

**Э. А. Гладков,
В. Н. Бродягин,
Р. А. Перковский**

Автоматизация сварочных процессов

*Рекомендовано
Учебно-методическим объединением вузов
по университетскому политехническому образованию
в качестве учебника для студентов высших
учебных заведений, обучающихся по направлению
«Машиностроение»*



Москва

ИЗДАТЕЛЬСТВО
МГТУ им. Н. Э. Баумана

2 0 1 4

УДК 621(075.8)

ББК 30.61

Г52

Рецензенты:

зав. кафедрой «Электронное машиностроение и сварка» СГТУ
имени Ю.А. Гагарина, д-р техн. наук, профессор, *Г.В. Конюшков*;

зав. кафедрой «Электронное машиностроение и сварка»

Московского государственного университета

приборостроения и информатики,

д-р техн. наук, профессор *В.М. Ямпольский*

Гладков, Э. А.

Г52

Автоматизация сварочных процессов : учебник / Э. А. Гладков, В. Н. Бродягин, Р. А. Перковский. – Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. – 421, [3] с. : ил.

ISBN 978-5-7038-3861-7

Приведено описание основных элементов автоматики сварочных установок. Даны принципы построения и примеры реализации современных систем управления оборудованием и процессами дуговой, контактной и электронно-лучевой сварки. Рассмотрены системы управления пространственным положением источника нагрева относительно линии стыка, автоматизированные комплексы с микроконтроллерами и ЭВМ для управления качеством сварного соединения, а также проблемы роботизации дуговой и контактной сварки.

Для студентов высших учебных заведений. Учебник может быть полезен аспирантам и специалистам в области сварочного производства при выборе средств автоматизации.

УДК 621(075.8)

ББК 30.61

© Гладков Э. А., Бродягин В. Н.,
Перковский Р. А., 2014

© Оформление. Издательство МГТУ
им. Н. Э. Баумана, 2014

ISBN 978-5-7038-3861-7

Предисловие

Вопросам автоматизации сварочных процессов уделялось и уделяется в настоящее время значительное внимание. Эти вопросы отражены в содержании ряда научно-технических программ страны на текущий период. Они рассматривались в качестве основных задач по ускорению научно-технического прогресса и развитию науки и связывались в первую очередь с широким внедрением автоматизированных систем управления в различных областях хозяйственной деятельности. Успешное решение указанных задач имеет важное значение и для дальнейшего развития всего сварочного производства.

Современные достижения в области микроэлектроники и вычислительной техники существенно продвинули технологические возможности разрабатываемого на их базе сварочного оборудования нового поколения.

К сожалению, вопросы автоматизации сварки в последние годы не нашли должного отражения в образовательных программах для дипломированных специалистов направления подготовки «Машиностроительные технологии и оборудование». Изданные учебные пособия по вопросам автоматизации сварочных процессов (Львов И. С., Гладков Э. А. Автоматика и автоматизация сварочных процессов. М.: Машиностроение, 1982; Автоматизация сварочных процессов / под ред. В. А. Лебедева, И. П. Черныша. Киев: Вища шк., 1986; Гладков Э. А. Управление процессами и оборудованием при сварке. М.: Изд. центр «Академия», 2006) позволили существенно улучшить подготовку выпускников вузов по специальности «Проектирование технологических машин и комплексов». Однако эти учебные пособия как по содержанию, так и по структуре не в полной мере соответствуют требованиям межвузовской программы курса «Автоматизация сварочных процессов».

Предлагаемое издание в достаточной степени отражает содержание указанной программы и допущено УМО вузов по университетскому политехническому образованию в качестве учебника для студентов высших учебных заведений.

В учебнике обобщен и систематизирован опыт создания систем автоматизированного сварочного оборудования и систем управления, разработанных рядом ведущих организаций РФ и Украины, учтены достижения крупных зарубежных фирм по разработке современного сварочного оборудования, источников питания для сварки.

Содержательная часть материала построена на основе классификации объектов и систем управления сварочными процессами (приведена во Введении).

Учебник предназначен для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Оборудование и технология сварочного производства» направления подготовки «Машиностроение».

Книга может быть полезна студентам и преподавателям сварочных специальностей при подготовке лекционного материала по курсам «Автоматизация сварочных процессов», «Управление в технических системах», «Источники питания для сварки», при выполнении курсовых и дипломных проектов, проведении научно-исследовательских работ, а также инженерно-техническим работникам и аспирантам, специализирующимся в области сварочного производства.

Введение

Сварка – прогрессивный метод создания неразъемных соединений металлов, сплавов и различных материалов.

Большие перспективы в развитии сварочного производства открывают механизация и автоматизация процесса сварки. Прогресс производства от внедрения этого направления возможен при комплексном подходе к решению задачи, затрагивающем все этапы сварочного производства – заготовительные, транспортные, загрузочные, сварочные, сборочные и отделочные операции. При механизации и автоматизации сварочного производства появляется возможность повышения производительности труда и качества продукции, сокращения численности обслуживающего персонала. Труд рабочего в этих условиях становится более содержательным и творческим, исключается «субъективный фактор» оператора.

При механизированном процессе независимо от степени механизации рабочий частично или полностью освобождается лишь от мускульных усилий, но полностью сохраняется его участие в процессе в связи с необходимостью выполнения функций контроля и управления.

Автоматизация сварки означает перевод сварочного оборудования на автоматический режим работы, внедрение в производство ряда устройств, действующих без участия человека.

Примером частичной механизации и автоматизации в сварке служит процесс дуговой сварки, в котором используются сварочные аппараты с постоянной и управляемой (принудительно) скоростью подачи электродной проволоки. В нем механизированы подача электродной проволоки, перемещение электрода вдоль линии свариваемого стыка, подача флюса (защитного газа); автоматизирован процесс регулирования напряжения дуги изменением по заданному закону скорости подачи электродной проволоки при отклонении напряжения дуги от номинального значения.

Доукомплектация сварочного аппарата системой слежения за линией стыка, средствами регистрации и контроля параметров режима позволяет перейти к стадии более полной автоматизации производственного процесса, когда сварка может выполняться без участия человека: за ним остаются лишь функции предварительной настройки процесса, включения оборудования и наблюдения за ходом процесса сварки.

Все устройства, действующие без непосредственного участия человека, можно подразделить на два класса: сварочные автоматы (или полуавтоматы) и автоматические системы (регуляторы). При использовании автоматов периодическая загрузка изделия, замена инструмента, контроль и подналадка выполняются по ходу работы или автоматически; останов требуется только для наладки. В случае применения полуавтоматов для повторения процесса, установки заготовки, снятия готового изделия и пуска необходимо вмешательство человека.

Автоматические системы (регуляторы) поддерживают неизменными или изменяют по заданному закону физические величины в технических устройствах или технологическом процессе без участия оператора-сварщика.

В последние годы применяют робототехнические комплексы – автоматы, характеризующиеся разнообразием выполняемых операций и значительной мобильностью.

Роботы – это универсальные автоматические манипуляторы с программным управлением, предназначенные для воспроизведения управляющих и двигательных функций человека, обладающие способностью к адаптации.

Автоматизированное и механизированное оборудование объединяют в группы. Одну из них представляет автоматическая линия – производственный участок, специализирующийся на выполнении одной или нескольких однотипных операций технологического процесса. Автоматическая линия состоит из группы станков-автоматов, объединенных общей системой управления и общими транспортными устройствами с единым темпом работы.

На заводах по производству автомобилей, тракторов, сельскохозяйственных машин, вагонов, локомотивов, самолетов, товаров народного потребления в автоматических линиях в качестве станков-автоматов применяют автоматизированные машины для контактной сварки. Автоматизированные дуговые сварочные установки используют в поточно-механизированных и автоматических линиях по производству труб и изделий тяжелого машиностроения.

Известно несколько десятков способов сварки и их разновидностей. Даже неполное их перечисление убедительно показывает широкие технологические возможности этого процесса в разных отраслях машиностроения. Высокое качество работы сварочного оборудования напрямую связано с последними достижениями в области радиоэлектроники, электротехники, оптики, автоматики, микропроцессорной и вычислительной техники.

