

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ. ПАЙКА И СВАРКА МЕТАЛЛОВ

**Методические указания
по выполнению лабораторных работ
для студентов специальностей
1-36 05 01 «Машины и оборудование лесного комплекса»,
1-36 07 01 «Машины и аппараты химических производств
и предприятий строительных материалов»**

Минск 2009

УДК 621.791(076.5)
ББК 34.3я73
Т38

Р е ц е н з е н т

заведующий кафедрой механики материалов и конструкций БГТУ
доктор технических наук *А. Э. Левданский*

Все права на данное издание защищены. Воспроизведение всей книги или ее части не может быть осуществлено без разрешения учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет».

**Технология конструкционных материалов. Пайка и
Т38 сварка металлов** : метод. указания по выполнению лабораторных работ для студентов специальностей 1-36 05 01 «Машины и оборудование лесного комплекса», 1-36 07 01 «Машины и аппараты химических производств и предприятий строительных материалов» / сост. С. И. Карпович. – Минск: БГТУ, 2009. – 120 с.
ISBN 978-985-434-923-7.

Пайка и сварка металлов в современном машиностроении является одним из основных технологических процессов. Одновременно эти технологии широко используются в ремонтном деле. При подготовке инженеров-механиков технологии пайки и сварки надо рассматривать как базовые с определением и расчетом механических параметров получения неразъемных соединений.

Методические указания предназначены для студентов специальностей 1-36 05 01 «Машины и оборудование лесного комплекса», 1-36 07 01 «Машины и аппараты химических производств и предприятий строительных материалов».

**УДК 621.791(076.5)
ББК 34.3я73**

ISBN 978-985-434-923-7

© УО «Белорусский государственный
технологический университет», 2009

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|-----|
| Введение..... | 4 |
| Лабораторная работа № 1. Припой и флюсы | 5 |
| Лабораторная работа № 2. Способы пайки | 13 |
| Лабораторная работа № 3. Технология пайки дереворежущего инструмента | 22 |
| Лабораторная работа № 4. Влияние режимов пайки на прочность паяных соединений | 27 |
| Лабораторная работа № 5. Выбор основных конструкционных металлов и сплавов для изготовления сварных конструкций | 38 |
| Лабораторная работа № 6. Технология ручной электродуговой сварки | 49 |
| Лабораторная работа № 7. Сварка в среде защитных газов | 61 |
| Лабораторная работа № 8. Контактная сварка | 69 |
| Лабораторная работа № 9. Газовая сварка | 80 |
| Лабораторная работа № 10. Термическая резка металлов..... | 93 |
| Приложение 1 | 99 |
| Приложение 2 | 113 |
| Литература | 119 |

ВВЕДЕНИЕ

Технологию сварки и пайки широко применяют в современном машиностроении для получения неразъемных соединений.

Общие требования, предъявляемые к паяным и сварным соединениям:

- прочность;
- герметичность;
- коррозионная стойкость;
- электропроводность;
- внешний вид зоны шва и др.

По назначению сварка и пайка близкие технологии, но имеют и существенные отличия.

К различиям следует отнести температуру процесса, состояние металла в зоне соединения, механические показатели швов.

Сваркой получают соединения только металлических сплавов определенного состава, которые обладают хорошей свариваемостью. Свариваемость – это способность сплавов образовывать сварные соединения с необходимым комплексом показателей.

Пайкой соединяют не только разнообразные металлы, но и неметаллы: стекла, керамику, материалы на основе графита, металлокерамику в разных сочетаниях, как между собой, так и с металлами.

Технология пайки в сравнении с технологией сварки – более ранний технический прием, которым люди овладели в древности при изготовлении предметов обихода, ювелирных изделий.

Эти две технологии хорошо сочетаются между собой и дополняют друг друга в современных областях машиностроения от изготовления радиоэлектронных устройств, вычислительной техники до ракетостроения и строительства космических аппаратов.

В инструментальной промышленности пайку широко применяют для изготовления твердосплавного инструмента, в том числе дерево-режущего. В БГТУ вопросами изготовления паяного инструмента, отработкой режимов пайки занимались проф. Моисеев А. В., доц. Козел М. М., доц. Клубков А. П., канд. техн. наук Клубков А. А., ст. науч. сотр. Кириченко В. А., доц. Карпович Д. С., ст. преп. Бавбель И. И.

Методические указания по выполнению лабораторных работ по разделу «Пайка и сварка металлов» написаны на основании их разработок, литературных источников Российской Федерации, Украины, инструкций и рекомендаций европейских фирм, производителей аппаратуры для пайки и сварки металлов.

Лабораторная работа № 1

ПРИПОИ И ФЛЮСЫ

Цель работы: изучить классификацию, химический состав, свойства припоев и флюсов.

