобразовательной части, управляющего устройства, задающего устройства и датчиков обратных связей.

С помощью преобразователя осуществляется питание двигателя и обеспечение управляющего воздействия. Управляющее устройство получает команды от задающего устройства, а датчики обратной связи предоставляют информацию о состоянии системы. В итоге эти датчики подают электрические сигналы, пропорциональные контролируемым параметрам, в управляющее устройство. В нем происходит сравнение фактических параметров и заданных; при необходимости вырабатывается корректирующий сигнал, который через преобразователь проходит в электродвигатель, устраняя рассогласование.

Вопросы для повторения

1. По каким признакам можно классифицировать приводы?
2. На основании каких факторов выбирается тип привода?
3. Какие требования предъявляются к приводам?
4. От чего зависит точность позиционирования?
5. Сравните различные виды приводов.

4. РАБОЧИЕ ОРГАНЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ

4.1. Свойства рабочих органов и требования к их конструкции

Все рабочие органы можно разделить на два больших класса [12]:

– *захватные устройства (ЗУ)*, предназначенные для захватывания и удержания предметов производства или технологической оснастки (ГОСТ 26063–84);

– *инструменты и технологические головки* – приспособления и устройства, выполняющие основные технологические операции (например, литейные ковши, краскопульты, измерительные головки, горелки и др.).

Рабочий орган промышленного робота обладает следующими свойствами:

- определяет область применения промышленного робота;
- является сменным модулем;
- имеет один или несколько приводов;
- может содержать датчики, предоставляющие информацию о внешней среде и предмете производства;
- является многофункциональным устройством.

Технические требования к конструкции рабочего органа состоят из двух частей – общих требований, применимых к любым ЗУ и инструментам, и специальных требований, зависящих от конкретных условий эксплуатации ПР и его технологического назначения.

К конструкции рабочего органа предъявляются следующие **общие требования**:

1. *Требование безопасности.* Рабочий орган при выполнении технологического процесса взаимодействует не только с оснасткой и другим оборудованием, но и с человеком-оператором. Сбой в программном управлении может привести к ошибкам реализации закона движения, нарушению позиционирования и столкновению с другим оборудованием, оснасткой и предметом производства; также возможен сбой подачи энергии в рабочий орган.

Все это может вызвать аварийную ситуацию и представлять опасность для оператора. В связи с этим для предотвращения причинения ущерба необходимо следующее:

- при отключении питания захватное устройство должно продолжать удерживать предмет производства, а технологическая головка должна 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 надежности промышленного робота.

2. *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.).

3. *Малая масса.* Рабочий орган должен иметь небольшую массу, поскольку 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 робототехнического комплекса и точность обработки. Обычно для снижения массы разрабатывают тонкостенные, но усиленные ребрами жесткости конструкции, в которых используют легкие и прочные материалы (алюминий, магний).

4. *Малые габариты.* Выполнение этого требования способствует снижению массы рабочего органа, позволяет экономнее

использовать рабочую зону, улучшает рабочие характеристики робота, поскольку уменьшается момент инерции последнего звена манипулятора.

5. *Максимальная жесткость и прочность.* Эти качества рабочего органа во многом определяют рабочие характеристики робота. Недостаточная жесткость рабочего органа увеличивает 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.

6. *Оптимальное усилие сжатия.* Максимальное усилие сжатия объекта манипулирования должно быть таким, чтобы надежно удерживать объект, но не допускать его разрушения или повреждения поверхности (благодаря применению эластичных накладок на пальцах ЗУ, силовых и силомоментных датчиков и т.п.).

7. *Обеспечение возможности применения для выполнения различных технологических операций и использования для работы с различными предметами производства* в пределах одного или разных конструктивно-технологических классов. Выполнение этого требования 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);

- 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.

8. *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.

4.2. Предметы производства и требования к ним

При разработке конструкции рабочего органа необходимо учитывать особенности предмета производства (ПП). Основными классификационными признаками предметов производства, существенными для проектирования захватных устройств, являются: физическое состояние, форма и 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 называют предметы, деформациями которых в процессе захватывания и переноса заведомо можно пренебречь.

Хрупкими – предметы, имеющие ограничения на величину воздействующих внешних сил; упругими – предметы, восстанавливающие первоначальную форму и размеры после снятия внешних нагрузок; пластичными – предметы, 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, удлиненных и объемных 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 транспортёре. 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, оснащенный 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 оснащенные 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 к предметам производства. При создании роботизированных технологических комплексов и выборе номенклатуры используемых захватных устройств необходимы технологический анализ предметов производства и их группирование по конструктивно-технологическим признакам.

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 [9; 10; 14]:

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. 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. Детали должны иметь ясно выраженные технологические базы и признаки ориентации, позволяющие организовать транспортирование и складирование их в ориентированном виде с использованием стандартизованной оснастки.

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.

4.3. Захватные устройства и технические требования к ним

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.

Манипулирование деталями при обслуживании станков производят роботы и автооператоры.

Манипулирование деталями типа тел вращения 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.

Захватные устройства промышленных роботов и манипуляторов 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 роботов и манипуляторов.

Как правило, ПР и манипуляторы 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 бази-

рования, 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); устойчивость 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 их масс, размеров и форм), 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.

Остановимся подробнее на некоторых требованиях к ЗУ.

Гибкость и упругость (податливость) ЗУ. Под гибкостью захвата понимается его способность обеспечить плотный обхват поверхности объекта неправильной формы, способность захватывать объекты, неточно ориентированные относительно захвата, а также способность центрировать и (или) базировать захваченные предметы производства. Преимущества гибких ЗУ особенно заметны при работе широкодиапазонных захватов с деталями, расположенными в ячейках или на столе с некоторыми отклонениями от своих штат-

ных 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, системы 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 предмета производства 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. Запястья такой конструкции производятся промышленностью и называются устройствами пассивной податливости с удаленным центром. 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. 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. Универсальность может быть выражена в простоте настройки и способности к внешним видоизмене-

ниям ЗУ, способности подстраиваться к форме и виду объектов манипулирования, включенных в рабочую номенклатуру, в обеспечении той или иной степени антропоморфности захвата, а также в возможности захватывания предметов производства в определенном диапазоне масс, размеров и форм.

Требования к информационному оснащению ЗУ. Информационное оснащение зависит от типа ПР, определяется уровнем детерминированности внешней среды, требованиями производственного процесса [15]. 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 для передачи информации о наличии или отсутствии детали, для поддержания в определенных пределах значения некоторой величины (давления, температуры и т.п.) и для выполнения функции концевого переключателя;

- 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.

Требования к оснастке ЗУ и ПР. При разработке оснастки часто приходится учитывать требования к креплению ЗУ к руке

робота 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 захвата. 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.

4.4. Классификация захватных устройств

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 объекта, по способу удержания предмета производства, по физическому принципу создания сил взаимодействия предмета с рабочими элементами ЗУ, по уровню и способам адаптации и т.д.

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

Поддерживающие ЗУ удерживают предмет производства за счет такого его расположения, при котором нижние поверхности или выступающие части предмета опираются на рабочую поверхность ЗУ. Примерами таких устройств служат опоры, крюки, вилки, лопатки и т.д. [14; 15].

Притягивающие (удерживающие) ЗУ обеспечивают притяжение и удержание ПП за счет действия сил притяжения предмета к элементам захватного устройства, возникающих благодаря различным физическим эффектам. В зависимости от природы притягивающей силы ЗУ подразделяются на магнитные, вакуум-

ные и прочие (адгезионные, электростатические, примораживающие, с липкими накладками и др.).

Зажимные (схватывающие) ЗУ удерживают объект за счет сил трения и запирающих усилий. Такие ЗУ можно поделить на механические устройства и устройства с эластичной камерой, которая деформируется под действием нагнетаемого рабочего тела.

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

Способные к перебазированию объекта ЗУ могут менять положение предмета производства с помощью управляемых действий рабочих элементов.

Центрирующие ЗУ могут определить положение 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 ЗУ с эластичными изгибающимися пальцами, адаптирующиеся к форме захватываемого объекта). Эти ЗУ обладают способностью к фиксации объекта, 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 бывают 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 – это 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 отпусkanie объекта. К этой группе относят ЗУ с пружинным приводом, оснащаемые стопорными устройствами и срабатывающие через такт. Разжимаются и зажимаются губки пружинных ЗУ благодаря их взаимодействию с объектом манипулирования или элементами внешнего оборудования.

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 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).

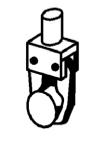
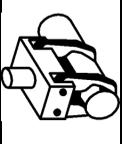
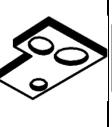
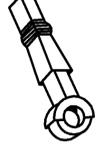
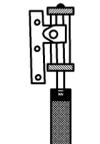
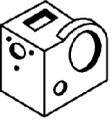
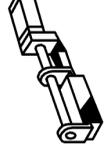
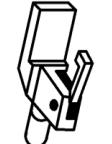
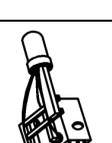
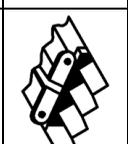
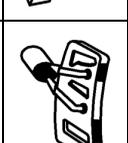
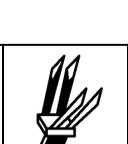
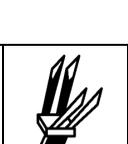
Пригодные для автоматической смены ЗУ – устройства, у которых конструкция базовых поверхностей обеспечивает возможность их автоматического закрепления на руке робота.

Примеры конструкций ЗУ, распределенные в соответствии с отдельными классификационными признаками захватываемых деталей и хватных устройств, приведены в табл. 4.1 [12].

Рассмотрим подробнее некоторые конструкции ЗУ.

Таблица 4.1

Конструкции захватных устройств

Тип		Детали		Механические захватные устройства			Вакуумные и магнитные захватные устройства		Захватные устройства с эластичными камерами
		Внешний вид	Широкодиапазонные	Центрирующие	Узкодиапазонные	Базирующие	Центрирующие	Базирующие	
Фланцы						-			
Валы							-		
Плоские детали		-				-		-	
Детали коробчатой формы			-					-	
Детали сложной формы без явных плоскостей		-	-	-					

4.5. Конструкции захватных устройств

Механические захватные устройства

Механические захватные устройства представляют собой наиболее многочисленный класс конструкций. Среди них выделяются неприводные и оснащенные приводом.

Неприводные ЗУ подразделяют на пассивные ЗУ и ЗУ 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.

Пассивные поддерживающие ЗУ. Самые простые из них – крюки (рис. 4.1). 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.

При использовании ЗУ в виде подвижных опор (рис. 4.2) 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

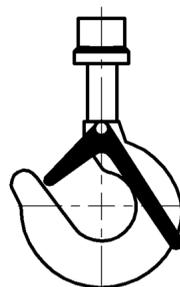


Рис. 4.1. Крюк грузовой крановый

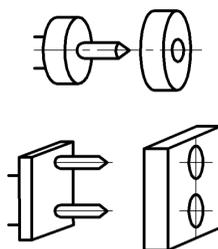


Рис. 4.2. Подвижные опоры

фиксации объекта и его съема, что может приводить к повреждению детали или зажимных элементов.

Пассивные зажимные ЗУ. Повреждения контактных поверхностей могут иметь место и при использовании пассивных ЗУ с подпружиненными или упругими зажимными элементами (рис. 4.3), поскольку деталь удерживается вследствие упругого воздействия зажимных элементов, а высвобождается принудительно благодаря дополнительным устройствам. Эти ЗУ применяют в условиях массового производства при манипулировании объектами небольшой массы и габаритных размеров. Для снятия объекта с таких ЗУ требуется усилие большее, чем усилие его удержания.

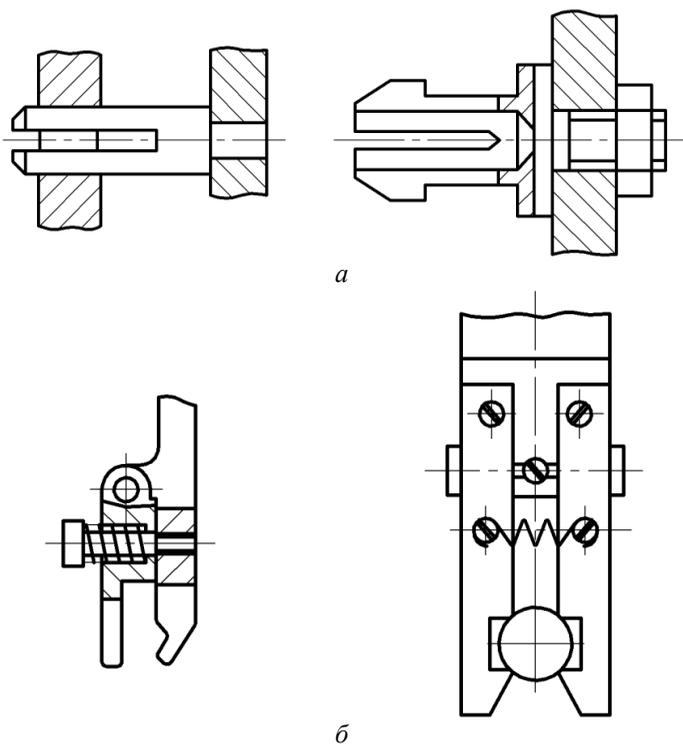


Рис. 4.3. Неуправляемые пассивные механические ЗУ: *а* – с упругими зажимными элементами; *б* – с подпружиненными элементами

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 рис. 4.4, *a* 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 1.

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 защелки 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 защелки 11, у которой имеются треугольные выступы, смещенные относительно храповых зубьев. При сближении корпуса 7 и головки 3 защелка входит в зацепление с верхними храповыми зубьями и поворачивается на 45°. Когда корпус и головка расходятся, защелка 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.

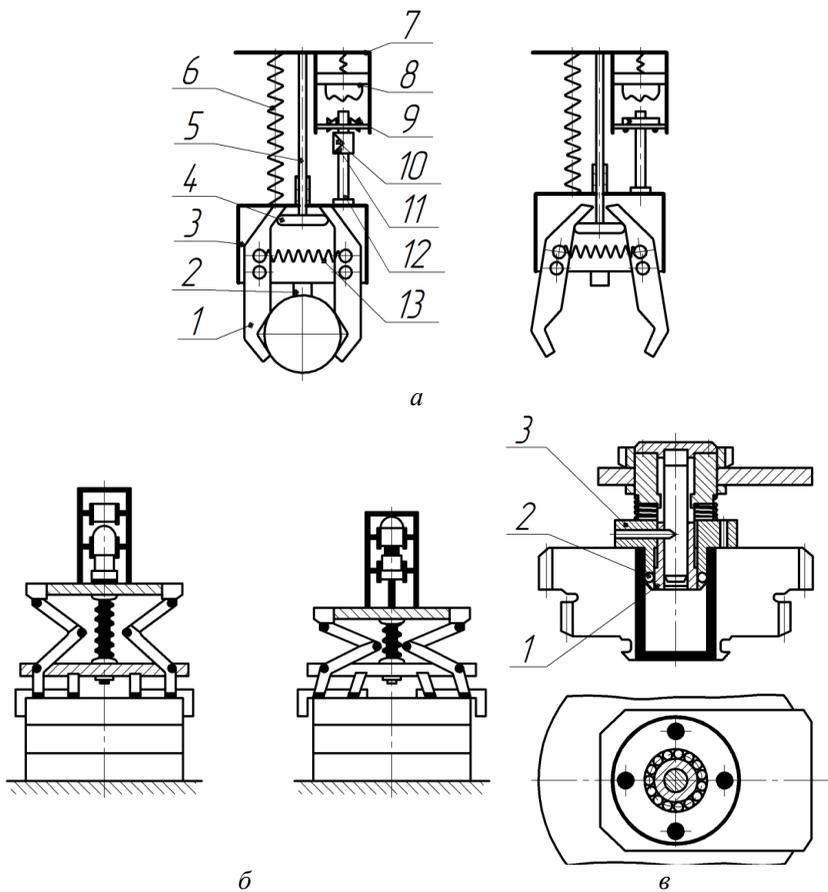


Рис. 4.4. Неприводные механические захватные устройства со стопорными механизмами: *а* – ЗУ для схватывания горизонтально расположенных валов или фланцев за наружную поверхность; *б* – тактовое пружинное ЗУ для захватывания фланцев, втулок и других деталей из стопы; *в* – ЗУ для захватывания тел вращения за внутреннюю поверхность

Чтобы разомкнуть систему, необходимо произвести еще одно сближение корпуса и головки: защелка опять войдет в зацепление с храповыми зубьями верхней втулки и повернется на 45° , а когда корпус 7 и головка 3 станут расходиться, защелка 11 вой-

дет в зацепление с храповыми зубьями верхней втулки δ , повернется еще на 45° и будет удержана ею. Губки ЗУ при этом окажутся раскрытыми, как это и показано на рис. 4.4, *а* справа.

На рис. 4.4, *б* показано тактовое пружинное ЗУ, предназначенное для захвата деталей типа фланцев, зубчатых колес и втулок из стопы.

На рис. 4.4, *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 $5\text{--}6^\circ$) 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. 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).

Для некоторых легко деформируемых предметов, изменяющих свою форму и размеры под воздействием механических усилий, применение механических клещевых 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 связанную с этим сложность 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.

Механические 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, адаптирующиеся к форме объекта манипулирования; адаптивные ЗУ, позволяющие регулировать усилие сжатия объекта; антропоморфные ЗУ с многозвенными пальцами.

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 (рис. 4.5) исключает повреждения предметов

производства, обладающих малой жесткостью. Захватывание симметричных (шаровых или цилиндрических) объектов 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 обоймы (губки) захватных устройств. Искривление мембраны позволяет зажать штырями объект производства (за счет сил трения).

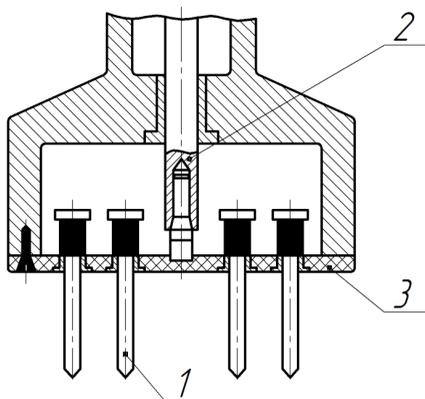


Рис. 4.5. Механическое ЗУ с мембраной и утапливающимися штырями: 1 – штыри; 2 – шток; 3 – мембрана

Механическое захватное устройство, адаптирующееся к форме объекта, представлено на рис. 4.6 [12]. 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.

