

Л.С. Денисов

КОНТРОЛЬ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ СВАРОЧНЫХ РАБОТ



Для учащихся учреждений среднего специального
и профессионально-технического образования

Л.С. Денисов

КОНТРОЛЬ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ СВАРОЧНЫХ РАБОТ

Допущено
Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебного пособия для учащихся учреждений
образования, реализующих образовательные программы
среднего специального образования по специальности
«Оборудование и технология сварочного производства»
и профессионально-технического образования
по специальности «Технология сварочных работ»



Минск
«Вышэйшая школа»
2016

УДК 621.791:658.562(075.8)

ББК 30.61-7я73

Д33

Рецензенты: цикловая комиссия специальных дисциплин специальности «Оборудование и технология сварочного производства» учреждения образования «Могилевский государственный политехнический колледж» (преподаватель *Л.Я. Зинкевич*); заведующий лабораторией «Синтез технических систем» ГНУ «Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси» доктор технических наук *С.В. Медведев*

Выпуск издания осуществляется по заказу Республиканского института профессионального образования и при финансовой поддержке Министерства образования Республики Беларусь.

Все права на данное издание защищены. Воспроизведение всей книги или любой ее части не может быть осуществлено без разрешения издательства.

Денисов, Л. С.

Д33 Контроль и управление качеством сварочных работ : учеб. пособие / Л. С. Денисов. — Минск : Вышэйшая школа, 2016. — 619 с. : ил.

ISBN 978-985-06-2739-1.

Приведены сведения о сварке и процессах формирования сварных соединений (швов). Рассмотрены дефекты сварки, организация и методы контроля качества сварочных работ и сварных соединений. Даны количественные измерители качества, изложены статистические методы контроля, причины образования дефектности и меры ее предупреждения. Приведены карты статистического контроля сварочных процессов. Показаны процедуры управления качеством сварки, позволяющие снижать дефектность вплоть до нуля.

Для учащихся учреждений профессионально-технического и среднего специального образования. Может быть полезно студентам учреждений высшего технического образования, инженерам-дефектоскопистам.

УДК 621.791:658.562(075.8)

ББК 30.61-7я73

ISBN 978-985-06-2739-1

© Денисов Л.С., 2016

© Оформление. УП «Издательство
«Вышэйшая школа»», 2016

ОТ АВТОРА

... Прежде чем делать продукцию, мы делаем людей...

Успехи мирового рынка сварочных технологий и сварочного оборудования – объективная закономерность развития научно-технического прогресса и эффективной экономической стратегии развитых стран, направленная на повышение качества жизни человека.

Качество – неотъемлемая и главная национальная задача, жестко связанная с эффективностью производства и качеством выпускаемой, равно как и восстанавливаемой, продукции. Отрасли машиностроения, автомобилестроения, энергетики, радиоэлектроники, приборостроения, обороны, строительства и сельхозмашиностроения, нефтехимии, коммунального хозяйства, пищевой промышленности и медицины являются сегодня активными потребителями сварочных технологий.

Уникальные высотные сооружения, жилые, общественные и производственные здания с обширной инфраструктурой, наземный, водный и воздушный транспорт, космические устройства, грузоподъемные механизмы и конструкции, коммуникационные связи, бытовые приборы изготавливаются на основе многочисленных и разнообразных соединений, где порядка 60–70% сварных соединений. Качество и надежность создаваемой, сооружаемой и восстанавливаемой продукции в процессе эксплуатации непосредственно зависят от надежности выполненных соединений, и в том числе сварных. Сварочное производство, а именно сварочные технологии и родственные им процессы, позволяют сегодня быстро и надежно выполнять многообразные соединения различных изделий и сооружений.

Учебное пособие предназначено для подготовки специалистов по контролю качества сварочных работ и управлению качеством, что позволит обеспечивать конкурентоспособность изготавливаемой продукции.

Учебный материал, излагаемый в пособии, соответствует программам подготовки контролеров сварочных работ учреждений профессионально-технического и среднего специального образования, учебных центров

подготовки и повышения квалификации специалистов по контролю, а также программам периодической аттестации персонала, выполняющих контроль качества сварных соединений в соответствии с EN 473:2008 г.

Предлагаемое учебное пособие позволит специалисту-контролеру (оператору) правильно выбирать методы контроля и объективно оценивать дефектность и уровень качества сварных соединений, определять и анализировать причины дефектности и принимать адекватные меры по их предупреждению.

Структура учебного пособия обусловлена тематической последовательностью и практической целесообразностью.

Первая глава содержит краткие и необходимые сведения о сварке, формирующие представление о процессах и продукции сварочного производства – сварных соединениях. Здесь даются также общие сведения о сварочном производстве и факторах качества.

Вторая глава описывает дефекты сварки, измерение и оценку дефектов, выявляемость дефектов и их формирование, способы исправления дефектных соединений, влияние дефектов на прочность и работоспособность соединения и конструкции.

Третья глава раскрывает организацию контроля качества, структуру и задачи контрольных служб (лабораторий, центров и т.д.), технические средства контроля и другие сведения, необходимые для перехода к основному материалу книги – методам контроля и управлению качеством сварочной продукции.

Четвертая и пятая главы освещают сущность и физические основы неразрушающих методов контроля качества и методов контроля с разрушением. Особое внимание здесь уделяется методам внешнего осмотра и измерения дефектов, радиационной дефектоскопии, в том числе радиографическому и рентгенографическому контролю, ультразвуковым методам контроля, контролю герметичности сварных изделий, а также разрушающим методам контроля: прочности и пластичности соединений, испытаний на твердость, ударную вязкость и др.

Шестая глава вводит учащегося в курс новых и весьма важных эффективных статистических методов контроля сварочных работ, в том числе изучаются систематизация сварочного производства, показатели-измерители качества сварных соединений, методы сбора, учета и обработки информации о дефектах сварки, процедуры статистического анализа и регулирование технологических процессов.