Способы сварки различаются по степени автоматизации: в одних случаях применены самоприспосабливающиеся системы (например, в дуговой и контактной сварке), в других – использована только механизация процесса, в третьих – сварка осуществляется полностью вручную.

Открытие В. И. Дятловым в 1942 г. явления саморегулирования дуги позволило создать и широко использовать простые и надежные сварочные установки с постоянной скоростью подачи электрода. Дальнейшей разработкой этого оборудования занимались Б. Е. Патон, В. К. Лебедев, Г. М. Каспржак, И. Я. Рабинович.

С 1950-х годов создатели сварочного оборудования стали широко применять методы теории автоматического управления и вычислительную технику. Начался период более полной автоматизации сварочных процессов, а затем и сборочно-сварочного производства. Учеными Б. Е. Патонем, К. К. Хреновым и другими исследователями начаты работы по изучению свойств различных систем автоматического регулирования дуговой сварки и сварки под флюсом.

В 1970–1980-е годы на дальнейшее развитие и широкое применение методов теории автоматического регулирования при проектировании автоматического сварочного оборудования оказали влияние работы Б. Е. Патона, Ф. А. Аксельрода, Б. Д. Орлова, А. С. Гельмана, В. К. Лебедева, П. Л. Чулошникова, Н. В. Подолы, Ю. А. Паченцева, Д. С. Балковца – в области контактной сварки; Б. Е. Патона, В. К. Лебедева, А. И. Чвертко, Н. С. Львова, Э. А. Гладкова, Э. М. Эсбияна, В. В. Смирнова и других – в области электродуговой, шлаковой сварки и наплавки; Ю. Н. Ланкина, В. М. Язовских, В. Я. Беленького, В. В. Башенко, В. Н. Ластовирия, О. К. Назаренко, В. А. Виноградова, В. А. Казакова, В. А. Лаптенка – в области электронно-лучевой сварки; Б. Е. Патона, Г. А. Спыну, В. А. Тимченко, Ф. А. Киселевского – в области роботизации дуговой и контактной сварки; Н. Н. Рыкалина, А. А. Углова, Н. В. Зуева, Р. Р. Абильтсова, В. С. Голубева, А. Г. Григорьянца, Э. А. Гладкова, И. Н. Шиганова – в области лазерной сварки.

С 1980-х годов продолжены работы по оснащению сварочного оборудования следящими системами с электромагнитными и оптическими датчиками для автоматической ориентации электрода по линии стыка. Вклад во внедрение этого оборудования внесли работы Ю. А. Паченцева, Н. С. Львова, Э. А. Гладкова, Р. М. Широковского, Ш. А. Вайнера, Ф. А. Киселевского, В. В. Смирнова и других ученых.

Телевизионные системы для автоматической коррекции положения сварочной ванны относительно свариваемого стыка при электронно-лучевой сварке были разработаны М.Л. Лифшицем, Д.Д. Никифоровым и другими в середине 1980-х годов.

Новый методологический подход к анализу процессов в сварочном контуре как единой электрогидродинамической системе источник – дуга – сварочная ванна, в которой ванна рассматривается в качестве непосредственного объекта регулирования, предложен в 1977 г. Э.А. Гладковым. Он позволил в дальнейшем заложить основы проектирования автоматизированных систем управления сварочными процессами с применением ЭВМ.

Значительный вклад в разработку и внедрение автоматизированного сварочного оборудования в 1980–1990-е и последующие годы внесли Всесоюзный научно-исследовательский институт электросварочного оборудования (ВНИИЭСО) в г. Санкт-Петербурге (ныне Институт сварки России), Институт электросварки им. Е.О. Патона (ИЭС) в г. Киеве, ЦНИИТМАШ в г. Москве, Ржевское научно-производственное объединение «Электромеханика», Научно-исследовательский и конструкторский институт монтажной технологии (НИКИМТ) в г. Москве, МГТУ им. Н.Э. Баумана, НПО «Технотрон» в г. Чебоксарах, Псковский завод тяжелого электросварочного оборудования (ОАО «ПЗ ТЭСО»), Симферопольский электромашиностроительный завод (ПАО «СЭЛМА»).

В настоящее время серийный выпуск автоматизированного сварочного оборудования, инверторных источников питания с микропроцессорами в схеме управления налажен рядом зарубежных фирм: Lincoln Electric, Miller (США), Cloos, EWM (Германия), ESAB (Швеция), Kemppi (Финляндия), Fronius (Австрия) и многими другими.

Эти разработки можно отнести к сварочному оборудованию нового поколения, характеризующемуся быстродействием, многофункциональностью в решении технологических задач, гибкостью перестройки и выбором рабочих программ, удобством регулирования и визуализацией параметров режима сварки, малыми габаритами и высокой надежностью в работе.

Далее приведена классификация объектов и систем управления сварочными процессами (обозначения способов сварки и оборудования, указанные в скобках, соответствуют РД 03-614-03 – документа Национального аттестационного комитета по сварочному производству):

1. По геометрическим характеристикам изделия:
 - 1.1. Тонкостенные (0...5 мм).
 - 1.2. Толстостенные (более 5 мм).
 - 1.3. Плоскостные (прямолинейные, криволинейные, короткие, протяженные).
 - 1.4. Пространственные (поворотные, неповоротные).
2. По степени автоматизации:
 - 2.1. Ручная (РД, РАД и др.).
 - 2.2. Механизированная (МП, МАДП и др.).
 - 2.3. Автоматизированная и автоматическая (АФ, ААДП, ААД и др.).
3. По типу технологии:
 - 3.1. Сварка плавлением:
 - 3.1.1. Дуговая:
 - 3.1.1.1. Неплавящимся электродом (РАД, ААД и др.).
 - 3.1.1.2. Плавящимся электродом (РД, МП, МАДП, АФ и др.).
 - 3.1.1.3. Плазменная (П).
 - 3.1.2. Лучевая:
 - 3.1.2.1. Электронно-лучевая (ЭЛ).
 - 3.1.2.2. Лазерная (Л).
 - 3.1.3. Гибридная (Л + ААДП).
 - 3.2. Контактная:
 - 3.2.1. Сопровождаемым (КСС, КТС и др.).
 - 3.2.2. Оплавлением (КСО).
4. По режимам сварки:
 - 4.1. Непрерывная.
 - 4.2. Импульсная.
5. По уровню управления процессом:
 - 5.1. Разомкнутые системы.
 - 5.2. Замкнутые на объект системы.
6. По принципу построения систем регулирования и управления:
 - 6.1. Системы стабилизации.
 - 6.2. Следящие системы.
 - 6.3. Программные системы.
 - 6.4. Адаптивные автоматизированные и роботизированные комплексы.

Элементы автоматике сварочных установок

1.1. Классификация элементов автоматике

Автоматика – отрасль науки и техники, охватывающая теорию и принципы построения систем управления, действующих без непосредственного участия человека; в узком смысле – это совокупность методов и технических средств, исключающих участие человека в выполнении операций конкретного процесса.

Системы автоматике предназначены для получения информации о ходе управляемого процесса, ее обработки и использования при формировании управляющих воздействий на процесс. В зависимости от назначения различают:

- системы автоматической сигнализации, которые предназначены для извещения обслуживающего персонала о состоянии той или иной технической установки, о протекании того или иного процесса;
- системы автоматического контроля, которые без участия человека осуществляют контроль различных параметров, характеризующих работу какого-либо технического устройства или протекание какого-либо процесса;
- системы автоматического блокирования и защиты, которые служат для предотвращения возникновения аварийных ситуаций в технических агрегатах и установках;
- системы автоматического пуска и останова, которые обеспечивают включение, останов (а иногда и реверс) двигателей и приводов по заранее заданной программе;
- системы автоматического управления, которые предназначены для управления либо работой тех или иных технических систем, либо теми или иными процессами.

К важнейшим и наиболее сложным относят системы автоматического управления (САУ); все остальные перечисленные выше системы являются частными, как правило, более простыми вариантами САУ.

