

## **ГЛАВА 9. ПРИМЕНЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ НА ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЯХ.**

### **9.1. Классификация технологических комплексов с роботами на основных технологических операциях.**

Как было указано в главе 1, одна из неизменных тенденций в развитии робототехники – это устойчивый рост доли ПР, применяемых на основных технологических операциях. В 1980-1981 годах их доля в общем парке роботов впервые превысила 50 %. Опыт показывает, что хотя внедрение ПР на основных операциях требует значительно больших (в три-четыре раза) затрат, чем на вспомогательных операциях, именно здесь достигается наибольшая эффективность применения ПР при высвобождении рабочих. Велик здесь и социальный эффект в связи с вредностью для человека ряда таких операций (например, окраска, сварка) или с их монотонностью (например, сборка на конвейере). Основными типами таких комплексов в машиностроении являются технологические комплексы сборки, сварки, нанесения покрытий, шлифования, зачистки, клепки. К ним относятся также комплексы для бурения в горном деле, монтажа огнеупоров в металлургии, для монтажных и облицовочных работ в строительстве, упаковки штучной продукции в легкой и пищевой промышленности.

### **9.2. Сборочные робототехнические комплексы.**

Этот тип робототехнических комплексов по своему значению является, пожалуй, наиболее важным. Трудоемкость сборочных операций в машиностроении достигает 40% себестоимости изделий, а в приборостроении еще больше – до 50-60%. Вместе с этим степень автоматизации сборочных работ сегодня весьма низка в связи с ограниченными возможностями, которые имеют здесь традиционные средства автоматизации в виде специальных сборочных автоматов. Такие автоматы применимы главным образом в массовом производстве, в то время как, например, в машиностроении до 80% продукции относится к мелкосерийному и серийному производству. Поэтому создание гибких сборочных комплексов на базе ПР является одним из основных направлений в автоматизации сборочных операций.

К сборочным операциям относятся механическая сборка, электрический монтаж, микроэлектронная сборка. Процесс сборки состоит из следующих взаимосвязанных последовательных операций:

- загрузка собираемых деталей в загрузочные и транспортные устройства (обычно с их ориентацией);
- перемещение деталей к месту сборки;
- базирование, т.е. фиксация в строго определенной позиции, с относительной ориентацией деталей на сборочной позиции;
- собственно операция сборки, т.е. сопряжения деталей, включая часто закрепление;
- контрольно-измерительные операции в ходе сборки;

- удаление собранного узла со сборочной позиции для перемещения его на следующую сборочную позицию, если сборка не закончена.

Каждая из этих операций принципиально может быть выполнена с помощью ПР, но не всегда это целесообразно. В тех, например, случаях, когда требуется перемещение по одной координате, более простым решением может быть применение устройства типа толкателей. В других случаях могут применяться специальные ориентаторы и простые однопрограммные механические руки. Роль ПР в сборочных комплексах наряду с более простыми и специальными средствами автоматизации может быть различной. Зависит это, прежде всего, от конкретных требований к гибкости комплекса, что в свою очередь определяется в основном серийностью выпускаемой продукции. Поэтому рассмотрим роль ПР в сборочных комплексах в соответствии со следующей их классификацией в зависимости от объема выпуска продукции начиная с массового производства и до единичного:

- 1) специальные сборочные автоматы для массового и крупносерийного производства с возможным применением простых автоматических манипуляторов на вспомогательных и отдельных основных сборочных операциях;
- 2) робототехнические сборочные комплексы для крупносерийного и серийного производства, в которых сборочные операции выполняют специальные (простые) ПР с цикловым управлением;
- 3) робототехнические сборочные комплексы для крупносерийного и серийного производства на базе универсальных и специализированных ПР, каждый из которых может осуществлять любые сборочные операции за счет смены инструмента (в том числе непосредственно и процессе сборки изделия);
- 4) робототехнические сборочные комплексы для серийного производства, в которых вся сборка выполняется одним сложным универсальным ПР;
- 5) робототехнические сборочные комплексы для серийного производства с участием человека в управлении ПР или в выполнении им отдельных операций вручную.

Включение человека непосредственно в технологический процесс сборки может вызываться либо экономическими соображениями, либо технической невозможностью сегодня автоматизировать отдельные сложные операции (например, некоторые регулировочные и настроечные), либо необходимостью оперативного подключения человека в аварийных ситуациях, когда автомат по какой-то причине не справляется с заданием, либо, наконец, временно на этапе освоения сборки нового изделия (в том числе и как один из способов программирования методом обучения).