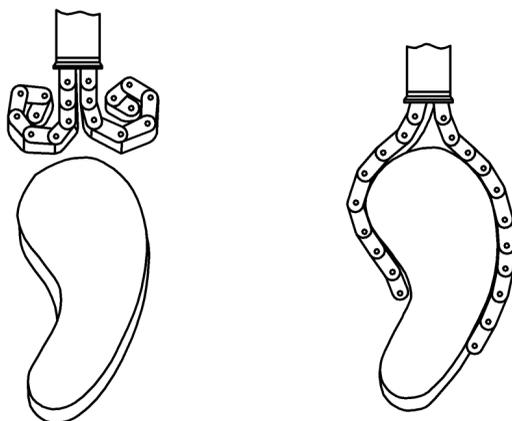


Рис. 4.6. Механическое захватное устройство, адаптирующееся к форме объекта

Захватные устройства с эластичными камерами используются для перемещения хрупких предметов производства, имеющих произвольную форму, небольшую массу. Принцип работы основан на том, что эластичная камера под действием сжатого газа или жидкости под давлением деформируется и обволакивает предмет производства. Большая поверхность контакта обеспечивает прочное, но бережное удержание объекта манипулирования. Сила сжатия может регулироваться подаваемым давлением рабочего тела в зависимости от хрупкости предмета и его массы. Такие ЗУ одинаково пригодны для захвата предмета как снаружи, так и изнутри. Однако точность их позиционирования невелика, а камеры быстро изнашиваются.

Пневматические центрирующие ЗУ с расширяющимися эластичными камерами фирмы *Simrit* (Германия) показаны на рис. 4.7. 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. 4.7, а) или наружную (рис. 4.7, б) поверхность.

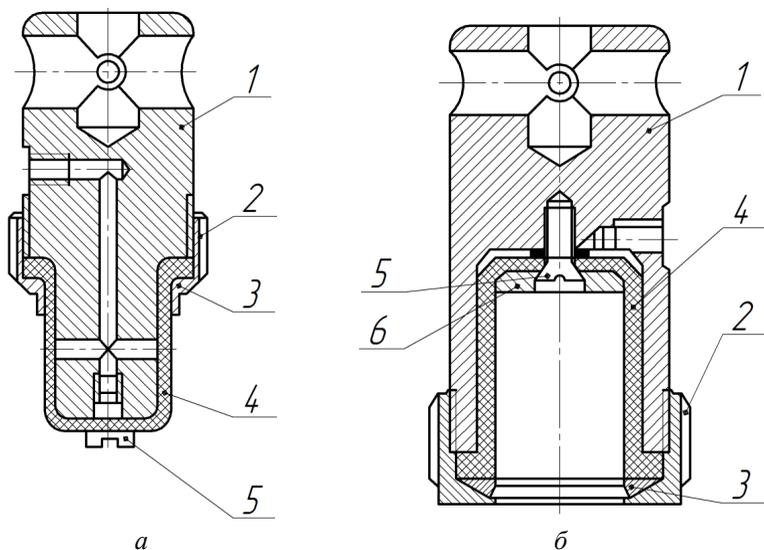


Рис. 4.7. Центрирующие ЗУ с расширяющимися эластичными камерами фирмы *Simrit* (Германия) для взятия объектов за поверхность: *а* – внутреннюю; *б* – наружную; 1 – корпус; 2 – гайка; 3 – кольцо; 4 – камера; 5 – винт; 6 – шайба

Пневматические базирующие ЗУ с изгибающимися эластичными камерами фирмы *Simrit* (Германия) для захватывания объектов за наружную поверхность показаны на рис. 4.8, *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.

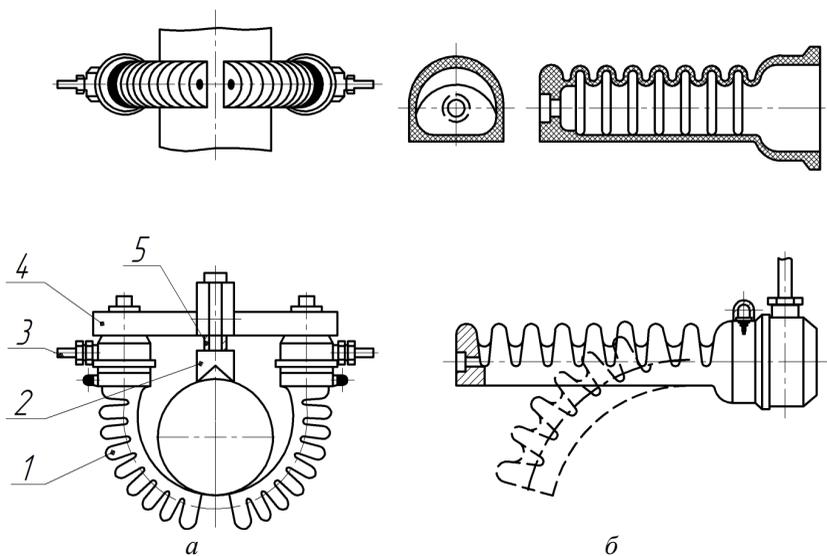


Рис. 4.8. Базирующие ЗУ с изгибающимися камерами фирмы *Simrit* (Германия) для взятия объектов за наружную поверхность: *а* – схема захватывания предмета производства; *б* – конструкция эластичной камеры; 1 – камера; 2 – призма; 3 – патрубков; 4 – корпус; 5 – регулирующий держатель

Адаптивные захватные устройства. В ряде случаев промышленные роботы требуется оснащать датчиками внешней информации о наличии объекта манипулирования, его форме, размерах, массе, состоянии поверхности, усилию его удержания, степени возможного проскальзывания и т. п. Часто наилучшим местом установки датчиков является ЗУ. Желательно также (особенно при сборочных операциях), чтобы захватное устройство автоматически приспособлялось (см. рис. 4.6, 4.8) к форме объекта манипулирования.

При определенных манипуляциях с объектом используют как контактные, так и неконтактные (дистантные) датчики, в том числе локационные системы и системы технического зрения. 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. В этом случае используются 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 захватного устройства на цель. Локальные движения захватного устройства при захватывании и удержании детали обеспечивают тактильные датчики. Варианты размещения тактильных датчиков на ЗУ робота PUMA показаны на рис. 4.9. 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. 4.9, а).

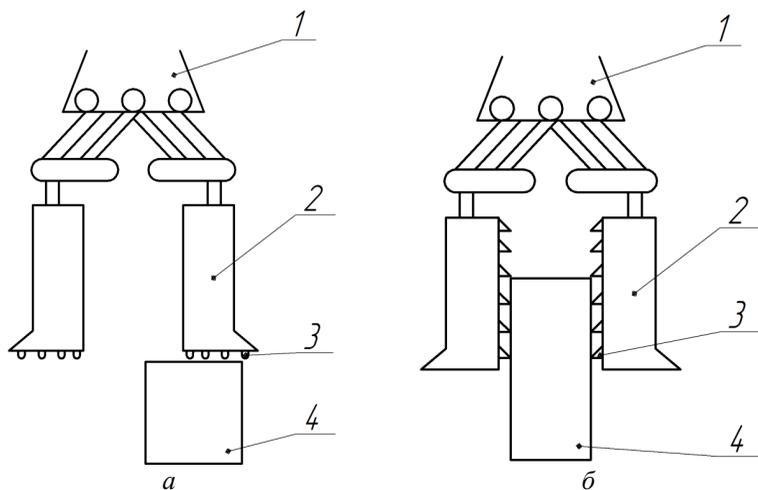


Рис. 4.9. Варианты размещения тактильных датчиков на ЗУ робота PUMA для обеспечения захватывания детали (а) и ее удержания (б): 1 – захватное устройство робота; 2 – губки захватного устройства; 3 – тактильные датчики; 4 – деталь

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. 4.9, 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.

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

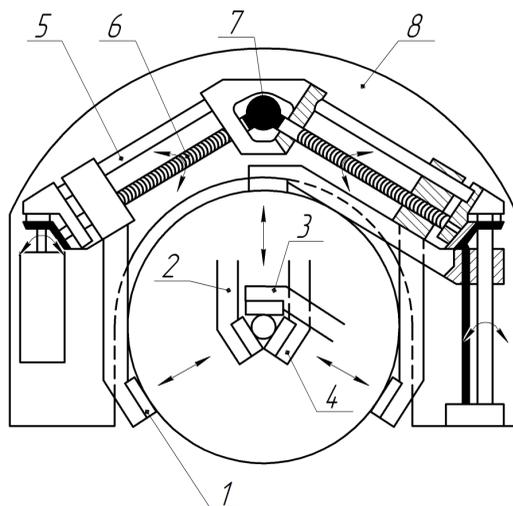


Рис. 4.10. Антропоморфное захватное устройство с тремя пальцами, построенное по схеме трехпалчатого патрона: 1 – губка; 2, 3, 4 – пальцы ЗУ; 5 – направляющий стержень; 6 – винт; 7 – коническая передача; 8 – корпус ЗУ

ЗУ, построенное по схеме трехкулачкового патрона (рис. 4.10), состоит из корпуса 8, в 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.

Притягивающие захватные устройства

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

Сравнительная характеристика вакуумных и электромагнитных ЗУ приведена в табл. 4.2 [14].

Таблица 4.2

Сравнительные характеристики электромагнитных и вакуумных ЗУ

Параметры сравнения	Электромагнитные ЗУ	Вакуумные ЗУ
Требования к предмету производства	Могут захватывать предметы производства только из магнитных материалов	Могут захватывать предметы производства из любых твердых плотных материалов, но только за ровную поверхность

Параметры сравнения	Электромагнитные ЗУ	Вакуумные ЗУ
Сила притяжения	Высокая	Ограничена возможным разрежением
Точность базирования	Высокая благодаря жесткости сердечника	Эластичность схвата снижает точность базирования
Подготовка поверхности	Не требуется	Необходимо очищать поверхность предмета производства
Очистка поверхности после обработки	Остаточное намагничивание приводит к налипанию магнитящегося сора	Не требуется
Время подготовки к работе	Мгновенная подготовка к работе	Требуется некоторое время для создания необходимого вакуума
Продолжительность работы	Ограниченная продолжительность включения электромагнита	У пассивных ЗУ время захватывания ограничено временем удержания вакуума
Конструкция	Конструкция простая и долговечная	Сложная и прихотливая конструкция, срок службы отдельных элементов невелик

Магнитные ЗУ работают следующим образом. Удержание предмета производства происходит за счет действия магнитной силы, которая создается постоянными (рис. 4.11, *а*) или электрическими (рис. 4.11, *б*) магнитами.

У магнитных ЗУ есть несколько недостатков: слипание некоторых предметов производства, например листовых заготовок (см. рис. 4.11, *б*); снижение со временем силы захвата при использовании постоянных магнитов; большая масса ЗУ.

Вакуумные захватные устройства работают по следующему принципу: при совмещении вакуумной камеры (присоски)

с поверхностью предмета производства создается замкнутая полость, из которой откачивается или вытесняется воздух. Образующееся разрежение на поверхности контакта позволяет захватить предмет производства и проводить с ним манипуляции.

Присоски вакуумных захватных устройств изготавливают из резины или пластика. Выбор материала для изготовления присосок зависит от тех условий, при которых они будут работать, в первую очередь от температуры и наличия в рабочей среде масла или химических реагентов.

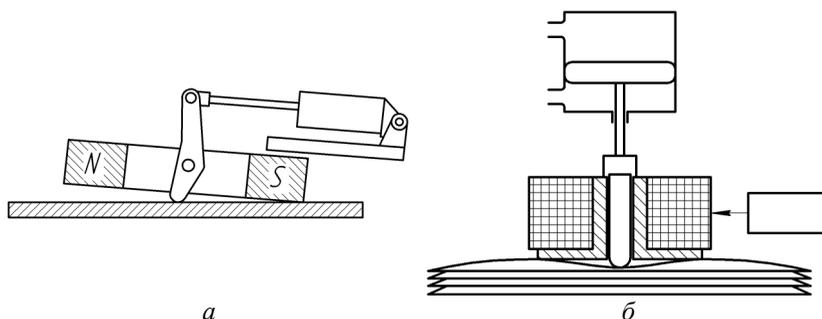


Рис. 4.11. Схемы магнитных ЗУ: *а* – с постоянным магнитом и устройством для механического разъединения деталей; *б* – с электромагнитом и силовым цилиндром для обеспечения захвата одного листа из пакета тонких железных листов

Вакуумные захватные устройства находят широкое применение в технике, так как могут захватывать предмет производства 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 захватные устройства этого типа 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.

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

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 – системой простой и надежной, но расходующей большое количество воздуха из заводской сети.

Захватные устройства с приспособлениями для выполнения технологических операций

Захватные устройства, оснащенные различными приспособлениями и инструментом, расширяют область применения промышленного робота и сокращают цикл его работы. Такие захватные устройства могут быть командными, программируемыми или адаптивными.

Например, вакуумное ЗУ для съема изделий с термопластоавтоматов (рис. 4.12) оснащено пневматическими ножницами для отрезки литника. 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.

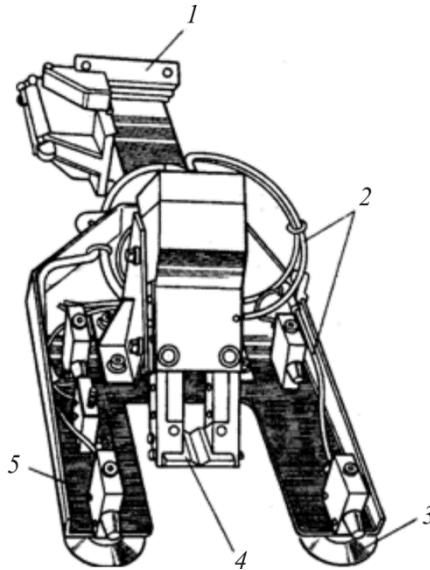


Рис. 4.12. Вакуумное захватное устройство для съема изделий с термопластоавтоматов с пневматическими ножницами для отрезки литников [14]: 1 – хвостовик ЗУ; 2 – пневмопровода; 3 – вакуумная присоска; 4 – пневматические ножницы; 5 – рама

Применяют также ЗУ, оснащенные соплами для очистки сжатым воздухом поверхностей детали и станка, толкателями для отделения и сброса пресс-остатка при листовой штамповке, средствами запрессовки для выполнения монтажных работ и т.п.

Вопросы для повторения

1. На какие классы можно разделить все рабочие органы?
2. Какие требования предъявляются к рабочим органам?
3. По каким признакам можно классифицировать захватные устройства?
4. Какие требования предъявляются к предметам производства?
5. Расскажите о конструкциях специальных захватных устройств.

5. ГИБКИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ

5.1. Основные понятия гибкой автоматизации

Автоматизация производства – комплекс мер и средств, применяемых в производстве, при которых человек освобождается не только от физического труда, но и от управления отлаженным технологическим процессом. Участие человека сводится к наблюдению за работой установки и ее технологической подготовке.

Автоматизация может быть частичной и комплексной. В первом случае автоматизация реализована на тех элементах технологического процесса, участие человека в которых затруднено или невозможно. При этом те элементы технологического процесса, автоматизация которых не принесет экономического эффекта (слишком сложна, дорога, несовершенна и т.д.), могут оставаться механизированными или вообще сохранять ручной труд. Степень автоматизации производства должна быть оптимальной для достижения наибольшего экономического эффекта.

При комплексной автоматизации все производство представляет собой единый взаимосвязанный комплекс, организованный на базе достаточно совершенной технологии и прогрессивных методов управления с применением надежных унифицированных технических средств, технологического оборудования, действующего по заданной или самоорганизующейся программе при общем контроле человека за работой всего комплекса.

Гибкий производственный модуль (ГПМ) – это единица оборудования с программным управлением для производства изделий произвольной номенклатуры в установленных пределах значений их характеристик, автономно функционирующая, автоматически осуществляющая все функции, связанные с их изготовлением, и имеющая возможность встраивания в ГПС.

Роботизированный технологический комплекс (РТК) есть совокупность единицы технологического оборудования, промышленных роботов и средств оснащения, автономно функционирующая и осуществляющая многократные циклы. Предназначенные для работы в гибких производственных системах РТК

должны иметь автоматизированную переналадку и возможность встраивания в систему. Промышленный робот может быть грузочным, транспортным или использоваться как технологическое оборудование (например, для изготовления керамической оболочки для литья по выплавляемым моделям, для смазки и обдува пресс-форм и др.). Средствами оснащения РТК могут быть автоматические устройства накопления, ориентации, поштучной выдачи объектов производства, мини-транспортёры и другие устройства, обеспечивающие функционирование РТК.

Гибкая производственная система – это совокупность в разных сочетаниях оборудования с системами ЧПУ, роботизированных технологических комплексов, гибких производственных модулей, отдельных единиц технологического оборудования и систем обеспечения их функционирования в автоматическом режиме в течение заданного интервала времени, обладающая свойством автоматизированной переналадки при производстве изделий произвольной номенклатуры в установленных пределах значений их характеристик [21; 23].

По организационному признаку различают следующие виды ГПС:

- гибкие автоматизированные линии (ГАЛ);
- гибкие автоматизированные участки (ГАУ);
- гибкие автоматизированные цехи (ГАЦ);
- гибкие автоматизированные заводы (ГАЗ) [23; 26].

Гибкая автоматическая линия – это ГПС, в которой технологическое оборудование расположено в принятой последовательности операций.

Гибкий автоматизированный участок – это ГПС, функционирующая по технологическому маршруту, в котором предусмотрена возможность изменения последовательности использования технологического оборудования.

Гибкий автоматизированный цех – это ГПС, представляющая собой совокупность ГАЛ, ГАУ, РТК в различных сочетаниях для изготовления изделий заданной номенклатуры.

В систему обеспечения функционирования ГПС входят автоматизированная система информационного обеспечения, система автоматизации конструирования, автоматизированная система управления производством (АСУП), система автоматизации проектирования (САПР), автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП), автоматизированная система научных исследований (АСНИ). В случае, когда ГПС функционируют с АСНИ, САПР, АСУ ТП и АСУП, они образуют единую интегрированную систему «проектирование – изготовление».

