

12+

СВАРКА.

Книга 2: Практика и технология



Григорьев Александр

Александр Григорьев

**Сварка. Книга 2:
Практика и технология**

«Издательские решения»

Григорьев А.

Сварка. Книга 2: Практика и технология / А. Григорьев —
«Издательские решения»,

Практическое руководство по технологиям сварочных процессов и работе с различными металлами. Подробно рассмотрены физика сварочной дуги, техники ручной дуговой, полуавтоматической и аргонодуговой сварки, а также газовая резка. Отдельное внимание уделено сварке сталей и цветных металлов, предотвращению деформаций, типичным дефектам швов и методам контроля качества.

Содержание

Введение	6
Глава 1. Металловедение для сварщика	7
Глава 2. Физика сварочной дуги	9
Глава 3. Ручная дуговая сварка (ММА) — пошагово	11
Конец ознакомительного фрагмента.	19

Сварка. Книга 2: Практика и технология

Александр Григорьев

© Александр Григорьев, 2026

ISBN 978-5-0071-1344-1 (т. 2)

ISBN 978-5-0071-1341-0

Создано в интеллектуальной издательской системе Ridero

Введение

Если первый том был посвящён инструменту — тому, чем мы воздействуем на металл, — то второй том посвящён руке и глазу, то есть тому, как именно это воздействие осуществляется. Можно иметь в мастерской аппарат премиального класса, маску с идеальной оптикой и электроды, прокаленные по всем правилам, но без понимания физики дуги, металлургии шва и техники ведения горелки всё это оборудование останется лишь дорогостоящим набором предметов. Сварка — это не механическое соединение двух кусков железа; это локальный металлургический процесс, происходящий за доли секунды при температурах, превышающих точку плавления стали, и управляемый исключительно навыком оператора.

Переход от теории к практике всегда сопровождается риском испортить металл. Перегреть тонкий лист до сквозного прожога, недогреть толстую плиту до непровара, насытить шов водородом из сырого электрода или допустить коробление конструкции из-за неверной последовательности наложения валиков — вот лишь малая часть ошибок, которые совершает каждый начинающий сварщик. Цель второго тома — не просто перечислить эти ошибки, а объяснить их физическую природу, чтобы оператор понимал, почему дуга ведёт себя тем или иным образом, и мог осознанно корректировать свои действия. Мы пройдем путь от базовых понятий металловедения и физики сварочной дуги через пошаговое освоение ручной дуговой, полуавтоматической и аргонодуговой сварки к работе со сложными материалами, контролю качества и изготовлению реальных конструкций. Первый том дал вам инструмент; этот том даст вам технологию.

Глава 1. Металловедение для сварщика

1.1. Виды металлов и понятие свариваемости

Металловедение в приложении к сварке — это не абстрактная наука о кристаллических решётках, а практическое руководство к действию, определяющее, можно ли вообще соединить две конкретные детали и какой режим для этого требуется. Все металлы, с которыми работает сварщик, делятся на чёрные — стали и чугуны — и цветные — алюминий, медь, титан и их сплавы, и каждый класс требует принципиально разного подхода. Стали, в свою очередь, подразделяются по содержанию углерода на низкоуглеродистые, содержащие до двадцати пяти сотых процента углерода, среднеуглеродистые — от двадцати пяти до шестидесяти сотых, и высокоуглеродистые — свыше шестидесяти сотых процента, и именно содержание углерода является главным фактором, определяющим так называемую свариваемость металла.

Свариваемость — это способность металла образовывать неразъёмное соединение без трещин, пор и иных дефектов при заданных технологических параметрах, и она оценивается по эквиваленту углерода, который учитывает не только сам углерод, но и влияние легирующих элементов — марганца, хрома, кремния, никеля. Низкоуглеродистые стали, такие как Ст3 или сталь 20, обладают отличной свариваемостью и варятся любыми способами без предварительного подогрева и последующей термообработки; они составляют основу металлоконструкций, трубопроводов и кузовных деталей. Среднеуглеродистые и легированные стали склонны к закалке в зоне термического влияния, что приводит к образованию хрупких мартенситных структур и холодным трещинам, поэтому их сварка требует предварительного подогрева до ста пятидесяти — трёхсот градусов Цельсия, применения специальных электродов с низким содержанием водорода и замедленного охлаждения после сварки. Высокоуглеродистые стали и чугуны относятся к трудносвариваемым материалам, и их соединение выполняется преимущественно по технологии холодной сварки с проковкой или с применением специализированных присадочных материалов.

Цветные металлы представляют собой отдельную *desafío* для сварщика. Алюминий и его сплавы покрыты тугоплавкой оксидной плёнкой, температура плавления которой превышает две тысячи градусов Цельсия, тогда как сам алюминий плавится при шестистах шестидесяти градусах, и разрушение этой плёнки требует либо переменного тока с катодным распылением, либо активных флюсов. Медь обладает колоссальной теплопроводностью, из-за чего тепло от дуги мгновенно отводится в массив детали, и для её сварки требуются токи, в полтора-два раза превышающие токи для стали той же толщины, а также обязательный предварительный подогрев. Титан химически активен при высоких температурах и жадно поглощает кислород, азот и водород из воздуха, превращаясь в хрупкий материал, поэтому его сварка возможна только в среде инертного газа с тщательной защитой не только ванны, но и остывающего шва. Понимание этих фундаментальных различий позволяет сварщику не действовать методом проб и ошибок, а осознанно выбирать процесс, режим и защитную среду под конкретный металл.