Примерами специальных сборочных автоматов, указанных в пункте 1, являются автоматы для монтажа печатных плат и сборочные роторные линии, используемые в массовом и крупносерийном производствах. Средства робототехники находят здесь ограниченное применение в основном для их обслуживания на входе и выходе (операции загрузки-выгрузки) [16].

На рис.9.1 показан один из первых отечественных робототехнических

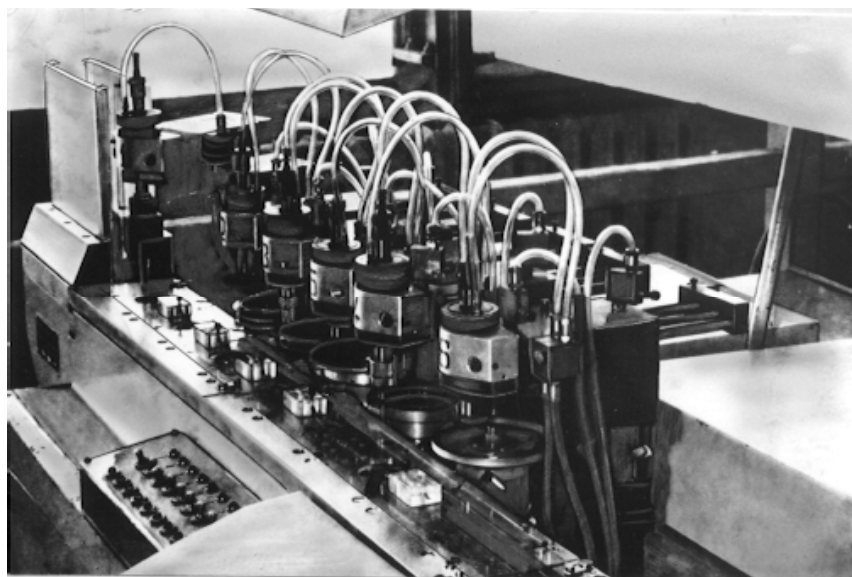


Рис.9.1. Робототехнический сборочный комплекс массового производства наручных часов.

сборочных комплексов массового производства механических наручных часов на базе специальных ПР, относящийся к следующему пункту 2 данной выше классификации. На прямоточной транспортной системе закреплено приспособление-спутник, которое перемещается от позиции к позиции по прямой линии с фиксацией через равные промежутки времени. Сборка осуществляется по принципу параллельно-последовательной сборки на всех позициях одновременно с последующей подачей приспособления-спутника на очередной шаг. Установка оснащена специальными пневматическими ПР со сменяемыми приспособлениями в зависимости от марки собираемых часов.

В целом сборочный комплекс включает транспортную систему, специальные ПР, пульт управления, вибробункеры, питатели, а также различные оснастку и приспособления. Детали и узлы часов поступают на позиции сборки из вибробункеров в ориентированном положении. Платины часов, набранные в кассеты, автоматически устанавливаются в приспособления-спутники, которые являются составным элементом прямоточной транспортной системы. Роботы производят установку деталей или узлов в платину часов в заданной последовательности и с необходимой точностью. Чтобы обеспечить условия собираемости, платина часов фиксируется снизу с помощью специального приспособления. Полный цикл работы комплекса – 6-10 с. Высокая ритмичность работы комплекса и непрерывность выполнения операций позволили в шесть-восемь раз повысить производительность, улучшить качество сборки часов, ликвидировать монотонный ручной труд, поднять культуру и организацию производства.