Задание: произвести выбор припоя и флюса для пайки углеродистых, нержавеющей, жаропрочных сталей, чугуна, сплавов на основе меди и алюминия, титана, керамики с металлом, керамики с керамикой, твердосплавного инструмента, пищевой посуды.

ПРИПОИ

Пайкой называется технологический процесс соединения заготовок без их расплавления посредством введения между ними расплавленного промежуточного металла-припоя. Припой имеет температуру плавления более низкую, чем температура соединяемых металлов, и заполняет зазор между заготовками за счет действия капиллярных сил.

Паяное соединение неоднородно по строению и составу. Зона пайки включает в себя спаи, диффузионные и прикристаллизованные участки.

Пайкой можно соединять любые металлы и их сплавы, керамику. В качестве припоя используются чистые металлы (они плавятся при строго фиксированной температуре) и их сплавы (они плавятся в определенном интервале температур).

Разница между температурами начала плавления и полного расплавления называется интервалом кристаллизации. При осуществлении процесса пайки необходимо выполнение температурного условия:

$$t_1 > t_2 > t_3 > t_4,$$

где t_1 – температура начала плавления материала детали; t_2 – температура нагрева детали при пайке; t_3 – температура плавления припоя; t_4 – рабочая температура паяного соединения.

Припой – это металл или сплав, вводимый в зазор между соединяемыми деталями или образующийся между ними в процессе пайки, имеющий более низкую температуру начала автономного плавления, чем паяемые материалы.

К припоям предъявляют следующие основные требования:

– температура плавления припоя должна быть ниже температуры плавления паяемых материалов;

– необходимо, чтобы расплавленный припой (в присутствии защитной среды, флюса или в вакууме) хорошо смачивал паяемый материал и легко растекался по его поверхности;

– припои должны обеспечивать необходимую прочность, пластичность и герметичность;

– коэффициенты термического расширения припоя и паяемого материала не должны резко различаться;

– припои должны иметь высокую электропроводность при пайке радиоэлектронных и токопроводящих изделий.

По температуре плавления припои подразделяются на группы: особо легкоплавкие (до 145°C); легкоплавкие (от 145 до 450°C); среднеплавкие (от 450 до 1100°C); высокоплавкие (от 1100 до 1850°C); тугоплавкие (от 1850°C).

На практике припои делят на две группы: мягкие с $t_{пл}$ до 450–500°C и тугоплавкие (твердые) с более высокой температурой плавления.

При производстве монтажных работ, в быту широкое распространение получила пайка мягкими припоями.

Мягкие припои

Оловянно-свинцовые припои широко применяют во всех отраслях промышленности. В зависимости от химического состава их делят на бессурьмянистые и малосурьмянистые (см. табл. 1, 2 приложения 1).

При пайке высокооловянистыми припоями следует учитывать, что при низких температурах может произойти аллотропическое превращение олова с образованием хрупкой модификации, снижающей прочность соединения. Для предотвращения этого явления и увеличения прочности в припои добавляют до 2,5% Sb (см. табл. 3 приложения 1). Присутствие сурьмы ухудшает способность припоя к смачиванию поверхности паяемого металла, а при пайке цинка, латуни или оцинкованного изделия сурьма, соединяясь с цинком, уменьшает прочность соединения. Область применения этих припусков приведена в табл. 4 приложения 1. Изделия, выполненные оловянно-свинцовыми припоями, имеют низкую коррозионную стойкость во влажной среде. Для работы в этих условиях паяные соединения защищают лакокрасочными покрытиями.

Для улучшения технологических и прочностных свойств в оловянно-свинцовые припои добавляют висмут, кадмий, цинк, индий и другие компоненты. Присадка кадмия и индия способствует получению более твердых и коррозионно-стойких припоев. Пайка этими припоями может производиться паяльником. Чаще всего оловянно-

свинцовые припои с индием и кадмием применяют для пайки радиоэлектронной аппаратуры и изделий, покрытых тонкой пленкой благородных металлов. Для пайки алюминия применяют припои с добавкой цинка и кадмия. Соединения, полученные при пайке этими припоями, коррозионно-стойкие, имеют хорошую пластичность и легко обрабатываются резанием.

Алюминиевые припои. Для пайки изделий из алюминия и его сплавов применяют сплавы алюминия с кремнием, медью, марганцем, цинком и германием.

Алюминий со многими металлами образует двойные, тройные и четвертные эвтектики, но только некоторые из них пригодны в качестве припоев для пайки алюминия и его сплавов. Для улучшения технологических и механических показателей алюминиевых припоев в них вводят цинк и марганец (см. табл. 5, 6 приложения 1).

Для улучшения технологических свойств и надежности паяных соединений в оловянные, свинцовые, оловянно-свинцовые и кадмиевые припои вводят до 6% серебра.