Для серийного и мелкосерийного многономенклатурного производства характерна частая переналадка на выпуск новой продукции, в связи с чем возникает требование гибкости, а желание получить стабильное качество выпускаемых изделий заставляет искать пути для автоматизации технологического процесса.

При серийном производстве для такой технологии характерно следующее:

- возможны типовые и групповые технологические процессы (ТП) с неполной детальной их проработкой;
- укрупняются (интегрируются) операции;
- требование синхронности операций необязательно;
- большинство операций выполняется на гибких производственных модулях, построенных на базе высокопроизводительного универсального оборудования с микропроцессорным управлением, роботов-загрузчиков и вспомогательного оборудования, объединенных с автоматизированным накопительным и транспортным оборудованием в ГАЛ или ГАУ;
- связь между ГПМ и складом осуществляется транспортными роботами с изменяемой траекторией;
- в целом повышается гибкость ГАУ, производительность, коэффициент загрузки оборудования.

При многономенклатурном мелкосерийном производстве для данной технологии характерно следующее:

- в основном то же, что и при серийном, но еще больше укрупняются операции (стремление выполнить процесс на одном автомате или участке);

– основу ГАУ составляют универсальное оборудование с микропроцессорным управлением, автоматизированные транспорт и наполнители с ПУ или ЧПУ, сопрягаемые с общим управлением от ЭВМ;

– ГАУ здесь имеют высокую гибкость, высокую производительность в условиях частой переналадки.

Характерными для современной технологии производства являются гибкие производственные ячейки, а также гибкие производственные линии, предназначенные для выпуска деталей крупными сериями.

Особенностью автоматизированных ТП является возможность их интенсификации. Для этой цели используют: объединение операций, действий (совмещение рабочих проходов инструмента с холостыми); увеличение числа режимов работы оборудования; применение новых высокопроизводительных процессов, реализация которых при неавтоматизированном управлении невозможна; оптимизацию ТП по некоторым заданным критериям.

Вспомогательное оборудование должно обеспечивать эффективную работу основного технологического оборудования. В качестве последнего могут использоваться ПР, которые самостоятельно выполняют технологические операции по изготовлению предметов производства, их перемещению и ориентированию их в пространстве. Функции человека-оператора сводятся к наблюдению за работой оборудования.

Гибкое производство предъявляет следующие основные *требования к оборудованию*:

1. Приспособленность к автоматическому режиму работы с максимальной концентрацией операций, возможность контроля качества изготовления изделий (концентрация операций и переходов, введение контроля в каждом станке позволяют сократить число переустановок, требуемое количество единиц оборудования, сэкономить производственную площадь, улучшить качество изготовления изделия, уменьшить общую продолжительность производственного цикла и повысить гибкость ГПС).

2. Способность к самодиагностике, что позволит повысить надежность самого оборудования и надежность ГПС, а также сократить время на устранение неисправностей.

3. Обеспечение возможности быстрой автоматизированной переналадки при смене выпускаемых изделий (например, смена или настройка зажимного приспособления, схвата ПР, укладочной головки, инструмента и др.). От выполнения этого требования зависит время подготовки оборудования к работе, производительность комплексов и длительность производственного цикла.

4. Обеспечение всех видов стыковки (совместимость) с другим оборудованием комплексов ГПС, в том числе компоновочной, программной стыковки и др.

5. Максимальная унифицированность и стандартизованность узлов и компонентов автоматизированного технологического оборудования (АТО) для сокращения сроков проектирования и изготовления, снижения трудоемкости эксплуатации и ремонта (например, использование функционально-модульного принципа построения).

Гибкая автоматизация производства, применяемая для многономенклатурного серийного и мелкосерийного производства, основывается на групповой и типовой технологии, использовании унифицированных технических средств: гибких производственных модулей, автоматизированных транспортных, складских систем и комплексов из них и систем управления ими, построенных на базе вычислительной техники.

5.2. Построение эффективного гибкого производства

Задача создания комплекса технических средств гибкого перестраиваемого производства разделяется на три крупных подзадачи:

1. Создание управляющих вычислительных систем совместно с периферийным оборудованием. Сюда следует отнести универсальные ЭВМ, микроЭВМ для установки в реальные системы управления роботами и другим оборудованием, программные средства (операционные системы и пакеты прикладных программ), средства контроля и диагностики.

2. Создание технических средств автоматизации, включающих в себя электроавтоматику оборудования, робототехнику и транспортно-складскую технику.

3. Создание высокоэффективного технологического оборудования.

Создание любого автоматизированного оборудования или модуля начинается с разработки технологического процесса. На этом этапе решаются такие задачи:

- выбор методов изготовления предмета производства;
- оценка производительности операции, процесса;
- определение количества и последовательности выполнения операций;
- согласование их с объемом выпуска или ритмом изготовления изделия;
- агрегатирование (объединение или дробление) операций;
- обеспечение геометрической и (или) параметрической совместимости компонентов при сборке;
- выбор оборудования, инструмента и других орудий труда;
- моделирование ТП;
- определение режимов или условий выполнения операции.

Укажем средства и способы гибкой автоматизации производства и преимущества их использования:

1. *Многоцелевое технологическое оборудование с микропроцессорным управлением.* При его применении повышается концентрация операций, увеличивается время непрерывной работы, повышается производительность работ, качество и идентичность изделий, сокращается потребность в рабочей силе, производственных площадях и оборудовании, сокращается продолжительность производственного цикла изготовления продукции, увеличиваются системная гибкость, надежность и живучесть ГПС.

2. *Микропроцессорные локальные системы управления (ЛСУ) технологическим оборудованием и другими его видами.* Обеспечивается многофункциональный характер управляемых от ЛСУ станков; увеличивается производительность оборудования, повышается

качество выпускаемых изделий; уменьшается объем аппаратурной части, благодаря чему повышается надежность системы и оборудования, возрастает уровень унификации (как конструктивной, так и функциональной); снижается стоимость ЛСУ и оборудования, упрощается сопряжение с ЭВМ группового управления.

3. *Промышленные роботы.* Обеспечивается автоматизация операций загрузки-выгрузки оборудования, инвариантность по отношению к этим операциям, автоматизация некоторых транспортных операций, при этом исключается ручной труд, сокращается длительность операций загрузки-выгрузки, транспортирования, повышается автономность работы оборудования и системная живучесть; увеличивается коэффициент загрузки оборудования, снижается потребность в рабочей силе.

4. *Комплексы оборудования: ГПС (с управлением от ЭВМ), РТК и др.* Автоматизируются не только основные, но и вспомогательные операции (транспортные, складские, контрольно-измерительные работы); исключается (сокращается) потребность в рабочей силе; сокращается весь производственный цикл выпуска изделий; повышается достоверность контроля.

5. *ЭВМ для управления комплексом.* Осуществляется оперативное управление группой оборудования с одновременным повышением коэффициента его загрузки; обеспечивается учет и оптимизация распределения ресурсов, повышается производительность, сокращаются объемы страховых заделов и незавершенное производство; исключаются многие дополнительные операции, которые вводились из-за учета длительного хранения полуфабрикатов на складе (например, дополнительное лужение выводов); повышается надежность, гибкость, упрощается согласование с ЭВМ цехового уровня.

6. *Автоматизированная система технологической подготовки производства (АСТПП).* Обеспечивается автоматизация разработки ТП, управляющих программ на все виды оборудования и все изделия планируемого периода и хранение их в памяти ЭВМ, автомати-

зация проектирования технологического оснащения; сокращаются трудоемкость и сроки технологической подготовки производства.

7. *Автоматизированные системы управления производством.* Автоматизируются процессы планирования, материального обеспечения производства, оперативного управления процессом изготовления изделий.

8. *Комплексные интегрированные системы единой цепи «проектирование – изготовление».* Осуществляется объединение всех процессов, связанных с проектированием, подготовкой производства и изготовлением изделий в единую непрерывную цепь; обеспечивается успешная адаптация конструкции изделия к условиям производства, повышается эффективность выпуска изделий, значительно сокращается объем преобразований информации об изделии, выполняемых при раздельном использовании САПР, АСТПП, АСУП, АСУ ГПС.

Высокий уровень унификации, стандартизации всех средств автоматизации производства (включая ТП, оборудование, ПР, оснастку, инструмент, программное обеспечение) сокращает трудоемкость и сроки проектирования, изготовления и отладки указанных средств, снижает себестоимость, повышает надежность.

Гибкость элементов ГПС обеспечивается следующим образом:

1. Гибкость *автоматизированных технологических машин* обеспечивается автоматизированными приводами с дистанционным управлением на каждую координату движения и все элементы цикла; модульным принципом построения; возможностью автоматической подачи исходного материала и удаления готового изделия, смены силовых головок, инструмента, установочных и зажимных приспособлений из своих накопителей или накопителей системы; СЧПУ на микропроцессорной основе.

2. *Манипуляторы ПР* обладают гибкостью за счет автономности следящих и шаговых приводов с управлением от СЧПУ по независимым координатам, возможности автоматической смены захватов; применения сенсорных и других адаптивных устройств; модульности построения.

3. *Автоматизированный участковый и цеховой транспорт* позволяет легко изменять траекторию движения, обслуживать оборудование в произвольной последовательности и с любой периодичностью (по степени готовности и его запросу); им можно управлять на основе СЧПУ.

4. Гибкость *автоматизированного складского устройства* проявляется в возможности автоматически в произвольной последовательности заполнять ячейки и изымать из них грузы (по степени их освобождения с затратой наименьшего времени на поиск ячеек); производить автоматизированный учет наличия грузов и свободных ячеек; управлять складом на основе СЧПУ.

5. Гибкость *автоматизированной системы управления ГПС, ГПК и ее программного обеспечения (ПО)* обеспечивается за счет многоступенчатой автоматизированной системы управления, построенной по иерархическому принципу на базе ЭВМ и позволяющей осуществлять оперативное планирование, регулирование и управление, контроль и учет, технологическую подготовку, расчет управляющих программ для СЧПУ и их загрузку в память по запросу. Она обеспечивает оператору по его запросу диалоговый режим управления, изготавливает необходимую техническую документацию.

Гибкость системы, обеспечиваемая структурой системы, конструкцией ее элементов (АТО, ПР и других средств), – это достигнутая *краткосрочная гибкость*. Она применяется в рамках действующей программы, т.е. при выпуске базового изделия и его вариантов; при переходе на выпуск новой модификации изделия она связана с автоматизированной загрузкой исходного материала, выгрузкой изделия, сменой управляющей программы, инструмента, переюстировкой приспособлений и др.

Долгосрочная гибкость, достигаемая перестройкой системы и ее элементов, применяется обычно при переходе с выпуска одного базового изделия на другое и требует перепланировки системы или ее элементов (участков, модулей), переконфигурации основного и вспомогательного оборудования с заменой его и дополнением аналогичными моделями или новыми.

От внедрения ГПС ожидаются следующие положительные эффекты:

- 1) уменьшение размеров предприятия;
- 2) увеличение коэффициента использования оборудования;
- 3) снижение накладных расходов (в связи с пп. 1, 2);
- 4) уменьшение, по крайней мере, наполовину объема незавершенного производства;
- 5) сокращение фонда заработной платы;
- 6) уменьшение времени переналадок;
- 7) ускорение смены выпускаемых изделий;
- 8) сокращение сроков поставки продукции;
- 9) стабилизация точности изготовления;
- 10) стандартизация технологического оборудования;
- 11) увеличение срока службы основных фондов;
- 12) развитие САПР-АСУ ТП (CAD/CAM).

Вопросы для повторения

1. Как вы понимаете термин «гибкость производства»?
2. Какие системы можно считать гибкими? В чем их преимущества?
3. За счет чего обеспечивается гибкость производства?
4. Каковы методы обеспечения гибкости отдельных элементов производственных систем?

6. АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФОРМ И СТЕРЖНЕЙ

Автоматизация процессов машинной формовки осуществляется на автоматизированных линиях или РТК, предназначенных для автоматического изготовления нижних и верхних полуформ на серийно выпускаемых формовочных машинах.

6.1. Изготовление оболочковых форм и стержней

Автоматизированная линия для изготовления оболочковых форм из сухих термотвердеющих смесей в условиях массового и крупносерийного производства (рис. 6.1) состоит из машины для изготовления оболочковых форм и установки для их сборки.

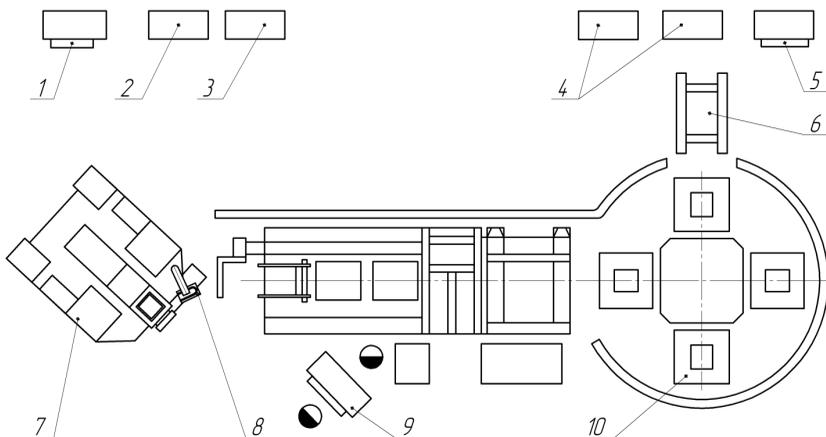


Рис. 6.1. Автоматизированная линия для изготовления оболочковых форм: 1 – гидростанция; 2, 3, 4 – электрощиты; 5 – гидростанция; 6 – стол; 7 – машина для изготовления оболочковых форм; 8 – автооператор для съема полуформ; 9 – пульт управления линией; 10 – установка для сборки и склеивания форм

Машина 7 представляет собой четырехпозиционную карусельную установку с газовым обогревом моделей и полуформ. Она снабжена загрузочным бункером и автооператором 8 для съема полуформ с модельной плиты. Оболочковые формы формируют гравитацион-

ным способом с помощью поворотного бункера с шиберным секторным затвором. Готовая оболочка за фланец захватывается автооператором (для этой цели может быть применен и ПР), кантуется разъемом вверх и устанавливается на приемный стол. При опускании приемного стола оболочку укладывают на направляющие штангового конвейера, который вместе с кантователем полуформ, дозатором для нанесения клея на разъем нижней полуформы, установкой для сборки полуформ и четырехпозиционным агрегатом для их прессования входит в состав установки 10. Стержни устанавливают оператором при перемещении полуформ на штанговом конвейере. Готовые формы выталкиваются из агрегата прессования на подставку. Производительность линии составляет 35 форм в 1 ч. Размер форм 800×600×400 мм (длина×ширина×высота). Температура моделей регулируется автоматически.

Роботизированные комплексы машинной формовки располагают у литейного конвейера, являющегося общим транспортным средством в литейных цехах [1].

6.2. Изготовление разовых песчаных форм

РТК машинной формовки приведен на рис. 6.2. Формовочная машина 5 служит для изготовления нижних полуформ 9, формовочная машина 1 – для изготовления верхних полуформ 11. Промышленный робот 2 обслуживает формовочные машины и литейный конвейер, обеспечивая попеременную передачу полуформ от машин на литейный конвейер 7 и подачу на машины пустых опок 8. Захватное устройство робота 10 обеспечивает захват пустых опок и полуформ за цапфы. Формовочная машина 5 снабжена поворотным устройством 6, служащим для кантования полуформы, вытяжки модели и выдачи полуформы на приемные ролики 4. Для контроля целостности отпечатка полуформ предусмотрены специальное контрольное устройство и автоматический маркировщик 12, наносящий метки на бракованные полуформы. Оператор 3 наблюдает за работой РТК.

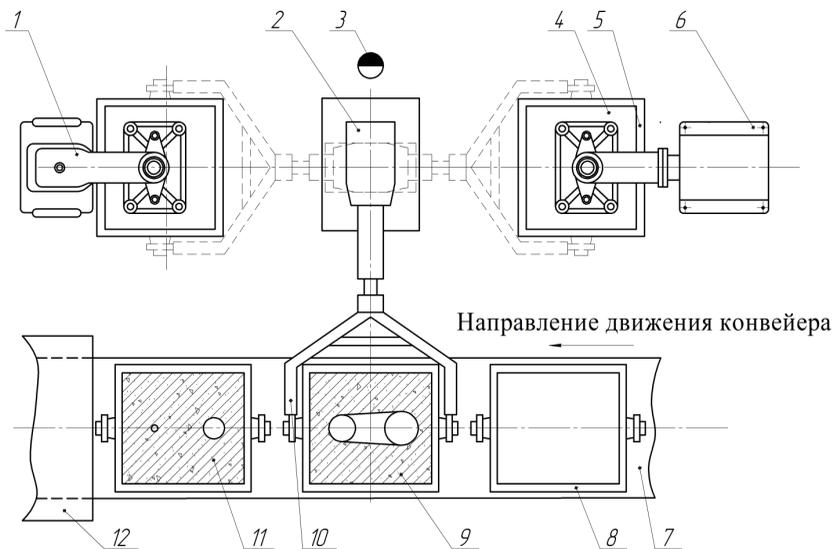


Рис. 6.2. Роботизированный комплекс машинной формовки: 1 – формовочная машина для изготовления верхних полуформ; 2 – ПР; 3 – оператор РТК; 4 – приемные ролики; 5 – формовочная машина для изготовления нижних полуформ; 6 – поворотное устройство; 7 – конвейер; 8 – пустая опока; 9 – нижняя полуформа; 10 – захватное устройство ПР; 11 – верхняя полуформа; 12 – маркировщик

В РТК автоматизированы следующие операции:

- подача пустой опоки на стол формовочной машины изготовления нижней полуформы;
- обдув и опрыскивание модели разделительным флюоресцирующим составом;
- уплотнение смеси встряхиванием и прессованием;
- кантование полуформы и протяжка модели;
- захватывание полуформы роботом и передача ее на литейный конвейер;
- захватывание роботом пустой опоки и передача на формовочную машину изготовления верхней полуформы;

- изготовление верхней полуформы и передача ее на литейный конвейер;
- бесконтактный контроль качества и целостности отпечатка полуформ.

Робот расположен между формовочными машинами и совершает маятниковые движения между ними в пределах зоны обслуживания. Цикл его работы составлен таким образом, что, когда происходят уплотнение и изготовление полуформы на одной машине, он выполняет работу по подаче и манипулированию с полуформой и пустой опокой для другой машины.