1.2. Подготовка кромок: формы разделки и геометрия стыка

Качество сварного соединения закладывается не в момент зажигания дуги, а на этапе подготовки кромок, и именно здесь совершается наибольшее количество фатальных ошибок. Если две толстые детали просто приставить друг к другу встык и попытаться проварить, дуга не сможет проплавить металл на всю толщину, и в корне шва останется непровар — сплошной зазор, который под нагрузкой станет очагом разрушения. Чтобы обеспечить полное проплавление, кромки деталей необходимо разделять, то есть снимать фаску под определённым углом, формируя зазор для доступа дуги к корню стыка.

Формы разделки кромок стандартизированы и выбираются в зависимости от толщины металла и требований к прочности. Для металла толщиной до четырёх миллиметров разделка

обычно не требуется, и детали свариваются встык без зазора или с минимальным зазором в один-два миллиметра. При толщине от четырёх до двенадцати миллиметров применяется V-образная, или односкосная, разделка с углом скоса от шестидесяти до семидесяти градусов и притуплением в корне от одного до трёх миллиметров; притупление необходимо для того, чтобы расплавленный металл не вытекал сквозь стык, образуя прожог. Для металла толщиной свыше двенадцати миллиметров используется X-образная, или двускосная, разделка, при которой фаски снимаются с обеих сторон детали, что позволяет варить шов с двух сторон, значительно снижая объём наплавленного металла, расход электродов и, что критически важно, уменьшая сварочные деформации и остаточные напряжения.

Помимо стыковых соединений, в практике широко применяются угловые, тавровые и нахлёсточные соединения, каждое из которых имеет свою геометрию подготовки. В тавровом соединении, где одна деталь приваривается перпендикулярно к плоскости другой, при толщине вертикальной стенки свыше восьми миллиметров также снимается фаска для обеспечения провара в корень. Качество подготовки кромок определяется не только геометрией, но и чистотой поверхности: кромки и прилегающие к ним зоны шириной не менее двадцати миллиметров должны быть зачищены до металлического блеска от ржавчины, окалины, масла, краски и влаги. Любые органические загрязнения при нагреве разлагаются с выделением водорода, который растворяется в металле шва и вызывает пористость и холодные трещины, поэтому обезжиривание растворителем и механическая зачистка щёткой или лепестковым кругом являются обязательными операциями, пропуск которых недопустим ни при каких обстоятельствах.

1.3. Очистка, обезжиривание и сборка под сварку

Завершающим этапом подготовки является сборка деталей под сварку, которая должна обеспечивать точное совпадение кромок, равномерный зазор по всей длине стыка и минимальные внутренние напряжения, возникающие при нагреве и охлаждении металла. Сборка производится с помощью струбцин, магнитных фиксаторов, кондукторов или прихваток — коротких сварных швов длиной от десяти до тридцати миллиметров, которые временно фиксируют детали в заданном положении. Прихватки выполняются тем же присадочным материалом и в том же режиме, что и основной шов, и располагаются равномерно по длине стыка с шагом от ста до трёхсот миллиметров в зависимости от толщины металла и длины детали; если прихватка выполнена с дефектом — непроваром или трещиной, — она должна быть полностью удалена механическим способом и выполнена заново, ибо оставлять дефектную прихватку под основным швом категорически запрещено.

Особое внимание при сборке уделяется предотвращению сварочных деформаций, которые возникают из-за неравномерного нагрева и усадки металла при кристаллизации шва. Продольная усадка вызывает укорочение детали, поперечная — изменение угла между деталями в угловых соединениях, а неравномерный нагрев приводит к короблению листовых конструкций. Для минимизации деформаций применяются несколько приёмов: обратный порядок наложения швов, при котором сварка ведётся от середины к краям или сегментами вразбежку; предварительный обратный выгиб деталей, компенсирующий последующую усадку; жёсткое закрепление в кондукторах, ограничивающее свободную деформацию; и симметричная сварка двусторонних швов двумя сварщиками одновременно. Понимание этих принципов позволяет сварщику не бороться с последствиями коробления после завершения работы, а предотвращать его на стадии сборки, экономя время и сохраняя геометрию конструкции.

Глава 2. Физика сварочной дуги

2.1. Зажигание и стабилизация дуги: от искры к устойчивому горению

Сварочная дуга — это не просто электрическая искра, а устойчивый газовый разряд в ионизированной среде, поддерживаемый термоэлектронной эмиссией с катода и потоком заряженных частиц между электродом и изделием. Процесс зажигания дуги начинается с короткого замыкания электрода на деталь, при котором в точках микроскопического контакта выделяется колоссальное количество тепла, мгновенно разогревающее металл до температур, достаточных для начала эмиссии электронов. В момент отвода электрода на расстояние от двух до четырёх миллиметров эти электроны, ускоряемые электрическим полем, сталкиваются с нейтральными атомами газа в межэлектродном промежутке, выбивают из них новые электроны и создают лавинообразный процесс ионизации, превращая воздух или защитный газ в плазму — проводящую среду с температурой ядра от пяти до семи тысяч градусов Цельсия. Именно эта плазма и является сварочной дугой, переносящей тепло и металл от электрода к изделию.