Пайку легкоплавкими серебряными припоями производят горелкой или окунанием в расплавленный припой. При пайке этими припоями требуются флюсы, способные выдерживать высокие температуры нагрева. Олово, сурьму, висмут и другие металлы вводят в серебряные припои для снижения температуры плавления и повышения коррозионной стойкости (см. табл. 7 приложения 1).

Серебряные среднеплавкие припои отличаются от других припоев высокой механической прочностью, коррозионной стойкостью в различных средах, относительно невысокой температурой плавления и повышенной тепло- и электропроводностью. Они хорошо смачивают большинство металлических поверхностей и качественно заполняют зазор.

Тугоплавкие припои

Серебряные припои. Основой серебряных припоев обычно является система серебро – медь. Эвтектический сплав (28,5% Cu) с $t_{пл} = 779^{\circ}\text{C}$ широко применяют при пайке многих металлов и сплавов, кроме алюминиевых и магниевых сплавов. Свойства серебряных припоев можно изменять в нужном направлении путем легирования их другими элементами. Добавка никеля увеличивает механическую прочность паяного соединения, наличие марганца придает им кислотостойкость. Добавка Li (около 5%) резко улучшает текучесть и смачиваемую способность припоя и создает возможность пайки в обычной атмосфере без применения флюса. Объясняется эта способность образованием гидроксида лития

(LiOH), который при температурах 450–920°C не разлагается и в жидком состоянии защищает припой от окисления. Применяют такие припои при пайке титана, нержавеющей стали, обеспечивая высокую прочность соединениям при высоких температурах.

При пайке чугуна и твердых сплавов добавка в припой никеля и марганца увеличивает прочность шва на срез.

Припои, содержащие медь и олово, применяют для пайки вакуумных изделий и углеродистых сталей, а для пайки медных изделий лучше применять припои, состоящие из серебра, меди, сурьмы, цинка и кадмия, с диапазоном плавления 425–660°C. Серебряные припои обеспечивают высокую прочность, пластичность, коррозионную стойкость, придают повышенную теплоэлектропроводность паяным соединениям. Области применения серебряных припоев ограничиваются их высокой стоимостью, их характеристики приведены в табл. 8–10 приложения 1.

Медно-цинковые припои. Медно-цинковые сплавы (латуни) широко применяют для пайки большинства металлов. Наиболее легкоплавкими припоями являются двойные сплавы меди с цинком с содержанием 36–54% Cu. Припои этого типа из-за высокого содержания цинка отличаются большой хрупкостью и недостаточной пластичностью, поэтому их используют при пайке изделий, не подвергающихся ударным нагрузкам, изгибу и вибрации.

Более высокими механическими свойствами обладают некоторые, используемые в качестве припоев, двойные и многокомпонентные латуни (табл. 11, 12 приложения 1).

Латуни Л63 и Л68 применяют для пайки меди и стали; латуни ЛМцН48-10, ЛК62-05 и ЛКН56-03-6 – для пайки чугуна. Наличие в латунных припоях никеля обеспечивает отсутствие хрупкой диффузионной прослойки на границе чугуна – припой и делает паяное соединение прочным. Латуни марок ЛОК62-06-04 и ЛОК59-1-03 обладают хорошими технологическими свойствами.

Когда от паяного соединения требуются высокие прочность и относительное удлинение, в медно-цинковые припои вводят повышенное количество олова, кремния, никеля и марганца. Небольшие добавки олова понижают температуру плавления латуни, повышают коррозионную стойкость в морской воде и увеличивают жидкотекучесть и растекаемость.

Недостатком медно-цинковых припоев является образование токсичного соединения – оксида цинка. Испарение цинка ведет к образованию пористости шва, уменьшению его прочности.

Медные припои. Чистую медь широко применяют для пайки изделий из углеродистых, конструкционных, быстрорежущих сталей и никельсодержащих сплавов. Соединения, паянные медью, имеют высокую коррозионную стойкость и большинство из них выдерживает высокие механические нагрузки. Пайку медью выполняют обычно при индукционном нагреве или в печах с защитной атмосферой. Стали, содержащие хром, алюминий и кремний, паяют медью только в водороде, очищенном от кислорода и влаги. Никельсодержащие сплавы с марганцем хорошо паяются в атмосфере чистого водорода и диссоциированного аммиака без флюса. В защитной среде, содержащей до 10% водорода, медь плохо растекается по поверхности металла, в этом случае требуется применение флюса. Для пайки обычно применяют техническую медь в виде проволоки, фольги, ленты и порошка; температура пайки составляет 1150–1200°C; добавка фосфора увеличивает жидкотекучесть припоя. Марки сплавов приведены в табл. 13 приложения 1.