Возможна компоновка РТК с двумя конвейерами: одним для пустых опок, а другим для полуформ. Опоки перед подачей к роботу должны быть ориентированы и расположены на конвейере в определенной последовательности.

Бесконтактному контролю целостности отпечатка подвергаются нижние и верхние полуформы. Перед формовкой на модель наносится специальный флюоресцирующий разделительный состав, который в процессе уплотнения впитывается формовочной смесью на глубину 1–3 мм и переносится на отпечаток и лад полуформы. Если в процессе вытяжки модели образуются подрыв и нарушение целостности отпечатка, то поверхностный слой смеси, пропитанный флюоресцирующим составом, нарушается, и обнажается (или закрывается) участок смеси, не пропитанный составом. Под действием света люминесцентных ламп смесь, пропитанная флюоресцирующим составом, начинает светиться.

Устройство автоматического контроля целостности отпечатка форм фотоэлементами воспринимает свечение флюоресцирующей смеси (рис. 6.3). При прохождении через устройство полуформы, имеющей подрыв 2, свет от источника 3 не отражается от дефектного участка вследствие того, что смесь не пропитана флюоресцирующим составом и не люминесцирует. Поэтому между анодом А и катодом К фотоэлемента 4 ток от источника питания 5 не проходит и регистрирующий прибор 6 не

дает показаний. Цепь усилитель 7 – электромагнитное поле соленоида 8 разомкнута. При этом нормально открытые контакты реле замыкают цепь сумматора 9, катушка 10 контактора обесточена.

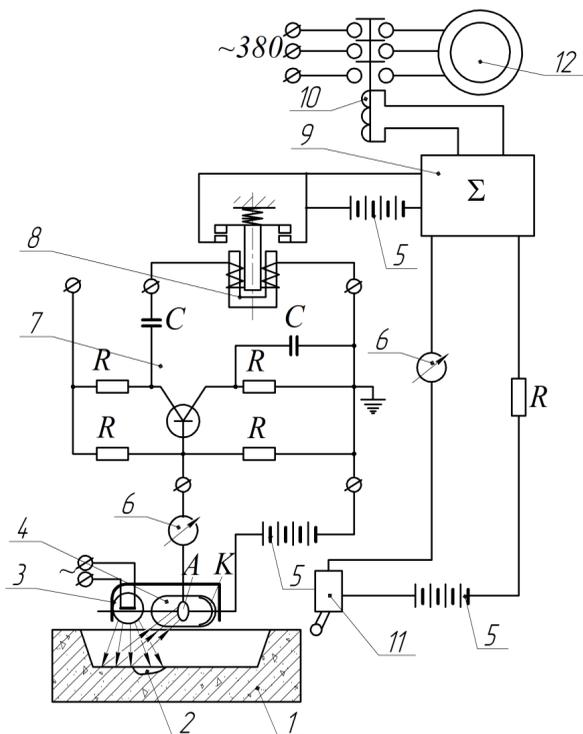


Рис. 6.3. Устройство автоматического контроля целостности отпечатка форм: 1 – полуформа; 2 – подрыв (повреждение поверхности); 3 – источник света; 4 – фотозлемент; 5 – источники электропитания; 6 – регистрирующий прибор; 7 – усилитель; 8 – соленоид; 9 – сумматор; 10 – катушка контактора; 11 – конечный выключатель; 12 – электродвигатель; A – анод; K – катод; R – сопротивление; C – конденсатор

При подходе полуформы к позиции контроля конечный выключатель 11 замыкает свою цепь и подает электрический сигнал в сумматор сигналов 9. Если полуформа не имеет подрывов, на-

липаний и других дефектов на отпечатке и ладе, то сумматор 9 не выдает сигнал и реверсивный двигатель 12 привода маркировального груза не включается, а груз находится в верхнем исходном положении. Если полуформа имеет дефект, то в сумматоре 9 происходит сложение сигналов, а на его выходе появляется сигнал, дающий команду на включение двигателя 12. Маркировальный груз быстро падает и наносит метку на бракованной полуформе или разрушает ее.

После нанесения бракующей метки и прохождения полуформы конечный выключатель 11 вновь подает сигнал и двигатель 12 начинает вращаться в противоположную сторону, поднимая маркировальный груз.

6.3. Автоматизация процессов изготовления стержней, их простановки и сборки форм

Автоматическая линия изготовления стержней, простановки их в полуформы и сборки форм включает несколько роботизированных комплексов, объединенных литейными конвейерами [1].

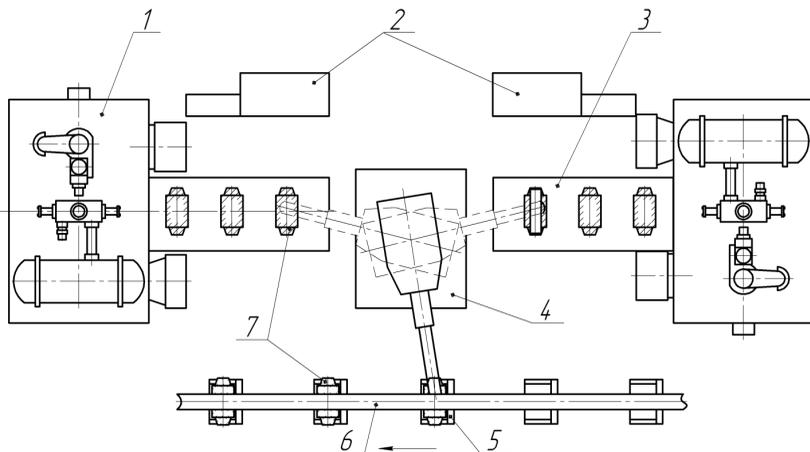
Роботизированный комплекс изготовления песчаных стержней методом горячего твердения (рис. 6.4) включает в себя две пескострельные стержневые машины горячего отверждения стержней, ленточные транспортеры приема стержней, робот-стержнеукладчик, подвесной транспортный конвейер, шкафы энергопитания и управления.

После раскрытия стержневого ящика стержень падает на ленточный приемный транспортер 3, поверхность которого выполнена из упругих элементов, и перемещается к приемной позиции робота.

Захватное устройство робота снабжено ориентирующим вакуумным приспособлением, с помощью которого осуществляются захват, фиксация стержня 7 и передача его на транспортную плиту 5 подвесного конвейера 6.

Принцип работы ПР маятниковый. Робот установлен в центре между двумя стержневыми машинами и осуществляет захват,

транспортировку и укладку стержней на конвейер от обеих стержневых машин. Движения робота, приемных ленточных транспортеров и подвешенного конвейера синхронизированы.



Направление движения конвейера

Рис. 6.4. Роботизированный комплекс изготовления стержней: 1 – пескострельная стержневая машина; 2 – шкафы электропитания и управления; 3 – ленточный транспортер; 4 – робот-стержнеукладчик; 5 – транспортная плита; 6 – подвешенный транспортный конвейер; 7 – песчаные стержни

Для извлечения стержней из стержневого ящика и укладки их на стержневые плиты служит *однорукый манипулятор* (рис. 6.5). На основании 1 расположен привод, состоящий из пневмоцилиндра (он на рис. 6.5 не показан), рейки 2 и зубчатого колеса 3. С последним жестко скреплен кривошип 4, который через выходной шарнир Ш соединен с рукой 6 манипулятора. Для регулирования длины руки и обеспечения поворота служит направляющая втулка 5. При раскрытии стержневого ящика 10 стержень 11 захватывается и извлекается с помощью вакуумной присоски 9, которая присоединена к поворотной кисти 7 манипулятора.

Стержень извлекается при перемещении рейки 2 и повороте кривошипа 4 на угол φ , при этом шарнир Ш описывает траекторию T_2 .

Рука манипулятора при этом перемещается, схват-присоска со стержнем в положении I описывает траекторию T_1 . По достижении положения II вакуум в присоске снимается и стержень подается на стержневую плиту 12. Возврат руки и кисти манипулятора в исходное положение осуществляется за счет обратного перемещения рейки 2.

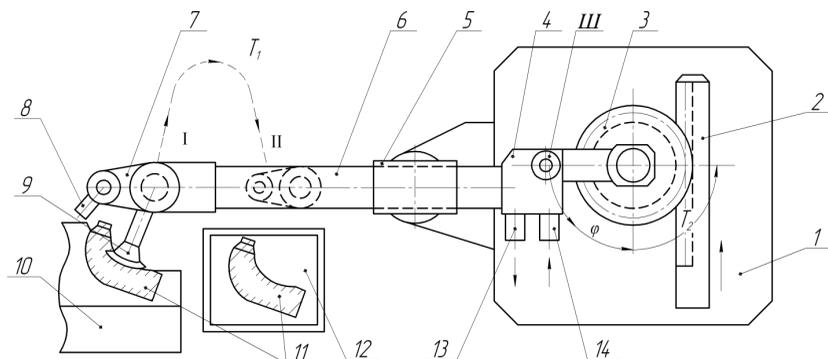


Рис. 6.5. Манипулятор для извлечения стержней из стержневых ящиков: 1 – основание; 2 – рейка; 3 – зубчатое колесо; 4 – кривошип; 5 – направляющая втулка; 6 – рука манипулятора; 7 – поворотная кисть; 8 – сопло; 9 – вакуумная присоска; 10 – стержневой ящик; 11 – стержень; 12 – стержневая плита; 13 – штуцер для создания вакуума в присоске; 14 – штуцер подачи сжатого воздуха

Для обдува полости стержневого ящика после извлечения стержня служит сопло 8, укрепленное на конце кисти манипулятора. Отсос воздуха от присоски и создание вакуума осуществляются через штуцер 13. Штуцер 14 служит для подачи сжатого воздуха к соплу 8 для обдува полости стержневого ящика.

Роботизированный комплекс простановки стержней в полуформы (рис. 6.6) включает в себя литейный конвейер с установленными на нем полуформами, робот-простановщик стержней, подвесной конвейер с транспортными плитами и уложенными на них стержнями. Робот смонтирован между конвейерами литейных форм и подачи стержней.

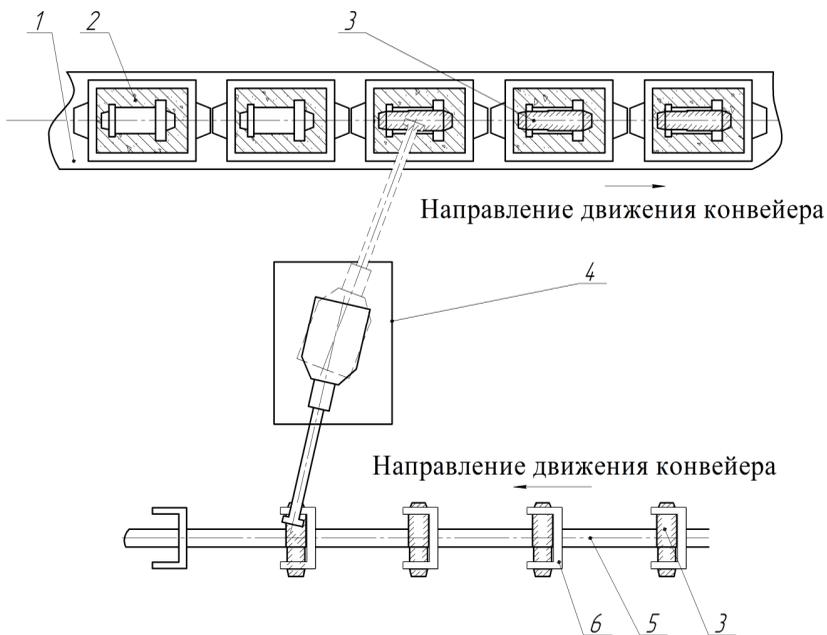


Рис. 6.6. Роботизированный комплекс простановки стержней в полуформы: 1 – литейный конвейер; 2 – полуформы; 3 – стержни; 4 – робот-простановщик; 5 – подвесной конвейер; 6 – транспортные плиты

С помощью вакуумного устройства робот захватывает стержень, переносит его к литейному конвейеру и укладывает в полуформу. Стержни предварительно ориентированы на транспортных плитах. Движения конвейеров и робота синхронизированы.

Роботизированный комплекс простановки стержней и сборки литейных форм (рис. 6.7) включает в себя робот-простановщик стержней, робот-сборщик литейных форм, литейный конвейер с нижними и верхними полуформами.

Комплекс работает следующим образом. Робот-простановщик 2 снимает стержни с подающего конвейера (он на рис. 6.7 не показан) и устанавливает их в нижние полуформы 5.

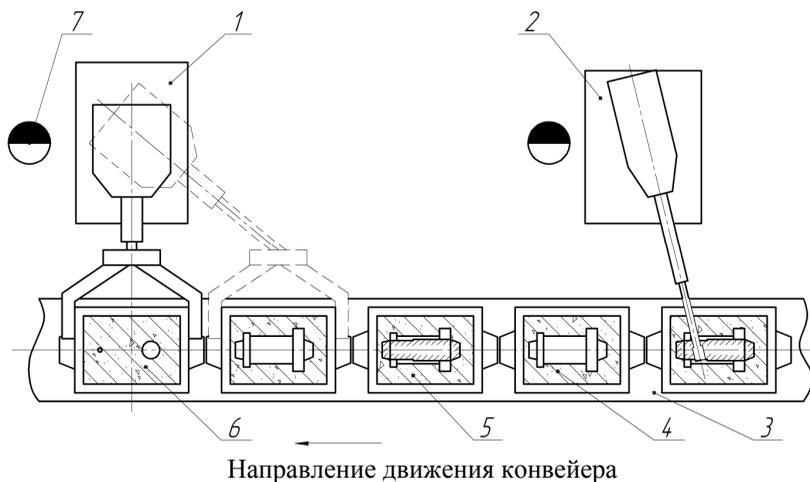


Рис. 6.7. Роботизированный комплекс сборки литейных форм: 1 – робот-сборщик литейных форм; 2 – робот-проставщик стержней; 3 – литейный конвейер; 4 – верхняя полуформа; 5 – нижняя полуформа; 6 – литейная форма в сборе; 7 – операторы РТК

Далее робот-сборщик захватывает за цапфы верхнюю полуформу 4, поворачивает ее на 180° ладом вниз и устанавливает на нижнюю полуформу 5. Собранные таким образом формы 6 затем перемещаются по конвейеру на заливку.

Вопросы для повторения

1. Какие операции требуют автоматизации при изготовлении разовых песчано-глинистых форм?
2. Какие операции наиболее сложны с вашей точки зрения? Почему?
3. Каким образом можно автоматизировать контроль изготовленных форм?
4. Опишите и изобразите компоновку РТК изготовления и простановки стержней.

7. АВТОМАТИЗАЦИЯ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Для создания автоматических линий литья под давлением необходимо осуществить автоматизацию следующих операций: дозирования металла, подачи расплава с постоянной температурой, регулировки температуры пресс-формы, ее обдува и смазки, съема отливка, их охлаждения, обрубки, транспортирования и ориентации.

Роботы могут осуществлять вспомогательные операции: дозированную заливку расплава, извлечение и передачу куста отливок на охлаждение и обрубку, смазку и обдув пресс-форм. При этом система программного управления ПР должна обеспечивать автоматический контроль и управление параметрами процесса получения отливок и работой оборудования, входящего в РТК, а также визуальное отображение параметров в цифровом виде. Для обеспечения перечисленных функций такие РТК следует комплектовать универсальными ПР.

7.1. Автоматизация заливки металла

Дозирование металла осуществляется двумя группами способов: с применением стационарных металловодов и с помощью манипуляторов-заливщиков. Заливка манипулятором представляется более выгодной, так как обеспечивает большую производительность, высокую точность дозирования, стабильность и надежность работы, а также большую технологическую гибкость – позволяет работать с раздаточными печами и машинами литья различных конструкций. Недостатками этого способа являются захват окислов с поверхности расплава, его взбалтывание, а также износ ковшей. При изменении дозы металла требуется замена и переналадка ковшей.

Применяются два типа ковшей – поворотный и стопорный. При использовании поворотного ковша выливание металла производится сверху путем поворота ковша; из стопорного ковша выливание происходит при открытии отверстия в днище, при этом снижается вероятность попадания окислов.

Автооператоры-заливщики выпускаются в составе технологических комплексов литья под давлением. Примеры наиболее распространенных конструкций приведены в работах [1; 14]. В России чаще всего применяют автооператоры из агрегатной гаммы литейных манипуляторов-заливщиков (ЛМЗ).

На рис. 7.1 приведена схема автооператора агрегатной гаммы ЛМЗ. Автооператор кронштейном *10* крепится к машине литья под давлением (МЛД) *11*. В исходном положении ковш *3*, закрепленный хомутом *12* на рычаге *5*, находится над тиглем с металлом *8* и разогревается за счет теплоизлучения. По команде от МЛД рычаг *5* с ковшом медленно идут вниз до соприкосновения датчика *4* с уровнем металла, после чего начинается подъем вверх до некоторого положения, где ковш останавливается для слива излишков металла в тигель *8*. После смыкания пресс-формы по команде от МЛД рычаг поворачивается в сторону заливочного окна *1*.

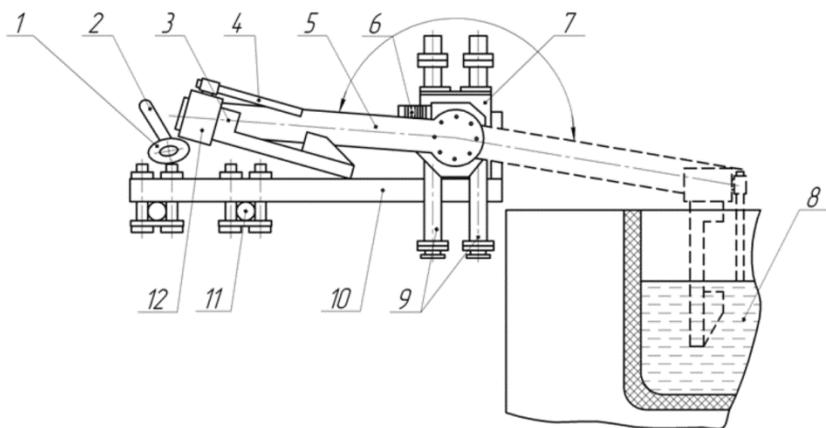


Рис. 7.1. Автооператор-заливщик для машины литья под давлением – базовый образец агрегатной гаммы ЛМЗ (Украина): *1* – заливочное окно; *2* – направляющий лоток; *3* – ковш; *4* – датчик; *5* – рычаг; *6* – регулировочный винт; *7* – поворотный механизм; *8* – тигель с металлом; *9* – гидроцилиндры; *10* – кронштейн; *11* – машина литья под давлением; *12* – хомут

Винтом 6 регулируется положение рычага относительно заливочного окна и осуществляется настройка автооператора на центральное или нижнее литье. Поворот рычага к МЛД осуществляет механизм 7. При этом происходит поворот ковша, который у направляющего лотка 2 оказывается в положении, показанном на схеме. После прихода рычага в крайнее левое положение ковш поворачивается относительно рычага, и металл выливается в камеру прессования. По окончании заливки ковш остается неподвижным до слива остатков металла. После начала прессования автооператор по команде от МЛД возвращается в исходное положение. Привод автооператора работает от гидросистемы МЛД через гидроцилиндры 9.