Седьмая глава дает читателю ключ к организации новейших современных методов управления качеством сварочных работ, в том числе учение о факторах сварочного производства, статистических связях «фактор–причина–дефект», моделях управления процессами, общей схемой управления качеством сварочного производства.

Восьмая глава описывает безопасность труда при сварке и контроле качества сварочных работ и сварных соединений.

В приложениях к учебному пособию дан важный практический материал – руководство при контроле и управлении качеством сварных соединений.

Автор надеется, что настоящее учебное пособие поможет учащимся и преподавателям лицеев и колледжей овладеть необходимыми техническими знаниями о современных методах контроля и обеспечении качества сварки и стать квалифицированными специалистами-менеджерами качества.

ВВЕДЕНИЕ

... Качество вряд ли имеет достижимые пределы, тогда как количество природных богатств и производственных ресурсов несомненно ограничено.

Современные сварочные и родственные технологии, создающие неразъемные соединения, широко применяются во всех сферах производственной деятельности, практически на каждом предприятии или в организации, на заводе или в фирме при изготовлении различного рода продукции, при ремонтных, восстановительных и иных работах. Сварка сегодня и в обозримом будущем – единственный быстрый, качественный, прогрессивный способ обработки и соединения металлов и неметаллов.

Развитие машиностроения, автомобильной и тракторной промышленности, энергетики, нефтехимии, строительства, радиоэлектроники, сельхозмашиностроения, станко- и приборостроения, коммунального хозяйства, пищевой промышленности, медицины и других отраслей – потребителей сварочных и родственных технологий требует изготовления большого объема ответственных металлоконструкций, высоконагруженных транспортных и подъемных средств, узлов, механизмов, деталей и трубопроводов различного назначения. Поэтому сегодня, завтра и в обозримом будущем количество выполняемых сварных соединений будет постоянно возрастать. Например, ежегодно различными способами сварки, пайки и склеивания в Республике Беларусь изготавливают порядка 10^9 – 10^{11} соединений протяженностью 0,3 м, условно приведенной толщины 2,0–12,0 мм.

К наиболее важным проблемам на данном этапе следует отнести организацию непрерывного повышения профессионального мастерства рабочих и специалистов; актуализацию и разработку в полном объеме нормативной базы; снижение металлоемкости сварных конструкций и массы наплавленного металла; создание и внедрение эффективной структуры способов сварки; обновление парка сварочного оборудования;

разработку и выпуск конкурентоспособных сварочных материалов и сварочного оборудования; организацию подготовки предприятия к производству сварочных работ; обеспечение требуемого уровня качества сварки в процессе производства; внедрение статистических методов контроля и управления качеством.

Условия и особенности соединения металлических и неметаллических элементов осложняют течение сварочных процессов, нарушают их стабильность, что приводит к частому браку соединений. Как установлено исследованиями, выполненными в МВТУ им. Баумана автором, каждое 4-е или 5-е соединение сваривали с недопустимыми дефектами. По отдельным подразделениям брак достигал еще большего значения. По данным исследований Белорусского института сварки и защитных покрытий, уровень брака ответственных сварных соединений достигает 30% и более (строительство, нефтехимия, сельхозмашиностроение и др.), а затраты на его исправление составляют около 10% общей стоимости работ. В промышленности и строительстве, в том числе в автомобильном и тракторостроении, на строительных объектах не ведется учет и анализ дефектности сварных соединений, что не позволяет рассчитывать базовый уровень качества, потери от брака и его предупреждение. В настоящее время невозможно просчитать все последствия и определить полные убытки, возникающие в результате отказов по причине брака сварки и аварий в процессе эксплуатации оборудования и сооружений из-за низкого качества соединений.

Высокая энерговооруженность и интенсификация процессов на производствах и при эксплуатации сооружений создают значительные удельные нагрузки на элементы соединений, поэтому проблема повышения качества и надежности сварных соединений продолжает оставаться исключительно важной и актуальной государственной задачей.

Являясь межотраслевым, сварочное производство перерабатывает более 70% всего металлопроката республики, а продукция сварочных и родственных технологий стала массовой. От качества, прочности, герметичности и работоспособности соединений во многом зависит и качество выпускаемой, ремонтной и восстанавливаемой продукции, снижение техногенных аварий на производствах и в других сферах жизнедеятельности человека. Вместе с тем качество сварочных работ и сварных соединений продолжает оставаться низким, а его проблемы – нерешенными.

Поэтому в представленном учебном пособии наряду с изучением классических методов контроля введены новые высокоэффективные статистические методы контроля и управления качеством сварочных работ по результатам прежде всего неразрушающего контроля. Введены количественные показатели качества, учет, обработка и анализ дефект-

ности, регулирование технологических процессов по цепочке «фактор ↔ причина ↔ дефект», позволяющие обеспечивать в сварочном производстве снижение уровня дефектности вплоть до нулевого значения.

Главной целью при этом является предупреждение и устранение или сведение к минимуму действия дестабилизирующих факторов. Это прежде всего важные меры по непрерывному совершенствованию производства (квалификация, технология, материалы, оборудование), внедрению прогрессивной организации контроля статистических методов управления качеством сварки. Контроль не должен только фиксировать брак, его главное назначение – предупреждать появление брака. Важнейшим элементом системы является планирование и прогнозирование качества. Следует отметить, что создание такой системы возможно на любом предприятии, в любой организации и любой отрасли.

Очень важно уже сегодня перейти от только регистрации дефектов контрольными лабораториями (контролерами) к статистическому анализу дефектности и статистическому регулированию технологических процессов сварки. Эти крайне актуальные задачи необходимо выполнять постоянно в условиях производственного контроля.

Тематика обучения контролеров качества сварочных работ по анализу дефектов и управлению (регулированию) процессами подготовки, сборки и сварки должна отражаться в типовых учебных программах и при обучении учащихся учреждений профессионально-технического и среднего специального образования по специальности «Технология и оборудование сварочного производства».