Стабильность горения дуги зависит от множества факторов, главным из которых является ионизационный потенциал среды и наличие в покрытии электрода или в защитном газе элементов с низким потенциалом ионизации — калия, натрия, кальция, которые облегчают поддержание разряда. Рутиловые электроды содержат в покрытии соединения титана и калия, обеспечивающие лёгкое зажигание и устойчивое горение даже на переменном токе, тогда как основные электроды, покрытие которых состоит преимущественно из карбонатов кальция и магния, требуют постоянного тока обратной полярности и более высокого напряжения холостого хода для надёжного поджига, ибо их ионизационные свойства хуже, а дуга горит жёстче и короче. При аргонодуговой сварке стабильность дуги обеспечивается высокой чистотой аргона и применением осциллятора или высокочастотного поджига, который пробивает межэлектродный промежуток без физического контакта вольфрамового электрода с деталью, предотвращая загрязнение вольфрама и включение его частиц в шов.

Напряжение дуги — параметр, напрямую связанный с её длиной: чем длиннее дуга, тем выше напряжение и тем шире, но мельче проплавление, тогда как короткая дуга даёт узкий и глубокий шов с минимальным разбрызгиванием. Опытный сварщик управляет длиной дуги интуитивно, поддерживая её в диапазоне от половины до одного диаметра электрода или проволоки, и именно это умение отличает мастера от новичка, который либо рвёт дугу, оставляя непровары, либо растягивает её, получая пористый и широкий валик с обильным разбрызгиванием. Стабилизация дуги в полуавтоматической сварке достигается за счёт саморегулирования: при укорочении дуги ток возрастает, скорость плавления проволоки увеличивается, и дуга восстанавливает длину; при удлинении — ток падает, плавление замедляется, и проволока вновь приближается к изделию. Этот механизм работает только при правильной настройке скорости подачи и напряжения, и нарушение баланса между этими параметрами приводит либо к частым замыканиям с хлопками и брызгами, либо к обрывам дуги и нестабильному переносу металла.

2.2. Перенос металла и глубина проплавления: как формируется шов

Перенос расплавленного металла от плавящегося электрода или проволоки в сварочную ванну осуществляется несколькими механизмами, выбор которого определяется режимом сварки, составом защитной среды и полярностью тока. Крупнокапельный перенос характерен для сварки на низких токах и длинной дуге: металл накапливается на торце электрода в виде крупной капли, которая под действием силы тяжести и электромагнитных сил отрывается и падает в ванну; этот механизм сопровождается значительным разбрызгиванием и даёт неровный шов, поэтому применяется редко, преимущественно при потолочной сварке, где другие виды переноса невозможны. Мелкокапельный, или струйный, перенос возникает при высоких

токах и короткой дуге в среде защитных газов: металл переходит в ванну в виде мельчайших капель, движущихся с большой скоростью вдоль оси дуги, что обеспечивает ровный, плотный шов с минимальным разбрызгиванием и является основным режимом для полуавтоматической сварки в углекислом газе и смесях.

Короткозамкнутый перенос — наиболее распространённый механизм при сварке тонкого металла и в пространственных положениях: капля на торце проволоки растёт до тех пор, пока не коснётся поверхности ванны, происходит короткое замыкание, ток резко возрастает, электромагнитные силы сжимают шейку капли и отрывают её, после чего дуга зажигается вновь; этот цикл повторяется с частотой от двадцати до двухсот раз в секунду. Короткозамкнутый перенос позволяет варить тонкий лист без прожогов, ибо тепловложение в момент короткого замыкания минимально, а основное тепло выделяется в фазе горения дуги; однако он сопровождается характерным треском и умеренным разбрызгиванием, которое снижается при правильной настройке индуктивности источника питания, сглаживающей пиковые токи замыкания. Импульсный перенос — усовершенствованная разновидность струйного, при которой ток модулируется между высоким импульсным значением, отрывающим одну каплю за импульс, и низким фоновым, поддерживающим дугу без плавления; этот режим обеспечивает полный контроль над тепловложением и формой шва, позволяя варить тонкие металлы во всех пространственных положениях без прожогов и с минимальным разбрызгиванием, и является стандартом для профессиональной полуавтоматической и аргонодуговой сварки ответственных конструкций.

Глубина проплавления — ключевой параметр качества сварного соединения, определяющий, насколько полно расплавлен основной металл в корне шва, и она зависит от силы тока, скорости сварки, угла наклона электрода или горелки, а также от состава защитной среды. Увеличение сварочного тока прямо пропорционально увеличивает глубину проплавления, тогда как повышение напряжения и удлинение дуги делают шов шире, но мельче. Скорость сварки влияет обратно пропорционально: при слишком высокой скорости дуга не успевает прогреть металл, и проплавление уменьшается, вплоть до образования непроваров; при слишком низкой — тепловложение избыточно, что ведёт к прожогам на тонком металле и перегреву зоны термического влияния на толстом. Угол наклона электрода или горелки также критичен: сварка углом назад, когда электрод наклонён в сторону, противоположную направлению движения, концентрирует тепло в зоне дуги и даёт максимальное проплавление, тогда как сварка углом вперёд распределяет тепло перед дугой, предварительно подогревая кромки, но уменьшает глубину проплавления и даёт более широкий и плоский шов, что предпочтительно для тонкого металла и многослойных швов.

