

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Технологии металлов»

ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Методические рекомендации к лабораторным работам
для студентов всех специальностей и направлений подготовки
очной и заочной форм обучения*

СВАРКА



Могилев 2020

УДК 621.7
ББК 32.9
Т38

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Технологии металлов» «21» мая 2020 г., протокол № 9

Составители: канд. техн. наук Д. И. Якубович;
канд. техн. наук А. С. Федосенко

Рецензент канд. техн. наук, доц. А. П. Прудников

В методических рекомендациях изложены сущность процесса сварки, классификация основных способов сварки плавлением. Представлена методика проведения лабораторных работ для студентов технических специальностей, обучающихся по российским и белорусским образовательным программам.

Учебно-методическое издание

ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ответственный за выпуск	Д. И. Якубович
Корректор	Е. А. Галковская
Компьютерная верстка	Е. В. Ковалевская

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 66 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.
Пр-т Мира, 43, 212022, Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2020

Содержание

1 Сущность процесса и классификация основных способов сварки плавлением.....	4
2 Лабораторная работа № 1. Ручная дуговая сварка.....	10
3 Лабораторная работа № 2. Дуговая сварка в защитном газе.....	16
4 Лабораторная работа № 3. Сварка давлением.....	23
5 Лабораторная работа № 4. Сварка пластмасс.....	30
Список литературы.....	37

1 Сущность процесса и классификация основных способов сварки плавлением

1.1 Физическая сущность процесса сварки

При сварке плавлением под действием источника тепла кромки металла свариваемых элементов (основной металл) и, если необходимо, дополнительный металл (сварочная проволока и др.) расплавляются в месте соединения, совместно образуя сварочную ванну. В ней происходят различные физико-химические взаимодействия. При охлаждении, по мере удаления источника тепла, металл сварочной ванны кристаллизуется, образуя сварной шов, соединяющий свариваемые элементы.

Рядом со швом в основном металле под действием тепла, распространяющегося из зоны сварки, происходят структурные изменения (зона термического влияния). Таким образом, сварное соединение, т. е. металл шва и зоны термического влияния, характеризуется разнообразием структур, а значит, и свойств. Последующая термическая обработка позволяет уменьшить это различие.

Задачей сварочной операции является получение механически неразъемных соединений, подобных по свойствам свариваемому материалу. Это может быть достигнуто в том случае, если по своей природе сварное соединение будет максимально приближаться к свариваемому металлу.

Свойства твердых тел, в том числе и механические (прочность, упругость, пластичность и др.), определяются их внутренними энергетическими связями, т. е. связями межмолекулярного, межатомного и ионного взаимодействия.

В металлах, которые относятся к кристаллическим твердым телам, внутренние связи определяются единым энергетическим полем ионизированных атомов (находящихся в узлах кристаллической решетки) и подвижных электронов.

Для получения в сварном соединении таких же энергетических связей, как и в свариваемом материале, необходимо пограничные слои одной свариваемой детали приблизить к пограничным слоям второй на такое расстояние, при котором между ними возникнет единое энергетическое поле.

Это технологический процесс, с помощью которого изготавливаются все основные конструкции гидротехнических сооружений, паровых и атомных электростанций, автодорожные, городские и железнодорожные мосты, вагоны, надводные и подводные корабли, строительные металлоконструкции, всевозможные подъемные краны, крупные узлы машиностроительных конструкций, автомобили, ракеты, искусственные спутники земли, электрическая и радиотехническая аппаратура и др.

Многообразие свариваемых конструкций и свойств материалов, используемых для изготовления, заставляют применять различные способы сварки, разнообразные сварочные источники теплоты.

При сварке плавлением в качестве источника теплоты используют различные источники: высокотемпературное газовое пламя (газовая сварка); электрическую дугу (электродуговая сварка); теплоту, выделяемую в шлаковой ванне проходящим через нее электрическим током (электрошлаковая сварка); теплоту струи ионизированных газов плазмы (плазменная сварка); теплоту, выделяемую в металле в результате преобразования в нее кинетической энергии электронов (электронно-лучевая сварка); теплоту когерентного светового луча лазера (лазерная сварка) и некоторые другие.

Из способов сварки плавлением наиболее широко используется электродуговая сварка. Она имеет много разновидностей в зависимости от способа защиты зоны сварки от воздуха и металлургических взаимодействий в ней и в металле сварочной ванны.

1.2 Классификация способов сварки плавлением

Для получения неразъемного соединения свариваемые детали необходимо сблизить на расстояние ($A \approx 4 \cdot 10^{-10}$ м), при котором между ними произойдет преодоление энергетического барьера потенциальной энергии системы атомов поверхностных слоев и образуются общие межатомные, межионные и металлические связи. Сближению деталей до нужного расстояния препятствуют неровности поверхности, а также находящиеся на ней загрязнения и оксидные пленки. Для преодоления их влияния необходимо затратить энергию, которая при сварке передается свариваемым поверхностям двумя физическими процессами: нагревом и давлением.

На рисунке 1 показан график, характеризующий соотношения между температурой и давлением, при которых возможно образование сварного соединения (конкретные численные значения зависят от характеристик свариваемого металла). Диапазон соотношений достаточно велик. Металл можно вообще не нагревать, а создать в зоне сварки высокое давление (точка *a*). При этом активация поверхностей свариваемых деталей и образование сварного соединения происходит за счет значительных пластических деформаций. По этой схеме образуются соединения при холодной сварке, сварке взрывом. Если металл нагреть до определенной температуры, то для образования сварного соединения можно приложить меньшее давление (точка *б*). Этой точке, например, соответствует сварка трением, при которой тепло выделяется за счет трения при вращении одной из деталей и одновременном их сдавливании. При дальнейшем увеличении температуры усилие сжатия деталей, необходимое для сварки, продолжает уменьшаться. Например, при относительно невысоких давлениях и температуре нагрева $T = 0,7 T_{пл}$ осуществляется диффузионная сварка (точка *в*).

При нагреве металла до температуры плавления (точка z) для получения сварного соединения прикладывать давление нет необходимости. Расплавленный жидкий металл растекается по активированной нагревом поверхности твердого металла, смачивает ее и приближается на расстояние, достаточное для установления общих связей. После охлаждения образуется неразъемное соединение.

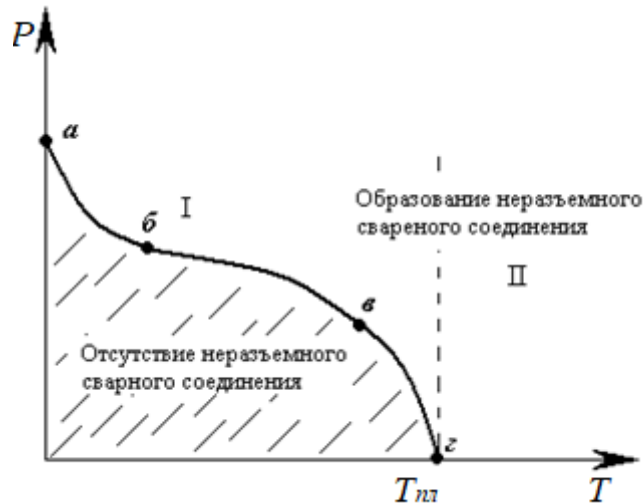


Рисунок 1 – Соотношения между температурой и давлением, при которых возможно образование сварного соединения

Таким образом, все способы сварки делятся на две большие группы: сварка давлением и сварка плавлением. Для первой группы (см. рисунок 1, область I) характерно наличие усилия сжатия свариваемых деталей, которое обеспечивает пластическое деформирование металла в зоне сварки. Для второй группы (см. рисунок 1, область II) сварка производится без давления, а нагрев металла производится выше температуры его плавления.

Сваркой давлением могут соединяться металлы, пластмассы, стекло, керамика (например, диффузионной сваркой). Сварка плавлением обычно используется для соединения металлов.

В зависимости от источника нагрева металла сварка плавлением делится на следующие виды [1–3]:

- 1) дуговая; источник нагрева металла – свободно горящая между электродом и изделием электрическая дуга;
- 2) плазменная; источник нагрева металла – сжатая электрическая дуга, через которую со сверхзвуковой скоростью продувается газ, приобретающий свойства плазмы;
- 3) электрошлаковая; источник нагрева металла – расплавленный флюс (шлак), по которому протекает электрический ток;
- 4) электронно-лучевая; источник нагрева металла – кинетическая энергия электронов, движущихся в вакууме под действием мощного электрического поля;

5) лазерная; источник нагрева металла – луч оптического квантового генератора (лазера) в световом или инфракрасном диапазоне;

б) газовая; источник нагрева металла – высокотемпературное пламя, образующееся при сгорании газа в смеси с кислородом.

Первые пять способов иногда называют способами электрической сварки плавлением. Последний относят к газопламенной обработке металлов, т. к. электрическая энергия для его осуществления не используется. Наиболее распространенной среди способов сварки плавлением является дуговая.

Для получения качественного сварного соединения расплавленный металл в процессе сварки необходимо защищать от окружающей среды. В зависимости от применяемой защиты различают следующие способы сварки:

– покрытыми электродами. Роль защиты выполняет покрытие электрода, разлагающееся при нагреве;

– под флюсом. Защита осуществляется с помощью специального порошка (флюса), который подается в зону сварки из бункера;

– в защитных газах. Защита осуществляется с помощью газа, который, как правило, подается через сопло сварочной горелки;

– порошковой проволокой. Функцию защиты выполняет предварительно засыпанный в трубчатую сварочную проволоку порошок, который при нагреве разлагается с образованием газа и шлака;

– в вакууме. Расплавленный металл изолирован от окружающей среды вакуумом, который создается в камере, где осуществляется сварка.

Еще одним признаком классификации, который чаще всего используется применительно к дуговой сварке, является степень механизации процесса. В процессе сварки основными операциями являются подача электрода или проволоки в зону сварки и перемещение дуги вдоль свариваемых кромок. Если обе операции выполняются сварщиком вручную, сварка называется ручной; если механизирована подача проволоки, сварку называют механизированной (иногда полуавтоматической). Если механизированы обе операции – подача проволоки и перемещение дуги, сварку называют автоматической.