7.2. Смазывание пресс-форм

Автоматизация смазывания пресс-форм и камер прессования машин литья под давлением осуществляется с применением стационарных форсунок или с помощью автооператоров. Смазывание пресс-форм и камер прессования занимает 10–50 % общего времени цикла литья под давлением и оказывает существенное влияние на температурный режим и качество литья.

Стационарные форсунки применяют для смазывания камер прессования и пресс-форм при получении относительно простых и мелких отливок. Две группы форсунок устанавливают на формонесущих плитах МЛД с помощью универсальных штативов, позволяющих регулировать положение форсунок в пространстве. Трубопроводами подачи воздуха и смазки форсунки соединены с блоком подготовки и подачи смазочного материала и с блоком управления.

Автооператоры для смазывания пресс-форм используют при получении сложных отливок, имеющих полости, тонкие стенки и высокие выступы. На рис. 7.2 приведена схема типового представителя агрегатной гаммы литейных манипуляторов-смазчиков (ЛМС).

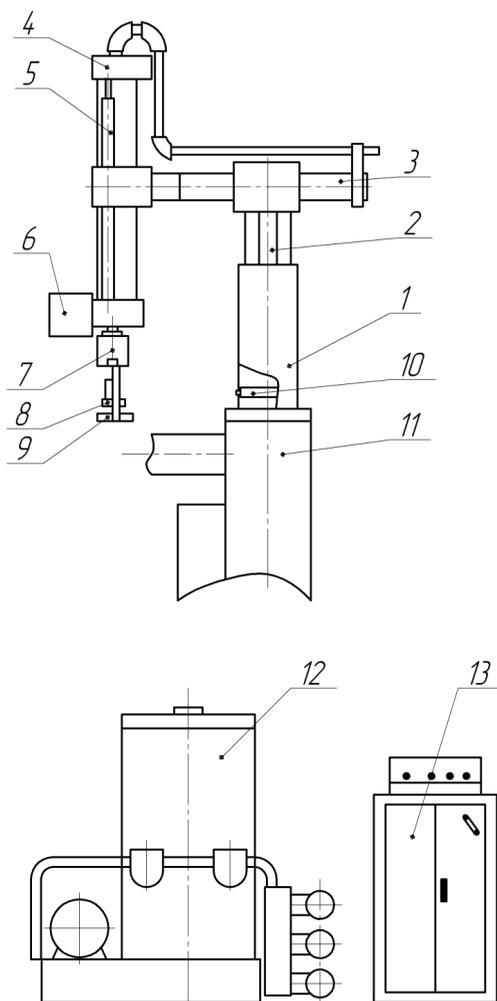


Рис. 7.2. Автооператор-смазчик агрегатной гаммы ЛМС (Украина) для пресс-форм МЛД: 1 – стойка; 2, 3 – пиноли; 4 – пневмоцилиндр; 5 – рука автооператора; 6 – фиксатор; 7 – распределительная панель; 8 – форсунки; 9 – сопла; 10 – зубчатый редуктор; 11 – МЛД; 12 – агрегат подачи смазки; 13 – шкаф управления

Стойку 1 автооператора устанавливают на плиту МЛД 11. Исходное положение регулируют по вертикали пинолью 2 и зубчатым редуктором 10, а по горизонтали – пинолью 3. Блок форсунок 8 и сопл 9 для обдувки камеры воздухом вместе с распределительной панелью 7 размещены на руке 5, имеющей приводной пневмоцилиндр 4. Исходное положение подвижного блока устанавливают с помощью фиксатора 6. В комплект автооператора входит агрегат 12 подачи смазки с напорным резервуаром, комплектом распределительной, контрольно-регулирующей аппаратуры и узлом подготовки воздуха, а также шкаф управления 13. Система управления обеспечивает возможность автоматической работы автооператора при движении с обдувом на холостом ходу или во время остановки подвижного блока на нижнем упоре с обдувом пресс-формы во время перемещения. В конструкции предусмотрен также счетчик циклов – задатчик периодичности нанесения смазки (с пропуском от одного до шести циклов).

7.3. Автоматизация извлечения отливок

В зависимости от характера отливки, технологического процесса и комплекса для литья под давлением отливка может извлекаться упорядоченно и неупорядоченно.

Средства неупорядоченного извлечения отливок применяют для обслуживания МЛД с усилием запираания до 2,5 МН, реже – до 4 МН. К числу этих средств относят устройства для отделения отливки от формы (сбрасыватели и толкатели различного рода) и механизмы для удаления отливок из рабочей зоны МЛД (транспортеры, наклонные лотки, приводные столики и т.п.). Средства неупорядоченного извлечения применяют при высокой относительной жесткости и прочности отливок (иначе они повреждаются при падении). Ими оснащают машины с высоким темпом работы, при котором затруднительно использовать средства упорядоченного извлечения.

Средства упорядоченного извлечения отливок (автооператоры и промышленные роботы) применяют для удаления и переноса тон-

костенных, маложестких, хрупких и крупногабаритных отливок, которые могут быть повреждены при падении. Их используют и в тех случаях, когда средства неупорядоченного извлечения затруднительно пристроить к МЛД. Упорядоченное извлечение отливок является обязательным при совмещении этой операции с автоматической обрубкой отливок. В настоящее время для упорядоченного извлечения чаще всего применяют ПР, так как это позволяет дополнительно выполнить ряд операций: подать отливку в камеру охлаждения, под обрубной пресс, в устройство контроля и т.п. Однако при массовом производстве и высоких темпах работы нашли применение и специальные автооператоры различных конструкций.

В зависимости от способа извлечения отливок автоматические комплексы литья под давлением подразделяются на два типа: со свободным падением отливки в систему охлаждения и с роботизированной операцией извлечения отливки и охлаждения. В комплексах первого типа применяют стационарные устройства водяного охлаждения отливок, располагаемые под машиной, или малогабаритные охладительные транспортеры с водяным резервуаром. В комплексах второго типа ПР обеспечивают извлечение отливок и подачу их на охлаждение и обрубку.

7.4. Компоновки РТК литья под давлением

Машины литья под давлением имеют конструктивно-однотипные исполнения, что позволяет находить общие конструктивные решения для их стыковки со средствами автоматизации.

В состав основного технологического оборудования в процессах литья под давлением входят [11; 13]:

- раздаточная электропечь с расплавом металла;
- одна или две машины литья под давлением;
- установка для охлаждения отливок;
- обрубной пресс для обрезки литниковой системы.

Типовая компоновка РТК литья под давлением приведена на рис. 7.3. При данной компоновке робот 1 обслуживает две машины литья под давлением 2. Процесс литья под давлением начина-

ется со смазывания пресс-формы и пресс-поршня МЛД смазочным материалом. Затем подвижную и неподвижную половины пресс-формы соединяют и скрепляют механизмом запирания.

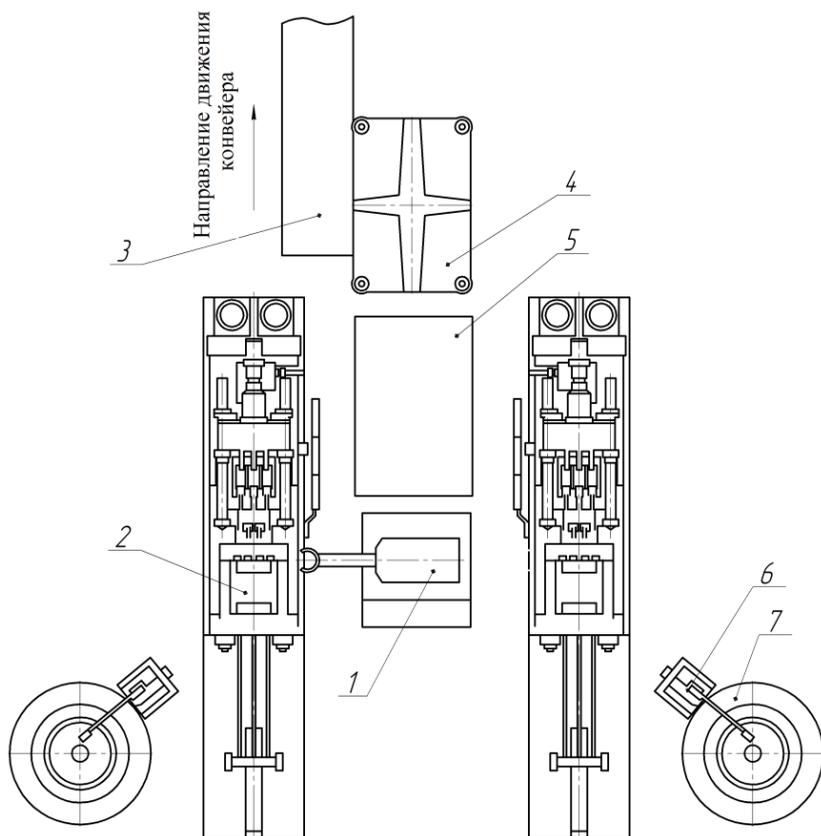


Рис. 7.3. Роботизированный комплекс литья под давлением: 1 – робот; 2 – машины литья под давлением; 3 – отводящий конвейер; 4 – обрубной пресс; 5 – ванна с охлаждающей жидкостью; 6 – автооператор-заливщик; 7 – раздаточная электропечь

Из раздаточной печи 7 в прессовый стакан МЛД автооператор-заливщик 6 заливает расплавленный металл. Пресс-поршень вытесняет жидкий металл в полость формы, где он выдерживает-

ся некоторое время. Затем пресс-форма раскрывается и выталкивателями из нее выталкивается отливка, которую робот снимает и переносит в ванну 5 для охлаждения, а из нее – под обрубной пресс 4 для отделения литниковой системы. Затем отливка роботом укладывается в тару или на конвейер 3. Скрап проваливается через окно в столе прессы на конвейер отвода отходов (на рис. 7.3 не показан). После очистки пресс-формы МЛД от остатков сгоревшего смазочного материала и облоя, которая осуществляется струей сжатого воздуха, технологический процесс повторяется.

Автоматизация процесса литья под давлением с помощью робота удобна и выгодна при серийном производстве. Важной характеристикой промышленных роботов является их универсальность. Робот легко программируется по контрольным точкам, индивидуальным для каждой новой отливки. Способ автоматизации, при котором отливки просто падают из пресс-формы в ванну с охлаждающей жидкостью, не позволяет проконтролировать их целостность, а с помощью робота можно обеспечить аккуратную их укладку. Большое значение имеет то обстоятельство, что робот легко можно запрограммировать на управление смазочным пистолетом с таким расчетом, чтобы он наносил смазку только на ту поверхность пресс-формы, где это необходимо. Робот может также наносить смазку и с помощью кисти во время рабочего цикла, поэтому не нужно делать перерыва в работе машины. Для составления программы для этого процесса требуется всего несколько минут. Наладка же автоматического, механического и пневматического смазочного оборудования заняла бы несколько дней. Наконец, робот имеет еще одно преимущество: при передаче отливок под обрубной пресс он всегда ориентирует их в пространстве в нужном положении, тогда как на конвейер, проходящий через охладительный бак, отливки падают беспорядочно.

В качестве примера приведем один из таких *комплексов модели* АЛ711А09 (рис. 7.4) для изготовления отливок сложной конфигурации из алюминиевых сплавов (Новосибирский завод «Сиблитмаш» (Россия)). Комплекс выполнен на базе МЛД модели 71109 с горизонтальной холодной камерой прессования.

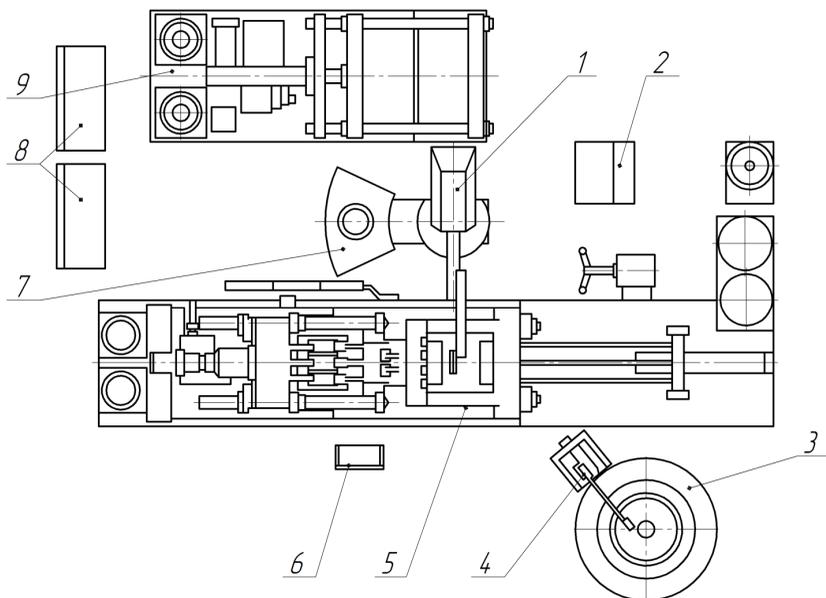


Рис. 7.4. Роботизированный комплекс литья под давлением модели АЛ711А09: 1 – робот; 2 – пульт управления обрубного пресса; 3 – раздаточная печь; 4 – ковшовый автооператор-дозатор; 5 – МЛД; 6 – пульт управления МЛД; 7 – установка охлаждения отливок; 8 – шкафы электроавтоматики и управления РТК; 9 – горизонтальный обрубной пресс

Технологический цикл изготовления отливок включает следующие операции: очистку и смазку пресс-формы, смазку пресс-поршня, смыкание пресс-формы, дозирование и заливку расплава, запрессовку расплава, кристаллизацию расплава, раскрытие пресс-формы, захват и извлечение отливок, транспортирование отливок (с выдержкой), охлаждение, подачу их в обрубной штамп, обрубку отливки от литника и облоя, выдачу отливки и облоя на средства цехового транспорта.

Комплекс работает в двух режимах – автоматическом и полуавтоматическом с отключением дозатора, ПР и пресса. Для точного направления струи расплава в дозаторе предусмотрена регулируемая приемная воронка. Ковш выполнен асботермосиликатным

и обладает повышенной стойкостью. Для смазки камеры прессования используется масло «Валор», которое подается из напорной емкости через насос-дозатор к отверстиям в верхней части камеры прессования, имеющей выточки для распределения смазки по цилиндрической поверхности. Поверхность пресс-формы смазывается маслом, разбавленным керосином (60 %). Масло подается на поверхность подвижной половины пресс-формы четырьмя форсунками, установленными на неподвижной плите машины. Неподвижная половина пресс-формы смазывается отраженным «туманом». После смазки выполняется обдув пресс-формы сжатым воздухом через эти же форсунки. Для пресс-форм с глубокими полостями форсунки располагаются на обеих плитах машины или на подвижной штанге.

Скорости поступательного и вращательного движений руки ПР регулируются отдельно. Надежный захват отливки ЗУ робота достигается за счет правильно подобранных конструкций губок, размера и формы пресс-остатка. Для точной фиксации отливок в штампе обрубного пресса предусмотрены центрирующие конические стержни. Постепенный переход конической части стержней в цилиндрическую обеспечивает попадание отливок в гнездо штампа. Для точной обрубки большого количества отливок рекомендуется термостатировать пресс-форму и расплав и обеспечить постоянство температуры отливок перед обрубкой.

РТК оснащен системой ЧПУ. Управление им можно осуществлять и дистанционно – с пульта управления. Система сигнализации и автоблокировки предупреждает о возможных поломках и неисправностях.

Применение РТК при производстве алюминиевых отливок обеспечивает снижение трудоемкости на 73 %, уменьшение брака на 70 % и повышение стойкости пресс-форм в 4–5 раз.

На участках литья под давлением РТК создаются для МЛД с усилием записания 1600–10000 МН.

При создании РТК необходимо особое внимание обращать на следующие факторы, обеспечивающие надежность технологического процесса:

- контроль стабильности состава металла и его температуры;

– контроль качества очистки пресс-формы от остатков смазочного материала и облоя;

– контроль извлечения отливок и их целостности (выполняется визуально оператором при подаче отливки на позицию контроля либо с помощью автоматических устройств: матриц фотодиодов, блоков фотоэлементов, блоков инфракрасных излучателей и приемных датчиков, микропереключателей и т.д., регистрирующих габаритные размеры и форму отливок);

– предохранение от повреждений тех поверхностей отливки, которые не подвергаются дальнейшей обработке;

– надежное выталкивание отливок из пресс-формы.

По условиям техники безопасности между МЛД и роботом-съемщиком отливок следует устанавливать гравитационный блокировочный трап или иное устройство, отключающее ПР при появлении оператора в его рабочей зоне.

Располагать агрегаты вокруг МЛД можно в произвольном порядке в зависимости от конкретных условий производства и типов комплектующего оборудования.

Вопросы для повторения

1. Какие операции требуют автоматизации при литье под давлением?

2. Как осуществляется автоматизация заливки и дозирования металла?

3. Каким образом производится смазывание пресс-формы?

4. Каким образом автоматизируется процесс извлечения отливок?

5. Опишите и изобразите компоновку РТК литья под давлением.

8. РОБОТИЗИРОВАННЫЕ КОМПЛЕКСЫ ЛИТЬЯ В КОКИЛИ

Роботизированные комплексы литья в кокили выполняют на базе выпускаемых серийно кокильных машин и многопозиционных заливочных установок. Литье в кокиль включает операции заливки металла, съема отливок, переноса их для обрубки и очистки.