Никелевые припои. Высокая прочность и сопротивление коррозии отличают никель и его сплавы с хромом, кремнием и марганцем. Это наиболее дешевые припои для пайки изделий, работающих в условиях высоких температур. Для снижения температуры плавления, улучшения растекаемости и пластичности паяных соединений в двойной сплав вводят добавки (табл. 14 приложения 1).

Никелевые припои с кобальтом и титаном не растворяют большинство обычных и специальных коррозионно-стойких сталей, они хорошо смачивают сплавы, содержащие титан и алюминий, и могут быть использованы для пайки тонкостенных изделий, изготовленных из высоколегированных и коррозионно-стойких сталей.

Титановые припои. Титановые припои применяют для пайки титана и его сплавов, оксида бериллия и графита (табл. 15 приложения 1), молибдена (табл. 16 приложения 1), ниобия (табл. 17 приложения 1). Титановый сплав с медью (35%) находит применение для соединения керамики с керамикой и керамики с металлом. Пайку титановыми припоями обычно выполняют в чистой инертной атмосфере или вакууме.

ФЛЮСЫ

Флюсы применяются для удаления оксидной пленки с поверхности основного металла и припоя, а также для предотвращения окислительных процессов при пайке, снижения поверхностного натяжения и улучшения растекания жидкого припоя. Механизм влияния флюсов на

процесс пайки до конца не изучен. Установлено, что флюс должен уменьшать поверхностное натяжение расплава и увеличивать поверхностное натяжение твердого металла. Дополнительно улучшения смачиваемости поверхности пайки достигают в результате адсорбции на ней металлических ионов и молекул солей. Имеют место и электрохимические процессы в системе припой – флюс – твердый металл.

В процессе нагревания соединяемых металлов твердый флюс плавится, смачивает поверхности деталей и припоя и взаимодействует с оксидной пленкой. Флюс должен взаимодействовать с оксидной пленкой прежде, чем расплавится припой.

Флюсы содержат вещества, которые:

- вступают во взаимодействие с оксидной пленкой, образуя шлаки, легко растворимые во флюсе;
- растворяют оксидную пленку;
- вступают в реакцию замещения с оксидами труднопаяемого металла и образуют оксиды, легко растворимые во флюсе.

Флюсы классифицируются по следующим признакам:

а) по температурному интервалу пайки:

- низкотемпературные ($t < 450^{\circ}\text{C}$);
- высокотемпературные ($t > 450^{\circ}\text{C}$);

б) по природе растворителя:

- водные;
- неводные;

в) по природе активатора:

- канифольные;
- галогенидные;
- фтороборатные;
- анилиновые;
- кислотные и др.;

г) по агрегатному состоянию:

- твердые;
- жидкие;
- пастообразные;
- газообразные.

Низкотемпературные флюсы. Для низкотемпературной пайки в качестве флюса применяют канифоль и ее растворы в спирте или в органических растворителях, гидразин, древесные смолы, вазелин, а также их соединения с другими компонентами.

Канифоль имеет температуру плавления $70\text{--}100^{\circ}\text{C}$, хорошо растворяется в спирте и во многих других органических растворителях,

не вызывает коррозии металлов и сплавов, в нормальных атмосферных условиях стабильна и негигроскопична. Флюсовые свойства канифоли изменяются в зависимости от температуры: при нормальной температуре она обладает защитными свойствами; в расплавленном состоянии до температуры 200–300°C она растворяет тонкий слой оксида меди; при температуре 310°C начинает обугливаться и затруднять процесс пайки. Оставшийся после пайки слой канифоли предохраняет паяный шов от коррозии, при погружении в воду или в атмосфере с повышенной влажностью канифоль превращается в белый порошок с пониженными изоляционными свойствами. По этой причине паяные соединения, предназначенные для эксплуатации в странах с повышенной влажностью, необходимо очищать от остатков канифоли. Канифоль в качестве флюса применяют в твердом состоянии или в виде раствора в бензине, керосине или в спирте (табл. 18 приложения 1).

Для повышения активности канифольных флюсов в них добавляют гидразин, анилин, триэтаноламин и другие компоненты. По своей активности эти флюсы близки к водным растворам хлористого цинка, но по антикоррозионным свойствам они приближаются к спиртовым канифольным флюсам; остатки флюса на паяном изделии вызывают незначительную коррозию. Канифольными флюсами, содержащими хлориды, можно паять при температурах 300–350°C.

Более активные флюсы содержат органические кислоты (молочную, лимонную, олеиновую и др.), а также их растворы в воде или спирте. Для ослабления коррозионного действия в эту группу флюсов добавляют канифоль или другие компоненты, не вызывающие коррозии.

В группу высокоактивных флюсов входят хлористый цинк и хлористый аммоний (табл. 19 приложения 1). Хлоридные соли применяют в виде твердой смеси, порошков, водных растворов. С целью получения пастообразного состояния в хлоридные флюсы добавляют вазелин, минеральное масло, глицерин, воск (табл. 20 приложения 1).