Таким образом, полное название известного способа ручной сварки будет таковым: ручная дуговая сварка покрытыми электродами. В полное название включены все три признака классификации: по степени механизации – ручная; по способу защиты – покрытыми электродами; по источнику нагрева – дуговая.

1.3 Функциональные возможности инверторных источников питания

Объем наплавленного металла, полученный дуговой сваркой, во всем мире превышает 90 %. Источники питания сварочной дуги являются одним из основных элементов технологической цепи, в значительной степени влияющим на качество получаемых сварных соединений, а также на технико-экономические показатели процесса дуговой сварки в целом.

Полупроводники открыли конструкторам возможность создать новые сварочные источники. Сначала в сварочных выпрямителях были применены кремниевые диоды, затем появились тиристоры и, наконец, транзисторы, используемые в современных инверторных источниках. Однако, несмотря на применение новой элементной базы, сварочные источники питания оставались по-прежнему достаточно тяжелыми и громоздкими, т. к. их основной вес был сосредоточен в трансформаторе. Из электротехники [4] известна формула, по которой определяется размер сердечника трансформатора:

$$S = \frac{U_{20} \cdot 10^4}{4,44 f w_2 B}, \quad (1)$$

где U_{20} – напряжение холостого хода трансформатора;
 w_2 – количество витков вторичной обмотки;
 B – индукция в сердечнике;
 f – частота.

Из формулы (1) видно, что уменьшить сечение сердечника, а следовательно, и вес трансформатора можно за счет снижения U_{20} или увеличения w_2 , B , f . По пути уменьшения U_{20} шли разработчики традиционных бытовых трансформаторов. Однако при $U_{20} < 50$ В зажигание дуги становится почти невозможным, поэтому уменьшение U_{20} дает относительно небольшое снижение веса, причем в ущерб стабильности при зажигании дуги. Увеличение w_2 также почти ничего не дает, т. к. одновременно увеличивается w_1 и, снижая вес сердечника, мы увеличиваем вес отмоток. Увеличить индукцию B не позволяют характеристики современных трансформаторных сталей. Практически единственным путем уменьшения размеров сердечника явилось увеличение частоты f . Именно по этому пути пошли разработчики инверторных источников питания.

Первое поколение аппаратов серии Aristo появилось в 1988 г. Были предложены новые возможности:

- программируемое микропроцессорное управление сварочным током и всем процессом сварки;
- возможность использовать одно и то же оборудование для различных видов сварки (MIG, TIG, MMA);
- «синергетические линии», оптимизирующие процесс сварки;
- импульсный режим MIG сварки;
- обратная связь управления сварочными параметрами, что гарантирует лучшую точность и повторяемость;
- улучшенные функции начала и конца сварки.

Очевидно, что отличные сварочные характеристики и возможность оптимизировать процесс в каждой конкретной ситуации улучшают качество сварки. Уменьшается разбрызгивание и улучшается внешний вид шва.

Принципиальное отличие инверторных источников питания от источников, выполненных по традиционной схеме, заключается в том, что в инверторах сетевое напряжение выпрямляется и с помощью электронных ключей

(IGBT модулей или MOSFET транзисторов) преобразуется в переменное напряжение с частотой выше 20 кГц, которое питает сварочный трансформатор с дальнейшим выпрямлением сварочного тока.

При этом за счет высокой частоты переменного напряжения, питающего сварочный трансформатор, его размеры и масса снижаются в 5–10 раз. Существенно снижается реактивная составляющая потребляемой мощности, и, соответственно, повышается коэффициент мощности до значений 0,8...0,9 против значений 0,5...0,7 для традиционных источников. При этом КПД инверторного источника достигает 85...95 %, что обеспечивает существенную экономию энергопотребления – снижение полной потребляемой мощности и фазных токов, снижение капитальных вложений в реконструкцию электросетей, инвестиций на строительство новых силовых подстанций. Экономия только активной потребляемой мощности в процессе сварки за счет повышения КПД составляет 15...30 % по сравнению с традиционными источниками. Из-за существенно более низких токов в первичной сети снижаются расходы на токоподводящий кабель, электрораспределительную аппаратуру [1–11].

1.4 Техника безопасности

Использование средств индивидуальной защиты. Сварочная дуга и ее отраженное излучение оказывают вредное воздействие на глаза. Прежде чем приступать к сварке или к наблюдению за сварочными работами, следует соответствующим образом защитить глаза и лицо. Также необходимо обратить внимание на различные требования в отношении затемнения светофильтра маски, т. к. сила сварки изменяется.

Излучение дуги и брызги расплавленного металла вызывают ожоги незащищенных участков кожи. При выполнении сварки всегда следует надевать защитные рукавицы, спецодежду и обувь.

Как и при сварке покрытыми электродами, необходимо обеспечить защиту сварщика от излучения дуги и брызг расплавленного металла. Помимо того, нужно также выполнять правила обращения с баллонами, заполненными газами.

При сварке в закрытых помещениях необходимо помнить, что СО₂, обладая большей плотностью, чем воздух, может скапливаться вблизи пола и оказывать вредное воздействие на самочувствие сварщика.

Следует соблюдать осторожность при работе с деталями, нагретыми при сварке. Например, сопло газовой горелки, конец сварочного электрода и заготовка нагреваются во время строжки до температуры воспламенения.

Ни в коем случае не держать устройство на плече и не подвешивать на ремне для переноски во время сварки.

Уложить кабели горелки и заземления как можно ближе друг к другу на всем их протяжении. Распрямить петли на кабелях, если таковые имеются. Это снизит воздействие вредных магнитных полей.

Не оборачивать кабели вокруг тела.

Не допускать непосредственного контакта сетевого кабеля с водой.

Убедиться, что кабели или сварочные горелки не передавлены тяжелыми предметами и не соприкасаются с острыми краями или горячими поверхностями.

Ни в коем случае не прикасаться одновременно к заготовке, сварочному электроду, электродной проволоке или контактному наконечнику.

2 Лабораторная работа № 1. Ручная дуговая сварка

Цель работы: определить величину коэффициентов расплавления α_p , наплавки α_n и потерь на угар и разбрызгивание φ в процессе наплавки в зависимости от марки электрода и силы тока опытным путем.

Оборудование и материалы

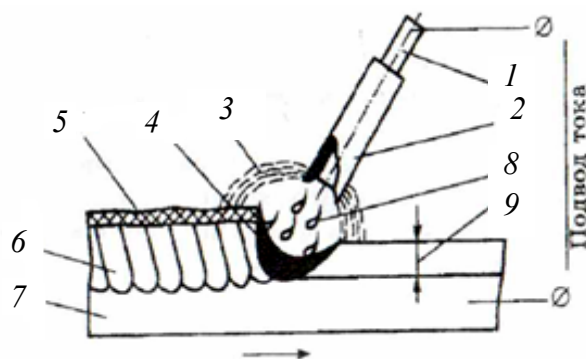
- 1 Сварочный аппарат ручной дуговой сварки Minarc 220.
- 2 Часы технические или секундомер.
- 3 Весы с разновесами.
- 4 Масштабная линейка 500 мм.
- 5 Electroды марок ОЭС-4 и УОНИИ-13/45 по 1 шт.
- 6 Пластины из углеродистой стали – 2 шт.
- 7 Сосуд с водой, клещи.

2.1 Общие сведения

2.1.1 Сущность способа. Ручную дуговую сварку выполняют штучными электродами, которые сварщик подает к свариваемому изделию и перемещает в нужном направлении. При сварке по методу Бенардоса применяют угольные или графитовые электроды диаметром 6...30 мм, длиной 200...300 мм. Для сварки по методу Славянова используют металлические электроды, имеющие диаметр 1,6...12 мм и длину 150...450 мм. Сварку в инертных газах осуществляют вольфрамовыми электродами диаметром 1...6 мм.

Для сварки сталей электроды изготавливают из стальной сварочной проволоки по ГОСТ 2246–70, которым предусмотрено 75 ее марок. Из них шесть изготавливают из низкоуглеродистой, 30 из легированной и 39 из высоколегированной сталей. Все они имеют ограниченное содержание углерода, серы и фосфора. Дуговая сварка стержнями из стальной проволоки (голыми электродами) не применяется из-за плохой устойчивости дуги. Для повышения устойчивости горения дуги на электродные стержни наносят так называемые тонкие, или стабилизирующие, покрытия. В их состав входят соединения щелочных (калия, натрия) или щелочно-земельных (кальция) металлов, которые в дуге легче ионизируются,

чем кислород и азот воздуха, и этим улучшают устойчивость горения дуги. Однако электроды с тонкими покрытиями не обеспечивают высоких механических свойств металла шва, который сильно насыщается азотом и кислородом воздуха. Для защиты расплавленного металла от взаимодействия с воздухом на электродные стержни наносят толстые, или качественные, покрытия (рисунок 2).



1 – электродный стержень; 2 – покрытие электрода; 3 – газовая атмосфера дуги; 4 – сварочная ванна; 5 – затвердевший шлак; 6 – закристаллизовавшийся металл шва; 7 – свариваемое изделие; 8 – капли расплавленного электродного металла; 9 – глубина проплавления

Рисунок 2 – Схема ручной дуговой сварки

Их составляющими, кроме стабилизирующих и клеящих (жидкое стекло), являются шлако- и газообразующие вещества и раскислители. Для получения наплавленного металла специального состава и свойств в них вводят также различные легирующие элементы.

Шлакообразующими веществами являются оксиды TiO_2 , SiO_2 , MnO , карбонаты $CaCO_2$, $MgCO_3$ и другие соединения CaF_2 , вносимые в покрытия в виде минералов (кремнезема, мрамора) и руд (титановой, марганцевой). При плавлении покрытия они образуют шлаки, которые покрывают капли электродного металла и металл шва и этим защищают расплавленный металл от азота и кислорода воздуха. После остывания металла шва и шлака шлаковая корка легко удаляется с поверхности шва.