В современные САУ сварочным оборудованием входят следующие элементы автоматике (рис. 1.1):

- 1) датчики;
- 2) устройства передачи сигналов;

Наиболее распространены ПЛК:

- Siemens – SIMATIC S5 и S7;
- Omron CJ1, CJ2, CS1;
- Schneider Electric – PLC Twido;
- Beckhoff;
- Rockwell Automation;
- ABB – 800 × A Industrial IT;
- Mitsubishi – серия Melsec (FX, Q);
- ОВЕН – серия ПЛК 100/110/63/73/154/160.

Контрольные вопросы

1. Приведите классификацию систем и элементов автоматики.
2. Дайте определение основных характеристик датчиков: чувствительность датчика, порог чувствительности, разрешающая способность, пределы измерения, абсолютная погрешность, относительная погрешность, приведенная погрешность, статическая характеристика преобразования.
3. Опишите принцип действия, преимущества и недостатки релейных датчиков линейного перемещения: электроконтактных, индуктивных, оптических.
4. Изложите принцип действия, преимущества и недостатки измерительных датчиков линейного перемещения: потенциометрических, индуктивных, емкостных, оптических.
5. Опишите принцип действия, преимущества и недостатки датчиков угла поворота и скорости вращения: потенциометрических, магнитных, энкодеров.
6. Каков принцип действия тензoeлектрических датчиков силы?
7. Опишите принцип действия, преимущества и недостатки датчиков температуры: терморезисторов, термоэлектрических датчиков, оптических пирометров.
8. Каковы принцип действия, преимущества и недостатки датчиков тока и напряжения?
9. Дайте определение основных характеристик усилителей: коэффициента усиления, амплитудно-частотной характеристики, уровня шумов, собственного дрейфа.
10. Приведите основные схемы включения операционных усилителей: инвертирующая, неинвертирующая, дифференциальная.
11. Дайте описание типовых звеньев аналоговых устройств управления: апериодического, колебательного, пропорционального, интегрирующего.
12. Опишите основные алгоритмы работы цифровых устройств управления: ПИД-регулятора, цифровых фильтров с конечной и бесконечной импульсной характеристикой.

Глава 2

Сварочные процессы как объекты регулирования и управления

2.1. Общая характеристика объектов автоматизации

Проектирование систем автоматического управления и регулирования следует начинать с детального изучения *объекта автоматизации*. Знание общих свойств объекта необходимо для выбора принципиальной схемы регулирования, технических средств измерения контролируемых и регулируемых величин, элементов системы регулирования и настроек.

Любой объект характеризуется количеством энергии и количеством вещества, проходящего через него. Режим работы, состояние объекта определяются совокупностью физических показателей – *параметров* – и текущими внутренними процессами, на характер которых влияют *внешние воздействия*. Их называют входными переменными (функциями, сигналами), а точки их приложения – входами (рис. 2.1). В автоматической системе часть входных воздействий (при условии, что они не содержат ошибок) дает системе информацию о задачах управления. Такие воздействия называют *задающими (управляющими) воздействиями* $g_k(t)$. Они либо вырабатываются управляющим устройством, либо задаются человеком.

Другие воздействия на объект, не связанные с задачами и результатами управления, называют *возмущениями* $f_n(t)$. Возмущающие воздействия могут быть приложены в разных точках объекта. Собственно, вследствие существования возмущений и возникает необходимость регулирования. Характер возмущений всегда случайный, природа же их зависит от природы объекта. Это могут быть *изменения*: скорости электрического двигателя (вследствие изменения нагрузки или напряжения питающей

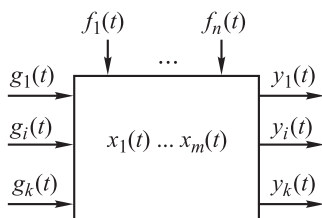


Рис 2.1. Схема многомерно-го объекта управления

непосредственного измерения в процессе сварки основного показателя качества – диаметра ядра $d_{\text{я}}$ точки. Кроме того, трудности возникают из-за особенностей процесса сварки: кратковременности и прерывистого характера сварочного процесса; высоких энергетических параметров оборудования; сильных помех, создаваемых мощными электромагнитными полями сварочного контура.

Быстродействие – важнейшее требование к регуляторам процессов контактной сварки, поскольку в течение короткого промежутка времени (приблизительно 10^{-2} с) должны быть осуществлены операции измерения значения регулируемой величины, сравнения с заданным значением и выработки управляющего воздействия. Требуемое быстродействие и точность могут быть обеспечены только при использовании достижений современной электронной и микропроцессорной техники.

Контрольные вопросы

1. Дайте общую характеристику входных, возмущающих и выходных параметров сварочного процесса как объекта автоматизации.

2. Приведите описания динамических моделей одномерного линейного объекта управления при детерминированных и случайных воздействиях.

3. Сформулируйте понятия управляемости и наблюдаемости многомерного линейного объекта, заданного системой уравнений первого порядка, в векторной форме записи.

4. Приведите геометрические параметры сварочной ванны, учитывая ее возможное пространственное положение, с указанием вектора приложения и физической природы действующих на нее сил. Опишите изменение формы сварочной ванны.

5. Каковы критериальные отношения диаметра силового и теплового пятен, позволяющих дать оценку бездефектного формирования шва при изменении скорости сварки?

6. Опишите особенности формирования, характер действующих сил в парогазовом канале при ЭЛС.

7. Охарактеризуйте стадии существования элементарного контакта при контактной сварке оплавлением.

8. Какова структура сварочного контура источник питания – источник нагрева – сварочная ванна? Дайте характеристику возмущений при различных способах сварки.

9. Охарактеризуйте параметры режима, управляющие, возмущающие воздействия и показатели качества при ЭЛС.

10. Дайте характеристику управляющих и возмущающих воздействий при контактной стыковой сварке. Каковы критерии качества сварки? Приведите циклограмму работы сварочной машины.

Системы автоматического регулирования параметров сварочного процесса и оборудования

3.1. Разомкнутые системы автоматического регулирования параметров процесса и оборудования

Задачей систем регулирования является стабилизация на уровне заданных технологией уставок параметров режима сварки (тока и напряжения в сварочной цепи, скорости сварки), основных показателей качества сварного соединения при действии на сварочный контур источник питания – источник нагрева – сварное соединение возмущений разной физической природы.

Эти системы условно разбиты на две группы:

1) САР, не охваченные контуром обратной связи по физическим и геометрическим параметрам объекта регулирования (сварочная ванна, канал проплавления, сварной шов, диаметр сварного ядра), характеризующим качество сварки. Такие САР названы *разомкнутыми*, хотя в их структуре допускается наличие собственных замкнутых контуров регулирования;

2) САР, охваченные обратной связью по физическим параметрам объекта регулирования. Эти САР являются *замкнутыми*.

Рассмотрим особенности регулирования параметров процесса в разомкнутых САР при различных способах сварки.

3.1.1. Настройка параметров и управление режимами аргонодуговой сварки неплавящимся электродом

Сварка неплавящимся электродом в инертных газах рекомендуется для соединения деталей из высокопрочных, коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и сплавов, алюминиевых, магниевых и титановых сплавов, как правило, небольшой толщины. Наибольшее распространение получила аргонодуговая сварка свободной и импульсной дугой.

Технологическая характеристика и особенности управления источниками питания при сварке неплавящимся электродом. При аргонодуговой сварке внешняя статическая характеристика

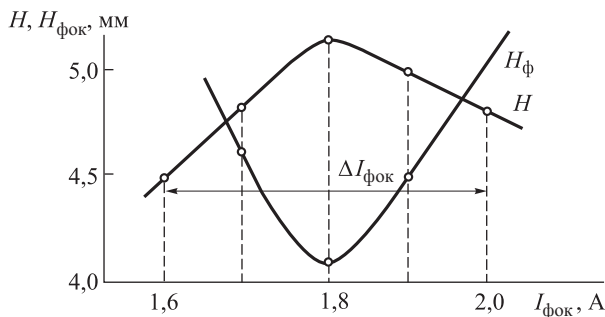


Рис. 3.39. Зависимость глубины проплавления H и высоты факела $H_{\text{ф}}$ от тока фокусировки $I_{\text{фок}}$ вблизи точки оптимального режима

(рис. 3.38) позволяет оперативно в процессе сварки вести измерение параметров переднего фронта сварочной ванны, наблюдаемой в зазоре стыка, а также ионно-парового облака (факела) над сварочной ванной.