Высокотемпературные флюсы. Наиболее употребляемыми флюсами для пайки медными, серебряными и жаростойкими припоями являются прокаленная бура и ее смесь с борной кислотой. Для повышения активности флюса в эти смеси добавляют фтористые и хлористые соли металлов (табл. 21 приложения 1). Для пайки при особо высоких температурах и продолжительном нагреве к борной кислоте добавляют порошки металлов магния, титана, алюминия, боросодержащие и другие соли.

Выбор флюса

Качество пайки и возможность получения паяного соединения во многом зависят от правильного выбора флюса. При выборе флюса учитывают следующие факторы: паяемый материал, тип припоя, необходимость очистки изделия от остатков флюса после пайки, способ нагрева, температуру и скорость пайки. Из всех приведенных факторов основным при выборе флюса является паяемый материал. Алюминий, магний, нержавеющая сталь и некоторые другие металлы невозможно паять, применяя канифольные флюсы. Для пайки таких металлов следует брать активные флюсы, обеспечивающие во время пайки удаление оксидной пленки и смачивание основного металла. Трудно поддаются пайке с канифолью сталь и чугун. Эти металлы легко паять с хлористым цинком или другими активными флюсами (табл. 22 приложения 1). Совершенно недопустимо применять кислотные флюсы при пайке электрической, радиоэлектронной или другой аппаратуры, промывка которой после пайки невозможна. В этом случае могут быть выбраны только некоррозионные флюсы, имеющие после пайки твердый, нелипкий и негигроскопичный остаток с хорошими изоляционными свойствами. Органические флюсы при действии на них открытого пламени быстро разлагаются и теряют свою активность. По этой причине их не следует применять при пайке газопламенными горелками. Пастообразные флюсы удобно применять при пайке в печах и на установках ТВЧ. Если пайку осуществляют быстро, необходим активный флюс. При длительном нагреве флюс может быть менее активным, но должен обладать достаточной стойкостью против разложения. Выбор флюса осуществляется на основании данных, приведенных в табл. 22–24 приложения 1.

Лабораторная работа № 2 СПОСОБЫ ПАЙКИ

Цель работы: изучить физико-химическую сущность основных способов пайки, их особенности и возможности, области рационального применения.

Задание: выбрать способ пайки конкретной пары заготовок с заданными показателями паяного шва. Выбрать припой и флюсы и указать последовательность выполняемых операций при осуществлении пайки.

Виды пайки

По особенностям процесса и технологии пайку можно разделить на капиллярную, диффузионную, контактно-реактивную, реактивно-флюсовую и пайку-сварку.

Капиллярная пайка. Припой заполняет зазор между соединяемыми поверхностями и удерживается в нем за счет капиллярных сил. Соединение образуется за счет растворения основы в жидком припое и последующей кристаллизации раствора. Капиллярную пайку используют в тех случаях, когда применяют соединение внахлестку. Однако капиллярное явление присуще всем видам пайки.

Диффузионная пайка. Соединение образуется за счет взаимной диффузии компонентов припоя и паяемых материалов, причем возможно образование в шве твердого раствора или тугоплавких интерметаллов. Для диффузионной пайки необходима продолжительная выдержка при температуре образования паяного шва и после завершения процесса при температуре ниже температуры солидуса припоя.

Контактно-реактивная пайка. При пайке между соединяемыми металлами или соединяемыми металлами и прослойкой другого металла в результате контактного плавления образуется сплав, который заполняет зазор и при кристаллизации образует паяное соединение.

Реактивно-флюсовая пайка. Припой образуется за счет реакции вытеснения между основным металлом и флюсом. Например, при пайке алюминия с флюсом $3\text{ZnCl}_2 + 2\text{Al} = 2\text{AlCl}_3 + 3\text{Zn}$ восстановленный цинк является припоем.

Пайка-сварка. Паяное соединение образуется так же, как при сварке плавлением, но в качестве присадочного металла применяют припой.

Наибольшее применение получила капиллярная пайка и пайка-сварка.

Диффузионная и контактно-реактивная пайки более трудоемки, но обеспечивают высокое качество соединения и применяются, когда

в процессе пайки необходимо обеспечить минимальные зазоры. Качество паяных соединений (прочность, герметичность, надежность и т. д.) зависит от правильного выбора основного металла, припоя, флюса, способа нагрева, величины зазоров, типа соединения.

Технологический процесс пайки

Технологический процесс пайки включает комплекс выполняемых операций, основными из которых являются следующие.