В качестве газообразующих веществ используют различные органические соединения, например, электродную целлюлозу, древесную муку и пр. При их сгорании вокруг дуги образуются защитные газы в виде оксидов углерода, водорода и пр., которые предохраняют расплавленный металл от взаимодействия с воздухом.

Для раскисления применяют элементы, которые обладают большим сродством с кислородом, чем железо (марганец, титан, кремний, алюминий). Находясь в сварочной ванне, они отбирают кислород от оксидов железа, образуя нерастворимые в железе оксиды соответствующих элементов, которые затем всплывают в шлак.

Легирующими элементами являются хром, молибден, ванадий и др. В покрытия их вводят, если электроды предназначены для сварки легированных сталей, получения износостойких наплавов и пр.

Для изготовления покрытых электродов все кусковые материалы шихты покрытия дробят, размалывают, просеивают и смешивают с жидким стеклом. Полученную массу наносят на электродные стержни. Затем электроды просушивают и прокаливают.

По назначению выделяют четыре группы покрытых электродов для сварки сталей: углеродистые (У), легированные (Л), теплоустойчивые (Т) и высоколегированные (В). Пятую группу составляют электроды для наплавки, для создания поверхностных слоев с особыми свойствами (Н). В зависимости от механических и других свойств наплавленного металла эти группы электродов подразделяются на типы. Каждому типу может соответствовать одна или несколько марок электродов.

В условное обозначение электродов входит тип и марка. Для сварки углеродистых и легированных конструкционных сталей тип электрода характеризует механические свойства металла шва сварного соединения. Например, Э42. Буква «Э» обозначает электрод для дуговой сварки, а цифры обозначают минимально гарантируемый предел прочности металла шва.

В соответствии с ГОСТ 9466–75 марка электрода присваивается организацией-разработчиком по техническим условиям и паспортам, например, УОНИИ-13/45, ЦД-20, ОЗН-300У и др. Каждому типу электродов могут соответствовать одна или несколько марок. Структура условного обозначения электродов достаточно сложна. В нее, кроме типа и марки, входят обозначения назначения электродов, обозначение толщины и вида покрытия, характеристика наплавленного металла и металла шва, род применяемого тока при сварке, полярность, допустимые пространственные положения при сварке и другие с указанием соответствующих ГОСТов.

Основными характеристиками процесса плавления электрода являются количество расплавленного электродного металла q_p и относительные потери ψ (коэффициент потерь) электродного металла в процессе сварки из-за разбрызгивания, испарения и окисления. При установившемся процессе сварки плавление электрода под действием дуги происходит равномерно по следующей приближенной зависимости, установленной опытным путем при большой плотности тока:

$$q_p = \alpha_p I t, \quad (2)$$

где α_p – коэффициент расплавления, определяемый опытным путем, г/(А·с);

I – сварочный ток, А;

t – время горения дуги, с;

q_p – масса расплавленного электрода (учитывается только масса металлического стержня без покрытия), г.

Коэффициент расплавления зависит от материала электродного стержня и состава обмазки, покрывающей его поверхность, от рода и полярности тока и колеблется в пределах 8...14 г/(А·ч). При сварке на постоянном токе он несколько повышается.

Потери наплавленного металла, определенные разностью массы q_p расплавленного металла электрода и массы q_n металла, образующего шов, определяются коэффициентом ϕ .

$$\phi = \frac{q_p - q_n}{q_p} 100\% . \quad (3)$$

Коэффициент ϕ зависит от стабильности процесса сварки и особенностей отрыва и переноса капель через дуговой промежуток, а масса наплавленного металла на изделие приближенно определяется как

$$q_n = \alpha_n It, \quad (4)$$

где α_n коэффициент наплавки, г/(А·ч).

2.1.2 Выбор силы тока сварки и электродов. При ручной дуговой сварке сварочные электроды должны быть правильно подключены к полюсам. Как правило, держатель электрода подключен к положительному разъему, кабель заземления – к отрицательному.

Кроме того, необходимо правильно отрегулировать значение сварочного тока, чтобы обеспечить надлежащее плавление материала наполнителя и покрытия для эффективной сварки. В таблицах 1 и 2 приведены размеры электродов, используемых со сварочным аппаратом Minarc 220, соответствующие значения тока и его техническая характеристика.

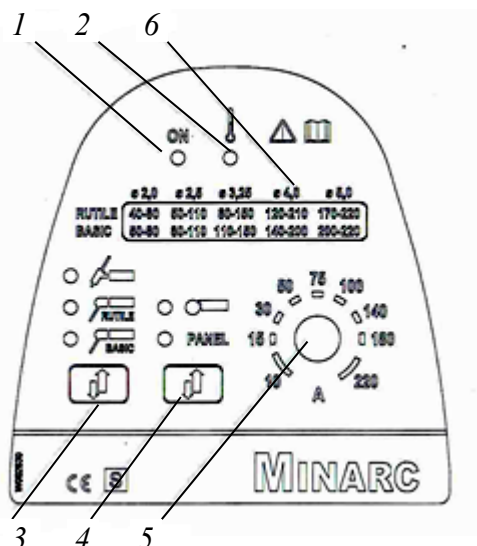
Таблица 1 – Соответствие электродов силе тока

Показатель	Значение					
	1,6	2,0	2,5	3,25	4,0	5,0
Диаметр электрода, мм	1,6	2,0	2,5	3,25	4,0	5,0
Fe-Rutile, А	30...60	40...80	50...110	80...150	120...210	170...220
Fe-Basic, А	30...55	50...80	80...110	110...150	140...200	200...220

Таблица 2 – Технические характеристики Minarc 220

Технические характеристики	Значение
Напряжение сети, В	До 400
Номинальная мощность, кВт	7,2
Пределы регулирования сварочного тока, А	10...220
Напряжение холостого хода, В	85
Диаметр электродов, мм	1,5...5,0
Мощность холостого хода, Вт	40
Масса, кг	9,2

2.1.3 Элементы управления и индикаторы Minarc 220. Minarc 220, предназначенный для эксплуатации в трехфазной электрической сети, представляет собой компактный и эффективный аппарат для сварки MMA/TIG с питанием от источника постоянного тока (рисунок 3). Сверхлегкий аппарат с выходом тока до 220 А.



1 – индикатор режима ожидания. В модели VRD это индикатор безопасного режима устройства снижения напряжения; 2 – индикатор перегрева; 3 – кнопка выбора способа сварки (MMA или TIG); 4 – кнопка выбора способа регулирования тока: регулирование с панели или пульта дистанционного управления; 5 – регулятор сварочного тока; 6 – таблица значений режимов сварки

Рисунок 3 – Панель управления Minarc 220

Порядок выполнения работы

1 Взвесить пластины, на которые будет производиться наплавка, с точностью до 0,5 г. Результаты занести в таблицу исходных данных (см. форму отчета).

2 Замерить диаметр и длину электродов, которыми будет производиться наплавка. Данные замеров занести в таблицу. Замеры производить по металлической части электродов.

3 Произвести наплавку сварного шва на пластины:

- электродом ОЗС-4 на первую пластину;
- электродом УОНИИ-13/45 на вторую пластину.

При наплавке следует замерить среднее значение силы тока и длительность процесса наплавки в секундах. Результаты измерений занести в таблицу опытных данных. При наплавке следует сжигать не менее 2/3 длины электрода на короткой дуге.

4 После наплавки пластину при помощи клещей охладить в сосуде с водой, а затем зачистить сварной шов от шлака, брызг до металлического блеска и взвесить. Результат внести в таблицу опытных данных.

5 Замерить длину огарка электрода, оставшегося после наплавки и занести результат в таблицу опытных данных.

6 Выполнить необходимые расчеты по зависимостям, приведенным в таблице 3.

Таблица 3 – Экспериментальные данные

Наименование	Размерность	Данные измерений	
		Первая пластина	Вторая пластина
<i>Исходные данные</i>			
Марка электрода		ОЗС-4	УОНИИ-13/45
Диаметр электрода d	см		
Длина электрода наплавки l_n	см		
Масса пластины наплавки q_1	г		
<i>Данные опыта</i>			
Время горения дуги t	с		
Сварочный ток при наплавке I	А		
Длина огарка электрода l_k	см		
Масса пластины после наплавки q_2	г		
<i>Расчетные данные</i>			
Для расплавленного электрода $l_p = l_n - l_k$	см		
Масса расплавленного электрода $q_p = l_p \frac{\rho d^2}{4} \cdot \gamma$, (где $\gamma = 7,80$ г/см ²)	г		
Масса наплавленного металла $q_n = q_2 - q_1$	г		
Коэффициент расплавления $\alpha_p = \frac{q_p \cdot 3600}{It}$	г/(А·ч)		
Коэффициент наплавки $\alpha_n = \frac{q_p \cdot 3600}{It}$	г/(А·ч)		
Потери на угар и разбрызгивание $\varphi = \frac{q_p - q_n}{q_p} \cdot 100 \%$	%		

Содержание отчета

- 1 Титульный лист.
- 2 Цель работы.
- 3 Таблица 3 по результатам работы.
- 4 Необходимые вычисления расчетной части таблицы 3. Оценить результаты.

Контрольные вопросы

- 1 Почему не производят ручную дуговую сварку проволокой без специального покрытия?
- 2 Состав и назначение покрытия электродов.
- 3 Состав и назначение газообразующих элементов в покрытии.
- 4 Состав и назначение шлакообразующих элементов в покрытии.
- 5 Способы дуговой сварки, сущность и схемы процессов.
- 6 В чем физическая сущность процесса сварки?
- 7 Что означают цифры, указанные в типе электрода?
- 8 От каких факторов зависит коэффициент расплавления?
- 9 В чем отличия инверторных источников питания сварочной дуги от трансформатора?
- 10 Устройство инверторного источника питания сварочной дуги.