Для дозирования и заливки жидкого расплава из двухтигельной электропечи в кокили используется автооператор-заливщик. Он снабжен сифонным заливочным ковшом, имеющим в нижней части отверстие, через которое расплав при погружении ковша поступает в его внутреннюю полость. Этим исключается попадание шлаковых включений и окислов в дозированную порцию расплава. Глубина погружения и величина дозы расплава регулируются с помощью электродов, укрепленных на вертикальной штанге рядом с ковшом. Наполненный ковш поворачивается в горизонтальное положение, поднимается над тиглем и переносится к кокильной машине. Печь имеет два тигля, автономно обеспечивающих расплавом обе кокильные машины. После заливки и кристаллизации кокиль раскрывается и отливка с помощью робота или автооператора, укрепленного на подвесном монорельсе, извлекается из формы, передается на решетку и затем на конвейер. Непосредственно у каждой машины предусмотрено рабочее место для подготовки и закрепления стержней, которые транспортируются в кондукторе по подвесному монорельсу. Бракованные отливки сбрасываются с решетки в тару.

Для съема и переноса отливок применяют ПР, работающие в цилиндрической или сферической системе координат. Робот извлекает отливку из формы и, удерживая ее за литник, переносит на установку контроля целостности, после чего переносит ее для обрезки литника.

Специализированный РТК на базе кокильных машин для литья головок блока двигателей представлен на рис. 8.1. Головки блоков цилиндров двигателя отливаются из алюминиевого сплава с использованием песчаных стержней. Масса отливки со стержнями составляет 40 кг, без стержней – 20 кг, масса головки – 12 кг.

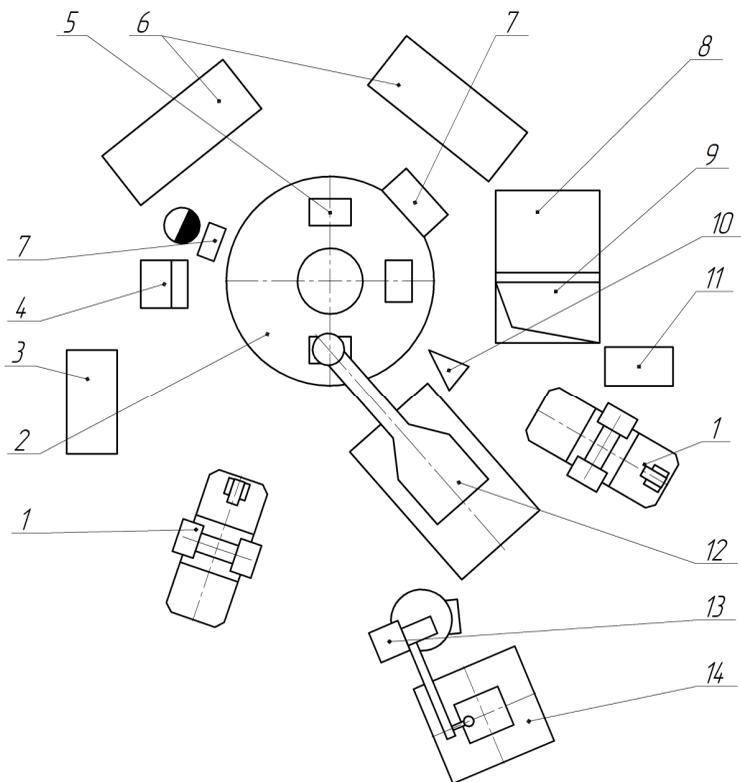


Рис. 8.1. Роботизированный комплекс кокильного литья головок блока двигателей: 1 – кокильные машины; 2 – поворотный стол; 3 – электрошкаф; 4 – пульт управления комплексом; 5 – форма для стержней; 6 – стеллажи для стержней; 7 – экраны визуального контроля качества и правильности установки стержней; 8 – приемный стол для годных отливок; 9 – транспортная система; 10 – телекамера; 11 – приемный стол для бракованных отливок; 12 – промышленный робот; 13 – заливочно-дозировующий автооператор; 14 – раздаточная индукционная печь

Технологический процесс изготовления отливок включает следующие операции: подготовку кокиля; простановку стержней; закрытие кокиля; дозирование расплава и заливку кокиля ковшовым заливочно-дозировующим автооператором; кристаллизацию отливки, раскрытие кокиля; захватывание отливки ЗУ робота и транспорти-

рование ее на контроль; визуальный контроль отливки с использованием телеэкрана; транспортирование годных отливок на стол годных деталей, а бракованных – на вспомогательный стол [13; 17].

Обе кокильные машины обслуживает один оператор. Песчаные стержни поступают на сборку в контейнерах. После визуального осмотра оператор ставит их на стол 2 и управляет его поворотом. Робот осуществляет поиск стержней в той же последовательности, в какой они должны проставляться, и устанавливает в форму с высокой точностью. После установки стержней, полной сборки и закрытия кокиля производится заливка расплава манипулятором. Параллельно робот выполняет аналогичные операции для второго кокиля. В конце кристаллизации кокиль открывается, робот захватывает и извлекает отливку, а затем отправляет ее в зону телекамеры 10 для визуального контроля и далее на приемный стол годных отливок 8 и в систему транспортирования 9. В случае брака отливка автоматически направляется на вспомогательный стол 11. Работой оборудования управляет телемеханический автомат.

Робот оснащен автономной электронной системой управления с микропроцессором.

Многофункциональное захватное устройство ПР (рис. 8.2) обеспечивает установку стержня в форму, захват и извлечение отливки. Захватное устройство снабжено несущим фланцем 1, к которому крепятся выдвижные кронштейны 3 с термостойкими эластичными надувными фиксаторами 4. С боковых сторон к фланцу крепятся фигурные пальцы-рычаги 2 захватного устройства. В стержнях 5 (рис. 8.2, а) предусмотрены конические отверстия, в которые входят термостойкие фиксаторы 4, ориентирующие и удерживающие стержни при транспортировании и установке их в форму. При этом в полости фиксаторов подается сжатый воздух, фиксаторы упираются в стенки конических отверстий и удерживают стержень при манипуляции с ним. После установки в форму давление сжатого воздуха в полости фиксатора уменьшается и они свободно выходят из отверстий. По окончании простановки стержней кронштейны 3 с фиксаторами под-

нимаются. Для извлечения отливки *б* пальцы-рычаги *2* опускаются, входят в ее фигурные полости, фиксируют и извлекают ее из кокиля (рис. 8.2, *б*). Захватным устройством робота отливка транспортируется на приемный стол для последующего контроля.

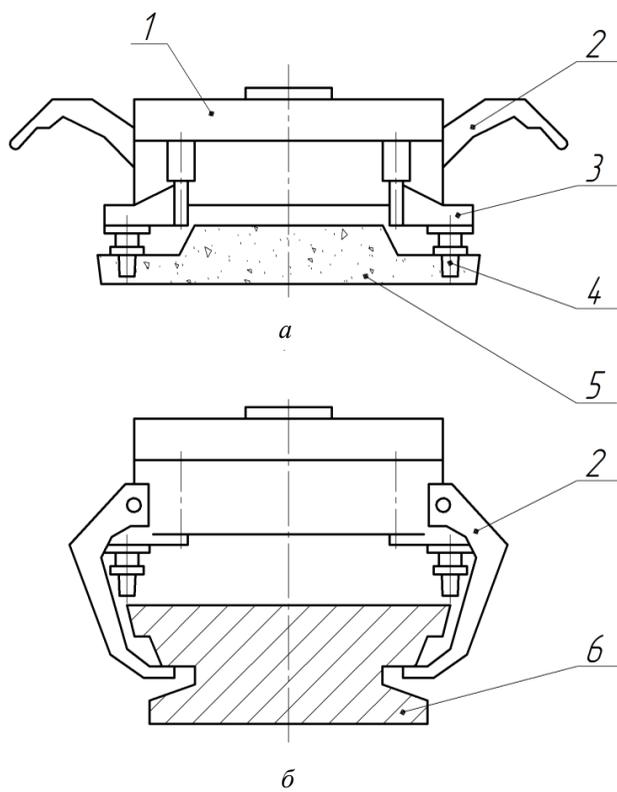


Рис. 8.2. Многофункциональное захватное устройство: *а* – захват стержня; *б* – схема захватывания отливки; *1* – фланец; *2* – пальцы-рычаги; *3* – кронштейны; *4* – эластичные надувные фиксаторы; *5* – стержень; *б* – отливка

Специализированный РТК на базе четырехпозиционной автоматической карусельной установки для изготовления головок блоков показан на рис. 8.3.

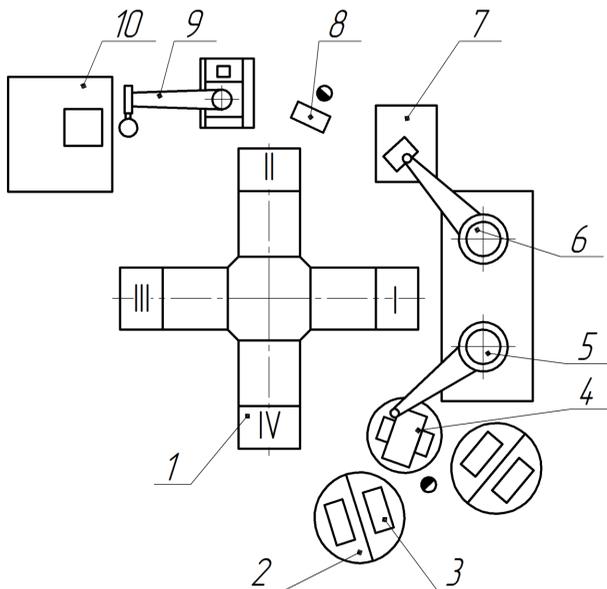


Рис. 8.3. Роботизированный комплекс кокильного литья: 1 – карусельная четырехпозиционная установка кокильного литья; 2, 4, 7 – столы; 3 – контейнер; 5, 6 – промышленные роботы; 8 – пульт управления РТК; 9 – автооператор для заливки форм; 10 – раздаточная печь

Технологический процесс изготовления отливок дифференцирован по четырем позициям:

- извлечение и передача отливки, обдув, подготовка кокиля и простановка стержней;
- контроль формы и ее заливка;
- кристаллизация и затвердевание отливки;
- раскрытие формы.

В состав комплекса (см. рис. 8.3) входят: четырехпозиционная кокильная карусельная установка 1, стол 2 с контейнерами 3 для стержней, стол 4 для сборки и подготовки стержней, робот 5 для простановки стержней в форму, робот 6 для извлечения

и транспортирования отливки на приемный стол 7, пульт управления 8, автооператор 9 для заливки форм и раздаточная печь 10.

Привод карусели гидравлический; точность останова стола карусели достигается гидравлическим торможением системы. Закрытие и открытие форм производятся автоматически. Робот для простановки стержней имеет гидропневматический привод. Пневматический привод используется для захвата и удержания стержней вакуумными присосками. Робот для извлечения отливок имеет гидравлический привод. Захват ориентирует и устанавливает отливку на вертикальный конвейер для охлаждения. Карусель, роботы и автооператор управляются с одного пульта 8, соединенного с программируемым автоматом. Система управления электронная. Ручными являются операции выгрузки стержней из контейнеров на стол сборки и обдувки форм. Эти операции выполняются двумя операторами.

Производительность комплекса составляет 60 отливок в час, коэффициент использования 0,75. Кокили окрашиваются через пять смен, время замены одного кокиля 1 ч, время замены всей оснастки 8 ч.

Для удаления отливок из кокиля с вертикальным разъемом и перемещения их за пределы рабочей зоны служит шарнирно-рычажный гидравлический автооператор, включающий приводной гидроцилиндр, шатун, коромысло и захват. Он монтируется на кокильной машине непосредственно у неподвижной плиты. Особенность автооператора – плоская форма захватного устройства, рабочая поверхность которого соответствует контурам отливки. Автооператор снабжен рычагом-стопором, исключающим выпадение отливки из захвата при повороте. Захват кинематически соединен с коромыслом и шатуном. Последний поворачивается вокруг шарнира, закрепленного на неподвижной плите машины, под действием гидроцилиндра. В одном положении происходит извлечение отливок из подвижной половины кокиля, а в другом – сьем и передача на по-

следующие операции. Управление автооператором производится от конечных выключателей, приводимых в действие кулачками, укрепленными на осях шарниров.

Вопросы для повторения

1. Какие операции требуют автоматизации при литье в кокиль?
2. Как осуществляется автоматизация заливки и дозирования металла?
3. Каким образом автоматизируется процесс извлечения отливок?
4. Опишите и изобразите компоновку РТК литья в кокиль.

9. РОБОТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ЛИТЬЯ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ

Роботизация процессов литья по выплавляемым моделям (ЛВМ) – актуальное направление, так как объем выпуска отливок, производимых этим методом, непрерывно растет. Увеличение объема обусловливается потребностью в лопатках и рабочих колесах для турбин, реактивных двигателей, точном литье для аэрокосмической промышленности, химического и нефтебурового оборудования, бытовой техники.

Структурная схема процесса литья по выплавляемым моделям, включающая последовательно изготовление моделей, форм, отливок, финишные и контрольные операции, предопределяет создание комплекса ГПС ЛВМ из модулей разного функционального назначения [11].

Такая схема допускает структурную гибкость: можно компоновать поточную линию из наиболее приемлемых для конкретных условий модулей. При разработке ГПС ЛВМ требуется обеспечить межмодульную совместимость: технологическую, конструктивную, информационную.

Особенностью построения *поточной линии ГПС ЛВМ* (рис. 9.1) является невозможность устранения какого-либо отдельного модуля или их перестановки. Критерием выбора рациональной конструкции модуля может служить какой-либо из следующих параметров: габаритный размер отливки, толщина стенок, вид сплава, тип производства отливок, свойства формовочных материалов.

Среди других процессов выделим в первую очередь вредную для здоровья человека операцию изготовления керамических оболочек.

Технологическая *операция получения керамических оболочек* включает следующие основные переходы:

– перенос модельного блока (МБ) от платформы-накопителя до ванны с суспензией;

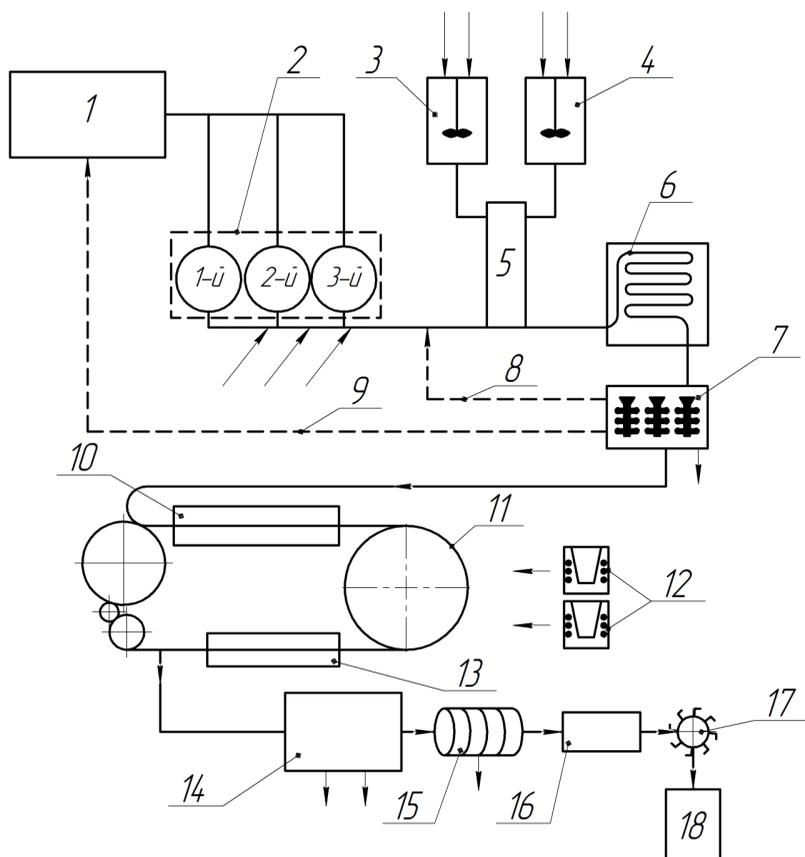


Рис. 9.1. Блок-линия для литья по выплавляемым моделям: 1 – агрегат для приготовления модельного состава; 2 – блок трех автоматов для изготовления модельных звеньев; 3, 4 – гидрокамеры с огнеупорной суспензией; 5 – участок нанесения покрытия и обсыпки; 6 – сушильная камера; 7 – камера для выплавления модельного состава; 8 – возврат стояков; 9 – возврат жидкого модельного состава; 10 – газовая печь; 11 – заливочная карусель; 12 – плавильные печи; 13 – охлаждающая камера; 14 – агрегат для виброочистки отливок и отделения отливок от стояков; 15 – барабан для выщелачивания остатков керамики; 16 – печь для термической обработки отливок в защитной среде; 17 – полуавтомат для зачистки отливок; 18 – участок сортировки и складирования отливок

- погружение модельного блока в суспензию до верхнего уровня литниковой воронки под углом 30° с одновременным поворотом на 360° вокруг оси блока (2–3 раза);

- подъем блока над ванной с одновременным поворотом на 360° вокруг его оси для стекания излишков суспензии;

- перенос модельного блока в пескосып;

- погружение МБ в пескосып до верхнего уровня заливной горловины под углом 30° с поворотом на 360° вокруг оси блока два раза (масса модельного блока с каждым покрытием увеличивается на 20–30 %);

- подъем МБ над пескосыпом с одновременным поворотом на 360° вокруг оси для высыпания излишков песка из тупиковых зон;

- перенос модельного блока и установка его на платформу.

Далее происходит сушка форм, для чего платформу с модельными блоками помещают в аммиачный сушильный шкаф.

Для автоматизации перечисленных переходов (исключая сушку) применяют универсальные промышленные роботы типа *Unimate* или *Versatran*, защищенные от вредного влияния окружающей среды и оснащенные механизмами многократного вращения (ротации) кисти под фиксированными углами относительно продольной оси руки (как этого требует технологический процесс).