Защитная среда существенно влияет на форму проплавления: чистый углекислый газ даёт глубокое, но неравномерное проплавление с характерным пальцевидным профилем в центре шва, что повышает риск непроваров по краям; смеси аргона с углекислым газом обеспечивают более равномерное, чашеобразное проплавление с плавными переходами к основному металлу, снижая концентрацию напряжений и улучшая механические свойства шва. При аргонодуговой сварке постоянным током прямой полярности проплавление максимально глубоко и узко, что идеально для стыковых швов без скоса кромок, тогда как переменный ток, применяемый для алюминия, даёт более широкое и мелкое проплавление с одновременной очисткой поверхности от оксидной плёнки за счёт катодного распыления в положительную полуволну. Понимание этих взаимосвязей позволяет сварщику не подбирать режим методом проб и ошибок, а осознанно задавать параметры, предсказывая форму и качество шва ещё до зажигания дуги.

Глава 3. Ручная дуговая сварка (ММА) — пошагово

3.1. Выбор тока под электрод и положение шва: фундамент режима

Ручная дуговая сварка штучным плавящимся электродом остаётся базовым и наиболее универсальным процессом, с которого начинается путь каждого сварщика, и именно здесь закладываются фундаментальные навыки управления дугой, которые впоследствии переносятся на полуавтоматические и аргонодуговые процессы. Первый и главный шаг — выбор сварочного тока, который должен строго соответствовать диаметру электрода, марке его покрытия, толщине свариваемого металла и пространственному положению шва. Как было детально рассмотрено в первом томе, ориентировочное соответствие диаметра и тока составляет для двух миллиметров от сорока до семидесяти ампер, для трёх миллиметров от семидесяти до ста двадцати, для четырёх миллиметров от ста двадцати до ста восьмидесяти и для пяти миллиметров от ста шестидесяти до двухсот сорока ампер, однако эти значения являются лишь отправной точкой, требующей обязательной корректировки под конкретные условия.

Корректировка тока по пространственному положению является критически важным навыком, без которого невозможна качественная сварка в вертикальном и потолочном положениях. При переходе от нижнего положения к вертикальному ток снижают на десять — пятнадцать процентов, а при потолочной сварке — на пятнадцать — двадцать процентов относительно номинала для нижнего положения; это снижение необходимо для уменьшения объёма сварочной ванны, которая под действием силы тяжести стремится вытечь из зоны дуги, и только уменьшенный ток позволяет удерживать расплавленный металл силами поверхностного натяжения и давления дуги. Кроме того, для вертикальных и потолочных швов применяют электроды диаметром не более четырёх миллиметров, а чаще три — четыре миллиметра, поскольку большая ванна от электрода диаметром пять миллиметров физически не может быть удержана в пространстве без образования налётов и прожогов.

Полярность тока также требует осознанного выбора: основные электроды типа УОНИ работают исключительно на постоянном токе обратной полярности, когда электрод подключён к положительному выводу источника, а изделие — к отрицательному, что обеспечивает меньшее проплавление и защиту от прожогов на тонком металле, тогда как рутиловые электроды марок МР-3 и АНО одинаково устойчиво горят на переменном токе и на постоянном токе обеих полярностей, что делает их предпочтительными для бытовых инверторов без переключателя полярности и для работы от трансформаторов. Прямая полярность, при которой электрод подключён к минусу, даёт более глубокое проплавление и применяется для толстого металла и резки электродом, тогда как обратная полярность концентрирует тепло на электроде, ускоряя его плавление и снижая тепловложение в изделие, что незаменимо при сварке тонких листов и нержавеющей сталей, склонных к перегреву и короблению.

3.2. Техника ведения электрода: углом вперёд и углом назад

Управление дугой в пространстве осуществляется не только подбором тока, но и геометрией ведения электрода, которая определяется углом наклона относительно направления движения и характером поперечных колебаний. Две базовые техники — углом назад и углом вперёд — дают принципиально разные результаты по форме шва, глубине проплавления и внешнему виду чешуйчатости, и опытный сварщик свободно переключается между ними в зависимости от задачи.

Сварка углом назад, или «на себя», выполняется при наклоне электрода в сторону, противоположную направлению движения, так что дуга направлена в уже наплавленный металл и корень шва; эта техника концентрирует тепло в зоне дуги, обеспечивает максимальное проплавление и даёт выпуклый, высокий валик с глубокой чешуйчатостью, что предпочтительно для корневых проходов стыковых швов, для толстого металла и для ситуаций, где требуется

гарантированный провар в корень. Электрод при этом ведётся с минимальными поперечными колебаниями или вовсе без них, образуя узкий струнный валик, а скорость движения подбирается такой, чтобы ванна успевала кристаллизоваться позади дуги, не опережая её и не отставая настолько, чтобы шлак попадал в зону проплавления.

Сварка углом вперёд, или «от себя», выполняется при наклоне электрода в направлении движения, так что дуга направлена на основной металл перед ванной, предварительно подогревая кромки и распределяя тепло по большей площади; эта техника даёт меньшее проплавление, более широкий и плоский шов с мелкой чешуйчатостью и минимальным разбрызгиванием, что идеально для тонкого металла, для облицовочных проходов многослойных швов и для угловых соединений, где важно избежать подрезов по краям. При сварке углом вперёд часто применяются поперечные колебания электрода — зигзагообразные, полумесяцем или треугольником, — которые расширяют валик, обеспечивают сплавление с обеими кромками и замедляют охлаждение ванны, улучшая дегазацию и выход шлака; однако каждое колебание увеличивает тепловложение, и на тонком металле чрезмерные колебания приводят к короблению и прожогам, поэтому амплитуда колебаний не должна превышать двух — трёх диаметров электрода.