3 Лабораторная работа № 2. Дуговая сварка в защитном газе

Цель работы: ознакомиться с технологией полуавтоматической сварки в среде углекислого газа, а также с устройством сварочного полуавтомата Kemract MIG 2530.

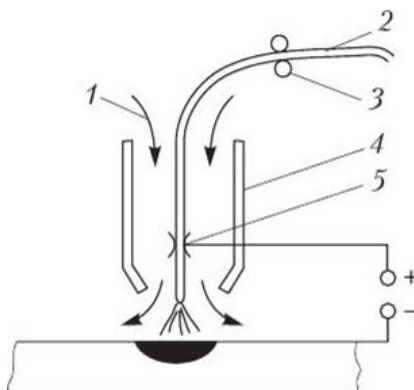
Оборудование и материалы

- 1 Сварочный полуавтомат Kemract MIG 2530.
- 2 Проволока сварочная Св-08Г2С (0,7...1,2 мм).
- 3 Баллон с углекислотой.
- 4 Пластины из стали (4 × 100 × 100 мм).

3.1 Общие сведения

3.1.1 Сварка в углекислом газе. Сварка в СО₂ является основным и наиболее распространенным способом сварки плавлением на машиностроительных предприятиях. Она экономична, обеспечивает достаточно высокое качество швов, особенно при сварке низкоуглеродистых сталей, требует более низкой квалифи-

кации сварщика, чем ручная, позволяет выполнять швы в различных пространственных положениях. Наиболее распространена сварка полуавтоматами. Схема процесса приведена на рисунке 4. Защитный газ 2, выходя из сопла 1, вытесняет воздух из зоны сварки. Сварочная проволока 3 подается вниз роликами 4, которые вращаются двигателем подающего механизма. Подвод сварочного тока к проволоке осуществляется через скользящий контакт 5.

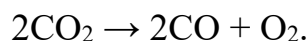


1 – подача защитного газа; 2 – сварочная проволока; 3 – подающие ролики; 4 – сопло сварочной горелки; 5 – скользящий токоподвод

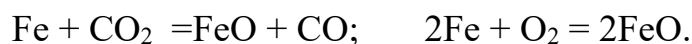
Рисунок 4 – Схема процесса сварки в защитных газах плавящимся электродом

Учитывая, что защитный газ активный и может вступать во взаимодействие с расплавленным металлом, сварка в CO_2 имеет ряд особенностей.

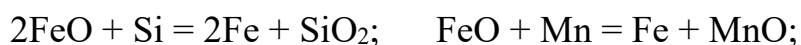
В зоне дуги углекислый газ диссоциирует:



Углекислый газ и образовавшийся кислород взаимодействуют с расплавленным металлом сварочной ванны с образованием оксида железа:



Окисление сварочной ванны ухудшает механические свойства шва и в первую очередь его пластичность. Для предотвращения этого процесса в сварочную ванну вводят элементы-раскислители, хорошо взаимодействующие с кислородом. Обычно это марганец и кремний. Раскислители выводят в шлак избыток кислорода и на участках сварочной ванны, имеющих пониженную температуру, восстанавливают железо из оксидов:



Введение раскислителей в сварочную ванну обычно осуществляется через проволоку. Поэтому при сварке в CO_2 используется сварочная проволока, легированная марганцем и кремнием. При сварке низкоуглеродистых сталей это обычно проволока марки Св-08Г2С, содержащая 0,08 % С; 2 % Мп и 1 % Si.

Однако, несмотря на введение раскислителей, характеристики пластичности шва получаются несколько ниже, чем при сварке под флюсом или ручной сварке электродами с основным покрытием. Поэтому сварку в CO_2 не рекомендуют использовать для ответственных конструкций, работающих при низких температурах в условиях переменных и ударных нагрузок.

3.1.2 Технология полуавтоматической сварки. Сварку разрешается выполнять очищенной проволокой без следов масла, загрязнений и ржавчины. Для сварки ответственных соединений рекомендуется принять «осушенную» или «сварочную» углекислоту. Допускается использование для сварки «пищевой» углекислоты, но поскольку она содержит повышенное количество влаги, обязательна установка осушителя. Иначе диссоциация паров воды в дуге и образование атомарного водорода приведет к его растворению в расплавленном металле и формированию пор в шве в процессе кристаллизации сварочной ванны.

При недостаточном расходе CO_2 в зону сварки проникает воздух. В результате в сварочную ванну попадает азот, что вызывает не только образование пор, но увеличивает твердость и хрупкость металла шва. Аналогичная ситуация может возникнуть при сварке на сквозняках или на ветру.

Сварка в углекислом газе выполняется при значительно больших плотностях тока (более 100 А/мм²), чем при сварке покрытыми электродами ($i \approx 10 \dots 12$ А/мм²). Сварка ведется в жесткой и частично в возрастающей зонах вольт-амперной характеристики дуги. Это обеспечивает в совокупности с дополнительными технологическими мероприятиями переход на мелкокапельный и даже струйный перенос металла. В результате улучшается качество сварного шва и уменьшается разбрызгивание.

Условия формирования шва существенно зависят от режима сварки. Так, повышение напряжения на дуге (например, при увеличении длины дуги) приводит к увеличению времени контакта капли расплавленного металла с газом и увеличению степени выгорания раскислителей.

Одновременно с этим уменьшается значение коэффициентов плавления и наплавки вследствие увеличения потерь тепла на излучение в окружающее пространство, а также потерь металла на разбрызгивание и угар.

3.1.3 Сварка в инертных газах. Наиболее распространенным инертным газом, используемым при сварке для защиты расплавленного металла, является аргон (Ar), который почти не вступает в химические взаимодействия с расплавленным металлом и другими газами в зоне горения дуги. Будучи на 38 % тяжелее воздуха, он вытесняет его из зоны сварки и надежно изолирует сварочную ванну от контакта с атмосферой.

Для сварки используются две схемы процесса: сварка плавящимся и неплавящимся электродами. Схема процесса сварки плавящимся электродом практически не отличается от схемы процесса сварки в CO_2 .

Сварка в Ar плавящимся электродом используется при сварке нержавеющей стали и алюминия. Однако объем ее применения относительно невелик. Большее распространение при сварке в Ar получила схема сварки неплавящимся электродом (рисунок 5).

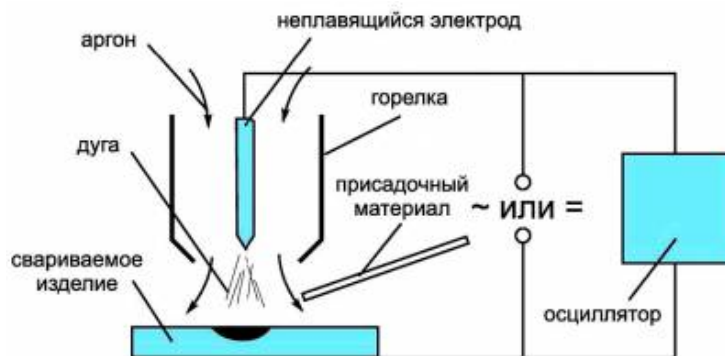


Рисунок 5 – Схема процесса сварки в защитных газах неплавящимся электродом

Дуга горит между изделием и электродом, изготовленным из материала, имеющего высокую температуру плавления (обычно из вольфрама). Электрод расположен в горелке, через сопло которой вдувается защитный газ (аргон). Присадочный материал подается в зону дуги со стороны и в электрическую цепь не включен.

Сварка может быть ручной, когда горелка и присадочный пруток находятся в руках сварщика, и автоматической, когда горелка и присадочная проволока перемещаются без непосредственного участия сварщика.

При этом способе сварки зажигание дуги, в отличие от сварки плавящимся электродом, не может быть выполнено путем касания электродом изделия по двум причинам. Во-первых, аргон обладает достаточно высоким потенциалом ионизации, поэтому ионизировать дуговой промежуток за счет искры между изделием и электродом достаточно сложно. Во-вторых, касание изделия вольфрамовым электродом приводит к его загрязнению и интенсивному оплавлению. Поэтому при сварке неплавящимся электродом для зажигания дуги параллельно источнику питания подключается устройство, которое называется осциллятор.

3.1.4 Элементы управления и индикаторы Kemract MIG 2530. Установки Kemract MIG 2530 представляют собой компактные инверторные источники питания, предназначенные для полуавтоматической сварки (МИГ) при ремонтной и монтажной работе. Установка включает в себе источник тока и проволокоподающий механизм (рисунок 6). Мощность источника питания управляется транзисторами IGBT с рабочей частотой около 30 кГц. Основные характеристики аппарата представлены в таблице 4.

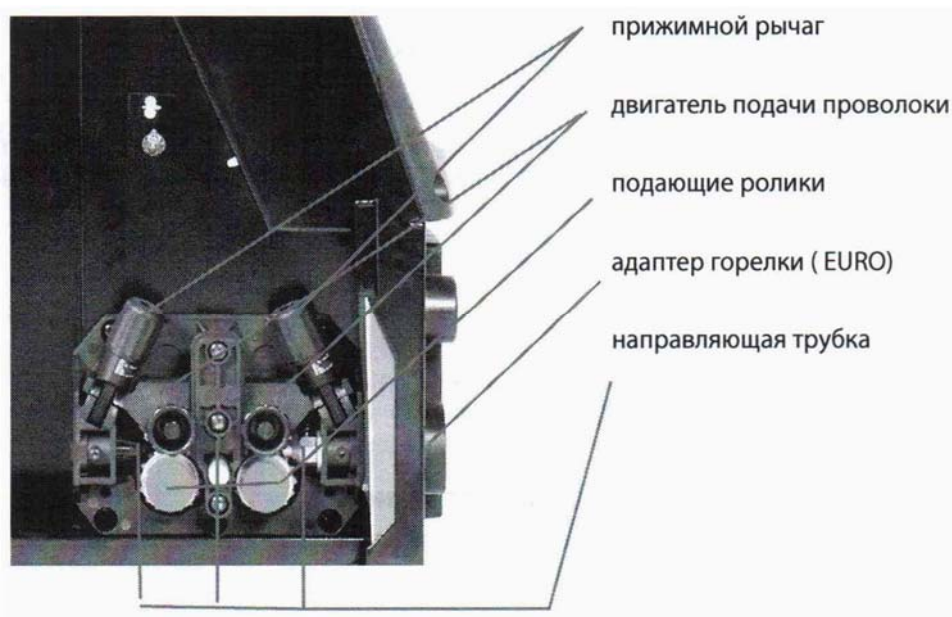


Рисунок 6 – Узлы проволокоподающего механизма

Таблица 4 – Технические характеристики Kemract MIG 2530

Технические характеристики	Значение
Напряжение сети, В	До 400
Номинальная мощность, кВт	12
Пределы регулирования сварочного напряжения, В	10...30
Напряжение холостого хода, В	40...50
Диаметр проволоки, мм	0,6...1,2
Защитный газ	CO ₂ ; Ar
Масса, кг	20

Диапазон регулировки сварочного напряжения U – от 10 до 30 В, скорость подачи проволоки – от 1 до 18 м/мин. Регулировать подходящие параметры можно согласно условной таблице, прикрепленной на дверке установки, и опытным путем.