Обучение контролеров качества сварки должно быть в первую очередь направлено на изучение методов и способов обеспечения качества сварочных работ, сварных соединений и сварных конструкций. Позиция контроля: «соединение годно или негодно» – устарела и не позволяет двигаться к совершенствованию технологии и повышению качества. Сегодня требуется обязательный анализ дефектности с выводами о причинах образования дефектности, как допускаемой по нормативам, так и забракованной. Это позволяет разрабатывать системы и способы предупреждения дефектов и несовершенств соединения, снижать объемы переделок, сокращать техногенные аварии, развивать и совершенствовать производство.

ГЛАВА 1. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О СВАРКЕ МЕТАЛЛОВ

... Только в силе воли заключается условие наших успехов на избранном поприще.

В.Г. Белинский

1.1. Сущность процессов сварки

Сварка — это процесс получения неразъемных соединений посредством установления межатомных связей между соединяемыми элементами при их нагревании и/или пластическом деформировании. Все виды сварки принято разделять на две группы — сварку плавлением и сварку давлением (рис. 1.1).

Для осуществления процесса сварки — соединения двух и более элементов изделий — необходимо соединяемые кромки элементов нагреть до расплавления или пластического состояния. Источниками нагрева и расплавления могут служить электрическая дуга, газокислородное пламя, сфокусированный пучок электронов или светового луча, выделение тепла при пропускании тока через границу соединяемых элементов, при трении и др.

Рассмотрим наиболее часто применяемый на практике источник нагревания и расплавления — электрическую сварочную дугу. По определению, дуга — это мощный длительный электрический разряд в смеси газов и пара между двумя электродами, к которым приложено напряжение источника питания.

Процесс горения сварочной дуги сопровождается выделением концентрированной тепловой и лучистой энергии, звуковых, магнитных и других эффектов. Различают дугу постоянного тока (рис. 1.2) и дугу переменного тока.

Как правило, дуга горит между стержневым электродом и соединяемыми деталями. В сварочной дуге выделяют анодную область, столб дуги и катодную область (рис. 1.2, 1.3). Электрод, соединенный с отрицательным полюсом (–), называется катодом, с положительным полюсом (+) — анодом. Для зажигания дуги необходимо замкнуть оба полюса. При этом за счет выделения тепла при прохождении тока через электрод и деталь межэлектродная область ионизируется, что приводит к возбуждению дуги. По мере испарения металла и образования столба дуги процесс горения стабилизируется, начинается процесс образования соединения.

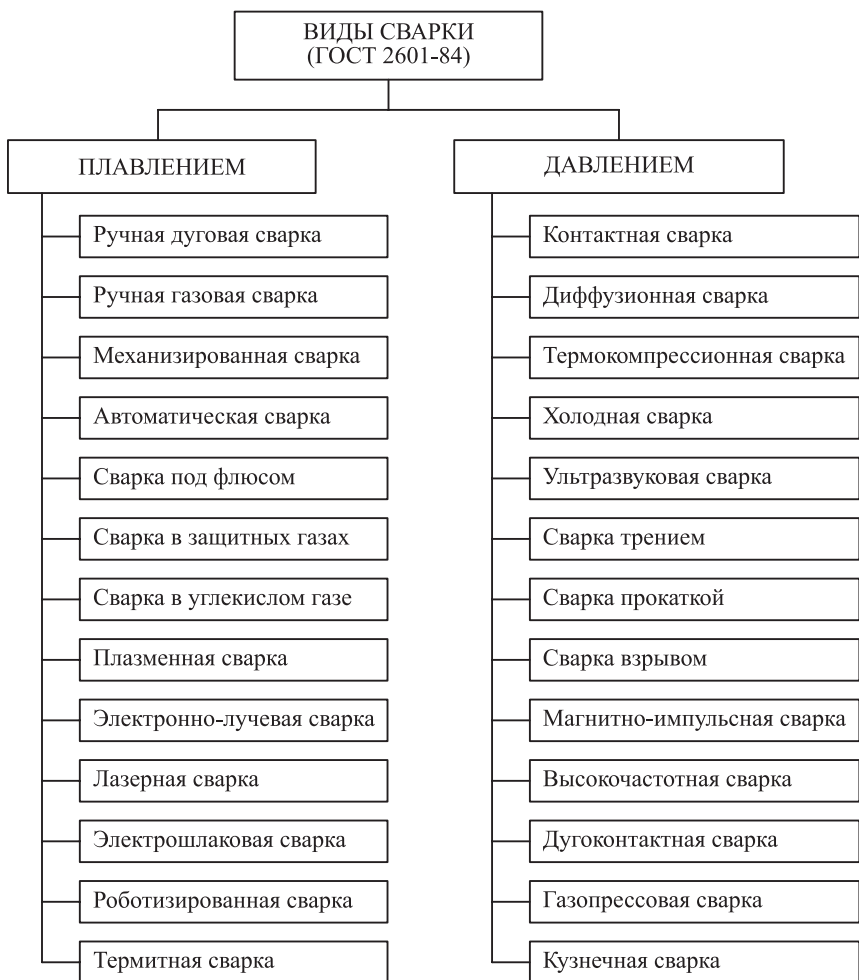


Рис. 1.1. Наиболее распространенные виды сварки

В зависимости от материала электрода различают дуги с плавящимся и неплавящимся электродом. При использовании плавящегося электрода формирование сварного шва осуществляется за счет основного и электродного металлов. При сварке неплавящимся угольным или тугоплавким вольфрамовым электродом материал электродов не участвует в образовании шва.