Выбор между техникой углом назад и углом вперёд не является догмой и часто комбинируется в пределах одного шва: корневой проход варится углом назад для гарантии провара, заполняющие проходы — с умеренными колебаниями для сплавления кромок, а облицовочный проход — углом вперёд с широкими колебаниями для получения ровной и эстетичной поверхности. Освоение этих техник требует практики и визуального контроля за формой ванны: если ванна опережает дугу, шлак попадает в корень и образует включения; если дуга опережает ванну слишком сильно, возникает непровар по кромкам; только баланс между скоростью, током и углом наклона даёт качественный шов.

3.3. Сварка тонкого металла: трудности и приёмы

Сварка металла толщиной от одного до трёх миллиметров представляет собой одну из наиболее сложных задач для ручной дуговой сварки, ибо тепловложение дуги при стандартных режимах многократно превышает количество тепла, необходимое для плавления такого тонкого сечения, и без специальных приёмов результат неизбежно сводится к сквозным прожогам, короблению и непроварам по краям из-за нестабильности дуги на малых токах. Главная трудность заключается в том, что минимальный ток, при котором электрод диаметром два миллиметра ещё устойчиво горит, составляет около сорока — пятидесяти ампер, и даже этот ток для листа толщиной один миллиметр является избыточным, требуя от сварщика высочайшей скорости реакции и владения специфическими техниками.

Первым и обязательным приёмом при сварке тонкого металла является использование электродов минимального диаметра — два или два с половиной миллиметра, preferably с рутиловым покрытием марок МР-3 или АНО-21, которые обеспечивают лёгкое зажигание и устойчивое горение на малых токах; основные электроды для тонкого металла неприменимы из-за жёсткости дуги и необходимости высоких токов для стабильного горения. Ток устанавливается на нижней границе диапазона — от тридцати пяти до пятидесяти ампер, и если источник питания не позволяет точно выставить такое значение, используется метод кратковременных касаний: электрод не ведётся непрерывно, а касается изделия короткими точечными движениями с частотой два — три касания в секунду, образуя цепочку перекрывающихся точек, которые сливаются в непрерывный шов при достаточной скорости; этот метод, известный как «сварка точками» или «прерывистая дуга», резко снижает суммарное тепловложение и предотвращает прожоги, хотя и требует значительного навыка для обеспечения сплошности шва без пор и непроваров.

Вторым критическим приёмом является увеличение скорости сварки до максимально возможной: электрод ведётся быстро, с минимальной длиной дуги, буквально «чиркая» по

поверхности, чтобы дуга не успевала перегреть металл в одной точке; при этом угол наклона выбирается углом вперёд, распределяя тепло перед ванной и предотвращая концентрацию энергии в корне шва. Зазор между кромками при сборке тонкого металла должен быть минимальным или отсутствовать вовсе, ибо любой зазор немедленно приводит к прожогу; если зазор неизбежен, под стык подкладывается медная или стальная подкладка, отводящая избыточное тепло и поддерживающая ванну от проваливания. Коробление тонких листов предотвращается предварительным закреплением в струбцинах на массивной плите, служащей теплоотводом, и применением обратноступенчатого метода сварки, при котором шов накладывается сегментами длиной пятьдесят — сто миллиметров вразбежку, от середины к краям, с паузами на охлаждение между сегментами.

Третий приём — использование импульсного режима, если источник питания его поддерживает: некоторые современные инверторы имеют функцию импульсной сварки для ММА, при которой ток модулируется между высоким и низким значением, снижая среднее тепловложение и позволяя варить тонкий металл более стабильно, чем на постоянном токе; однако эта функция эффективна только на аппаратах среднего и высокого класса, тогда как бюджетные инверторы с заявленным импульсным режимом часто имитируют его формально, не давая реального преимущества. В отсутствие импульсного режима и при невозможности снизить ток ниже сорока ампер единственным надёжным методом остаётся переход на полуавтоматическую сварку в защитных газах, где тепловложение контролируется точнее, и сварка листа толщиной один миллиметр становится рутинной операцией, а не испытанием мастерства.

3.4. Вертикальные и потолочные швы: борьба с гравитацией

Сварка в вертикальном и потолочном положениях переводит ручную дуговую сварку из разряда ремесла в разряд искусства, ибо здесь сварщик вступает в прямое противоборство с силой тяжести, стремящейся вырвать расплавленный металл из зоны дуги и превратить аккуратный шов в бесформенный натёк шлака и металла. Успех в этих положениях определяется не столько мощностью аппарата, сколько способностью оператора управлять размером ванны, длиной дуги и ритмом движений, и именно здесь проявляется разница между механическим исполнителем и мастером, чувствующим поведение металла.

Вертикальный шов выполняется снизу вверх, и это направление является единственно правильным для большинства ответственных конструкций, ибо при движении сверху вниз ванна стекает под дугу, опережая её и создавая непровар в корне, тогда как при движении снизу вверх дуга постоянно находится под ванной, подпирая её давлением и не давая металлу стекать. Ток для вертикального шва снижается на десять — пятнадцать процентов относительно нижнего положения, диаметр электрода не превышает трёх — четырёх миллиметров, а длина дуги удерживается минимальной — не более половины диаметра электрода, чтобы давление дуги эффективно противодействовало силе тяжести. Техника ведения включает поперечные колебания малого размаха — полумесяцем, треугольником или зигзагом, — при которых электрод задерживается на краях шва для сплавления с кромками и быстрого прохождения через центр для предотвращения перегрева; ритм колебаний должен быть таким, чтобы каждый новый валик накладывался на ещё не остывший предыдущий, обеспечивая монолитность шва без холодных слоёв.