На рис. 9.2 показан пример сборочного робототехнического комплекса, построенного на базе универсального ПР (пункт 3 классификации). Комплекс включает несущую раму, поворотный стол, загрузочные и ориентирующие устройства, устройства крепления оснащения, кабельные узлы, устройство

управления комплексом, блоки синхронизации и связи с ЭВМ. Для выполнения собственно операций сборки применены универсальные пневматические ПР типа

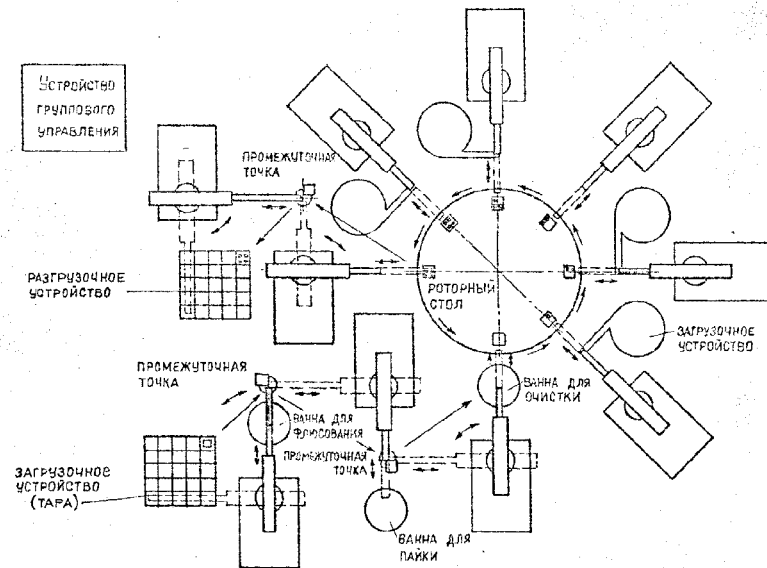


Рис.9.2. Робототехнический комплекс для сборки контурных катушек радиоприемников:  
 1 – загрузочное устройство (тара); 2 – промежуточная точка; 3 – разгрузочное устройство; 4 – устройство группового управления; 5 – роторный стол; 6 – загрузочное устройство; 7 – ванна для очистки; 8 – ванна для пайки; 9 – ванна для флюсования.

МПС-9С (см.рис.4.3). Комплекс предназначен для сборки контурных катушек бытового радиоприемника, где ПР выполняют следующие операции:

- выборку каркасов катушек из кассеты;
- флюсование выводов обмоток;
- пайку выводов;
- промывку выводов после мойки в специальном растворе;
- установку каркасов на ложементы поворотного стола;
- надевание кольца;
- навинчивание буксы;
- закручивание сердечника;
- надевание экрана;
- маркировку катушки;
- установку в кассеты готовой контурной катушки.

Смена кассет на рабочих позициях автоматизирована с помощью разгрузочно-загрузочных устройств. Сборочные элементы подаются на рабочие позиции с помощью вибробункеров, где происходят их ориентация, накапливание и поштучная

выдача. Для обеспечения условий собираемости и снижения требований к точности изготовления сборочных элементов, оснастки и приспособлений манипуляторы ПР оснащены вибромодулями. За один рабочий цикл выполняются все технологические

операции десятью ПР по принципу параллельно-последовательной сборки. В конце цикла происходит перемещение координатного устройства, которое подает в позицию захвата первого ПР и в позицию сброса десятого ПР соответствующие ячейки подающей и приемной кассет, а также перемещение на один шаг поворотного стола, на специальных ложементах которого производится сборка контурной катушки. Длительность цикла работы комплекса – 10 с.

Применение подобных сборочных комплексов на порядок повышает производительность труда, дает экономию производственной площади и позволяет осуществить комплексную автоматизацию сборочного производства в целом. Переналадка комплекса осуществляется заменой рабочих органов ПР и их управляющих программ. По сравнению с предыдущим типом сборочных комплексов, основанных на использовании специальных ПР, применение здесь на всех операциях одного типа универсального ПР расширяет номенклатуру собираемых изделий, хотя сами ПР при этом оказываются более сложными и избыточными по своим возможностям применительно к каждой отдельной выполняемой ими операции. Поэтому переход от специальных ПР к универсальным оказывается оправданным с уменьшением серийности выпускаемых изделий.

На рис.9.3 показан участок автоматизированного сборочного производства, включающий три сборочных комплекса, автоматы намотки катушек и автоматическую транспортно-складскую систему. Мини-ЭВМ осуществляет изменение программ работы оборудования участка, а также диспетчерирование и оптимизацию загрузки оборудования на основании плана поставок и располагаемых материальных ресурсов.

На рис. 9.4 представлена схема линии сборки с помощью ПР трансформаторов с элементами осязательного и адаптивным управлением. На несущей раме смонтировано сборочное оборудование — три ПР, питатели собираемых деталей и сборочная оснастка. В линию входят также установка формовки и сушки трансформаторов и ряд других элементов.