3.1.5 Регулировка динамики сварки. Регулировка динамики сварки МИГ/МАГ. Заданное значение $-9...0...+9$ отображается на дисплее (рисунок 7). Динамика влияет на стабильность сварки и количество брызг. Значение «0» является рекомендуемым исходным положением. При значениях $-9...-1$ электродная дуга более «мягкая» для уменьшения разбрызгивания. При значениях $+1...+9$ дуга более «грубая» для улучшения стабильности при сварке стали в среде 100 % CO₂.

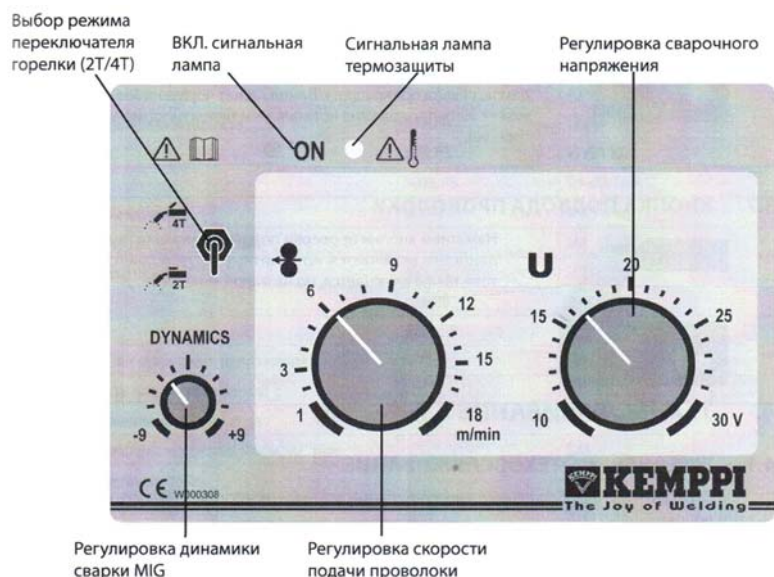


Рисунок 7 – Панель управления

Подача газа в зону сварки при индивидуальной системе питания сварочного поста осуществляется из баллона при использовании следующих устройств: подогревателя и осушителя газа, редуктора, отсекателя газа и гибкого шланга с держателем. Углекислый газ поставляется в баллонах в сжиженном состоянии под давлением 6...7 МПа. В этих условиях в баллоне емкостью 40 л находится 25 кг углекислоты, что соответствует 12,6 м³ СО₂ при атмосферном давлении.

Подогреватель необходим для повышения температуры СО₂ после выхода из баллона, поскольку понижение температуры при испарении может привести к закупорке льдом отверстий в системе подачи газа. Удаление излишков влаги из углекислого газа осуществляется в осушителе с помощью влагопоглощателя (силикагеля или алюмогеля).

Редуктор кислородный РК-53В предназначен для снижения давления газа с 6...7 МПа до рабочего, равного 0,1...0,4 МПа. Редуктор также обеспечивает автоматическое поддержание заданной величины рабочего давления определенного объемного расхода газа соответственно. Для контроля давления газа в камерах высокого и низкого давления редуктора используются манометры высокого и низкого давления.

Расход газа можно приблизительно оценить, используя показания манометра низкого давления и таблицу 5.

Для более точного регулирования и контроля расхода газа используют расходомеры поплавкового или дроссельного типов.

Таблица 5 – Расход газа

Показатель	Значение							
	3	4	5	6	7	8	9	10
Расход СО ₂ , л/мин								
Давление по шкале манометра, МПа	0,03	0,06	0,08	0,11	0,14	0,18	0,22	0,25

Порядок выполнения работы

- 1 Ознакомиться с технологическими особенностями сварки в среде CO₂.
- 2 Изучить состав сварочного поста, устройство, назначение и принцип работы основных его узлов.
- 3 Произвести сварку встык двух пластин или наплавку металла на пластину.
- 4 Составить отчет.

3.2 Режим и техника сварки

Обычно полуавтоматическая сварка в углекислом газе выполняется проволокой диаметром 1,2 мм, а на форсированных режимах в нижнем положении – диаметром 1,2...2 мм. Диаметр электродной проволоки выбирается в зависимости от конструктивных и технологических параметров сварного соединения (толщины свариваемого металла, характерного размера шва, положения в пространстве и т. п.).

Ориентировочные режимы сварки низкоуглеродистой стали проволокой марки Св-08Г2С приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Режим полуавтоматической сварки

Толщина металла, мм	Диаметр электрода, мм	$I_{св}$, А	$U_{дуги}$, В	Вылет электрода, мм	Расход газа, л/мин	$V_{св}$, м/ч
1...1,3	0,7	60...70	18...20	8...10	5...6	18...20
1,5...2,0	0,8	60...120	18...22	8...12	6...8	16...20
1,5...3,0	1,0	80...150	18...23	8...12	8...10	16...20
1,5...4,0	1,2	90...180	20...24	10...15	8...10	14...20

В момент окончания сварки необходимо уменьшить вылет электродной проволоки, заполнить кратер шва металлом, выключить подачу сварочной проволоки, после чего отвести держатель из зоны сварки. Не рекомендуется заканчивать сварку, удлиняя дугу.

Содержание отчета

- 1 Цель работы.
- 2 Схема поста для сварки в CO₂ с обозначением основных частей.
- 3 Основные технические данные полуавтомата.
- 4 Таблица 7 с режимами сварки низкоуглеродистой стали (для выбранной толщины металла).

Таблица 7 – Результаты измерений

Толщина металла, мм	Диаметр проволоки, мм	Марка проволоки	$I_{св}$, А	$U_{дуги}$, В	Расход газа, л/мин	Давление газа, МПа	Вылет электрода, мм

Контрольные вопросы

- 1 В чем сущность сварки в защитных газах?
- 2 В чем особенность сварки в CO_2 ?
- 3 Марка и состав сварочной проволоки для сварки низкоуглеродистых сталей.
- 4 Назначение легирующих элементов в составе сварочной проволоки Св-08Г2С.
- 5 Устройство и назначение источника питания для сварки в CO_2 .
- 6 Устройство системы подачи электродной проволоки.
- 7 Для чего предназначен газовый редуктор?
- 8 Укажите назначение Si и Mn в электродной проволоке.
- 9 В чем преимущества инверторных источников питания сварочной дуги?
- 10 Принцип работы источника питания инверторного типа.

4 Лабораторная работа № 3. Сварка давлением

Цель работы: ознакомиться с технологией контактной сварки давлением на примере получения неразъемного соединения круглой арматуры, а также с устройством сварочной машины МТР 16073.

Оборудование и материалы

- 1 Машина точечной сварки МТР 16073.
- 2 Круглая арматура диаметром 4 мм.

4.1 Общие сведения

К основным способам электроконтактной сварки давлением относят: стыковую, точечную, роликовую. Также к сварке давлением относят такие способы, как сварку трением, ультразвуковую сварку, диффузионную сварку, сварку взрывом.

Электроконтактная сварка, это процесс образования неразъемного соединения металлов путем их нагрева, проходящим электрическим током и пластической деформации зоны соединения за счет усилия сжатия.

Сила сварочного тока при контактной сварке достигает десятков и даже сотен тысяч ампер. Такие токи получают в понижающих однофазных сварочных трансформаторах, имеющих во вторичной обмотке чаще всего один виток.

Сопротивление места сварки зависит от чистоты и состояния поверхности свариваемого материала, сопротивления самого материала, величины давления, прикладываемого к свариваемым изделиям, и от других факторов. Наибольшее сопротивление имеет место контакта свариваемых изделий, где и выделяется наибольшее количество тепла. Время сварки в зависимости от толщины и рода свариваемого материала изменяется от сотых и даже тысячных долей секунды до нескольких минут. Когда детали нагреваются до пластического состояния или до оплавления, к ним прикладывается усилие осадки и детали свариваются.

Стыковая сварка. При стыковой сварке (рисунок 8) свариваемые детали *1* (стержни, полосы, рельсы, трубы) закрепляют в медных зажимах машины. Зажим *2n* установлен на подвижной плите, а зажим *2* – на неподвижной. Для регулирования мощности и изменения силы сварочного тока в трансформаторе *3* есть переключатель ступеней *4*. Перемещение подвижной плиты и сжатие свариваемых изделий силой *P* осуществляется механизмом сжатия. Основные виды стыковой сварки – сварка методом сопротивления и оплавления. В первом случае детали сводят в соприкосновение и пропускают сварочный ток, а во втором – свариваемые изделия несколько раз сводят в соприкосновения и разводят, что сопровождается оплавлением торцов и разбрызгиванием металла. Сварку сопротивлением применяют для соединения изделий сечением до 300 мм², сварку оплавлением – при большем сечении.