Альтернативная техника вертикальной сварки — «лесенка» или «ёлочка», при которой электрод движется по траектории, напоминающей ступени: короткое горизонтальное движение вправо с задержкой на кромке, диагональный возврат влево-вверх, короткое горизонтальное движение влево с задержкой, диагональный возврат вправо-вверх; эта техника обеспечивает отличное сплавление с обеими кромками и равномерную чешуйчатость, но требует значительной практики для поддержания ритма и симметрии. Для особо ответственных вертикальных швов применяется метод «точка-тире»: короткое касание с образованием точки, затем быстрое движение вверх на пять — десять миллиметров без отрыва дуги, затем новое касание; этот

метод даёт максимальный контроль над тепловложением и формой валика, но крайне трудоёмок и применяется преимущественно при сварке трубопроводов и конструкций, подлежащих рентгеновскому контролю.

Потолочный шов — вершина сложности ручной дуговой сварки, ибо здесь ванна удерживается исключительно силами поверхностного натяжения и давлением дуги, и любое превышение тока или замедление скорости приводит к мгновенному падению металла и шлака на маску и руки сварщика. Ток для потолочного шва снижается на пятнадцать — двадцать процентов относительно нижнего положения, диаметр электрода не превышает трёх миллиметров, а дуга удерживается предельно короткой, буквально «впритирку» к изделию. Техника ведения — исключительно струнная, без поперечных колебаний, с быстрым и равномерным движением электрода; любые колебания на потолке увеличивают размер ванны и риск её обрушения. Электрод ведётся с небольшим наклоном углом назад, чтобы давление дуги было направлено строго вверх, в корень шва, подпирая ванну; скорость движения подбирается такой, чтобы каждый сантиметр шва кристаллизовался прежде, чем дуга перейдёт к следующему сантиметру, и паузы недопустимы, ибо остановка дуги означает немедленное падение ванны.

Защита сварщика при потолочной сварке требует особого внимания: брызги и капли шлака летят строго вниз, и обычная маска с наголовником недостаточна — необходима глухая защита шеи и груди, огнестойкий костюм без складок, в которые могут попасть раскалённые частицы, и спилковые краги с удлинённой манжетой, закрывающей предплечье. Рабочее место организуется так, чтобы сварщик мог работать с минимальным напряжением рук и шеи, ибо усталость при потолочной сварке наступает быстро и ведёт к потере контроля над дугой; часто применяются подмости, зеркала для контроля шва и принудительная вентиляция, отводящая дым в сторону от лица, поскольку при потолочном положении дым поднимается прямо в зону дыхания.

3.5. Типичные дефекты швов: причины и устранение

Контроль качества сварного соединения начинается не после завершения работы, а в процессе её выполнения, и умение распознавать дефекты по внешнему виду шва, звуку дуги и поведению ванны является важнейшим навыком сварщика, позволяющим корректировать режим до того, как дефект станет неустранимым. Все дефекты ручной дуговой сварки делятся на наружные, видимые невооружённым глазом, и внутренние, выявляемые методами неразрушающего контроля, и большинство внутренних дефектов имеет внешние предвестники, которые опытный оператор замечает и устраняет в реальном времени.

Пористость шва — наличие газовых пузырей в металле шва — проявляется внешне в виде мелких отверстий на поверхности валика и внутренне в виде снижения плотности и прочности соединения; причинами пористости являются влага в покрытии электрода, загрязнение кромок маслом, ржавчиной или краской, слишком длинная дуга, допускающая подсос воздуха в зону защиты, и чрезмерная скорость сварки, при которой газы не успевают выйти из ванны до кристаллизации. Устранение пористости начинается с прокалки электродов согласно требованиям главы о хранении расходных материалов, тщательной зачистки кромок до металлического блеска на ширину не менее двадцати миллиметров, укорочения дуги до половины диаметра электрода и снижения скорости сварки до значения, при котором ванна успевает «прокипеть» и выделить газы; если пористость сохраняется после этих мер, проверяется влажность окружающей среды и наличие сквозняков, срывающих газовую защиту дуги.

Непровар — отсутствие сплавления между основным металлом и наплавленным или между слоями многослойного шва — является наиболее опасным дефектом, ибо создаёт концентратор напряжений и снижает несущую способность соединения в разы; внешне непровар проявляется в виде прямолинейной тёмной полосы в корне шва или по кромкам, а внутренне выявляется ультразвуком или рентгеном как сплошная щель. Причинами непровара являются заниженный сварочный ток, чрезмерная скорость сварки, слишком длинная дуга, неправиль-

ный угол наклона электрода, не обеспечивающий доступа дуги в корень стыка, и недостаточная разделка кромок, не дающая дуге достичь корня. Устранение непровара требует увеличения тока до верхней границы диапазона для данного диаметра электрода, снижения скорости сварки, укорочения дуги, изменения угла наклона на «угол назад» для концентрации тепла в корне и, при необходимости, увеличения угла разделки кромок или зазора в корне стыка; если непровар обнаружен в уже выполненном шве, дефектный участок полностью удаляется механическим способом — вырубка зубилом или вышлифовка лепестковым кругом, — и шов пересваривается заново с исправленным режимом.