Подготовка поверхности под пайку. Качество подготовки поверхности под пайку во многом определяет уровень и стабильность свойств паяного соединения. Существуют следующие основные способы очистки поверхности: 1) термический (горелками, отжигом в восстановительной атмосфере, в вакууме); 2) механический (обработка режущим инструментом или абразивом, гидropескоструйная или дробеструйная галтовка); 3) химический (обезжиривание, химическое травление, электрохимическое травление, травление с ультразвуковой обработкой, комбинированное с обезжириванием и травлением).

Подготовка детали под пайку включает в себя также нанесение специальных технологических покрытий гальваническим или химическим способом, горячим лужением (погружением в расплавленный припой), с помощью ультразвука, плакированием, термовакуумным напылением. Часто сборка включает в себя нанесение припоя, укладку его в виде дозированных заготовок из проволоки или фольги. При размещении припоя необходимо учитывать условия пайки: расположение изделия в печи или другом нагревательном устройстве, режимы нагрева и охлаждения.

Нанесение флюса. Иногда при сборке деталей под пайку требуется нанести флюс. Порошкообразный флюс разводят дистиллированной водой до состояния негустой пасты и наносят шпателем или стеклянной палочкой, после чего детали подсушивают в термостате при 70–80°С в течение 30–60 мин. При газопламенной пайке флюс подают на прутке разогретого припоя, при пайке паяльником – рабочей частью паяльника или вместе с припоем, в случае применения оловянно-свинцового припоя – в виде трубок, наполненных канифолью.

Пайка (нагрев места соединения или общий нагрев собранных деталей) выполняется при температуре, превышающей температуру плавления припоя, как правило, на 50–100°С. В зависимости от температуры плавления применяемых припоев пайка подразделяется на высокотемпературную и низкотемпературную.

Поверхности, не подлежащие пайке, предохраняют от контакта с припоем специальной обмазкой из графита с добавками небольшого

количества извести. Пайку погружением в расплавленный припой используют для стальных, медных, алюминиевых и твердых сплавов, деталей сложных геометрических форм. На этот процесс расходуется большое количество припоев. Разновидностью пайки погружением является пайка бегущей волной припоя, когда расплавленный припой подается насосом и образует волну над уровнем расплава. Паяемая деталь перемещается в горизонтальном направлении. В момент касания ванны проходит пайка. Бегущей волной паяют в радиоэлектронной промышленности при производстве печатного радиомонтажа.

Способы пайки

Способы пайки классифицируют в зависимости от используемых источников нагрева. Наиболее распространены в промышленности пайка радиационным нагревом, экзофлюсовая, паяльниками, газопламенная, погружением, электродуговая, индукционная, электросопротивлением, пайка в печах.

Пайка радиационным нагревом. Пайку выполняют за счет излучения кварцевых ламп, расфокусированного электронного луча или мощного светового потока от квантового генератора (лазера). Конструкцию, подлежащую пайке, помещают в специальный контейнер, в котором создают вакуум. После вакуумирования контейнер заполняют аргоном и помещают в приспособление, с двух сторон которого устанавливают для обогрева кварцевые лампы. После окончания нагрева кварцевые лампы отводят, а приспособление вместе с деталями охлаждают. При применении лазерного нагрева сосредоточенная в узком пучке тепловая энергия обеспечивает испарение и распыление окисной пленки с поверхности основного металла и припоя, что позволяет получать спаи в атмосфере воздуха без применения искусственных газовых сред. При радиационном способе пайки лучистая энергия превращается в тепловую непосредственно в материале припоя и паяемых деталей. Этот способ пайки непродолжителен.

Экзофлюсовая пайка. В основном этим способом паяют коррозионно-стойкие стали. На очищенное место соединения наносят тонкий порошкообразный слой флюса. Соединяемые поверхности совмещают, на противоположные стороны заготовок укладывают экзотермическую смесь. Она состоит из разных компонентов, которые размещают в форме пасты или брикетов толщиной в несколько миллиметров. Сбранную конструкцию устанавливают в приспособлении и помещают в специальную печь, в которой происходит зажигание экзотермической смеси при 500°C. В результате экзотермических реакций смеси

температура на поверхности металла повышается и происходит расплавление припоя. Этим методом паяют соединения внахлестку и готовые блоки конструкций небольших размеров.

Пайка паяльниками. Основной металл нагревают и припой расплавляют за счет теплоты, аккумулированной в массе металла паяльника, который перед пайкой или в процессе ее подогревают. Для низкотемпературной пайки применяют паяльники с периодическим нагревом, с непрерывным нагревом, ультразвуковые и абразивные. Рабочую часть паяльника выполняют из красной меди. Паяльник с периодическим нагревом в процессе работы иногда подогревают от стороннего источника теплоты. Паяльники с постоянным нагревом делают электрическими. Нагревательный элемент состоит из нихромовой проволоки, намотанной на слой асбеста, слюды или на керамическую втулку, устанавливаемую на медный стержень паяльника. Паяльники с периодическим и непрерывным нагревом чаще используют для флюсовой пайки черных и цветных металлов мягкими припоями с температурой плавления ниже 300–350°C. Ультразвуковые паяльники применяют для бесфлюсовой низкотемпературной пайки на воздухе и для пайки алюминия легкоплавкими припоями. Оксидные пленки разрушаются за счет колебаний ультразвуковой частоты. Абразивными паяльниками можно паять алюминиевые сплавы без флюса. Оксидная пленка удаляется в результате трения паяльника о металл.