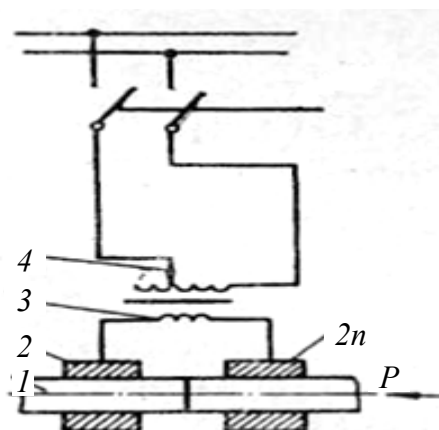


Рисунок 8 – Схема стыковой сварки давлением

Сварку непрерывным оплавлением выполняют на машинах с непрерывной подачей деталей только в сторону их сближения. Соприкосновение происходит по выступающим микронеровностям, где возникают большие плотности тока, и металл в этих местах быстро нагревается до расплавленного состояния. Когда вся поверхность свариваемых торцов оплавится, к изделиям прикладывают усилия осадки и выключают ток. Детали соединяются в одно целое.

Сваркой оплавлением соединяют рельсы, магистральные газо- и нефтепроводы части режущего инструмента и пр.

Контактную точечную сварку применяют для соединения листовых конструкций, в которых необходимо обеспечить нужную прочность, а обеспечение герметичности не является обязательным. Суммарная толщина листов обычно не превышает 10...12 мм.

При точечной сварке (рисунок 9) сложенные внахлестку детали *1* зажимают с некоторым усилием между медными электродами *2*, к которым через электрододержатели *3* подводится ток от сварочного трансформатора *4*. Нижний электрод устанавливают неподвижно, а верхний вместе с электрододержателем перемещается с помощью механизма сжатия, который создает между электродами необходимое давление *P*. Зажав изделие, включают трансформатор, и место контакта между изделиями нагревается до образования ядра из расплавленного металла. Последующим приложением усилия осадки осуществляется сварка металлов, которая заканчивается снятием давления и выключением тока. На точечных машинах сваривают углеродистые, легированные, высоколегированные стали и цветные металлы.

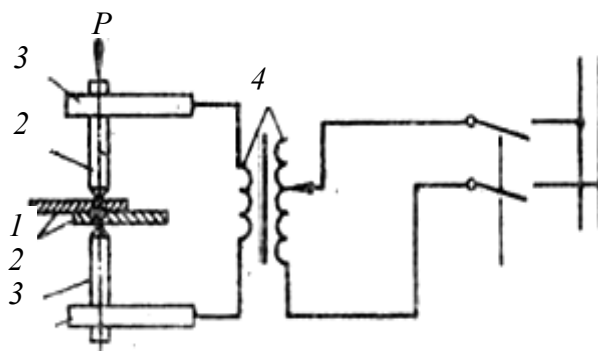


Рисунок 9 – Схема точечной сварки давлением

Рельефная сварка – это контактная сварка, при которой сила и ток локализуются на выступе или выступах, расположенных на одной или нескольких сопрягаемых поверхностях (рисунок 10). При этом поверхность контакта определяется формой рельефа их поверхности в месте соединения.

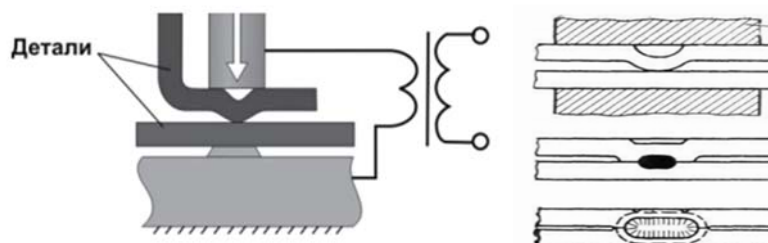


Рисунок 10 – Схема рельефной сварки

Шовную, или роликовую сварку применяют для получения прочных и плотных швов при изготовлении тонкостенных сосудов, предназначенных для хранения и транспортирования жидкостей, газов и других продуктов, а также в производстве тонкостенных труб.

При шовной сварке листы *1* толщиной 0,3...3 мм собирают внахлестку и затем зажимают усилием *P* между двумя медными роликами *2*, к которым подводят электрический ток от сварочного трансформатора *3* (рисунок 11). Одному или обоим роликам сообщает принудительное вращение специальный привод. При включении тока и одновременном вращении роликов происходит перемещение и нагрев до расплавления контактных поверхностей свариваемых изделий, которые под действием сжимающих усилий свариваются.

Различают два основных способа шовной сварки: непрерывную и прерывистую.

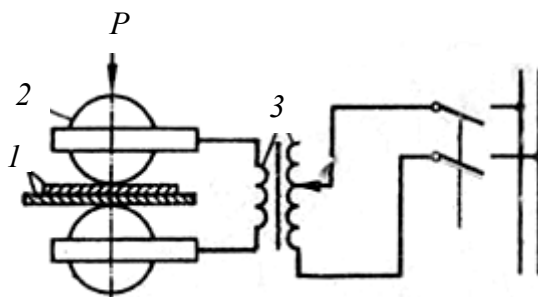


Рисунок 11 – Схема роликовой сварки давлением

4.2 Порядок выполнения работы

- 1 Ознакомиться с технологическими особенностями сварки давлением.
- 2 Изучить устройство, назначение и принцип работы сварочной машины.
- 3 Выполнить расчет величины сварочного тока для соединения двух цилиндрических деталей диаметром 4 мм из низкоуглеродистой стали.
- 4 Произвести сварку двух цилиндрических деталей, расположенных под углом 90° друг к другу.
- 5 Составить отчет.

Расчет силы сварочного тока.

Количество теплоты $Q_{ст1}$, Дж, необходимое для нагрева до температуры $T_{пл}$ кольцевого столбика металла стержней из стали 08 кп, расположенных крест накрест вычисляется по формуле

$$Q_{ст1} = 0,5\pi d_{ст}^3 C_{M1} \gamma_{M1} T_{пл1},$$

где d_{CT} – диаметр свариваемых стержней, см;

c_{M1} – теплоемкость материала пластины (сталь 08кп), $c_{M1} = 0,71$ Дж/(г·°С) при 100 °С [1];

γ_{M1} – плотность материала пластины (сталь 08кп), $\gamma_{M1} = 7,86$ г/см³;

$T_{ПЛ}$ – температура плавления материала пластины (сталь 08кп), $T_{ПЛ} = 1530$ °С.

Ширина условной зоны нагрева металла стержня X_{1Me}^{CT} , см, находится по формуле

$$X_{1Me}^{CT} = 4\sqrt{a_{Me}\tau_{CB}},$$

где a_{Me} – коэффициент температуропроводности металла детали, $a_{Me} = 0,1$ для пластины из стали 08 кп;

τ_{CB} – время сварки, $\tau_{CB} = 0,6$ с.

Энергия Q_{Me}^{CT} , Дж, расходуемая на нагрев объема металла стержней, окружающего зону сварки, до средней температуры $T_{ПЛ}/4$, определяется по формуле

$$Q_{Me}^{CT} = k_1 \pi d_{CT}^2 X_{1Me}^{CT} c_{M1} \gamma_{M1} \frac{T_{ПЛ}}{4},$$

где k_1 – коэффициент, учитывающий, что действительная средняя температура околочечной зоны меньше $\frac{T_{ПЛ}}{4}$, $k_1 = 0,8$.

Область распространения тепла в электроды $Y_{ЭЛ}$, см, вычисляется по формуле

$$Y_{ЭЛ} = 4\sqrt{a_3\tau_{CB}},$$

где a_3 – температуропроводность материала электродов, для бронзы БрХ $a_3 = 0,96$ см²/с [1].

Потери тепла в электроды $Q_{ЭЛ}$, Дж, определяются по формуле

$$Q_{ЭЛ} = 2 \cdot k_2 d_{CT}^2 Y_{ЭЛ} c_{ЭЛ} \gamma_{ЭЛ} \frac{T_{ПЛ}}{8},$$

где k_2 – коэффициент формы электрода (для плоских электродов $k_2 = 1$);

$C_{эл}$ – теплоемкость материала электродов, для бронзы БрХ $C_{эл} = 0,43$ Дж/(г·°С);

$\gamma_{эл}$ – плотность материала электродов, для бронзы БрХ $\gamma_{эл} = 8,9$ г/см³.

Общее количество электрической энергии, введенной в межэлектродную зону $Q_{ээ}$, Дж, определяется по формуле

$$Q_{ээ} = Q_{СТ1} + Q_{Ме}^{СТ} + Q_{эл}.$$

Среднее действующее значение сварочного тока $I_{СВ}^D$, кА, вычисляется по закону Джоуля–Ленца

$$I_{СВ}^D = \sqrt{\frac{Q_{ээ}}{r_{ээ}^D \tau_{СВ}}},$$

где $r_{ээ}^D$ – действующее значение сопротивления межэлектродной зоны в момент выключения сварочного тока, (традиционно определяется экспериментально в зависимости от жесткости режима сварки) Ом, в расчетах принимается 90...100 мОм.

Прядок включения машины МТР 16073 и сварки образцов круглого сечения диаметром 4 мм

1 Перед включением машины МТР 16073 необходимо проверить состояние электродов и при необходимости их зачистить.

2 Включить МТР 16073: «Питание 380В», «Электромеханический привод сжатия электродов», «Автоматическое охлаждение».

3 На панели управления выставить:

- сварочный импульс – «один»;
- цикл сварки – «одиночная сварка»;
- № режима – 1;
- сварка – 0,1 с;
- проковка – 0,2 с;
- сварочный ток – 6 кА;

4 Установить между электродами свариваемые детали, удерживая их.

5 Произвести сварку нажатием правой педали машины МТР 16073.

Общий вид машины МТР16073 представлен на рисунке 12, а технические характеристики – в таблице 8.