Для изготовления керамических оболочковых форм при производстве турбинных лопаток и различных литых деталей авиационных и стационарных газотурбинных двигателей на предприятии корпорации *Boing* установлена роботизированная система, состоящая из ПР модели *Unimate-4000*, пяти барабанных смесителей (диаметром 1067 мм, емкостью 1136 л), установки для нанесения покрытия в кипящем слое, пескосыпов и трех замкнутых конвейеров.

Робот выполняет операцию нанесения на модельные блоки слоев огнеупорной суспензии и обсыпки. На подвесном конвейере с шагом 1219 мм укреплены подмодельные плиты, на которых устанавливаются МБ. Конвейер подает эти плиты в зону, обслуживаемую роботом. Робот снимает их с конвейера и фиксирует

на рабочей позиции с помощью прижимного механизма. Далее робот последовательно берет каждый МБ, окунает его в соответствующую суспензию, наносит обсыпку и возвращает на подмодельную плиту. По завершении обработки вся партия изделий возвращается на конвейер и транспортируется на сушку. Далее этот цикл повторяется с использованием других суспензий и обсыпок. Помимо технологических и транспортных операций робот останавливает привод смесителя перед окунанием в него МБ, а после завершения этой операции включает вновь.

Программы, хранящиеся в памяти робота, выбираются автоматически, по сигналам счетчика и электронного считывающего устройства, смонтированных на пульте робота, в качестве кода используется смена мест установки регулируемых упоров и конечных выключателей.

Роботизация обеспечила рост производительности, стабилизацию и оптимизацию процессов, снижение брака литейных форм и уменьшение расхода формовочных материалов.

Вопросы для повторения

1. Из каких операций состоит технологический процесс изготовления отливок литьем по выплавляемым моделям?
2. Как изготавливается керамическая оболочка с помощью промышленного робота?

10. АВТОМАТИЗАЦИЯ ФИНИШНЫХ ОПЕРАЦИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВОК

Обрубка, очистка и зачистка отливок относятся к операциям финишной обработки и являются наиболее трудоемкими в общем цикле их изготовления, составляя 35–50 % всех затрат на заработную плату, вложенных в себестоимость готовых отливок. Поэтому эти виды работ должны быть в первую очередь механизированы и автоматизированы.

10.1. Роботизированные комплексы очистки отливок дробью

Создание РТК для очистки мелких и крупных отливок на базе серийно выпускаемых центробежных лопастных дробеметных и пневматических дробеструйных аппаратов затруднено вследствие малой технологической гибкости первых и низкого КПД (3–20 %) вторых. Столь малый КПД дробеструйных аппаратов обусловлен большими утечками сжатого воздуха, затратами энергии на пневматическое транспортирование и очистку дробы для повторного использования.

Более эффективными, технологически гибкими и экономичными по сравнению с центробежными лопастными и пневматическими дробеструйными аппаратами являются *электромагнитные безлопастные дробеметные аппараты*, работающие по принципу бегущего электромагнитного поля. Дробы сообщается прямолинейное движение со скоростью 60–100 м/с за счет электродинамических сил. Электромагнитный безлопастной дробеметный аппарат является линейным ускорителем потока дробы. В целях повышения эффективности очистки отливок потоку летящей дробы, помимо прямолинейного, сообщается вращательное (вокруг горизонтальной оси) движение. Этим обеспечивается большая кинетическая энергия потока дробы, равная сумме энергий поступательного и вращательного движений, быстрое и управляемое удаление

в сторону (левую или правую в зависимости от задаваемого направления вращения) отскакивающей от очищаемой поверхности дроби. Помимо ударного воздействия дроби создается сдирающий, шлифующий эффект.

Указанный способ очистки реализуется с помощью манипулятора, показанного на рис. 10.1. На основании 1 установлены опорная тумба 2 и кривошипно-шатунный механизм 9. Рабочий орган манипулятора – электромагнитный дробеметный аппарат или ускоритель – состоит из шихтованного магнитопровода 3 с переменным шагом зубцов, системы электромагнитных катушек 8 и направляющей трубы 4, выполненной из диамагнитного материала. Размеры катушек изменяются в соответствии с изменением величины шага. К направляющей трубе 4 присоединена загрузочная воронка 6, на которую надет регулятор 7 подачи дроби 5.

Магнитопровод выполнен из листов электротехнической стали. Шаг (τ_1 , τ_2 и т. д.) сердечников магнитопровода возрастает по мере продвижения дроби 5 вдоль направляющей трубы от загрузочной воронки 6 к выходу. Такая конструкция магнитопровода и расположение электромагнитных катушек создают бегущее электромагнитное поле с увеличивающейся пропорционально шагу скоростью. Для создания вращательного, закручивающего движения дроби электромагнитные катушки подсоединены к источнику переменного тока нормальной (50 Гц), повышенной или малой частоты со сдвигом по фазе 60° . В целях уменьшения влияния краевого эффекта в направляющей трубе выполнен конический раструб, на котором укреплена последняя катушка цепи.

Кривошипно-шатунный механизм сообщает ускорителю возвратно-качательное (строчное) движение в вертикальной плоскости. Регулирование величины строк и амплитуды колебаний осуществляется за счет изменения длин кривошипа и шатуна. Для транспортирования, перемещения и установки манипулятора в требуемом месте дробеметной камеры предусмотрены ролики 10. В рабочем положении манипулятор устанавливается на опорах 11, обеспечивающих регулирование по высоте.

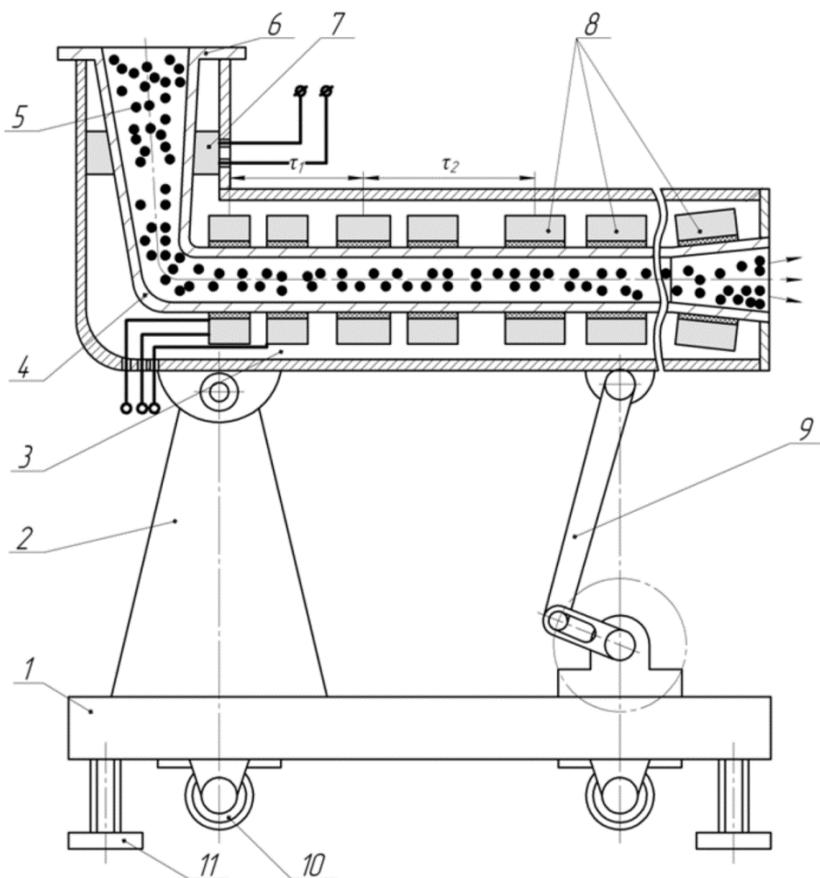


Рис. 10.1. Электромагнитный дробеметный манипулятор: 1 – основание; 2 – опорная тумба; 3 – магнитопровод; 4 – направляющая труба; 5 – дробь; 6 – воронка; 7 – регулятор подачи дробы; 8 – катушки электромагнитные; 9 – кривошипно-шатунный механизм; 10 – ролик; 11 – опора

Электромагнитный дробеметный манипулятор обладает большой технологической гибкостью и может быть использован для программируемой струйной очистки отливок в камерах и барабанах периодического и непрерывного действия.

На рис. 10.2 представлена схема РТК очистки отливок в камере с программным управлением. Рабочим органом промышленного робота 3 является электромагнитный дробеметный аппарат 2, обеспечивающий программируемую очистку отливок.

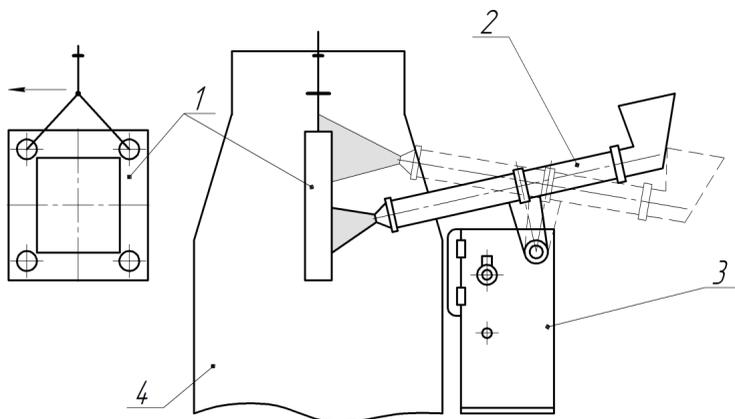


Рис. 10.2. РТК дробеметной очистки отливок:
1 – отливка; 2 – электромагнитный дробеметный аппарат;
3 – промышленный робот; 4 – камера очистки отливок

При роботизированной дробеметной и дробеструйной очистке используется чугунная и стальная дробь диаметром 0,18–2,8 мм. Стальная дробь подвергается термообработке для повышения стойкости. При использовании проволочной сечки качество очистки выше в случае применения мелких сечений. Кроме того, стойкость к истиранию тем выше, чем ближе сечка к идеальной цилиндрической форме. Уменьшение средней величины дроби в смеси, используемой в роботизированных дробеструйных установках для удаления коррозии и окалина, значительно повышает производительность этих установок. Экономически неоправданным является неконтролируемое удаление частично изношенной дроби в процессах сепарации и обеспыливания.

Измерение кинетической энергии потока дроби и интенсивности дробеметной упрочняющей обработки осуществляется путем замера прогиба металлических образцов Альмена, подвергаемых обработке в течение определенного времени (обычно 2–10 мин). Число ударов дроби оценивается параметром «покрытие поверхности», характеризующим степень полноты воздействия дроби на поверхность изделия. Покрытие поверхности контролируется визуально при 50-кратном увеличении обработанной дробию поверхности. Теоретически предельная степень покрытия, зависящая от длительности обработки, составляет 100 %, а практически контролируемая – 98 %. Обычно степень покрытия 90 % достигается в течение 8 мин, а 98 % – в течение 15 мин обработки.

Недостаток метода контроля режима по Альмену – отсутствие однозначной зависимости прогиба контрольной пластины Альмена от вызывающих изгиб остаточных напряжений в ней. В Японии остаточные напряжения после обработки контролируют рентгеновским методом, во Франции разработан метод определения максимальных значений остаточных напряжений сжатия. В США разработан метод *Peen-Sean*, позволяющий выявлять места на поверхности отливки, недостаточно интенсивно подвергнутые дробеметной обработке.

10.2. Абразивная зачистка литья

Работы по обрубке и зачистке отливок наиболее тяжелые, для их выполнения требуются большие затраты физической энергии в весьма неблагоприятных санитарно-гигиенических условиях. Вместе с тем автоматизировать работы по обрубке и зачистке весьма сложно ввиду разнообразия номенклатуры отливок, сложности их конфигурации, случайного и трудно предсказуемого характера и толщины приливов, облоя, литниковых систем.

При решении вопроса о применении ПР для данных операций необходимо провести следующие мероприятия:

- выполнить группирование отливок по общим конструктивно-технологическим признакам с учетом обработки их в роботизированном производстве;

- провести работы по совершенствованию технологичности отливок, уделив особое внимание базовым поверхностям для захвата и надежной фиксации в ЗУ робота при обработке;

- определить оптимальные места отрезки литниковой системы и режимы обработки (скорость удаления металла, глубину резания, число проходов, усилие прижатия инструмента);

- выбрать тип инструмента и мощность шлифовальной головки;

- обеспечить безопасность работ (решить, что безопаснее и экономичнее: перемещать отливку или вращать инструмент);

- рассчитать периодичность и частоту программирования на обработку не менее 80 % номенклатуры изготавливаемых отливок.

Весьма перспективно и эффективно применение для обдирки и зачистки отливок роботов, снабженных плазменной головкой.

К роботам, предназначенным для абразивной обдирки отливок, предъявляют следующие требования: достаточная жесткость конструкции с учетом воздействия возникающих при обработке усилий, возможность перемещения абразивного инструмента по сложному контуру, легкость и быстрота перепрограммирования работы, достаточная точность при повторяемости рабочих движений.

Для таких роботов используется в основном гидравлический привод, так как усилия резания при обдирке весьма велики (150–200 Н).

В промышленности для абразивной зачистки крупных и средних отливок часто применяют *комплексы*, выполненные на базе манипулятора с антропоморфной рукой, управляемого оператором. Особенность конструкции манипулятора – наличие поворотной стрелы (с числом степеней подвижности 4) с телескопическим концевым звеном, несущим шлифовальную головку. Манипулятор обеспечивает одновременное или независимое

движение головки по горизонтали, вертикали и вокруг оси. Оператор управляет манипулятором из кабины с помощью рукоятки, связанной с антропоморфной рукой. Силовая обратная связь позволяет оператору маневрировать основной стрелой, двигая управляющую рукоятку. Силы, действующие на шлифовальную головку, передаются в определенном масштабе на управляющую рукоятку, и оператор непосредственно ощущает силу прижима абразивного круга к поверхности детали.

Для наблюдения и управления процессом зачистки в ряде РТК предусматривается телекамера. Телеэкран с изображением зоны обработки помещен в кабине перед оператором. Фиксация отливки на столе осуществляется электромагнитным устройством или гидравлическими тисками.

Для огневой зачистки отливок используются аналогичные манипуляторы с горелкой на концевом звене, имеющем также три степени свободы, но без телеуправления. Некоторые модели универсальных ПР программируют на зажим и ориентацию отливки («позиция за позицией») при зачистке относительно инструмента или обрубщика. Для обработки очередной поверхности оператор нажимает на педаль, и ПР проворачивает отливку необработанной поверхностью к инструменту.

Для *обдирочных работ* применяют ПР модели 2000Р (США), IRb-60 (ФРГ), *Trallfa* (Норвегия) и др. Рабочие движения робота *Trallfa* осуществляются гидроцилиндрами. Программа обработки записывается на магнитную ленту, помещенную в кассету. Запись программы производится при обдирке первой детали с помощью системы датчиков обратной связи. При обходе контура отливки инструментом в режиме записи программы датчики генерируют сигналы с частотой 80 бит/с. В режиме воспроизведения программы записанные на ленте сигналы преобразуются в команды, которые подаются на рабочие органы и механизмы привода.

Рабочими органами являются серийно выпускаемые сменные шлифовальные головки, вставляемые в кисть робота. Для обработки по контуру с радиусом закругления до 10 мм используется порта-

тивная шлифовальная головка с цилиндрическим абразивным кругом. Прижим головки к обрабатываемому контуру детали осуществляется пружиной. Точность обработки контура составляет 3 мм. Мощность привода шлифовальной головки 1 кВт.

Для плоскошлифовальных работ в кисть робота вставляется сменная шлифовальная головка с абразивным кругом. Последний прижимается к детали малогабаритным пневмоцилиндром.

Применение ПР на обдирочных работах позволяет повысить производительность обработки (на 25–30 %), стойкость абразивных кругов, точность и качество обработки. Одним и тем же абразивным кругом удается на различных отливках обработать контур длиной 3,6–90 м.

При *роботизированных обрубке и очистке* для крепления и установки в требуемом положении отливок любой конфигурации применяют многоплунжерные пневматические тиски. Для удержания отливки в заданном положении применяют также гидравлические тиски с автоматическим захватом и освобождением отливки ножной педалью, многоплунжерные зажимные системы, гидравлические «люльки», выполненные на базе многоплунжерных систем. При установке отливки плунжеры погружаются на глубину, соответствующую контуру отливки, а затем замыкаются в этом положении, образуя жесткую «люльку». Используются электромагнитные столы.

Рычажный манипулятор с сервоприводом (серворука), оснащенный плазменной горелкой, используется для отрезки литников с предварительно нагретых крупных стальных отливок. Серворука имеет три степени подвижности. Одновременное движение головки в двух плоскостях обеспечивает получение профилированного по контуру отливки реза. Дистанционное управление движением плазменной головки и подачей газа осуществляется с безопасного для оператора расстояния. Полная длина серворуки 5 м. Время обработки стальной отливки сокращается на 50 % по сравнению с ручной воздушно-дуговой резкой. Ана-

логичный манипулятор, оснащенный абразивным кругом, применяют для зачистки отливок после реза.

Для регулирования глубины врезания шлифовального круга при зачистке отливок служит устройство (рис. 10.3), укрепляемое на одном шпинделе с кругом. Устройство состоит из профилированного кулачка 5, закрепляемого на шпинделе 2 соосно со шлифовальным кругом 1. При подаче шлифовального круга с участка *АВ* поверхности отливки 3 удаляются заливы и выполняется зачистка.

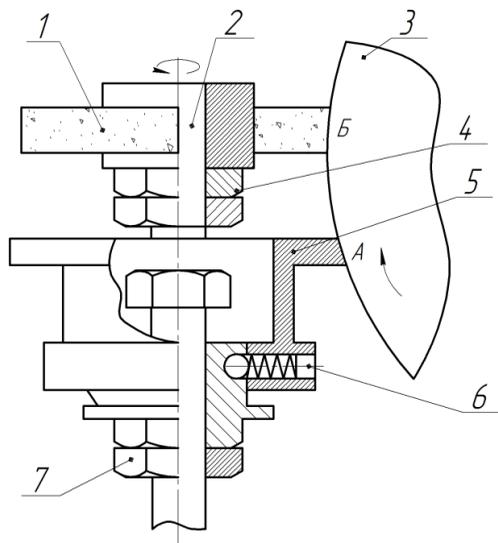


Рис. 10.3. Устройство для регулирования глубины врезания абразивного круга: 1 – шлифовальный круг; 2 – шпиндель; 3 – отливка; 4, 7 – гайки; 5 – кулачок; 6 – фиксатор

Этот участок становится базой, на которую опирается профиль кулачка 5, препятствуя дальнейшему увеличению глубины врезания. Кроме того, с отливки излишне не снимается металл и не тратится энергия на совершение ненужной работы. Рабочий профиль кулачка имеет несколько участков, соответствующих различной глубине врезания. При износе шлифовального круга

кулачок поворачивают на некоторый угол так, чтобы в рабочую зону ввести участок меньшего радиуса, и фиксируют шариковым фиксатором 6. Крепление шлифовального круга и кулачка на шпинделе 2 осуществляют гайками 4 и 7.