Для телевизионных систем, работающих в оптическом диапазоне электромагнитных волн, основными являются спектрально-энергетические характеристики контролируемого объекта. Чувствительность телевизионного контроля повышается при согласовании спектральной характеристики передающей трубки телевизионной камеры с областью спектрального излучения контролируемых деталей зоны сварки (сварочной ванны, факела). Телевизионные камеры на видиконе имеют рабочую область в видимой части спектра (0,4...0,7 мкм).

Экспериментально установлен экстремальный характер высоты ионно-парового облака (факела) от тока фокусировки $I_{\text{фок}}$ (рис. 3.39). При этом минимальная высота факела $H_{\text{ф}}$ соответствует каналу проплавления с максимальным коэффициентом формы. Обнаруженная связь используется при разработке замкнутых систем автоматического управления глубиной проплавления при ЭЛС.

Контрольные вопросы

1. Укажите технологические возможности при сварке разомкнутых и замкнутых САР.
2. Приведите статическую ВАХ источника питания совместно с ВАХ условной рабочей нагрузки при дуговой сварке неплавящимся электродом, запишите уравнение $U = f(I_{\text{д}})$ для статической ВАХ дуги, определяемой ГОСТ Р МЭК 60974–2004.

3. Охарактеризуйте технологическое назначение участков ломаной ВАХ источника питания для дуговой сварки неплавящимся электродом в аргоне.

4. Перечислите способы зажигания дуги и заварки кратера при сварке в аргоне неплавящимся электродом.

5. Перечислите технологические особенности работы источника питания переменного тока для сварки алюминиевых сплавов. Приведите осциллограмму процесса сварки и охарактеризуйте ее участки на прямой и обратной полярности.

6. Приведите функциональную схему источника питания с разнополярными импульсами для сварки алюминиевых сплавов.

7. Как выглядит осциллограмма процесса сварки алюминиевых сплавов при питании дуги от источника с разнополярными импульсами?

8. Дайте определение инвертора, конвертора. Приведите структурную схему источника питания с высокочастотным преобразованием сигналов.

9. Приведите функциональную схему системы автоматической стабилизации длины дуги при аргонодуговой сварке неплавящимся электродом (система АРНД).

10. Приведите структурную схему системы АРНД для аргонодуговой сварки.

11. Какие способы управления формированием шва применяют при аргонодуговой сварке неплавящимся электродом тонкостенных изделий?

12. Опишите технологические особенности источников питания для ручной дуговой сварки покрытыми электродами.

13. Приведите статическую ВАХ источника питания для механизированной сварки плавящимся электродом в защитном газе и охарактеризуйте технологическое назначение отдельных участков комбинированной ВАХ.

14. Перечислите и охарактеризуйте способы механизированной и автоматической сварки в защитном газе плавящимся электродом с разным характером переноса электродного металла.

15. Дайте характеристику механизма управляемого переноса электродного металла при сварке с короткими замыканиями за счет сил поверхностного натяжения (процесс STT). Каковы технологические особенности этого процесса?

16. Перечислите и охарактеризуйте новые способы управляемого переноса электродного металла при сварке в защитном газе плавящимся электродом длинной и короткой дугой.

17. Дайте характеристику систем АРДС и АРНД с регулируемой скоростью подачи проволоки при дуговой сварке под флюсом. Приведите статические регулировочные характеристики для этих систем.

18. Перечислите основные САР процессов точечной и шовной контактной сварки. На какие две группы подразделяют эти системы в зависимости от типа регулирующего воздействия.

19. Перечислите основные виды САР параметров ЭЛС.

-
20. Какие основные технологические задачи решают АСУ ТП ЭЛС?
 21. Охарактеризуйте принципы работы САР глубины проплавления с оптическими датчиками при дуговой сварке.
 22. Какие принципы измерения глубины и формы проплавления стыка используют в САР при ЭЛС?
 23. Охарактеризуйте принципы построения САР диаметра литого ядра при контактной сварке.

Системы слежения за линией стыка при сварке

4.1. Системы слежения за линией стыка при дуговой сварке

Недостаточное применение систем автоматической ориентации электрода по линии стыка при механизированной сварке объясняется главным образом отсутствием или низкой надежностью датчиков, пригодных для определения фактического положения свариваемого соединения в реальных условиях сварочного производства. Можно считать, что решение проблемы автоматизации сварочных операций с помощью следящих систем заключается прежде всего в выборе методов и средств измерения фактического положения соединения.

Классификация следящих систем дана на рис. 4.1.

4.1.1. Системы с копирными датчиками прямого и непрямого действия

По типу регуляторов, применяемых в системе автоматики, следящие системы с копирными датчиками подразделяют на две группы: с регуляторами прямого и непрямого действия.

Следящие системы с регуляторами прямого действия являются наиболее простыми, в них измерение неотделимо от управления. Сварочный инструмент (сварочная головка или горелка) имеет одну или несколько свободных (неприводных) степеней подвижности и связан непосредственно со щупом, выполненным в виде ролика или неподвижного копирного пальца. Щуп постоянно прижат к поверхностям разделки кромок стыка или другим поверхностям свариваемых элементов под действием пружин или силы тяжести. При одном щупе-ролике (рис. 4.2, *а*) можно направить горелку по разделке стыка без прихваток.

Если сварочная горелка и щуп имеют только одну степень подвижности (см. рис. 4.2, *а*), то возникает составляющая Δk погрешности наложения шва (рис. 4.2, *з*).

При копировании в двух (и более) точках и дополнительной степени подвижности щупа относительно горелки (рис. 4.2, *б*)

Блоки синхронизации 11 и развертки 12 обеспечивают получение изображения зоны сварки путем ее построчного разложения на экране видеоконтрольного блока 7. Построчное разложение прерывается в двух местах кадра так называемыми информационными строками. В это время скорость движения считывающего луча на мишени видикона замедляется в 15–20 раз по сравнению со скоростью стандартного построчного телевизионного разложения. Информационные строки размещены в растре так, что первая строка передает изображение стыка в непосредственной близости от фронта сварочной ванны, а вторая – изображение середины ванны. Управляющий блок 8 воспринимает видеосигнал только от информационных строк.

Видеосигнал от стыка и сварочной ванны в управляющем блоке 8 обрабатывается по методу вычитания. На выходе блока 5 образуется импульс рассогласования, длительность которого пропорциональна смещению между серединой стыка и центром сварочной ванны, а полярность этого импульса показывает направление смещения. Импульс рассогласования поступает на вход блока 9, который состоит из усилителя и интегратора. Интегратор преобразует импульсы рассогласования в постоянный ток, протекающий в катушках отклоняющей системы 10 электронно-лучевой пушки.

В структуру системы входят также блоки имитации стыка 13 и контроля 14. Блок 13 предназначен для моделирования видеосигнала от зоны сварки, он используется при настройке системы слежения до сварки. Блок 14 служит для выявления нарушений работы следящей системы и сигнализации об этом оператору в режимах автоматического слежения при сварке, ручного наведения и проверки системы с блоком имитации. Питание системы обеспечивается от блока 15.

Система слежения допускает превышение кромок стыка до 5 мм. Допустимое отклонение стыка от среднего положения составляет ± 12 мм на 1 м длины линии стыка. Продолжительность непрерывной работы системы ограничивается сроком службы видикона и видеоконтрольного блока.

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте требования к точности наведения источника нагрева при разных способах сварки с учетом технологических особенностей формирования шва (дуга, ЭЛС).
2. Перечислите составляющие суммарной ошибки в системах слежения за линией стыка и охарактеризуйте их.