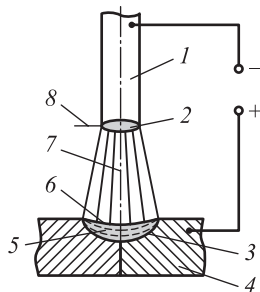


Рис. 1.2. Электрическая дуга прямого действия:

1 – электрод; 2, 5 – катодное и анодное пятна; 3 – сварочная ванна; 4 – заготовка; 6, 8 – анодная и катодная области; 7 – столб дуги

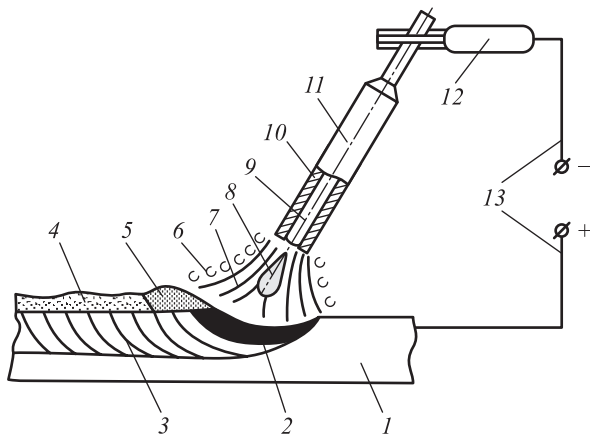


Рис. 1.3. Схема ручной дуговой сварки:

1 – основной металл (изделие); 2 – сварочная ванна; 3 – закристаллизовавшийся металл шва; 4 – застывший шлак; 5 – расплавленный шлак; 6 – газовая защитная атмосфера дуги; 7 – столб дуги; 8 – капля расплавленного металла; 9 – стержень электрода; 10 – покрытие электрода; 11 – покрытый электрод; 12 – электрододержатель; 13 – сварочные провода от источника питания дуги

По характеру среды, в которой существует дуга, различают дуги открытую, закрытую и защищенную. Открытая дуга не имеет внешней защиты и горит в смеси воздуха, паров металлов и компонентов покрытий, например при ручной сварке покрытым электродом. Закрытой называют дугу, горящую под слоем флюса в смеси паров электродного металла, свариваемого металла и флюса.

Защищенной называют дугу, изолированную от вредного воздействия воздуха потоком активного или инертного газа. При сварке в защитном газе различают свободно горящую дугу и сжатую дугу. В первом случае

пространство, в котором существует дуга, ничем не ограничено, и ее диаметр устанавливается самопроизвольно. В отличие от свободной сжатая дуга ограничена в поперечном сечении стенками сопла и потоком защитного газа. Это придает дуге ценные технологические свойства — высокую точность направления и большую глубину проплавления. Такая сварка называется плазменной.

Современные виды дуговой сварки, использующие мощную тепловую энергию электрической дуги, позволяют успешно решать задачи рационального соединения различных изделий и конструкций. При этом прочность сварных соединений может быть обеспечена на уровне прочности свариваемого металла. Это дает возможность осуществлять сварку конструкций, работающих в условиях статических и знакопеременных нагрузок, высокого давления, в вакууме, при высоких и низких температурах, в агрессивных химических средах и др. На рис. 1.3. показана схема ручной дуговой сварки. По степени механизации процесса различают механизированную и автоматическую сварку в среде защитных газов и под флюсом. На рис. 1.4 показана схема сварки в среде защитных газов.

Сварочную дугу получают с помощью специальных источников питания. Для питания дуги электрическим током используют при переменном токе сварочный трансформатор, при постоянном — сварочный выпрямитель, сварочный инвертор или сварочный агрегат с двигателем внутреннего сгорания. От источника питания (см. рис. 1.3) ток проводится сварочными проводами *13* через электродержатель *12* к электроду

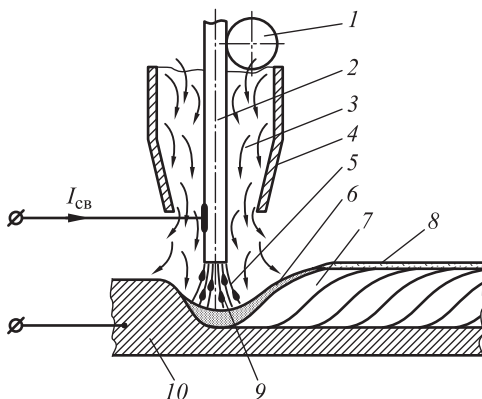


Рис. 1.4. Схема сварки в защитных газах:

1 — механизм подачи сварочной проволоки; *2* — электрод; *3* — защитный газ; *4* — сопло; *5* — сварочная дуга; *6* — расплавленный металл; *7* — металл шва; *8* — шлак; *9* — капли электродного металла; *10* — изделие

II и свариваемому изделию I. Включив источник питания, сварщик зажигает дугу 7 и поддерживает ее горение. Для зажигания дуги на зажимах источника питания должно быть напряжение не менее 60–80 В. Ток, проходящий по сварочной цепи, составляет сотни ампер.

В качестве защитного газа рекомендуется использовать смесь газов на основе аргона Ar ($80 \pm 0,5\%$) и углекислого газа CO₂ ($20 \pm 0,5\%$), могут быть и иные соотношения.

Применение газовых сварочных смесей на основе Ar по сравнению с обычной углекислотой (CO₂) позволяет получать более качественные сварные соединения.

На рис. 1.5. показана схема автоматической сварки под флюсом, аналогичная схеме сварки в защитных газах, где флюс заменяют смесью газов на основе аргона.

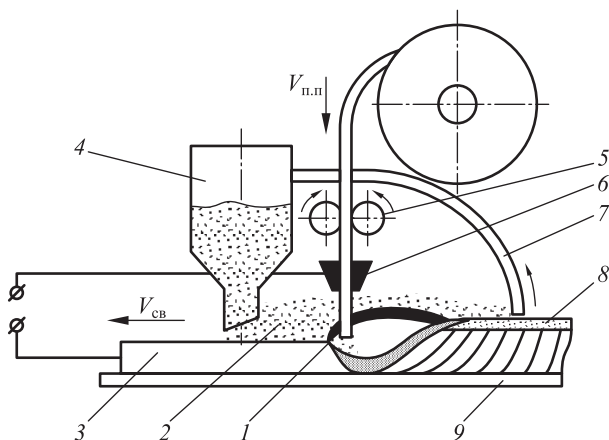


Рис. 1.5. Схема автоматической сварки под флюсом:

1 – электродная проволока; 2 – флюс; 3 – свариваемые детали; 4 – флюсовый бункер; 5 – подающие ролики; 6 – мундштук; 7 – пневмоотсасывающее устройство; 8 – шлаковая корка; 9 – съемная подкладка (или флюсовая подушка); $V_{п.п}$ – скорость подачи проволоки; $V_{св}$ – скорость сварки

Высокие качество сварных соединений и производительность автоматической сварки под флюсом и в защитных газах достигаются за счет автоматизации процессов, непрерывной подачи электродной проволоки в зону сварки и главным образом за счет регулирования сварочного тока. Так, если при ручной сварке покрытыми электродами диаметром 4 мм сила тока не превышает 180–300 А ($14\text{--}15 \text{ А/мм}^2$), то при сварке под флюсом проволокой такого же диаметра сила тока составляет 900–1000 А ($45\text{--}50 \text{ А/мм}^2$), а при сварке в защитных газах проволокой диаметром 1,2 мм – 150–200 А ($100\text{--}150 \text{ А/мм}^2$). Использование больших

сварочных токов не только увеличивает количество расплавленного металла в единицу времени, но и резко повышает глубину проплавления основного металла, что позволяет уменьшить ширину разделки кромок под сварку и этим сократить количество металла, наплавляемого на единицу длины шва. Скорость автоматических способов сварки может достигать 100 м/ч и более. Еще большую скорость, маневренность и качество сварки достигаются при применении сварочных роботов.

Промышленный робот – манипулятор автоматического действия, оснащенный системой цифрового программного управления. В нем совмещаются большая гибкость исполнительных органов, обладающих обычной для манипуляторов высокой подвижностью, и легкость перенастройки их двигательных функций. Роботы предназначены для выполнения разнообразных работ при минимальном участии человека в акте управления. Они являются универсальными автоматами, в состав которых входят три основных функциональных узла: рабочие органы – «руки», вычислительная машина, управляющая ими, и устройства сбора информации о среде, сообщающие роботу способность адаптации к ней.

Преимущества использования роботов:

- обладают высокой скоростью перемещения и позиционирования;
- легко монтируются на стены и потолок, идеальны для использования на конвейерах при производстве автомобилей и иной продукции;
- идеальны для сварки и резки в стесненных условиях и для работы с крупногабаритными заготовками;
- пригодны для сварки MIG/MAG, сварки WIG.

Универсальный робототехнологический комплекс для сварки состоит из манипуляционной системы, сварочного оборудования, устрой-

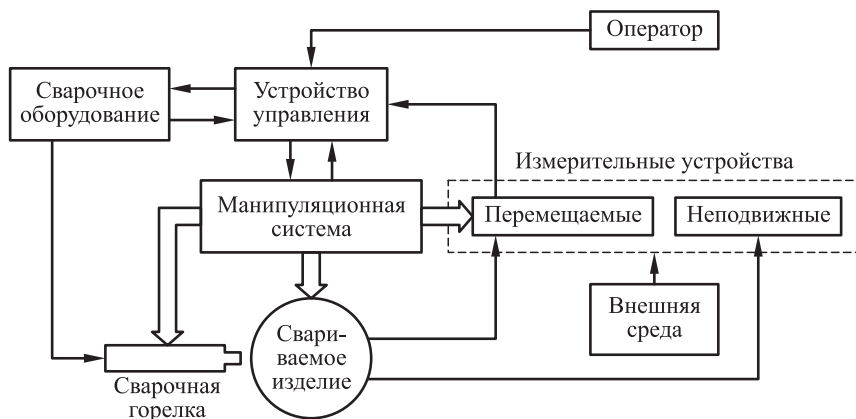


Рис. 1.6. Состав робототехнологического комплекса для сварки

ства управления и измерительных устройств системы геометрической и технологической адаптации (рис. 1.6). Манипуляционная система, в свою очередь, состоит из манипулятора для сварочного инструмента (сварочной горелки) и манипулятора для свариваемого изделия. В составе одного робототехнологического комплекса может быть несколько манипуляторов для инструмента и/или изделия.

Вопросы для самопроверки

1. Что называется сваркой?
2. Как получают сварочную дугу?
3. Какие способы сварки плавлением вы знаете?
4. Для чего служит обмазка электрода и защитный газ?
5. Какими способами защищают сварочную дугу от вредного воздействия воздуха?
6. Назовите наиболее распространенные виды сварки.
7. Назовите отличия механизированной сварки от автоматической.
8. Для чего применяются роботы и каковы их преимущества перед другими видами сварки?

1.2. Формирование сварных соединений

Сварным соединением принято называть неразъемное соединение двух элементов, полученное с помощью сварки. Сварное соединение включает сварной шов и прилегающую к нему зону основного металла, так называемую зону термического влияния.

Сварной узел представляет собой часть сварной конструкции, в которой с помощью сварки неразъемно соединено несколько деталей.

Сварной конструкцией называется металлическая конструкция, изготовленная из отдельных деталей или узлов с помощью сварки.

Наиболее широкое распространение в промышленности, строительстве и других областях деятельности человека находит сварка плавлением.

Сущность формирования сварных соединений состоит в том, что образующийся при нагревании источником энергии жидкий металл одной оплавленной кромки соединяется с жидким металлом второй оплавленной кромки. При этом создается объем жидкого металла, который называется сварочной ванной. По мере заполнения сварочной ванны процесс оплавления соединяемых кромок и образования жидкого металла непрерывно продолжается в направлении движения сварочной дуги до полного сплавления (соединения) кромок деталей. Расплавленный металл ванны по мере удаления дуги затвердевает (кристаллизуется), образуя прочное монолитное соединение — сварной шов

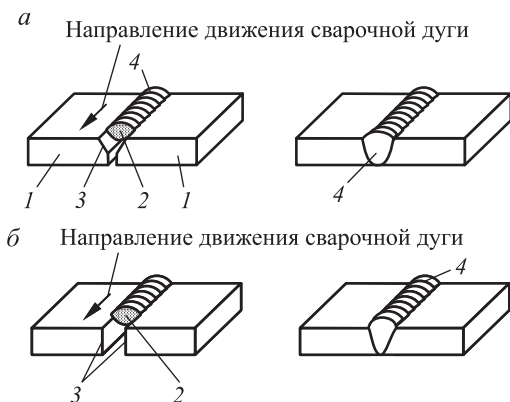


Рис. 1.7. Процесс соединения деталей сваркой плавлением:

a – с разделкой кромок; *б* – без разделки кромок; 1 – свариваемые детали; 2 – сварочная ванна; 3 – оплавляемые кромки; 4 – сварной шов

(рис. 1.7). Формирование сварного шва может образовываться только за счет переплавления металла по кромкам и/или дополнительного прищадочного металла, введенного в сварочную ванну.