Устройство управления линии осуществляет групповое управление всеми ПР и технологическим оборудованием по заданной программе. Кроме того, в него включен узел адаптации, состоящий из тактильного сенсора и системы контроля тока холостого хода трансформатора. Набор вспомогательных программ позволяет контролировать качество сборки трансформаторов и принимать решение о дальнейшем порядке работы в зависимости от полученной информации.

Роботы реагируют на нестандартные ситуации, которые могут складываться во время работы:

- невыполнение одного из условий собираемости узла,
- несоответствие магнитных и электрических параметров заданным.

Линия работает по принципу последовательной сборки следующим образом. При поступлении нижней пары магнитных сердечников с питателя на исходную

позицию сборки подается команда на ПР, который берет катушку из питателя и устанавливает ее на пару сердечников. Другой ПР берет с исходной позиции питателя два верхних магнитных сердечника, последовательно отпускает их в обезжиривающий и клеевой растворы, а затем соединяет с катушкой и двумя нижними сердечниками. Третий ПР удаляет собранный трансформатор с позиции сборки и с одновременным разворотом подает в установку формовки и сушки карусельного типа. В установке трансформаторы обжимаются и подогреваются для склейки торцов сердечников.

В процессе сборки трансформаторов контролируется:

- поступление деталей на исходные позиции (оптические датчики);
- собираемость деталей и узлов (датчики положения);
- электрические параметры магнитопривода (датчики тока).

После окончания формовки и сушки трансформатора осуществляется выходной контроль его электрических параметров. В случае невыполнения одного из условий детали или узлы сбрасывают в браковочную тару.

Следующим типом робототехнических сборочных комплексов, которые оказываются экономически более выгодными при меньшей серийности производства, являются комплексы с ПР, последовательно выполняющими ряд сборочных операций на одном рабочем месте вплоть до полной сборки целого изделия (позиция 4 данной выше классификации). Такое построение комплекса существенно повышает его гибкость, позволяя чисто программно изменять число сборочных операций без изменения числа ПР, что неизбежно, если каждый ПР выполняет только одну операцию. В таких комплексах ПР в ходе сборки многократно сменяет свои рабочие органы при переходе от одной операции к другой. Примерами сборочных ПР, предназначенных для такой многооперационной сборки, являются электромеханические ПР типа «Сигма» (Италия, см.рис.3.5) и «Пума» (США, см.рис.3.8).

На рис.9.5 показан один из первых робототехнических комплексов, осуществляющих сборку на одном рабочем месте такого достаточно сложного изделия как пылесос, фирмы «Хитачи» (Япония). Комплекс смонтирован на сборочном столе и включает два электромеханических манипулятора 1, 2 с восьмью степенями подвижности, первый (силовой) работает в вертикальной плоскости, а второй (очувствленный) – в горизонтальной, семь телевизионных камер. Три из них ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ) ориентированы вертикально, а четыре (A, B, C, D) – горизонтально. Захватное устройство оочувствленного манипулятора снабжено датчиками усилия, давления и тактильными.

Пылесос 3 собирается из трех узлов: фильтра 4, электродвигателя 5 и корпуса 6, которые поступают на сборку неориентированными.

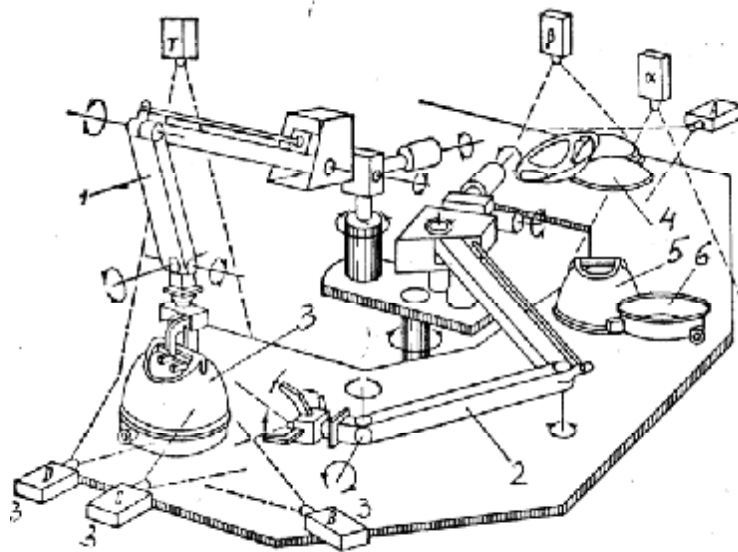


Рис.9.5. Робототехнический комплекс для сборки пылесосов.