3. Дайте характеристику следящих систем с копирными и контактными датчиками прямого и непрямого действия. Когда целесообразно их применение при сварке?
4. Перечислите по принципу действия бесконтактные датчики, используемые в следящих системах непрямого действия.
5. Приведите возможные варианты расположения бесконтактных датчиков относительно сварочной горелки и отобразите функциональные схемы следящих систем для этих вариантов.
6. Каковы принципы работы электромагнитных датчиков в следящих системах? Приведите точностные, конструктивные и регулировочные характеристики датчиков.
7. Поясните принцип измерения параметров и положения стыка с использованием дуговых датчиков в следящих системах. Каковы особенности технологии сварки, обеспечивающие возможность применения этих датчиков в системах слежения?
8. Дайте характеристику и принципы измерения параметров и положения стыка в пространстве в следящих системах с оптико-электронными датчиками. Каковы конструктивные особенности оптических датчиков и разновидности их чувствительных элементов?
9. Какие физические принципы используются при построении датчиков в системах слежения за линией стыка при ЭЛС?
10. Приведите функциональную схему и охарактеризуйте принципы работы следящей системы с датчиком вторичных электронов при ЭЛС.
11. Каковы технологические возможности телевизионных следящих систем при ЭЛС?

Системы программного управления сварочными процессами и оборудованием

5.1. Системы программного управления процессами дуговой сварки

В системах программного управления входные сигналы являются заданной функцией времени и изменяются по программе.

Программное управление дуговой сваркой неплавящимся электродом. Наиболее простые программы управления сварочными циклами реализуются при сварке неплавящимся электродом в среде инертных газов. Программа работы этих устройств заложена жестко уже на этапах разработки и изготовления оборудования. Какие-либо ее изменения в процессе эксплуатации затруднены, поскольку это связано с перестройкой электрической и кинематической схем сварочного оборудования.

Широкое распространение для описания программы работы оборудования получили циклограммы. Циклограммы аналогичны временным диаграммам и отличаются от последних лишь тем, что их вычерчивают без соблюдения масштаба времени. Программу работы можно представить также в виде схемы алгоритмов, графа функционирования и другими способами. Ниже рассмотрены системы программного управления циклами дуговой сварки, для описания которых использованы наиболее распространенные на практике способы представления алгоритма функционирования.

Циклограмма процесса сварки неплавящимся электродом с программным управлением показана на рис. 5.1. После нажатия на кнопку «Пуск» включается реле времени, задающее длительность $t_{п.г}$ предварительной продувки газа, затем включается осциллятор и возбуждается дуга, после чего запускаются реле времени: задержки $t_{РНД}$ включения регулятора напряжения дуги (РНД), задержки $t_{з.пр}$ включения привода подачи присадочной проволоки, задержки $t_{з.к}$ включения привода каретки. После отработки задержки включения РНД устанавливает требуемое напряжение на дуге либо периодически изменяет его (например, при импульсно-дуговой сварке). С момента $t_{н.п}$

программа автоматически генерирует управляющую программу по чертежу детали. Затем управляющая программа передается тем или иным способом в память станка с ЧПУ.

САМ-системы можно подразделить на две категории – с языковым и графическим способом ввода информации. Используя первые, технолог программист обязан использовать язык программирования, подобный языкам BASIC или C. Эти системы требуют программирования, и некоторые из САМ-систем в силу этого весьма сложны для освоения. В графических САМ-системах каждый шаг обработки задается интерактивно в графическом режиме. Технолог-программист имеет зрительную обратную связь при выполнении каждого шага задачи программирования. Поэтому в общем случае такие системы более просты в изучении и работе.

Исполнительные приводы систем с ЧПУ выполнены на шаговых и серводвигателях с цифровой схемой управления с применением быстродействующих микропроцессоров. Примером этих разработок являются: универсальная сварочная головка модульной конструкции для сварки под флюсом строительных конструкций A6S Arc Master фирмы ESAB, установка для механизированной и роботизированной сварки на базе мультисистемы КМ-50 фирмы Kemppi, машины для плазменной резки «Кристалл» с ЧПУ производственно коммерческой фирмы «Кристалл» (г. Санкт-Петербург) и разработки ряда известных фирм Германии, Австрии и США.

Контрольные вопросы

1. Каковы способы представления программ работы сварочного оборудования при различных способах сварки (дуговая, контактная, ЭЛС)?
2. Приведите программу управления (циклограмму) сварочным оборудованием при аргонодуговой сварке неплавящимся электродом.
3. Дайте пример построения индикаторной панели на лицевой стороне инверторных источников питания, рассмотрите назначение и порядок пользования отдельными клавишами и светодиодными индикаторами при задании циклограммы процесса сварки.
4. Приведите циклограммы работы сварочными полуавтоматами для сварки плавящимся электродом в защитном газе длинных и коротких швов и сварки точками. Укажите возможные режимы работы сварочных полуавтоматов с программным управлением.
5. Перечислите основные компоненты СПУ точечной и шовной сварки. Охарактеризуйте их технологическое назначение в полном цикле сварки.
6. Укажите основные параметры режима, изменяемые по программе при контактной стыковой сварке непрерывным оплавлением. Охарактеризуйте

технологические возможности разомкнутых и замкнутых СПУ процессом контактной сварки.

7. Приведите циклограмму работы ЭЛУ в автоматическом режиме. Опишите устройство и принцип построения систем программирования при ЭЛС кольцевых стыков тел вращения.

8. Дайте характеристику систем программирования траектории движения сварочной головки по линии стыка с позиционным и контурным управлением. Приведите примеры их применения.

9. Опишите специфику работы систем цифрового программного управления в режимах подготовки и отработки программ.

10. Перечислите основные методы программирования систем ЧПУ для сварочных установок и дайте характеристику их технологических возможностей при решении задач программирования.

Автоматизированные системы управления технологическим процессом сварки

6.1. Структуры АСУ ТП

Этот класс систем управления предполагает наличие микроконтроллеров или ЭВМ в контуре управления, а также участие человека-оператора в управлении технологическим процессом.

В автоматизированных системах автоматического управления технологическим процессом (АСУ ТП) можно выделить структуры с *центральной, децентрализованным и комбинированным* управлением. В системах с центральным управлением задача обработки сигналов для формирования управляющих воздействий решается центральным цифровым управляющим устройством, соединенным многими каналами связи с объектом (объектами) управления.

Общая структурная схема для этого случая показана на рис. 6.1. Она содержит объект (объекты) управления ОУ, цифровое управляющее устройство ЦУУ, ряд входных аналого-цифровых преобразователей АЦП и выходные цифроаналоговые преобразователи ЦАП, соединенные с исполнительными устройствами ИУ. Если осуществляется управление сложным многомерным объектом, например

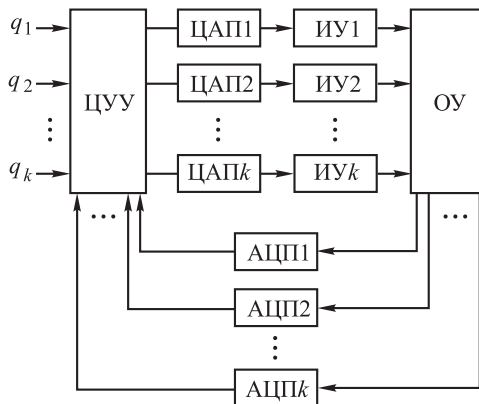


Рис. 6.1. Структура АСУ ТП с центральным управлением

по длине шва определяет текущие координаты стыка. Чтобы не запоминать чрезмерно большое количество координат, весь стык автоматически разбивается на кусочно-линейные участки, аппроксимирующие с заданной точностью криволинейный стык. Для каждого участка достаточно занести в память ЭВМ лишь координату конца участка (узловой точки).

В дальнейшем в процессе сварки по координатам узловых точек ЭВМ подсчитывает координаты всех промежуточных точек с помощью линейной интерполяции. При выполнении криволинейных швов АСУ обеспечивает постоянную контурную скорость сварки, соответствующим образом корректируя скорость перемещения по координатам x и y .

Сравнительно большой объем оперативной памяти ЭВМ позволяет задавать программу изменения параметров режима сварки практически любой сложности. Одновременно осуществляется допусковый контроль всех параметров технологического режима сварки.