Рисунок 12 – Общий вид сварочной машины МТР 16073

Таблица 8 – Основные технические характеристики сварочной машины МТР 16073

Привод сжатия	Электромагнитный
Макс. производ., сварок в мин.	300
Охлаждение	вода
Усилие сжатия электродов, кг	100...250
Маск. ход верх. электрода, мм	до 35 мм
Кол-во ступеней рег. свароч. тока	4
Сварочный ток, кА	6...16
Вылет электродов, мм	450, 500 или 600
Толщина свариваемой стали, мм	до 5
Проволока, арматура, мм	до 14

Содержание отчета

- 1 Цель работы.
- 2 Схема устройства машины точечной сварки.
- 3 Основные технические данные сварочной машины.
- 4 Расчет сварочного тока для получения сварного соединения из двух цилиндрических деталей диаметром 4 мм, расположенным под углом 90° друг к другу.

Контрольные вопросы

- 1 В чем сущность способов сварки давлением?
- 2 В чем особенность точечной и рельефной сварки?
- 3 Перечислите основные узлы машины для точечной сварки.
- 4 В чем особенность конструкции токоподводящих частей машины и электродов для точечной сварки давлением?
- 5 Какие параметры необходимо учитывать при выборе величины сварочного тока?

5 Лабораторная работа № 4. Сварка пластмасс

Цель работы: ознакомиться с основными способами и особенностями сварки полимерных материалов, а также устройством и принципом действия оборудования, применяемого для выполнения сварных соединений.

Оборудование и материалы: промышленный фен; прибор для сварки полимерных труб в раструб, труба полипропиленовая, полипропилен листовой, присадочный материал в виде прутка, секундомер, перчатки кожаные.

5.1 Общее положение

Свариваемость пластмасс характеризуется их способностью переходить в пластическое состояние при нагреве. Однако это способность у всех пластмасс различна. В зависимости от поведения полимера при нагреве, все пластмассы подразделяются на две большие группы: термореактивные и термопластичные.

В термореактивных пластмассах связь между мономерами или их цепями приводит к возникновению пространственной решетки, т. е. к образованию пространственно-сетчатых молекул. Такие молекулы в свою очередь образуют полимерные сетки с прочными связями звеньев, перемещения которых ограничены. В связи с этим данная группа пластмасс не подвергается сварке.

Термопластичные полимеры характеризуются нитеобразным соединением мономеров в молекуле. В данном случае молекулы могут разветвляться и переплетаться между собой. При этом они могут образовывать упорядоченную структуру полимера – кристаллическую фазу, или неупорядоченную – аморфную фазу.

При комнатной температуре энергия молекул не достаточна для преодоления действия сил молекулярного притяжения и подвижность их как бы «заморожена», т. е. пластмасса находится в твердо-хрупком состоянии. С повышением температуры колебания молекул усиливаются, и полимер переходит в твердо-вязкое состояние. При дальнейшем нагреве, при достижении определенной температуры, значение которой зависит от вида свариваемого полимера, энергия молекул становится достаточной для преодоления сил межмолекулярного взаимодействия и взаимное положение молекул изменяется – материал переходит в высокоэластическое, а затем в пластическое состояние. Как правило, полимеры из твердого состояния в пластическое переходят постепенно, поэтому используется понятие **области температур размягчения**. Для большинства материалов данная область лежит в достаточно узком температурном интервале, отклонение от которого может привести к значительному снижению механических свойств образуемого соединения. Одной из важнейших причин является низкая температура разложения термопластов. Это температура, при которой молекулы расщепляются на более мелкие, в результате чего могут вступать в реакции между собой и элементами окружающей среды, например, с водой, кислородом. В результате

образуются новые химические соединения, при этом пластмасса утрачивает первоначальные свойства. Температуры текучести и разложения некоторых термопластов приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Температурный интервал вязкотекучести и деструкции некоторых термопластов

Материал	Температура текучести $T_T, ^\circ\text{C}$	Температура деструкции $T_D, ^\circ\text{C}$
Полиэтилен (ПНД)	130...135	230
Полипропилен (ПП)	175...180	250
Поливинилхлорид (ПВХ)	180...200	140
Полиэтилентерефталат (ПЭТ)	250...260	350
Полистирол (ПС)	150...160	220...230
Полиметилметакрилат (ПММА)	175...180	170...180
Фторлон 4М (Ф)	285...300	350

Чувствительной пластмасс к данному процессу не обусловлена строго определенной температурой, и степень деструкции ее во многом зависит от продолжительности нагрева. Пластмасса выдерживает кратковременное воздействие температуры, однако продолжительный нагрев приводит к ее разложению.

Для предотвращения процессов разложения и окисления необходимо соблюдать некоторые требования: обеспечивать стабильный нагрев, что улучшает свариваемость и качество швов; при сварке полимеров, отличающихся высокой чувствительностью к окислению, необходимо в качестве газов применять не воздух, а, к примеру, азот или углекислый газ; сварку необходимо выполнять в течение минимального времени, особенно в тех случаях, когда в качестве теплоносителя используется воздух.

Сварке подвергают детали и изделия из поливинилхлорида, полиэтилена, полипропилена, полиметилметакрилата, полиамида, полиизобутилена, поликарбоната и т. д.

Наиболее часто используются такие способы сварки пластмасс, как *сварка нагретым газом* и *сварка нагретым инструментом*.

Технология сварки пластмасс нагретым газом.

Для получения сварного соединения данным способом свариваемые изделия одновременно разогревают струей горячего газа-теплоносителя, нагреваемого в специальном устройстве. Сварка выполняется с применением присадочного материала и без него, вручную или с использованием специальных приспособлений для механизации процесса. В качестве присадочного материала в большинстве случаев применяются прутки, изготовленные из того же материала, что и свариваемое изделие. При сварке по классической схеме, нагревательный прибор располагается в пространстве между свариваемыми кромками и присадочным материалом (рисунок 13). Присадочный материал прижимается и удерживается рукой.

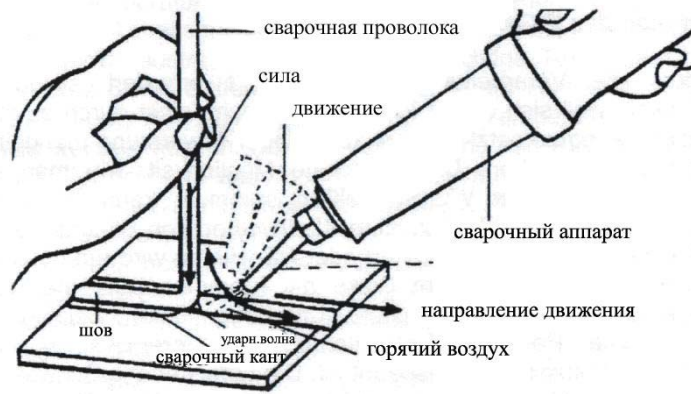


Рисунок 13 – Процесс сварки пластмасс нагретым газом

Стыковые швы без разделки кромок выполняют в основном при сварке листов или труб толщиной менее 4 мм. Между деталями необходим зазор 1...1,5 мм для лучшего заполнения сварного шва присадочным материалом, т. е. для лучшего провара по всей высоте шва. Сварку листов толщиной до 2 мм следует производить без зазора.

Температура газа на выходе из сопла горелки обычно на 50...100 °С выше температуры вязкотекучего состояния свариваемых термопластов. Расстояние между изделием и соплом горелки следует поддерживать постоянным и равным 5...8 мм. Расход нагретого газа устанавливают обычно в интервале 1...3,5 м³/ч. Малые расходы снижают производительность и приводят к непроварам.

Положение сварочного прутка и сопла горелки по отношению к поверхности шва существенно влияет на получение плотного и ровного шва с достаточной прочностью.

Под прямым углом (рисунок 14, а) пруток держат при сварке непластифицированного поливинилхлорида, полиметилметакрилата, полиэтилена высокой плотности и др. При угле наклона присадочного прутка больше 90° (рисунок 14, б) сваривают поливинилиденхлорид и полипропилен. При сварке полиэтилена низкой плотности, пластифицированного поливинилхлорида и полиизобутилена пруток наклоняют под углом 45...50° (рисунок 14, в).

Перед сваркой пруток нагревают, отгибают под прямым углом и охлаждают на воздухе. Перед началом сварки пруток устанавливают на расстоянии 10...15 мм от начала шва (рисунок 14, г). При смене прутка отогнутую часть нового прутка укладывают на конец прерванного шва с перекрытием 10 мм (рисунок 14, д).

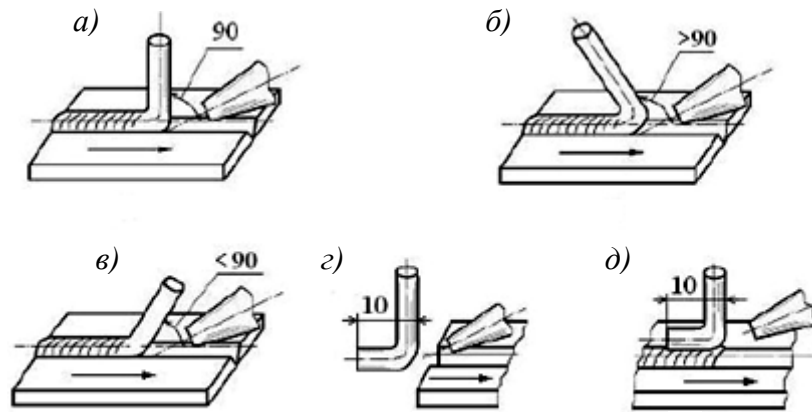


Рисунок 14 – Положение присадочного прутка и горелки при сварке

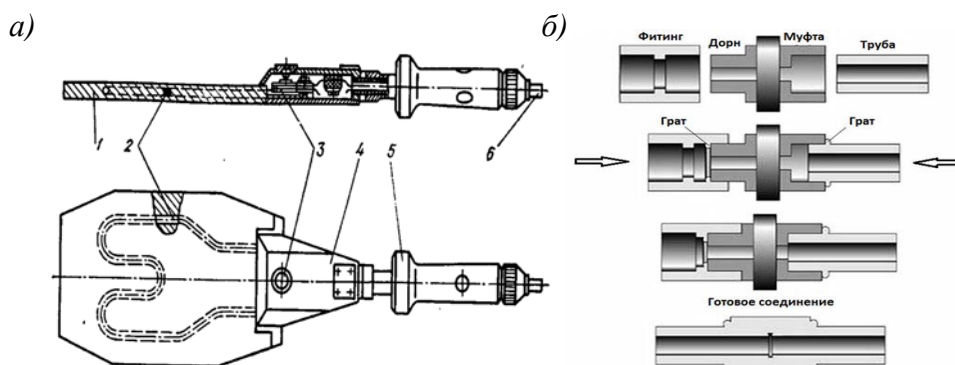
Скорость сварки зависит от толщины и типа свариваемого материала, температуры нагрева присадочного и основного материалов и составляет 4...15 м/ч. Для увеличения производительности процесса целесообразно применять предварительный подогрев присадочного и основного материалов.