### 9.3. Сварочные робототехнические комплексы.

Сварка — одна из областей широкого применения ПР. Из многочисленных видов сварки ПР получили основное применение на контактной точечной, дуговой, а также на электронно-лучевой сварке. Контактная точечная сварка осуществляется путем нагрева импульсным электрическим током. Рабочими органами ПР для выполнения такой операции являются сварочные клещи (см. на рис.9.6). Существуют



Рис.9.6. Сварочный робот Юнимейт

сварочные ПР, у которых манипулятор заканчивается одним электродом, а вторым электродом служит само свариваемое изделие (рис. 9.7). Промышленные роботы для



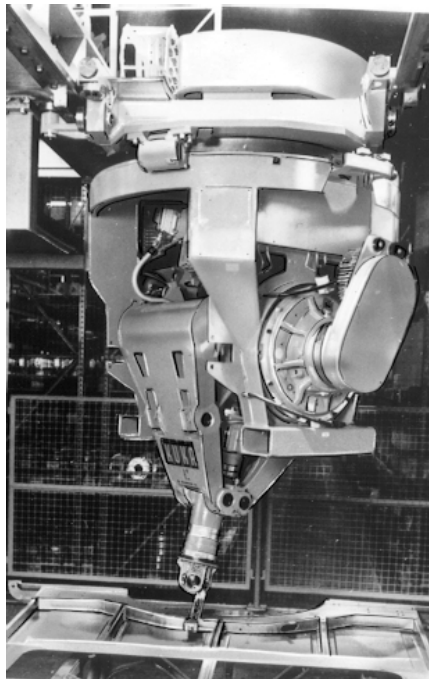


Рис.9.7. Сварочный робот фирмы КУКА.

боты для контактной точечной сварки имеют специальную конструкцию, которая предусматривает размещение сварочного трансформатора и токопроводящего кабеля, идущего от него к сварочным клещам. Сварочный трансформатор расположен обычно на манипуляторе ПР, в том числе и непосредственно в его рабочем органе (с целью максимально сократить длину кабеля от трансформатора к сварочным клещам, по которым проходит большой импульсный сварочный ток). Грузоподъемность таких сварочных ПР обычно составляет 20-30 кг. Управление ПР для контактной точечной сварки дискретное позиционное. Устройство управления должно быть рассчитано на работу в условиях сильных электромагнитных помех, создаваемых импульсами сварочного тока.

Наиболее широко контактная точечная сварка с помощью ПР применяется в автомобилестроении (сварка кузовов), судостроении и вагостроении. На рис.9.8 показан участок сварки кузовов автомобилей с помощью ПР.

Дуговая сварка — более сложный технологический процесс, чем контактная точечная. Здесь требуется осуществлять непрерывное перемещение сварочного электрода с определенной скоростью по сложной траектории вдоль свариваемого шва с одновременным поперечным перемещением для создания нужной формы. Электрод при этом должен сохранять определенную ориентацию по отношению к плоскости шва. Грузоподъемность ПР для дуговой сварки меньше, чем ПР для контактной точечной, и не превышает 5-8 кг. Промышленный робот для дуговой сварки часто комплектуется еще столом с несколькими степенями подвижности по углу для размещения на нем свариваемых изделий и манипулирования ими перед ПР.



Рис.9.8. Участок точечной сварки роботами кузовов автомобилей.

В функции устройства управления ПР для дуговой сварки помимо управления движением входит еще регулирование параметров режима сварки (тока, напряжения дуги, притока газа и т.д.). Управление при этом должно быть адаптивным. Основные задачи адаптации — это поиск начала шва, слежение за кромками свариваемых деталей с учетом возможной кривизны их поверхностей и ориентации электрода. Кроме того, адаптация требуется при регулировании технологических параметров собственно процесса сварки с учетом состояния внешней среды.

Для контроля положения электродов относительно кромок свариваемых деталей применяют контактные и магнитные датчики, ультразвуковые и оптические дальнометры, телевизионные системы. На рис.9.9 показан робототехнический комплекс для дуговой сварки в комплекте с манипуляционным столом — так называемый сварочный центр.