Важное значение имеет сборка узлов под пайку. Сборка должна обеспечивать фиксацию взаимного положения деталей с требуемым зазором и поступление припоя в зазор. В тех случаях, когда припой заранее закладывают в соединение в виде фольги и затем нагревают узел (например, в вакуумной печи), необходимо обеспечить сжатие деталей при температуре пайки с определенным усилием. Если это усилие будет недостаточным, то получится слишком толстый шов с неудовлетворительной прочностью. Чрезмерное сжатие может повредить паяемый узел.

Для сжатия деталей при пайке применяют специальные приспособления. Необходимое усилие сжатия обеспечивается механическими зажимами или разницей между температурным расширением материала изделия и материала приспособления. Последний способ нередко является единственным, когда печная пайка осуществляется при высоких температурах.

Газопламенная пайка. При пайке нагрев осуществляется пламенем газовой горелки. В качестве горючего газа используют смеси различных газообразных или жидких углеводородов (ацетилен, метан, пары керосина и т. д.) и водород, которые при сгорании в смеси с ки-

слородом дают высокотемпературное пламя. При пайке крупных деталей горючие газы и жидкости применяются в смеси с кислородом, при пайке мелких деталей – в смеси с воздухом. Пайку можно выполнять как горелками специального типа, дающими широкий факел, так и нормальными, сварочными паяльными лампами.

Пайка погружением в расплавленный припой. Расплавленный припой в ванне покрывается слоем флюса. Подготовленная к пайке деталь погружается в расплавленный припой (металлическую ванну), который также является источником тепла. Для металлических ванн обычно используют медно-цинковые и серебряные припои.

Пайка погружением в расплавленную соль. Состав ванны выбирают в зависимости от температуры пайки, которая должна соответствовать рекомендуемой температуре ванны 700–800°C при работе на смеси определенного состава. Ванна состоит из хлористых натрия, калия, бария и др. Этот метод не требует применения флюсов и защитной атмосферы, так как состав ванны подбирают таким, что он вполне обеспечивает растворение оксидов, очищает паяемые поверхности и защищает их от окисления при нагреве, т. е. является флюсом.

Детали подготавливают к пайке, на шов в нужных местах укладывают припой, после чего опускают в ванну с расплавленными слоями, являющимися флюсом и источником тепла, где припой расплавляется и заполняет шов.

Электродуговая пайка. При дуговой пайке нагрев осуществляется дугой прямого действия, горящей между деталями и электродом, или дугой косвенного действия, горящей между двумя угольными электродами. При использовании дуги прямого действия обычно применяют угольный электрод (угольная дуга), реже – металлический электрод (металлическая дуга), которым служит сам стержень припоя. Угольную дугу направляют на конец стержня припоя, касающегося основного металла, так, чтобы не расплавлять кромок детали. Металлическую дугу применяют при токах, достаточных для расплавления припоя и очень незначительно оплавливающих кромки основного металла. Для пайки дугой прямого действия пригодны высокотемпературные припои, не содержащие цинка. При помощи угольной дуги косвенного действия можно выполнять процесс пайки высокотемпературными припоями всех типов. Для нагрева этим способом применяют специальную угольную горелку. Ток к электродам подается от машины для дуговой сварки.

Индукционная пайка (пайка токами высокой частоты). При индукционной пайке детали нагреваются индуктируемыми в них

вихревыми токами. Индукторы изготавливаются из медных трубок, преимущественно прямоугольного или квадратного сечения, в зависимости от конфигурации деталей, подлежащих пайке.

При индукционной пайке быстрый нагрев детали до температуры пайки обеспечивается использованием энергии высокой концентрации. Для предохранения индуктора от перегрева и расплавления применяется водяное охлаждение.

Пайка электросопротивлением. При этом способе пайки электрический ток низкого напряжения (4–12 В), но сравнительно большой силы (2000–3000 А) пропускают через электроды и за короткое время нагревают их до высокой температуры; детали нагреваются как за счет теплопроводности от нагретых электродов, так и за счет тепла, выделяемого током при его прохождении в самих деталях.

При прохождении электрического тока паяемое соединение нагревается до температуры плавления припоя, и расплавленный припой заполняет шов. Контактную пайку производят или на специальных установках, обеспечивающих питание током большой силы и малого напряжения, или на обычных машинах для контактной сварки.