Место оплавления и соединения кромок называется зоной сплавления. В поперечном сечении сварного соединения она очень мала и измеряется в микрометрах, но ее роль в прочности соединения очень велика.

Наиболее распространены ручная сварка покрытыми электродами, механизированная и автоматическая сварка плавящимся электродом в среде защитных газов, механизированная и автоматическая сварка плавящимся и неплавящимся электродами в среде инертных газов, автоматическая и механизированная сварка под флюсом.

При ручной дуговой сварке подача электрода и перемещение дуги вдоль свариваемых кромок осуществляются вручную. Для обеспечения заданного состава и свойств шва сварку выполняют качественными покрытыми электродами.

Покрытый качественный электрод (рис. 1.8) представляет собой металлический стержень с нанесенным на его поверхность слоем из смеси порошкообразных материалов на жидком стеклянном растворе. Сварка покрытыми электродами улучшает качество металла шва, так как при расплавлении они создают шлаковую и газовую защиту сварочной ванны от вредного влияния кислорода и азота воздуха. Ручной сваркой покрытыми электродами можно выполнить швы в любом положении и в труднодоступных местах.

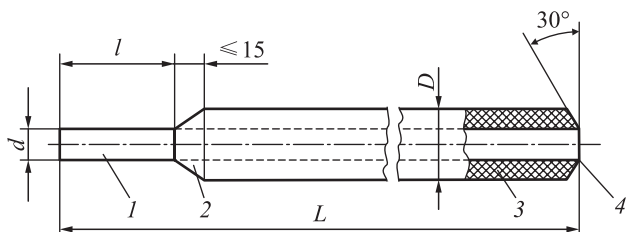


Рис. 1.8. Плавающий покрытый электрод:

1 – металлический электродный стержень; 2 – участок перехода; 3 – покрытие; 4 – контактный торец без покрытия; d – номинальный диаметр металлического электродного стержня, мм; D – диаметр электрода с покрытием, мм; l – длина зачищенного от покрытия конца, мм; L – длина электрода, мм

При горении дуги и плавлении свариваемого и электродного металлов требуется защита сварочной ванны от действия газов воздуха (кислорода, азота, водорода), чтобы они не проникали в жидкий металл и не ухудшали качество металла шва. По способу защиты металла от кислорода, азота и других примесей воздуха дуговая сварка бывает следующих видов: покрытыми качественными электродами, под слоем флюса, порошковой проволокой, в защитных газах и др.

Прочность и длительную работоспособность сварного соединения определяют тип сварного соединения, форма и размеры сварных швов, их расположение относительно действующих сил, плавность перехода от сварного шва к основному металлу и др.

1.3. Типы и конструктивы сварных соединений

Различают следующие основные типы сварных соединений: стыковое, угловое, тавровое, торцевое, нахлесточное. Отдельным большим классом стоят кольцевые сварные соединения трубопроводов, сварные швы которых аналогичны основным типам (рис. 1.9).

При выборе типа сварного соединения учитывают условия нагрузки на сварную конструкцию при эксплуатации (статические или динамические нагрузки), способ и условия изготовления сварной конструкции (ручная сварка, автоматическая в заводских или монтажных условиях), удобства и возможности при сборке и сварке, экономию основного металла, сварочной проволоки и др.

Стыковые соединения – это сварные соединения, получившие наибольшее распространение в машиностроительных, строительных и других конструкциях (рис. 1.9, а, б). В соединениях такого типа после сварки кромок элементов встык поверхность одного элемента является продолжением поверхности другого. Различают следующие стыковые

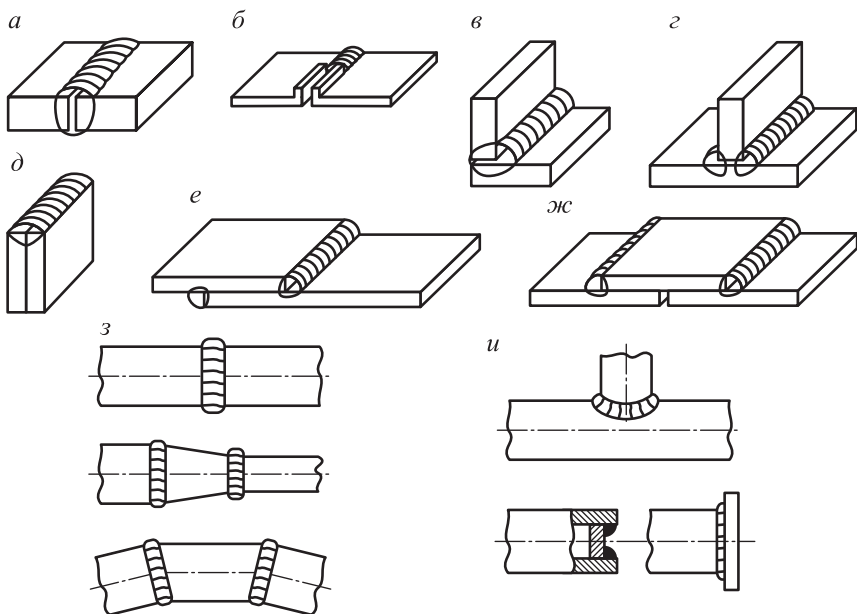


Рис. 1.9. Типы сварных соединений:

а – стыковое; *б* – стыковое с отбортовкой; *в* – угловое; *г* – тавровое; *д* – торцевое; *е* – нахлесточное; *ж* – стыковое с накладкой; *з* – соединения трубопроводов; *и* – угловые соединения

соединения: без скоса кромок, с односторонним скосом (V-образное), с двусторонним скосом (X-образное). ГОСТ 5264-80 устанавливает 32 вида стыковых сварных соединений, которые обозначаются С1, С2, С3, С4 и т.д.