Подрез — канавка вдоль края шва в основном металле — ослабляет сечение детали и служит очагом усталостных трещин при циклических нагрузках; внешне подрез виден как тёмная линия вдоль границы валика, и его причинами являются завышенный сварочный ток, чрезмерная скорость сварки, слишком длинная дуга и неправильная техника поперечных колебаний, при которой электрод не задерживается на краях шва для заполнения кратера. Устранение подреза достигается снижением тока на десять — пятнадцать ампер, уменьшением скорости сварки, укорочением дуги и изменением техники колебаний с обязательной задержкой на краях шва на одну — две секунды для сплавления и заполнения кратера; при сварке угловых швов подрез по вертикальной полке устраняется изменением угла наклона электрода на сорок пять градусов к обеим поверхностям и смещением дуги на горизонтальную полку, которая требует больше тепла для плавления.

Наплывы и натёки — излишки наплавленного металла, не сплавленные с основным металлом — возникают при сварке в вертикальном и потолочном положениях из-за завышенного тока, низкой скорости сварки и неправильного угла наклона, при котором ванна опережает дугу; внешне наплывы выглядят как грубые, неровные валики, нависающие над основным металлом, и они не только ухудшают внешний вид, но и создают концентраторы напряжений. Устранение наплывов требует снижения тока, увеличения скорости сварки, изменения угла наклона на «угол назад» для поддержки ванны давлением дуги и, при необходимости, перехода на электрод меньшего диаметра для уменьшения размера ванны; уже образовавшиеся наплывы удаляются механически — зачистным диском или лепестковым кругом, — после чего шов доваривается с исправленным режимом.

Трещины — горячие, возникающие при кристаллизации, и холодные, появляющиеся после остывания шва — являются наиболее серьёзным дефектом, требующим полного удаления шва и пересмотра технологии сварки; горячие трещины вызваны высоким содержанием серы и фосфора в металле, чрезмерным тепловложением и жёстким закреплением конструкции, не дающим усадки, тогда как холодные трещины обусловлены водородом, попавшим в шов из влажного электрода или загрязнённых кромок, и закалочными структурами в зоне термического влияния при сварке средне- и высокоуглеродистых сталей без предварительного подогрева. Устранение трещин начинается с обязательного удаления всего дефектного участка шва на длину не менее пятидесяти миллиметров в обе стороны от видимой трещины, ибо микротрещины распространяются дальше видимой зоны; после удаления производится повторная сварка с применением прокалённых основных электродов, предварительным подогревом изделия до ста пятидесяти — трёхсот градусов Цельсия для среднеуглеродистых сталей, снижением тепловложения за счёт уменьшения тока и увеличения скорости, а также применением обратноступенчатого метода для снижения остаточных напряжений.

Глава 4. Полуавтоматическая сварка (MIG/MAG)

4.1. Настройка подачи проволоки и напряжения: баланс двух параметров

Полуавтоматическая сварка плавящимся электродом в защитных газах, обозначаемая аббревиатурами MIG для инертных газов и MAG для активных, является наиболее производительным и универсальным процессом, доминирующим в промышленности, авторемонте и строительстве металлоконструкций, и её освоение требует понимания фундаментального отли-

чия от ручной дуговой сварки: если в ММА сварщик управляет током и длиной дуги одновременно через скорость подачи электрода рукой, то в полуавтомате эти параметры разделены между двумя независимыми регулировками источника питания — скоростью подачи проволоки и напряжением дуги, и именно баланс между ними определяет качество шва, стабильность переноса металла и количество разбрызгивания.

Скорость подачи проволоки является главным параметром, определяющим сварочный ток: чем быстрее подаётся проволока, тем выше ток, необходимый для её плавления, и тем больше тепловложение в изделие; эта зависимость практически линейна для данного диаметра проволоки и вылета электрода, и именно по скорости подачи оператор задаёт производительность процесса. Напряжение дуги, в свою очередь, определяет длину дуги и форму переноса металла: при низком напряжении дуга короткая, жёсткая, с частыми короткими замыканиями и глубоким проплавлением, при высоком — длинная, мягкая, с мелкокапельным переносом и широким, но мелким швом. Баланс между подачей и напряжением критичен: если подать слишком много проволоки при заданном напряжении, проволока не успевает плавиться, упирается в ванну и вызывает частые короткие замыкания с хлопками, брызгами и нестабильной дугой; если подать слишком мало при высоком напряжении, дуга становится чрезмерно длинной, металл переносится крупными каплями с обильным разбрызгиванием, и шов получается широким, плоским и пористым из-за подсоса воздуха в зону защиты.

Настройка полуавтомата начинается с выбора скорости подачи под толщину металла и диаметр проволоки: для листа толщиной один — два миллиметра и проволоки нуля целых восьми десятых миллиметра скорость устанавливается в диапазоне от трёх до пяти метров в минуту, что соответствует току от восьмидесяти до ста двадцати ампер; для металла три — шесть миллиметров и проволоки один миллиметр — от шести до десяти метров в минуту при токе от ста пятидесяти до двухсот двадцати ампер; для толстого металла и проволоки одной целой двух десятых миллиметра — от десяти до четырнадцати метров в минуту при токе свыше двухсот ампер. После установки подачи напряжение подбирается эмпирически по звуку дуги и визуальному контролю за переносом: правильная настройка даёт ровное, спокойное шипение, напоминающее звук жарящегося бекона, с минимальным разбрызгиванием и стабильной формой валика; слишком высокое напряжение проявляется свистящим звуком и обильными брызгами по краям шва, слишком низкое — треском, частыми залипаниями проволоки и неровным, выпуклым валиком с подрезами.