Режим работы АСУ (обучающий проход, выполнение технологических прихваток, косметическая обработка) задается оператором с пульта управления набором номера соответствующей программы.

Контрольные вопросы

1. Какие вычислительные средства используют в структуре АСУ ТП?
2. Дайте характеристику АСУ ТП с централизованным, децентрализованным и комбинированным управлением.
3. По каким критериям оценивают качество функционирования АСУ ТП при сварке?
4. Как модифицируется закон регулирования в АСУ ТП в зависимости от места действия возмущений в контуре источник питания – источник нагрева – сварочная ванна?
5. Перечислите методы оценки влияния неконтролируемых возмущений на качество сварки при работе АСУ ТП.
6. Приведите и охарактеризуйте структуру АСУ ТП для дуговой сварки с математической моделью в контуре управления.
7. Перечислите основные подсистемы, входящие в структуру типовой АСУ ТП.
8. Какие режимы при функционировании АСУ ТП дуговой сварки предлагаются оператору? Дайте технологическую оценку этим режимам.
9. Какие технологические возможности обеспечивают автоматизированные сварочные комплексы при многослойной дуговой сварке неповоротных стыков труб в монтажных условиях?

10. Перечислите основные узлы в составе автоматизированного сварочного комплекса для дуговой сварки и дайте расшифровку их структурного содержания.

11. Приведите и охарактеризуйте функциональную схему микропроцессорной системы управления сварочным оборудованием для дуговой сварки плавящимся электродом в защитном газе.

12. Приведите иерархию электросварочного оборудования с микропроцессорной техникой для контактной сварки. Перечислите технологические задачи, решаемые на этом оборудовании.

13. Охарактеризуйте АСУ ТП с математической моделью в контуре управления для контактной сварки.

14. Какие основные узлы входят в структуру автоматизированного сварочного комплекса для ЭЛС?

15. Перечислите основные режимы работы АСУ ТП ЭЛС и охарактеризуйте их.

Роботизация процесса сварки

7.1. Особенности роботизированного процесса сварки

В результате использования робототехники в сварочном производстве представляется возможным автоматизировать выполнение швов любой формы, а также большого числа коротких швов, различным образом расположенных в пространстве; выполнять дуговой сваркой швы с любой формой линии стыка в горизонтальном (нижнем) положении. Это позволяет применять наиболее производительные режимы сварки с формированием сварных швов с минимальным отклонением геометрических размеров. По сравнению с автоматической сваркой роботизация обеспечивает рост производительности, экономию сварочных материалов, электроэнергии и уменьшение сварочных деформаций. Сокращается потребность в специальном сварочном оборудовании и в изготовлении специальных и специализированных станков, установок и машин для сварки.

Проблема роботизации сварочного производства включает в себя выбор универсальных или компоновку специализированных средств робототехники и комплексное решение технико-экономических вопросов, связанных с внедрением средств робототехники на конкретном сварочном производстве.

Требования, предъявляемые к средствам роботизации сварочных процессов при различных способах сварки, обуславливаются особенностями сварных конструкций, которые по геометрическим признакам можно подразделить:

- на плоскостные (полотнища, панели с элементами жесткости);
- листовые типа тел вращения (резервуары, цилиндры и т. п.);
- каркасно-решетчатые (плоские и объемные фермы, каркасы кабин транспортных и сельскохозяйственных машин, каркасы шкафов, блоков и пультов управляющей аппаратуры, ограждения и другие конструкции, состоящие из стержневых элементов различного профиля);

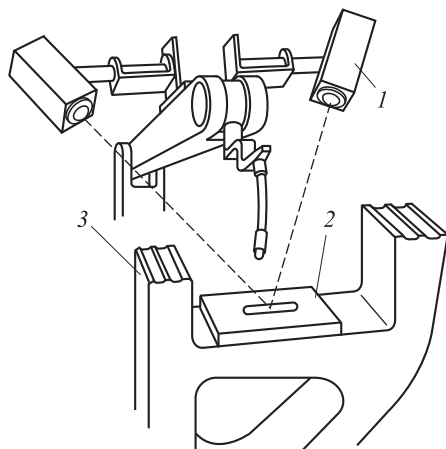


Рис. 7.29. Стереосистема пространственной коррекции траектории движения робота AID-800:

1 – телекамера; 2 – вкладыш; 3 – рама

режиме, снабдив его СТЗ с парой твердотельных телекамер, укрепленных на расстоянии 76,2 см одна от другой (рис. 7.29).

Бинокулярная СТЗ фирмы Automatrix Robotic Systems (США) по двум изображениям методом триангуляции находит трехмерные координаты крайних точек прорези в середине вкладыша и по известным его размерам определяет траекторию будущего сварного шва. Процесс от начала движения робота к рабочей позиции до начала сварки занимает менее 6 с. Вычислительная часть системы строится на базе микропроцессора Motorola 6800. Для программирования СТЗ и робота оператор может пользоваться удобным языком RAIL. Вся процедура калибровки и обучения системы для работы с новым классом деталей занимает не более 1 ч.

Контрольные вопросы

1. Приведите состав РТК комплекса для сварки. Перечислите варианты перемещения сварочного инструмента и изделия манипуляционной системой робота при сварке.
2. Перечислите основные компоновочные схемы манипуляторов сварочного инструмента, применяемые в РТК ДС, и дайте их характеристику.
3. Укажите виды приводов, применяемых в РТК для перемещения сварочного инструмента и изделия. Каковы требования к динамическим характеристикам приводов при разгоне и торможении?

4. Перечислите уровни иерархии управления при построении системы управления РТК.
5. Приведите основные методы программирования и обучения РТК и дайте им характеристику.
6. Охарактеризуйте состав и особенности сварочного оборудования в структуре РТК ДС.
7. Приведите состав сварочного оборудования в РТК для контактной сварки и варианты размещения сварочного трансформатора.
8. Перечислите способы, виды и технические средства для адаптации сварочных роботов.
9. Охарактеризуйте технические возможности интеллектуальных РТК с системой технического зрения. Приведите примеры использования интеллектуальных РТК при роботизированной сварке ответственных деталей.
10. Какие технологические и производственные преимущества дает интеграция операций при роботизированной сварке?
11. В чем заключается сущность комплексной роботизации сварочного производства? Дайте определение и характеристику гибких производственных систем с РТК.

Заключение

Анализ принципов действия и конструкций сварочных автоматов позволяет сделать следующие выводы относительно уровня работ и основных тенденций их развития.

Одним из важнейших остается принцип агрегатирования аппаратов различного назначения из унифицированных функциональных узлов и блоков.

Существенно расширено применение в сварочных автоматах систем автоматического регулирования и стабилизации технологических параметров режима, систем слежения за линией стыка и автоматического направления в процессе сварки сварочного инструмента (дуги, пучка), средств автоматического зажигания дуги и устройств заварки кратера, систем программного управления параметрами режима сварки.

Сварочные аппараты следует снабжать средствами измерения и регистрации силы сварочного тока и напряжения на дуге, скорости подачи проволоки, скорости сварки, расхода и состава защитного газа, наличия и влажности флюсов, а также средствами измерения параметров стыка, подготовленного под сварку, и параметров сварных швов. Кроме того, сварочные автоматы должны оснащаться исполнительными механизмами и устройствами, пригодными для использования в системах автоматического управления процессами и операциями сварочного производства.

При реализации систем управления и регистрации технологических параметров сварки, приводов перемещения сварочного инструмента или изделия наметилась тенденция перехода от средств аналоговой техники к цифровой, в частности применение микропроцессоров в системах управления. Это позволяет существенно расширить функциональные возможности систем автоматики, минимизировать их габариты, повысить надежность и ремонтпригодность, на цифровых индикаторах и дисплеях отображать текущие параметры и характеристики технологического процесса.

С использованием современных интерфейсов достаточно просто решается задача сопряжения штатного сварочного оборудования с устройствами управления любой сложности.