Фирмой *ASEA* (Швеция) разработан *роботизированный комплекс* для зачистки отливок, созданный на базе робота *IRb-60*. При создании комплекса большое внимание было уделено правильному выбору инструментов, сил и скоростей резания.

Распределение нагрузки между устройством позиционирования отливки и механизмом для удаления заусенцев зависит от размеров отливок. Если отливка имеет большие размеры и массу, ее сложно перемещать с помощью робота. В этом случае робот осуществляет позиционирование инструмента для удаления заусенцев. Если размеры отливки невелики, ее закрепляют в захвате робота, который перемещает отливку относительно устройства для удаления заусенцев. При этом робот, удерживая отливку, прижимает ее к шлифовальному кругу с определенным усилием. Роботу в данном случае необходимы устройства адаптации, т.е. требуется силовое очувствление, так как для обеспечения качественной обдирки отливки необходимо изменять скорость резания в зависимости от силы резания.

Робот способен обнаруживать отклонения инструмента от заданной траектории (рис. 10.4).

При обнаружении отклонения Δ положения инструмента 1 от запрограммированной траектории 3 подается команда на его возвращение на расстояние ε и последующее перемещение с уменьшенной скоростью. После снятия заусенца с поверхности детали 2 инструмент продолжает движение с начальной скоростью в заданном направлении.

При внедрении ПР для зачистки и обрубки отливок следует определить поверхности, подлежащие последующей механической обработке. Часто механическая обработка осуществляется на тех же поверхностях, которые подвергались финишным операциям (зачистка и обрубка) с применением ПР. Таким образом, одни и те же операции выполняются дважды, что, по существу, не вызывается производственной необходимостью.

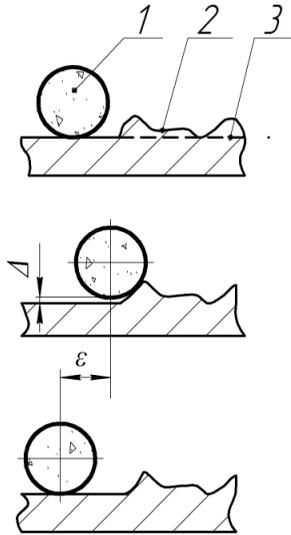


Рис. 10.4. Схема обнаружения отклонений инструмента от заданной траектории перемещения: 1 – инструмент; 2 – поверхность детали; 3 – запрограммированная кривая

Поэтому рекомендуется тщательно проанализировать конкретные производственные условия, возможность уменьшения объема финишных операций по обработке отливок с использованием ПР (черновое удаление заливок и обрезка литников). После этого отливки непосредственно направляют на механическую обработку. Применение предложенной системы с необходимым минимумом роботизированных финишных операций позволит снизить их трудоемкость на 40–50 %.

Вопросы для повторения

1. В чем заключаются финишные операции?
2. В чем состоят трудности автоматизации финишных операций?
3. Каким образом осуществляется очистка отливок дробью?
4. Какие роботы применяются при абразивной зачистке?

11. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ОПЕРАЦИЙ

Автоматизация транспортных операций является основой создания автоматизированных и автоматических линий в литейном производстве.

При всем многообразии отливок, их свойств и методов изготовления общими для литейного производства являются следующие операции: заполнение форм расплавом, отвердевание его, очистка отливок.

Для выполнения названных операций необходимо обеспечить стабильность технологических потоков, к числу которых, например, при изготовлении опочных песчаных форм относятся следующие:

- поток формовочных материалов и смесей при автоматической их переработке и подаче к формовочным машинам;
- поток опок к формовочным машинам;
- поток готовых литейных форм под заливку и выбивку на литейном конвейере.

Очень часто в литейных цехах несколько потребителей обслуживает одно транспортирующее устройство. Например, снабжение смесями формовочных машин обеспечивает одна транспортная лента, опоки доставляет один роликовый конвейер, отливки транспортирует на обрубку один подвесной конвейер и т.д. В большинстве случаев равномерного снабжения рабочих позиций обеспечить не удастся, так как потребляемые материалы подаются периодически – порциями. Расход материалов также меняется в зависимости от темпа работы литейного оборудования.

В течение суток или смены в отдельные моменты возможно превышение расхода над поступлением материалов, что приводит к перебоям в работе. Кроме того, неравномерная подача материалов обуславливает необходимость увеличения мощности транспортных средств, чтобы, компенсируя простой оборудования, обеспечить передачу требуемого количества объектов транспортирования за меньшее время. Затраты на межоперационное транспортирование составляют значительную часть себестоимости литья.

В литейных цехах массового и крупносерийного производства процесс получения отливок, изготовления форм, их сборки, заливки и выбивки организуется по принципу непрерывного потока и осуществления технологических операций в неизменной последовательности.

Оборудование и рабочие места располагаются в порядке следования операций с разделением на позиции, соединенные транспортными средствами.

Компоновка *автоматической линии формовки и выбивки* на базе проходных однопозиционных пневморычажных формовочных пресс-автоматов модели ИЛ225 в качестве примера приведена на рис. 11.1.

Технологический цикл изготовления отливок в данном случае включает следующие операции: раздельную формовку верхних и нижних полуформ на проходных однопозиционных пневморычажных формовочных пресс-автоматах; кантование нижних полуформ на 180°; срезание излишков смеси; установку стержней; двукратное кантование верхних полуформ; сборку форм; укладку форм на подпочные плиты; нагужение форм прижимом в специальном устройстве; заливку; охлаждение форм; снятие форм с подпочных плит; выдавливание кома из опок и отделение отливок от смеси на выбивной решетке; разъединение комплекта пустых опок, их очистку от остатков смеси и подачу на участок формовки.

Перемещение литейных форм и опок в линиях обеспечивается крановым оборудованием, тележками или роликовыми конвейерами. Наиболее распространены горизонтально замкнутые литейные конвейеры с непрерывным движением, устанавливающие ритм работы всей поточной линии.

Горизонтально замкнутый конвейер представляет собой ряд тележек, непрерывно движущихся по рельсам с помощью тяговой замкнутой цепи (со скоростью 2–10 м/мин).

Формы можно собирать на самом движущемся конвейере или рядом – на роликовых конвейерах.

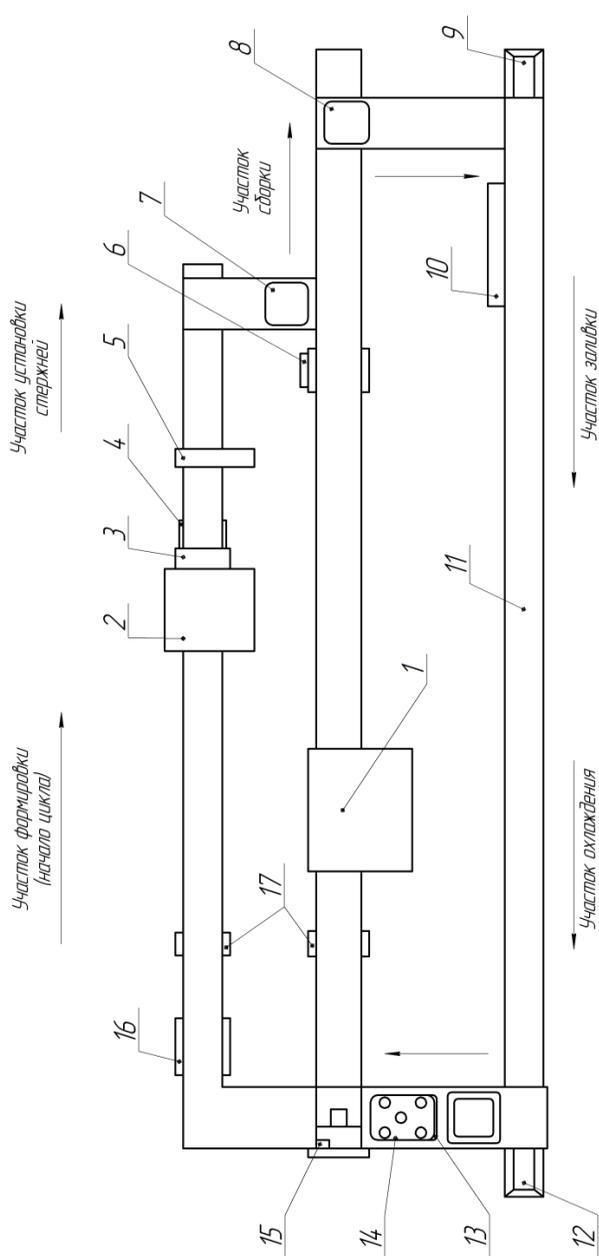


Рис. 11.1. Автоматическая линия для формовки и выбивки опок: 1 – пресс-автомат формовочный пневморычажный верхних полуформ; 2 – пресс-автомат формовочный пневморычажный нижних полуформ; 3 – механизм сверления вентиляционных отверстий; 4 – кантователь нижних полуформ; 5 – механизм срезы смеси нижних полуформ; 6 – кантователь верхних полуформ; 7 – сборщик форм; 8 – кантователь; 9 – механизм подъема подложных плит; 10 – механизм нагружения форм; 11 – конвейер литейный роликовый приводной; 12 – механизм опускания подложных плит; 13 – механизм выдвигания кома; 14 – решетка выбивная инерционная проходная; 15 – распаровщик опор; 16 – кантователь нижних опок; 17 – механизм очистки опок

Заливку форм жидким металлом из ковшей производят на движущихся тележках. Залитые формы проходят через охлаждающий кожух и попадают на участок выбивки. Здесь формы снимают с конвейера и выбивают на специальной решетке. Отработанная смесь из опок проваливается сквозь выбивную решетку и передается в центральное смесеприготовительное отделение, после чего ее перерабатывают и передают в бункеры над формовочными машинами.

Выполнение технологических операций в неизменной последовательности характерно для автоматических линий с жесткой связью, когда транспортирующее средство действует в непрерывном или пульсирующем режиме, перемещая одновременно объекты производства на один шаг. Простой одной позиции вызывает остановку всей линии.

В настоящее время все большее применение находят гибкие автоматические линии, состоящие из отдельных звеньев, которые могут функционировать независимо друг от друга. Это обеспечивается не только наличием накопителей у каждого агрегата и резервных позиций в узких местах технологического процесса, но и гибкими транспортными средствами, к числу которых относятся специальные транспортные роботы или роботы-штабелеры. Накопители реализуются в виде транспортных заделов. Гибкие и емкие питатели создают на базе ячеек складского типа, которые обслуживают роботы-штабелеры. Таким образом, на относительно небольших площадях непосредственно у рабочих мест создаются оперативные накопители модельных комплектов, опок и прочей оснастки.

Роботы-штабелеры и стеллажные склады – накопители объектов производства являются действенным средством организации гибкого производства. На робот-штабелер, осуществляющий загрузку-разгрузку накопителей, при этом возлагают дополнительные функции межоперационного транспортирования и выдачи непосредственно на рабочие места необходимой оснастки, например опок под пескометы.

Роботы-штабелеры могут работать в сочетании с различными транспортными средствами и роботами:

– конвейерами, перемещающими объекты производства по рабочим позициям;

- роботами – кантователями опок, установленными на роботизированных позициях;
- транспортными роботами, предназначенными для возвращения опок после выбивки;
- специализированными транспортными роботами для развозки и заливки жидкого металла.

Конструкция подобных роботов-штабелеров должна быть выполнена с учетом специфики процесса. В случае необходимости стеллажную часть питателя могут обслуживать два робота-штабелера, размещенные по обе стороны оперативного склада-накопителя.

Использование роботов-штабелеров может дать ряд дополнительных преимуществ. Так, литейные формовочные линии помимо участков формовки и заливки могут включать участок охлаждения отливок, залитых в формы. Протяженность этого участка зависит от технологически необходимой продолжительности охлаждения форм и часто оказывается больше суммарной длины формовочного и заливочного участков, т.е. занимает большие производственные площади. Применение роботов-штабелеров позволяет резко сократить занимаемую площадь, вытянув позиции охлаждения форм вверх. При этом ячейки стеллажной части оборудуют всем необходимым для охлаждения, в том числе трубами для отсоса выделяющихся из форм газов.

Введение роботов-штабелеров не только способствует построению процесса в свободно избираемой последовательности выполнения технологических операций, но и дает возможность повысить уровень организации производства в целом.

Вопросы для повторения

1. Какие объекты транспортируются в литейных цехах?
2. Каким образом осуществляется автоматизация транспортных операций?
3. Как рационально организовать хранение готовой продукции и оснастки?

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизация процесса литья под давлением на основе применения промышленных роботов и приборов контроля / Я.М. Рывкис [и др.]. – М.: НИИЛИТМАШ, 1978. – 86 с.
2. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин: учеб. для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 1988. – 640 с.
3. Белоцерковский О.М., Макаров И.М. Робототехника и гибкоперестраиваемая технология. – М.: Знание, 1983. – 64 с.
4. Волчкевич Л.И. Роботы и здравый смысл // Изобретатель и рационализатор. – 1986. – № 4. – С. 2–3.
5. Волчкевич Л.И., Ковалев М.П., Кузнецов М.М. Комплексная автоматизация производства. – М.: Машиностроение, 1983. – 269 с.
6. Выжигин А.Ю. Гибкие производственные системы: учеб. пособие. – М.: Машиностроение, 2009. – 288 с.
7. Герц Е.В., Крейнин Г.В. Расчет пневмоприводов: справ. пособие. – М.: Машиностроение, 1975. – 272 с.
8. Градецкий В.Г., Рачков М.Ю. Роботы вертикального перемещения / Институт проблем механики РАН. – М., 1997. – 223 с.
9. Иллюстрированный определитель деталей общемашиностроительного применения. Руководящие технические материалы. Классы 40 и 50 Общесоюзного классификатора промышленной и сельскохозяйственной продукции. – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 238 с.
10. Классификатор технологических операций в машиностроении и приборостроении: в 2 ч. – М.: Изд-во стандартов, 1973. – Ч. 2. – 72 с.
11. Гини Э.Ч., Зарубин А.Н., Рыбкин В.А. Технология литейного производства: специальные виды литья: учеб. для студентов высших учебных заведений / под ред. В.А. Рыбкина. – М.: Академия, 2005. – 352 с.
12. Козырев Ю.Г. Захватные устройства и инструменты промышленных роботов: учеб. пособие. – М.: КноРус, 2011. – 312 с.

13. Козырев Ю.Г. Применение промышленных роботов: учеб. пособие. – М.: КноРус, 2011. – 488 с.
14. Козырев Ю.Г. Промышленные роботы: справочник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1988. – 392 с.
15. Козырев Ю.Г. Промышленные роботы: основные типы и технические характеристики. – М.: КноРус, 2010. – 488 с.
16. Конструирование роботов: пер. с фр. / П. Андре [и др.]. – М.: Мир, 1986. – 360 с.
17. Литье в кокиль / С.Л. Бураков [и др.]; под ред. А.И. Вейника. – М.: Машиностроение, 1980. – 415 с.
18. Лукьянов В.И. Поточные и автоматические формовочные линии: атлас / Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 1997. – 124 с.
19. Матвеев И.В. Оборудование литейных цехов: учеб. пособие: в 2 ч. – М.: Изд-во МГИУ, 2003. – Ч. 1. – 172 с.
20. Бурдаков С.Ф., Дьяченко В.А., Тимофеев А.Н. Проектирование манипуляторов промышленных роботов и роботизированных комплексов: учеб. пособие для студ. вузов, обучающихся по спец. «Робототехнические системы». – М.: Высш. шк., 1986. – 264 с.
21. Проектирование технологических процессов машиностроительных производств / В.А. Тимирязев [и др.]. – СПб.: Лань, 2014. – 384 с.
22. Промышленные роботы: конструирование, управление, эксплуатация / В.И. Костюк [и др.]. – Киев: Выща шк., 1985. – 359 с.
23. Раводин О.М. Гибкие автоматизированные системы и робототехника: учеб. пособие. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники, 2005. – 260 с.
24. Скотт П. Промышленные роботы – переворот в производстве: сокр. пер. с англ. / авт. предисл. и науч. ред. Л.И. Волчквич. – М.: Экономика, 1987. – 304 с.
25. Спыну Г.А. Промышленные роботы. Конструирование и применение: учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев: Выща шк., 1991. – 311 с.

26. Схиртладзе А.Г., Федотов А.В., Хомченко В.Г. Автоматизация технологических процессов и производств: учебник. – М.: Абрис, 2012. – 565 с.

27. Корендяев А.И., Саламандра Б.Л., Тывес Л.И. Теоретические основы робототехники: в 2 кн./ отв. ред. С.М. Каплунов; Ин-т машиноведения им. А.А. Благодрава РАН. – М.: Наука, 2006. – Кн. 1. – 382 с.; Кн. 2. – 375с.

28. Хартли Дж. ГПС в действии: пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1987. – 328 с.

29. Шишмарев В.Ю. Автоматизация производственных процессов в машиностроении : учебник для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Академия, 2007. – 368 с.

Учебное издание

ШАРОВ Константин Владимирович,
БОГОМЯГКОВ Алексей Васильевич,
ПУСТОВАЛОВ Дмитрий Олегович

ПРОМЫШЛЕННЫЕ РОБОТЫ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Учебное пособие

Редактор и корректор *Е.В.Копытина*

Подписано в печать 28.12.2016. Формат 60×90/16.
Усл. печ. л. 8,0. Тираж 95. Заказ № 241/2016.

Издательство
Пермского национального исследовательского
политехнического университета.
Адрес: 614990, г. Пермь, Комсомольский пр. 29, к. 113.
Тел. (342) 219-80-33.