Вылет электрода — расстояние от торца токосъёмного наконечника до поверхности изделия — является третьим критическим параметром, который оператор контролирует в процессе работы и который напрямую влияет на эффективный ток и стабильность дуги; стандартный вылет составляет от восьми до пятнадцати миллиметров для стальной проволоки и от двенадцати до двадцати миллиметров для алюминиевой, и его увеличение сверх нормы приводит к падению тока из-за нагрева проволоки, нестабильности дуги и ухудшению газовой защиты, тогда как чрезмерно короткий вылет вызывает перегрев наконечника, его оплавление и залипание проволоки. Поддержание постоянного вылета в процессе сварки требует твёрдой руки и визуального контроля, и именно этот навык отличает опытного оператора полуавтомата от новичка, который ведёт горелку хаотично, меняя вылет от пяти до тридцати миллиметров и получая соответственно нестабильный шов с чередованием непроваров и прожогов.

4.2. Режимы переноса металла: капельный, струйный и короткой дугой

Перенос расплавленного металла от торца проволоки в сварочную ванну в полуавтоматической сварке осуществляется тремя основными механизмами, выбор которого определяется режимом сварки, составом защитного газа и требуемым качеством шва, и понимание этих механизмов позволяет оператору осознанно выбирать параметры под конкретную задачу, а не действовать методом проб и ошибок.

Короткозамкнутый перенос, или перенос короткой дугой, является наиболее распространённым режимом для сварки тонкого металла и работы во всех пространственных положениях; он возникает при низких скоростях подачи и умеренном напряжении, когда капля металла на торце проволоки растёт до тех пор, пока не коснётся поверхности ванны, происходит короткое замыкание, ток резко возрастает, электромагнитные силы сжимают шейку капли и отрывают её, после чего дуга зажигается вновь, и этот цикл повторяется с частотой от двадцати до двухсот раз в секунду. Короткозамкнутый перенос обеспечивает минимальное тепловложение, ибо основное тепло выделяется в фазе горения дуги, а в момент короткого замыкания ток хотя и высок, но продолжительность контакта мала, что позволяет варить лист толщиной от одного миллиметра без прожогов и формировать швы в вертикальном и потолочном положениях, где другие виды переноса невозможны из-за стекания ванны; однако этот режим сопровождается характерным треском и умеренным разбрызгиванием, которое снижается при правильной настройке индуктивности источника питания, сглаживающей пиковые токи замыкания и делающей отрыв капли более плавным.

Струйный перенос возникает при высоких скоростях подачи и повышенном напряжении в среде защитных газов с высоким содержанием аргона; металл переходит в ванну в виде мельчайших капель, движущихся с большой скоростью вдоль оси дуги без коротких замыканий, что обеспечивает ровный, плотный шов с минимальным разбрызгиванием, глубоким проплавлением и высокой производительностью, и является основным режимом для сварки толстого металла в нижнем и горизонтальном положениях. Струйный перенос требует токов выше определённого порога — так называемого критического тока, который для стальной проволоки диаметром один миллиметр составляет около двухсот двадцати ампер, для одной целой двух десятых миллиметра — около двухсот семидесяти ампер, и ниже этого порога струйный перенос невозможен, а дуга работает в режиме крупнокапельного переноса с обильным разбрызгиванием; в чистом углекислом газе струйный перенос практически не достигается из-за физических свойств дуги в CO_2 , и для его реализации необходимы смеси аргона с углекислым газом, содержащие не менее восьмидесяти процентов аргона.

Крупнокапельный перенос — промежуточный режим между короткозамкнутым и струйным, возникающий при токах ниже критического в смесях с высоким содержанием аргона или при сварке в углекислом газе на средних токах; металл переносится крупными каплями, которые отрываются от торца проволоки под действием силы тяжести и электромагнитных сил, и этот режим сопровождается значительным разбрызгиванием, неровным швом и нестабильной дугой, поэтому применяется редко, преимущественно при сварке в углекислом газе, где другие режимы недоступны, и оператор мирится с брызгами ради экономии на защитном газе. Управление крупнокапельным переносом требует поддержания короткой дуги и высокой скорости сварки, чтобы капли не успевали остывать и образовывать наплывы, и даже при оптимальной настройке качество шва уступает короткозамкнутому и струйному переносам.

Выбор режима переноса диктуется задачей: для тонкого металла и пространственных положений — короткозамкнутый перенос с низкой подачей и умеренным напряжением; для толстого металла в нижнем положении с требованиями к производительности и качеству — струйный перенос в смесях аргона с углекислым газом на токах выше критического; для бюджетных работ на конструкционных сталях, где качество шва вторично, а стоимость газа критична — крупнокапельный перенос в чистом углекислом газе с принятием неизбежного разбрызгивания и последующей зачистки.

4.3. Сварка в углекислоте и в смесях: влияние газа на шов

Защитный газ в полуавтоматической сварке является не просто средой, вытесняющей воздух из зоны дуги, но активным участником металлургического процесса, определяющим форму проплавления, количество разбрызгивания, механические свойства шва и экономику

процесса, и выбор между чистым углекислым газом и смесями аргона с углекислотой является одним из ключевых решений, принимаемых сварщиком или технологом перед началом работ.

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «Литрес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на Литрес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.