Практическое решение получают следующие задачи: сбор и обработка данных о процессе сварки и функционировании оборудования

(информационно-измерительные системы); программирование режимов сварки; адаптивное управление процессом сварки по информации с датчиков о значениях технологических параметров, геометрических параметров и пространственного положения свариваемого стыка; автоматизация нормирования сварочных работ (в том числе и выбора режимов) с помощью электронных советчиков технолога; автоматизация выбора режимов сварки непосредственно на сварочном оборудовании по данным об основных технологических условиях (тип и пространственное положение шва, толщина и марка свариваемого металла и др.).

За последние годы существенно расширено информационное обеспечение автоматизированных сварочных установок и роботов за счет их оснащения современными измерительными устройствами с малогабаритными датчиками, работающими на различных физических принципах. Интеграция информационной и управляющей частей систем управления, их реализация на элементах цифровой и микропроцессорной техники позволяют разработать и внедрить новый класс адаптивных АСУ в сварочной аппаратуре, построить на ее основе эффективные автоматизированные комплексы для рассмотренных способов сварки.

Сварочные комплексы имеют, как правило, модульный принцип построения. В качестве модулей в них используются унифицированные механические устройства прямолинейного и кругового перемещений сварочных головок, манипуляторы изделий, устройства регистрации и управления параметрами сварочного оборудования, устройства дистанционного наблюдения (преимущественно телевизионные) за процессом сварки, инверторные источники питания с автономными и встроенными в них блоками подачи электродной проволоки, блоками программирования параметров режима, пультами управления, со сменными модулями сварочных головок и газовых систем.

На основе все возрастающего уровня автоматизации сварочных комплексов, повышения надежности применяемых в них технических средств возрастает степень интеграции сварочных операций в одном агрегате и на одном рабочем месте, в первую очередь за счет создания многопозиционных и многоместных установок и станков и применения одновременной сварки несколькими головками.

Реализация упомянутого способа сварки возможна как разбивкой одного шва между несколькими сварочными инструментами (для швов большой длины), так и путем выполнения нескольких

параллельных швов. При этом важным направлением дальнейшего совершенствования этих установок остается задача их оснащения средствами позиционного и контурного ЧПУ положением сварочного инструмента и изделия, что позволит повысить уровень автоматизации сварки изделий сложной формы и получить сварные швы заданного качества на объектах ответственного назначения.

В области роботизации сварочного производства актуальной остается проблема совершенствования гибких производственных систем с использованием на рабочих местах как одиночных, так групповых РТК, которые в автоматическом режиме решают задачи сборки, загрузки, сварки и выгрузки с рабочего места готовой продукции. Успешное выполнение этих операций неосуществимо без средств очувствления РТК. Вопросы очувствления (адаптации) роботов напрямую связаны с решением задач геометрической и технологической адаптации РТК при дуговой и контактной сварке.

При оснащении РТК сварочным оборудованием необходимо учитывать специфику требований к нему при роботизированной сварке. Высокий уровень адаптации, правильно подобранное в РТК сварочное оборудование гарантируют качественную работу гибких производственных систем в автоматических линиях при роботизированной сварке.

Литература

Основная

Алексеев А. А., Кораблев Ю. А., Шестопалов М. Ю. Идентификация и диагностика систем: учебник для студентов высш. учеб. заведений. М.: Изд. центр «Академия», 2009. 352 с.

Воротников С. А. Информационные устройства робототехнических систем: учеб. пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. 380 с.

Гладков Э. А. Управление процессами и оборудованием при сварке: учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений. М.: Изд. центр «Академия», 2006. 432 с.

Гладков Э. А., Киселев О. Н., Перковский Р. А. Контроль и управление глубиной проплавления при дуговой сварке: учеб. пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. 72 с.

Гладков Э. А., Малолетков А. В. Управление технологическими параметрами сварочного оборудования при дуговой сварке: учеб. пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. 210 с.

Куркин С. А., Ховов В. М. Компьютерное проектирование и подготовка производства сварных конструкций: учеб. пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. 463 с.

Методы классической и современной теории автоматического управления: учебник / под ред. К. А. Пупкова, Н. Д. Егупова. Т. 1–2. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. 463 с.

Милютин В. С., Шалимов М. П., Шанчуров С. М. Источники питания для сварки: учебник. М.: Айрис-Пресс, 2007. 379 с.

Оборудование для контактной сварки: справ. пособие / под ред. В. В. Смирнова. СПб.: Энергоатомиздат, 2000. 844 с.

Сварка, резка, контроль: справочник / под ред. Н. П. Алешина и Г. Г. Чернышова. Т. 1. М.: Изд-во Машиностроение, 2004. 620 с.

Системы ориентации электрода по линии стыка: учеб. пособие / Э. А. Гладков, О. Н. Киселев, Р. А. Перковский и др. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. 86 с.

Современные системы управления: пер. с англ. Б. И. Копылова. М.: Лаборатория базовых знаний, 2002. 832 с.

Управление электронно-лучевой сваркой: учеб. пособие / В. Д. Лаптенко, А. В. Мурыгин, и др.; под ред. В. Д. Лаптенка. Красноярск: Изд-во САА, 2000. 234 с.

Шандров Б. В., Чудаков А. Д. Технические средства автоматизации: учебник для студентов высш. учеб. заведений. М.: Изд. центр «Академия», 2007. 368 с.

Дополнительная

Васильев В. П., Муру Э. Л., Смольский С. М. Основы теории и расчета цифровых фильтров: учеб. пособие / под ред. С. М. Смольского. М.: Изд. центр «Академия», 2007. 272 с.

Гильмар У. Введение в микропроцессорную технику / пер. с англ. В. М. Кисельникова. М.: Мир, 1984. 334 с.

Гладков Э. А., Чернышов Г. Г. Математические модели для исследования, расчета и проектирования сварочных процессов: учеб. пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1989. 110 с.

Гольденберг Л. М., Матюшкин Б. Д., Поляк М. Н. Цифровая обработка сигналов: учеб. пособие для вузов. М.: Радио и связь, 1990. 256 с.

Гутников В. С. Интегральная электроника в измерительных устройствах. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1988. 302 с.

Келим Ю. М. Типовые схемы систем автоматического управления. М.: ФОРУМ; ИНФРА-М, 2002. 384 с.

Пашкевич А. Н. Автоматизированное проектирование роботов и робототехнических комплексов для сборочно-сварочных производств: учеб. пособие. Минск: Изд-во Белорус. ГУ информатики и радиоэлектроники (БГУИР), 1996. 101 с.

Солодовников В. В., Плотников В. Н., Яковлев А. В. Основы теории и элементы систем автоматического регулирования: учеб. пособие для вузов. М.: Машиностроение, 1985. 536 с.

Оглавление

<i>Предисловие</i>	3
<i>Введение</i>	5
Глава 1. Элементы автоматики сварочных установок	10
1.1. Классификация элементов автоматики	10
1.2. Датчики	11
1.2.1. Основные характеристики датчиков	11
1.2.2. Датчики линейного перемещения	14
1.2.3. Датчики угла поворота	23
1.2.4. Датчики скорости вращения	27
1.2.5. Датчики силы	29
1.2.6. Датчики температуры	31
1.2.7. Датчики электрических параметров	37
1.2.8. Датчики магнитного поля	38
1.3. Устройства передачи информации	39
1.3.1. Передача бинарной информации	39
1.3.2. Передача аналоговой информации	41
1.3.3. Передача цифровой информации	44
1.3.4. Промышленные сети	45
1.4. Усилители	46
1.4.1. Магнитные усилители	48
1.4.2. Тиристорные усилители	49
1.4.3. Транзисторные усилители	51
1.4.4. Интегральные усилители	54
1.5. Исполнительные устройства	56
1.5.1. Электрические серводвигатели постоянного тока	56
1.5.2. Электрические серводвигатели переменного тока	62
1.5.3. Пневматические двигатели	63
1.5.4. Гидравлические двигатели	66
1.6. Устройства управления	68
1.6.1. Аналоговые устройства управления	68
1.6.2. Цифровые устройства управления	75
Глава 2. Сварочные процессы как объекты регулирования и управления	85
2.1. Общая характеристика объектов автоматизации	85
2.2. Особенности автоматизации процессов в комплексной задаче механизации и автоматизации сварочного производства	97
2.3. Классификация возмущений в сварочном контуре	99
2.4. Характеристика физических процессов в объектах регулирования при различных способах сварки	102
2.5. Управляющие воздействия и показатели качества сварочного процесса как объекта регулирования	120