Материал толщиной 1...2 мм сваривают за один проход. При толщине более 2 мм швы накладывают последовательно.

Сварка нагретым инструментом основана на оплавлении свариваемых поверхностей путем их прямого соприкосновения с нагреваемым инструментом (рисунок 15, а). После нагрева свариваемых поверхностей инструмент удаляется из зоны шва. Данным способом выполняют стыковую сварку деталей, сварку в раструб, сварку нахлесточных соединений (сварка тонкостенных изделий и пленок) и др.

При стыковой и раструбной сварке после оплавления свариваемых поверхностей изделия разводятся, инструмент убирается, а оплавленные поверхности соединяются под небольшим давлением.

При раструбной сварке соединяются внутренняя поверхность раструба и наружная поверхность трубы, а нагревательный инструмент имеет два рабочих элемента: *гильзу* для оплавления наружной поверхности конца трубы и *дорн* для оплавления внутренней поверхности раструбы (рисунок 15, б).



1 – нагревательная плита; 2 – нагревательный элемент; 3 – терморегулятор; 4 – корпус; 5 – рукоятка; 6 – кабель питания

Рисунок 15 – Инструмент для сварки полимерных труб в раструб (а) и процесс получения сварного соединения (б)

Внешний диаметр трубы чуть больше номинального диаметра, а внутренний диаметр фитинга – чуть меньше номинального диаметра трубопровода. Например, труба диаметром 20 мм на самом деле имеет внешний диаметр 20,3...20,5 мм, а фитинг для трубопровода диаметром 20 мм имеет внутренний диаметр 19,5...19,7 мм. При этом диаметры рабочих поверхностей муфт и дорнов в их средней части (рабочие поверхности конические, конусность около $0,5^\circ$) соответствуют номинальному диаметру.

В процессе совмещения трубы с нагретой муфтой внешний слой трубы оплавляется и выдавливается наружу в форме валика (грата), а внутренние слои прогреваются достаточно, чтобы упруго сжаться и позволить трубе войти в нагретую муфту.

Технология сварки полипропиленовых труб в раструб.

Процесс включает следующие операции: резка трубы, подготовка деталей к сварке, монтаж и вывод на рабочий режим сварочного аппарата, установка деталей на прогрев, сборка соединения и его охлаждение.

Без больших усилий совместить трубу и фитинг вручную с нагретым инструментом, а затем – совместить трубу с фитингом в соединение, удастся только при сварке трубопроводов небольших диаметров – до 40...50 мм. Для сварки труб диаметром больше 50 мм, как правило, используют специальные центрирующие устройства для раструбной сварки.

Перед началом работ прибор для сварки полипропиленовых труб необходимо надежно закрепить в кронштейне или на станине, т. к. во время установки на прогрев, к деталям прилагаются определенные усилия, передающиеся на прибор.

После установки аппарата выставляется необходимое значение температуры нагрева, и прибор включается в сеть. Температура инструмента для сварки полипропиленовых труб в раструб должна составлять 260 ± 10 °С. Это значительно превышает температуру вязкотекучести полипропилена и делается с той целью, чтобы быстро оплавить поверхностный слой трубы и фитинга и снять детали, не допуская прогрева их стенки на всю толщину, поскольку в этом случае труба и фитинг потеряют жесткость, и их невозможно будет соединить.

Установка деталей на прогрев. После выхода аппарата на рабочий режим, труба и фитинг одновременно устанавливаются для нагрева – труба вставляется в муфту, фитинг надевается на дорн. Если одновременная установка деталей невозможна, первым устанавливается фитинг, т. к. он массивнее. При этом прилагаемое усилие не должно быть излишним, надвигать детали нужно постепенно, следя за тем, чтобы образующийся грат был правильной формы.

Устанавливая детали, нужно контролировать глубину их установки, чтобы снять усилие, когда они упрутся в дно муфты и вершину дорна. В противном случае можно смять торец трубы и ограничитель фитинга.

После установки деталей в муфту и на дорн аппарата для сварки пластиковых труб, нужно дать им время для оплавления поверхностей. Продолжительность нагрева – очень важный параметр. Она должна быть достаточной для того, чтобы поверхности нагрелись до состояния вязкотекучести, но не быть выше того значения, за которым детали начнут терять жесткость.

Общее время для получения соединения состоит из: времени на нагрев (зависит от типа материала и диаметра трубы); времени на переустановку (время на снятие разогретых деталей и их соединения); времени фиксации (время удержания соединения до частичного остывания). Это время используется для выравнивания соединения руками. По его истечению соединение теряет эластичность, изменять его форму уже невозможно; время полного остывания.

Время нагрева отсчитывается с момента достижения деталями упоров. После того как оно закончится, трубу и фитинг с тем же умеренным усилием снимают с оправок.

Время, которое проходит с момента снятия деталей до момента их сборки, должно быть как можно меньше и в любом случае не превышать 4-6 секунд. В случае задержки произойдет охлаждение деталей и соединение получить будет невозможно.

5.2 Порядок выполнения работы

Определение оптимальной температуры газовой струи для сварки листового полипропилена.

1 Взять две прямоугольные пластины из листового полистирола и собрать их встык с зазором 2...3 мм.

2 Включить прибор и установить температуру струи 200 °С.

3 Наложить сварной шов длиной 20...30 мм, замерив с помощью секундомера затраченное время.

4 Увеличить температуру струи до 250 °С и наложить сварной шов аналогичной длины, замеряя затраченное время.

5 Повторить опыт при температуре струи 300 °С.

6 Результаты занести в отчет.

Определение оптимального времени нагрева заготовок при сварке полипропиленовых труб в раструб.

1 Установить на прибор гильзу и дорн для сварки труб диаметром 15 мм.

2 Включить прибор в розетку и подождать 5...7 мин, для выхода его на рабочий режим.

3 Взять соединительную муфту и трубу из полпропилена и осадить их на инструменте. Выдержать свариваемые детали на инструменте 2 с.

4 Снять разогретые детали и соединить между собой прилагая небольшое усилие.

5 Повторить проделанную операцию увеличив время выдержки до 5, а затем до 15 с.

6 Оценить и описать качество свариваемых соединений. Проанализировать, какое время нагрева является оптимальным. Сделать соответствующий вывод.

Содержание отчета

- 1 Титульный лист.
- 2 Цель работы.
- 3 Результаты измерений и наблюдения.
- 4 Вывод по проделанной работе.

Контрольные вопросы

- 1 Какая группа пластмасс может подвергаться сварке?
- 2 В чем отличие сварки полимеров от сварки металлов?
- 3 Какие способы сварки полимеров получили широкое распространение. В чем их отличие друг от друга.
- 4 Почему при сварке пластмасс температура и время нагрева имеют важное значение?
- 5 От чего зависит угол наклона присадочного материала при сварке пластмасс нагретым газом?
- 6 Как влияет длительность нагрева заготовок из пропилена при сварке в раструб на качество получаемого соединения?

Список литературы

- 1 Технология конструкционных материалов: учебное пособие / Под ред. А. М. Дальского. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 1990. – 352 с. : ил.
- 2 Справочник сварщика / Под ред. В. В. Степанова. – Москва: Машиностроение, 1983. – 560 с.
- 3 Оборудование для дуговой сварки: сварочное пособие / Под ред. Н. В. Смирнова. – Ленинград: Энергоатомиздат, 1986. – 656 с.
- 4 **Браткова, О. Н.** Источники питания сварочной дуги / О. Н. Браткова. – Москва: Высшая школа, 1982. – 117 с.
- 5 Технология конструкционных материалов / Под ред. О. С. Комарова. – Минск: Новое знание, 2005. – 560 с.
- 6 Сварка в машиностроении: справочник в 4 т. / Под ред. Н. А. Ольшанского. – Москва: Машиностроение, 1978. – Т. 1. – 504 с.
- 7 Сварка в машиностроении: справочник в 4 т. / Под ред. А. И. Акулова. – Москва: Машиностроение, 1978. – Т. 1. – 434 с.
- 8 **Куликов, В. П.** Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки: учебное пособие / В. П. Куликов. – Минск: Экоперспектива, 2003. – 415 с.
- 9 Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки: учебник / Под ред. А. И. Акулова. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Машиностроение, 2003. – 560 с.
- 10 **Потапьевский, А. Г.** Сварка в защитных газах плавящимся электродом. Ч. 1: Сварка в активных газах / А. Г. Потапьевский. – 2-е изд., перераб. – Киев: Екотехнологія, 2007. – 192 с.
- 11 Сварочные материалы для дуговой сварки. Защитные газы и сварочные флюсы / Под ред. Н. Н. Потапова. – Москва: Машиностроение, 1989. – 544 с.
- 12 **Катаев Р. Ф.** Сварка пластмасс: учебное пособие / Р. Ф. Катаев. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2008. – 139 с.
- 13 **Волков С. С.** Сварка и склеивание полимерных материалов: учебное пособие для вузов / С. С. Волков. – Москва: Химия, 2001. – 376 с.