Стыковые сварные соединения имеют значительные преимущества по сравнению с соединениями других типов, в том числе: равномерное распределение напряжений при передаче усилий от одного элемента конструкции к другому; более высокая прочность при статических и переменных нагрузках, при нормальной и высоких температурах; минимальный расход металла на образование сварного соединения.

Угловое соединение – это соединение, элементы которого расположены под углом и сварены в месте примыкания их краев (рис. 1.9, *в, и*). Угловые соединения обозначаются У1, У2, У3 и т.д. Они широко применяются в промышленности – машиностроительных, а также строительных конструкциях (балках, мачтах, фермах и т.п.).

Тавровое соединение – это сварное соединение, в котором торец одного элемента примыкает под углом и приварен к боковой поверхности другого элемента (рис. 1.9, *г*). При тавровом соединении угол между

полкой и стенкой может быть как прямым, так и отличаться от него. Сочетание толщин также может быть различным. Тавровые соединения обозначаются Т1, Т3, Т6 и т.д. Такие соединения применяются преимущественно в строительных конструкциях.

Торцевое соединение — это соединение, в котором элементы расположены параллельно, соприкасаясь друг с другом, а шов выполняется общим на торцах обеих деталей (рис. 1.9, *д*).

Нахлесточное соединение — соединение, в котором свариваемые элементы расположены параллельно и частично перекрывают друг друга, т.е. один лист металла накладывается на другой (рис. 1.9, *е*). Величина перекрытия устанавливается 3–240 мм и зависит от толщины свариваемого металла (величина нахлестки должна быть не менее трех толщин тонкой детали). Нахлесточные соединения обозначаются Н1 и Н2. Эти соединения могут быть как с односторонними, так и с двусторонними швами. Соединение внахлестку используют при изготовлении резервуаров, мачт, ферм, колонн и других конструкций.

Стыковое соединение с накладкой выполняется нахлесточными швами (рис. 1.9, *ж*).

Сварные соединения трубопроводов отличаются кривизной швов, которая зависит от диаметра трубопровода (рис. 1.9, *з*). Эти соединения требуют особо квалифицированного исполнения трубопроводных соединений и широко применяются во всех сферах деятельности человека.

Сварные швы классифицируют по ряду признаков:

- *по направлению усилия, действующего на сварной шов*, — на фланговые, лобовые, комбинированные и косые (рис. 1.10). Это относится к угловым швам нахлесточных соединений. Лобовой шов расположен перпендикулярно к усилию, фланговый — параллельно, а косой — под углом;

- *по расположению в пространстве* — на нижние, горизонтальные, вертикальные и потолочные (рис. 1.11);

- *по форме наружной поверхности шва* — на нормальные, усиленные и ослабленные (рис. 1.12). Как правило, все швы выполняют с небольшим усилением (выпуклыми). Если требуются швы без усиления, это должно быть указано на чертеже;

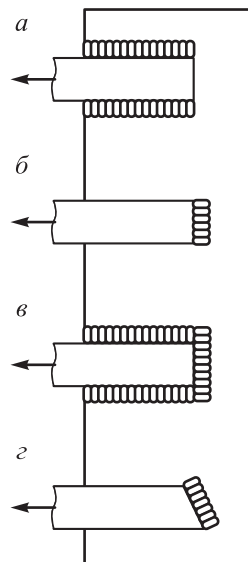


Рис. 1.10. Виды сварных швов по отношению к направлению действующих усилий: *а* — фланговый; *б* — лобовой; *в* — комбинированный; *г* — косой

СОДЕРЖАНИЕ

От автора	3
Введение	6
ГЛАВА 1. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О СВАРКЕ МЕТАЛЛОВ	9
1.1. Сущность процессов сварки	9
1.2. Формирование сварных соединений	15
1.3. Типы и конструктивы сварных соединений	17
1.4. Обозначения сварных соединений	23
1.5. Металлургия сварки, термообработка	26
1.6. Свариваемость металлов и сплавов	39
1.7. Напряжения и деформации при сварке	43
1.8. Расчет прочности сварных соединений	48
1.9. Сварочное производство	51
1.9.1. Общие сведения	51
1.9.2. Доминирующие факторы сварочного производства	58
ГЛАВА 2. ДЕФЕКТЫ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ	108
2.1. Особенности и условия образования дефектов сварных соединений .	108
2.2. Типы и виды дефектов, причины их образования	112
2.3. Выявляемость, достоверность и информативность дефектов	124
2.4. Влияние дефектов на прочность сварных соединений	128
2.5. Способы исправления дефектов	131
ГЛАВА 3. ОРГАНИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СВАРОЧНЫХ РАБОТ	140
3.1. Структура и задачи контрольных служб	140
3.2. Организация эффективной системы контроля	143
3.3. Система подготовки и аттестации специалистов по контролю	146
3.4. Технические средства контроля и метрология	150
3.5. Требования к качеству сварочной продукции	153
ГЛАВА 4. НЕРАЗРУШАЮЩИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ	158
4.1. Общие сведения	158
4.2. Внешний осмотр и измерения	159