Глава 3. Системы автоматического регулирования параметров сварочного процесса и оборудования	144
3.1. Разомкнутые системы автоматического регулирования параметров процесса и оборудования	144
3.1.1. Настройка параметров и управление режимами аргонодуговой сварки неплавящимся электродом	144
3.1.2. САР параметров дуги и процесса формирования шва при сварке неплавящимся электродом	147
3.1.3. Настройка параметров и управление режимами ручной дуговой сварки покрытыми электродами и механизированной сварки в среде защитных газов	150
3.1.4. Системы управления переносом электродного металла и формированием шва при дуговой сварке в защитном газе	153
3.1.5. САР параметров дуги и процесса формирования шва при автоматической сварке под флюсом	179
3.1.6. Системы управления параметрами процесса и оборудования контактной сварки	186
3.1.7. Системы управления параметрами процесса и оборудования ЭЛС	191
3.2. Замкнутые системы автоматического регулирования параметров зоны проплавления в процессе сварки	199
3.2.1. САР глубины проплавления при дуговой сварке	199
3.2.2. САР глубины проплавления при ЭЛС	202
Глава 4. Системы слежения за линией стыка при сварке	210
4.1. Системы слежения за линией стыка при дуговой сварке	210
4.1.1. Системы с копирными датчиками прямого и непрямого действия	210
4.1.2. Системы непрямого действия с бесконтактными датчиками. Функциональные схемы следящих систем	216
4.2. Системы автоматического слежения за линией стыка при электронно-лучевой сварке	253
4.2.1. Копировально-следающая система	253
4.2.2. Аналого-цифровые системы слежения за линией стыка с датчиком вторичных электронов	254
4.2.3. Микрокомпьютерная система слежения за линией стыка с датчиком вторичных электронов	257
4.2.4. Телевизионные следящие системы	261
Глава 5. Системы программного управления сварочными процессами и оборудованием	265
5.1. Системы программного управления процессами дуговой сварки	265
5.2. Программное управление процессами контактной сварки	271

5.3. Программное управление процессом электронно-лучевой сварки	278
5.4. Программное управление траекторией движения сварочной головки по линии стыка	285
Глава 6. Автоматизированные системы управления технологическим процессом сварки	289
6.1. Структуры АСУ ТП	289
6.2. АСУ ТП дуговой сварки неплавящимся электродом	291
6.2.1. АСУ ТП однопроходной дуговой сварки труб из аустенитных сталей	291
6.2.2. АСУ трубосварочным автоматом для многослойной сварки кольцевых стыков труб	306
6.3. АСУ ТП дуговой сварки плавящимся электродом	315
6.3.1. Структура микропроцессорной системы управления оборудованием для MIG/MAG-сварки	315
6.3.2. АСУ ТП многослойной MIG/MAG-сварки кольцевых стыков магистральных трубопроводов	317
6.4. АСУ ТП контактной сварки	323
6.4.1. Иерархия электросварочного оборудования с микроконтроллерами и ЭВМ	323
6.4.2. Управление точечной контактной сваркой по математическим моделям	327
6.5. АСУ ТП электронно-лучевой сварки	330
6.5.1. Состав и функциональная схема АСУ ТП	330
6.5.2. Режимы работы микропроцессорной АСУ	333
Глава 7. Роботизация процесса сварки	340
7.1. Особенности роботизированного процесса сварки	340
7.2. Состав робототехнических комплексов	346
7.3. Манипуляционные системы робототехнических комплексов	349
7.4. Системы управления, методы обучения и программирования сварочных робототехнических комплексов	362
7.5. Сварочное оборудование робототехнических комплексов	377
7.6. Методы и технические средства адаптации сварочных робототехнических комплексов	397
<i>Заключение</i>	<i>414</i>
<i>Литература</i>	<i>417</i>

Учебное издание
Гладков Эдуард Александрович
Бродягин Владимир Николаевич
Перковский Роман Анатольевич

**Автоматизация
сварочных процессов**

Редактор *Н. А. Фетисова*
Технический редактор *Э. А. Кулакова*
Корректор *Р. В. Царева*
Художник *А. С. Ключева*
Компьютерная графика *В. А. Филатовой*
Компьютерная верстка *М. А. Гольдман*

В оформлении обложки использованы шрифты
Студии Артемия Лебедева.

Оригинал-макет подготовлен
в Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Сертификат соответствия № РОСС RU. АЕ51. Н 16228 от 18.06.2012.

Подписано в печать 25.09.2014. Формат 60×90/16.
Усл. печ. л. 26,5. Тираж 500 экз. Заказ

Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана.
105005, Москва, 2-я Бауманская, 5, стр. 1.
press@bmstu.ru
www.baumanpress.ru

Отпечатано в типографии МГТУ им. Н.Э. Баумана.
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.
baumanprint@gmail.com

**В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана
вышла в свет монография
Э.Л. Макарова, Б.Ф. Якушина
«Теория свариваемости сталей и сплавов»**



Год издания: 2014
Тип издания: монография
Объем: 448 стр. / 30.5 п.л.
Формат: 60x90/16
ISBN: 978-5-7038-3938-6

В монографии рассмотрены теоретические и практические аспекты свариваемости конструкционных сталей и сплавов. Приведены экспериментальные методы оценки показателей свариваемости с помощью сварочных технологических проб и специализированных машинных испытаний. Показана возможность применения расчетных методов, реализуемых с помощью компьютерных технологий с использованием специализированного программного обеспечения. На основании анализа металлургических процессов в сварочной ванне, кристаллизации металла шва, фазовых и структурных превращений в твердом металле в условиях сварочного термического цикла трактуются результаты оценки свариваемости. Приведены принципиальные металлургические, технологические и конструктивные способы обеспечения достаточной свариваемости сталей и сплавов.

Изложенные в монографии сведения будут полезны разработчикам свариваемых материалов, технологам при проектировании технологии сварки конструкций, студентам и аспирантам, изучающим курс теории сварочных процессов.

Информацию о других новых книгах можно получить
на сайте Издательства МГТУ им. Н.Э. Баумана
<http://baumanpress.ru>

По вопросам приобретения обращаться в отдел реализации Издательства:
телефон: 8 499 263-60-45;
факс: 8 499 261-45-97
press@bmstu.ru

В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана
вышло в свет учебное пособие
А.Ф. Третьякова, Л.В. Тарасенко
«Материаловедение и технология обработки
материалов»



Год издания: 2014
Тип издания: учебное
пособие
Объем: 544 стр. / 34 п.л.
Формат: 60x90/16
ISBN: 978-5-7038-3889-1

Изложены физико-механические основы материаловедения, закономерности формирования строения материалов в процессе кристаллизации, пластической деформации, термической обработки. Особое внимание уделено фазовым превращениям в твердом состоянии, механизмам упрочнения. Приведены технологические способы управления строением и свойствами сплавов, основные свойства конструкционных и инструментальных материалов.

Рассмотрены процессы, протекающие при изготовлении изделий в парогазовой, жидкой, твердо-жидкой и твердой фазах. Даны рекомендации по обеспечению технологичности заготовок и деталей машин при их проектировании. Уделено внимание основам технологий получения заготовок сваркой и механической обработкой резанием. Приведены примеры конструирования и изготовления деталей с учетом механических и технологических свойств используемых сплавов и типа производства.

Для студентов технических университетов, обучающихся по машиностроительным направлениям, а также для преподавателей и инженеров.

Информацию о других новых книгах можно получить
на сайте Издательства МГТУ им. Н.Э. Баумана
<http://baumanpress.ru>

По вопросам приобретения обращаться в отдел реализации Издательства:
телефон: 8 499 263-60-45;
факс: 8 499 261-45-97
press@bmstu.ru