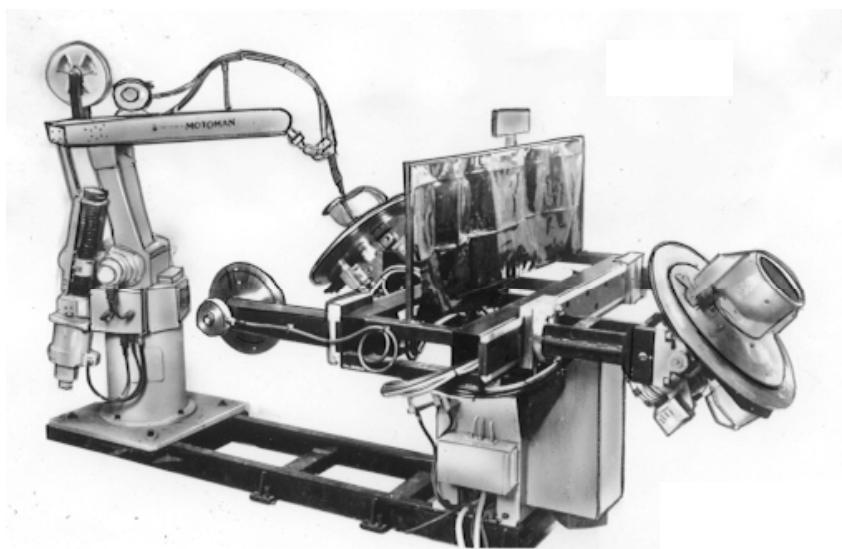


Рис.9.9. Робототехнический комплекс для дуговой сварки с ПР «Мотоман» с двухкоординатным столом.

Электронно-лучевая сварка осуществляется в вакууме путем перемещения электронного пучка, создаваемого электронной пушкой, по линии шва. Этот вид сварки интересен тем, что в отличие от обычных механических манипуляторов здесь манипулирование производится электронным лучом с помощью отклоняющего магнитного или электрического поля. (Хотя существуют установки и с перемещением стола, на котором крепятся свариваемые детали.) Управление движением луча по шву осуществляется в простейших случаях по жесткой программе, а при наиболее сложных траекториях стыка – с применением адаптивного управления и обратной связи через телевизионную систему технического зрения.

С робототехническими комплексами для сварки схожи комплексы для пайки и резки (дугой, лазерным лучом, плазмой). Последние, в частности, широко применяют для раскроя материала и снабжают обычно устройствами ЧПУ.

#### 9.4. Робототехнические комплексы для нанесения покрытий.

Промышленные роботы нашли применение на операциях нанесения покрытий различного назначения: лакокрасочных, защитных, упрочняющих, герметизирующих и т.п. Операции эти для человека не только физически тяжелы, но и вредны для здоровья. В большинстве случаев нанесение покрытий связано с применением взрыво- и пожароопасных веществ. Поэтому используемые на таких операциях ПР должны иметь взрывобезопасное исполнение. Для нанесения покрытий широко применяют пульверизаторы. На рис.9.10 показан ПР с пульверизатором в качестве ра-

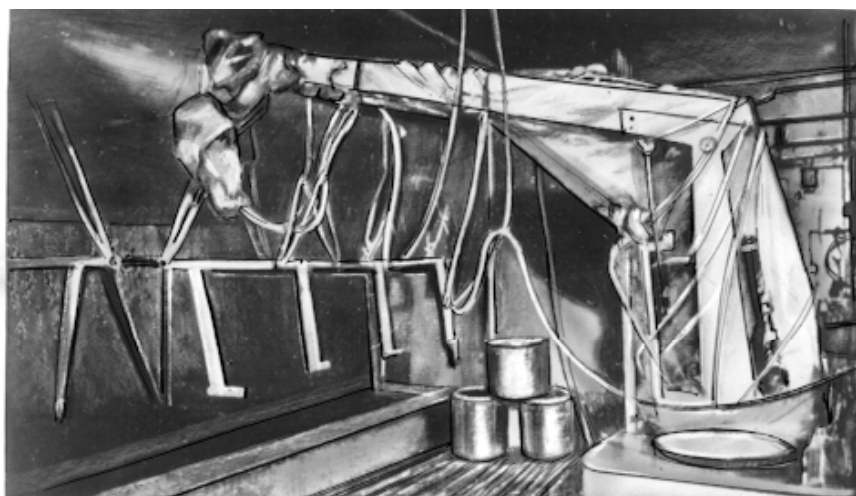


Рис.9.10. Роботизированный окрасочный комплекс с ПР фирмы «Девилбис» (США).