4.3. Капиллярный контроль	168
4.4. Магнитопорошковый контроль	176
4.5. Радиационная дефектоскопия	200
4.5.1. Физические основы радиационного контроля	200
4.5.2. Радиографический гамма-контроль	210
4.5.3. Электрорадиография	245
4.5.4. Флюорография, цветная радиография	249
4.5.5. Рентгенографический контроль	252
4.5.6. Радиоскопия и радиометрия. Рентгеновская томография	271
4.5.7. Механизация и автоматизация контроля	283
4.6. Ультразвуковая дефектоскопия	287
4.6.1. Общие сведения	287
4.6.2. Физические основы ультразвуковой дефектоскопии	290
4.6.3. Основные методы акустического контроля	303
4.6.4. Акустический тракт дефектоскопа	307
4.6.5. Ультразвуковые дефектоскопы и пьезоэлектрические преобразователи	311
4.6.6. Параметры контроля и стандартные образцы	322
4.6.7. Технология и практика ультразвукового контроля	342
4.6.8. Контроль методом акустической эмиссии	362
4.6.9. Ультразвуковая толщинометрия	364
4.7. Тепловой контроль	367
4.8. Оптические методы контроля	374
4.9. Голографический контроль	377
4.10. Контроль герметичности изделий	380
4.10.1. Гидравлические методы испытаний	382
4.10.2. Капиллярные методы испытаний	384
4.10.3. Манометрические методы испытаний	386
4.10.4. Газовые методы испытаний	388
4.10.5. Физико-химические методы испытаний	390
4.10.6. Газоаналитические методы испытаний	394
4.10.7. Автоматизация и механизация контроля	402
4.10.8. Выбор методов контроля	403
ГЛАВА 5. РАЗРУШАЮЩИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ	406
5.1. Основные понятия и определения	406
5.2. Испытание металлов на растяжение, сжатие, изгиб и кручение	409
5.3. Испытание металлов на твердость	419
5.3.1. Метод Бринелля	419

5.3.2. Метод Роквелла	420
5.3.3. Метод Виккерса	421
5.3.4. Методы ударного отпечатка и упругого отскока	422
5.4. Испытания металлов на ударную вязкость	425
5.5. Испытание металлов на усталость	428
5.6. Испытание металлов на ползучесть	432
5.7. Металлографические испытания	436
5.8. Химический анализ сварных соединений и металлов	443
5.9. Испытание на коррозионную стойкость	444
5.10. Оценка свариваемости металлов	445
ГЛАВА 6. СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ	450
6.1. Основные понятия и определения	450
6.2. Классификация статистических методов	454
6.3. «Семь инструментов» контроля и анализа качества	455
6.4. Генеральная совокупность и выборка	470
6.5. Статистические характеристики генеральной совокупности	471
6.6. Практика применения статистических методов в сварочном производстве	473
6.6.1. Формирование базовых партий сварных соединений	474
6.6.2. Показатели (измерители) качества и области их применения ..	479
6.6.3. Статистический анализ дефектности сварных соединений	485
6.6.4. Эмпирические распределения показателей дефектности	497
6.6.5. Расчеты и построение границ регулирования	505
6.6.6. Процедуры статистического регулирования	513
6.6.7. Механизация и автоматизация расчетов	522
ГЛАВА 7. УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ СВАРОЧНЫХ РАБОТ	525
7.1. Понятие о качестве и обеспечении качества сварных соединений	525
7.2. Понятие управления качеством	528
7.3. Подготовка сварочного производства к управлению качеством	542
7.3.1. Организация сварочного производства	542
7.3.2. Установление исходного уровня качества	542
7.3.3. Введение в процедуры статистического регулирования и управления	544
7.3.4. Техника контрольных карт	548
7.4. Практика управления качеством в сварочном производстве	551
7.4.1. Построение системы, структура и функции управления качеством	551

7.4.2. Цели и задачи управления качеством	557
7.4.3. Управляющие связи «фактор — причина — дефект»	560
7.4.4. Классификация причин дефектности	575
7.4.5. Модели формирования качества и управления качеством	577
7.4.6. Планирование качества сварки	580
7.4.7. Автоматизация системы управления качеством	583
7.4.8. Общая схема деятельности при управлении сварочным производством	589
ГЛАВА 8. БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА ПРИ СВАРКЕ И КОНТРОЛЕ	594
8.1. Техника безопасности при сварке	594
8.2. Техника безопасности при контроле	598
8.2.1. Радиационная дефектоскопия	598
8.2.2. Ультразвуковая дефектоскопия	600
8.2.3. Капиллярные методы контроля	601
8.2.4. Испытания течеисканием	602
Приложения	604
<i>Приложение 1.</i> Рекомендации по выбору неразрушающих методов контроля	604
<i>Приложение 2.</i> Оперативная карта: контроль готовности объекта к сварке (ГОС)	608
<i>Приложение 3.</i> Оперативная карта: контроль подготовки и сборки стыков под сварку (ПСО)	609
<i>Приложение 4.</i> Оперативная карта: контроль технологических операций при сварке (ТОС)	610
<i>Приложение 5.</i> Карта статистического анализа уровня качества по накопленным данным за месяц ____ квартал ____	611
<i>Приложение 6.</i> Карта статистического анализа дефектности по шкале уровней	612
Литература	613

Учебное издание

Денисов Леонид Сергеевич

КОНТРОЛЬ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ СВАРОЧНЫХ РАБОТ

Учебное пособие

Редактор *Л.Н. Макейчик*

Художественный редактор *В.А. Ярошевич*

Технический редактор *А.Н. Бабенкова*

Корректоры *О.И. Голденкова, Т.В. Кульнис, Т.К. Хваль*

Компьютерная верстка *А.Н. Бабенковой*

Подписано в печать 30.05.2016. Формат 60×84/16. Бумага офсетная.

Гарнитура «NewtonС». Офсетная печать. Усл. печ. л. 36,27.

Уч.-изд. л. 29,2. Тираж 400 экз. Заказ 719.

Республиканское унитарное предприятие «Издательство “Вышэйшая школа”».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/3 от 08.07.2013.

Пр. Победителей, 11, 220048, Минск.

e-mail: market@vshph.com <http://vshph.com>

Республиканское унитарное предприятие «СтройМедиаПроект».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 2/42 от 13.02.2014. Ул. В. Хоружей, 13/61,
220123, Минск.