бочего органа. Робот такого же назначения был показан на рис.4.9. Управление такими ПР – непрерывное (контурное) с программированием методом обучения. По сравнению со сварочными ПР требование к точности ПР для нанесения покрытий существенно ниже, а к быстродействию, наоборот, выше. Применяется в этих ПР и

адаптивное управление: с использованием системы технического зрения для определения габаритов очередного изделия, на которое должно быть нанесено покрытие. По полученным данным автоматически выбирается и корректируется управляющая программа для ПР.

Другим вариантом технологии нанесения покрытий является использование для этого электростатического поля. Этот способ обеспечивает высокое качество покрытия и более экономичен. Однако высокое напряжение (десятки киловольт) создает дополнительную взрывоопасность, что ограничивает область применения окрасочных ПР с такого типа распылителями.

Широкое применение получили средства робототехники для нанесения гальванических покрытий. Основная манипуляционная операция здесь — это погружение в ванны деталей или корзин с деталями и перемещение их от одной ванны к другой. Операция эта выполняется с помощью простых однопрограммных

автооператоров. На рис.9.11 показана линия гальванопокрытий. Сегодня тысячи автооператоров заменяют рабочих в этом вредном производстве.

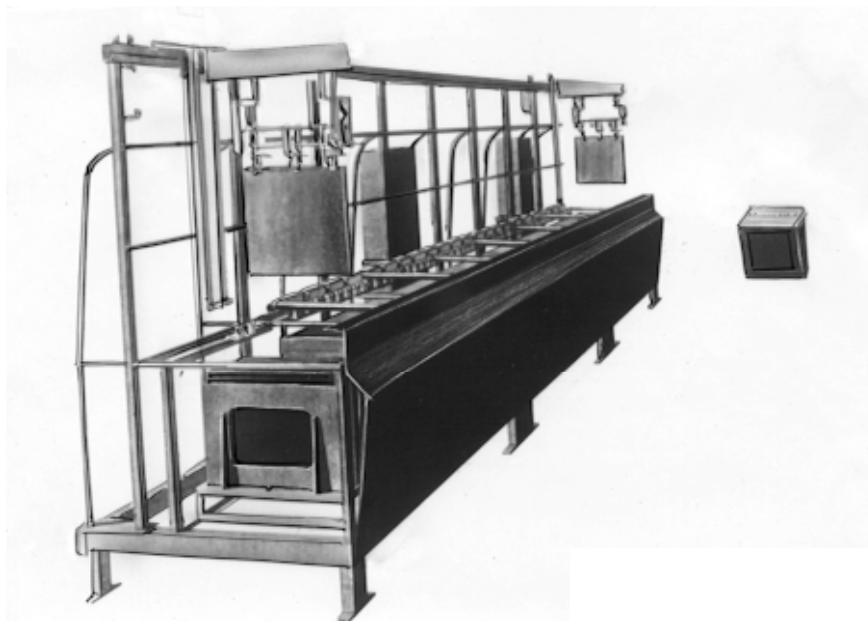


Рис.9.11. Линия гальванопокрытий с автооператорами.

Близки к процессу нанесения покрытий пескоструйная и дробеструйная обработка поверхностей. На этих операциях также нашли применение ПР с непрерывным управлением. Из других основных технологических операций, где используются ПР с непрерывным управлением, следует назвать шлифование, зачистку (например, отливок), обрубку облоя.

Промышленные роботы с дискретным позиционным управлением применяют также на клепке и для контроля размеров. Для последней операции созданы специальные измерительные машины, рабочим органом которых является измерительный щуп, которым производится ощупывание контролируемого изделия в нужных точках. Обычно такие измерительные машины имеют прямоугольную систе-

му координат и ЧПУ, обеспечивающее точность до единиц микрометров. На рис.9.12 показан пример такой измерительной машины.



Рис.9.12. Измерительная машина фирмы ДЕА (Италия).