Пайка в печах. Для пайки используются электрические печи и реже пламенные печи. Нагрев деталей под пайку производят в обычной, восстановительной или обладающей защитными свойствами средах. Пайку высокотемпературными припоями производят с применением флюсов. При пайке в печах с контролируемой средой подлежащие пайке детали из чугуна, меди или медных сплавов собирают в узлы.

Пайка соединений металлов с неметаллическими материалами. Пайкой можно получить соединения металлов со стеклом, кварцем, фарфором, керамикой, графитом, полупроводниками и другими неметаллическими материалами.

Обработка после пайки включает в себя удаление остатков флюса. Флюсы, частично оставшиеся после пайки на изделии, портят его внешний вид, изменяют электрическую проводимость, а некоторые вызывают коррозию. Поэтому остатки их после пайки должны быть тщательно удалены. Остатки канифоли и спиртоканифольных флюсов обычно коррозии не вызывают, но если по условиям эксплуатации изделий требуется их удалить, то изделие промывают спиртом, спиртобензиновой смесью, ацетоном. Агрессивные кислотные флюсы, содержащие соляную кислоту или ее соли, тщательно отмывают последовательно горячей и холодной водой с помощью волосяных щеток.

Типовые паяные соединения показаны на рисунке. Паяные швы отличаются от сварных по конструктивной форме и способу образования.

Тип паяного соединения выбирают с учетом эксплуатационных требований, предъявляемых к узлу, и технологичности узла в отношении пайки. Наиболее распространенным видом соединения является пайка внахлестку.

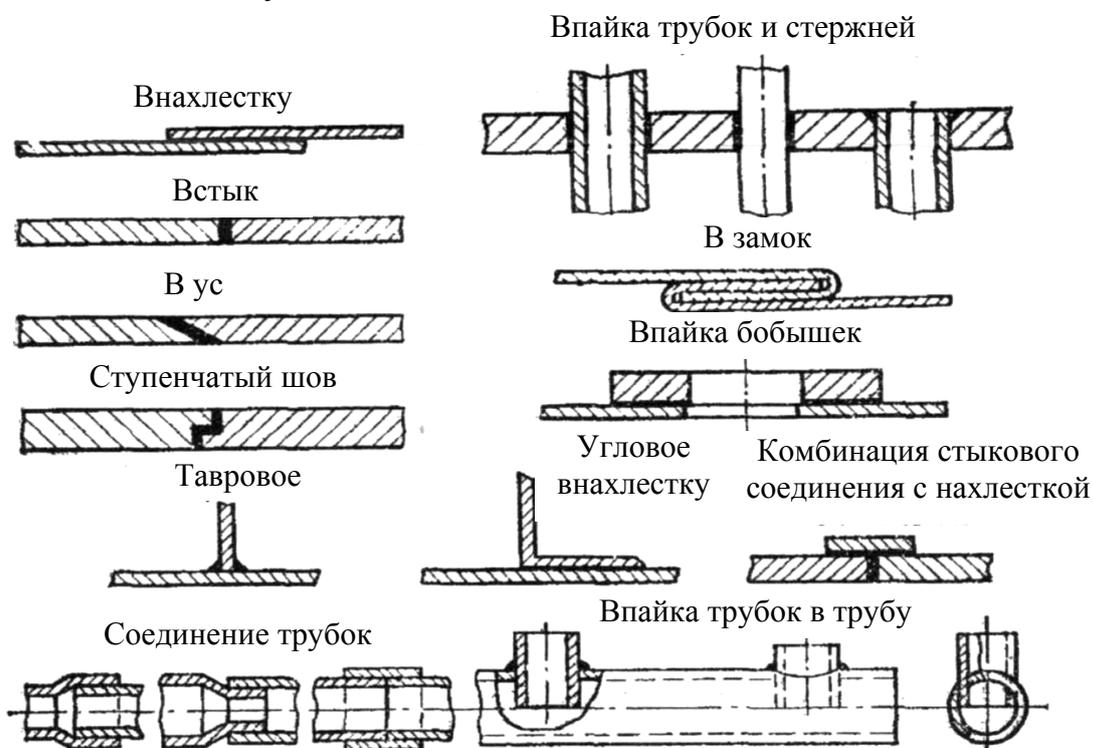


Рисунок. Типовые паяные соединения

В узлах, работающих при значительных нагрузках, где, кроме прочности шва, необходима герметичность, детали следует соединять только внахлестку. Швы внахлестку обеспечивают прочное соединение, удобны при выполнении и не требуют проведения подгоночных операций, как это имеет место при пайке встык или в ус.

Стыковые соединения обычно применяют для деталей, которые не рационально изготовлять из целого куска металла, а также в тех случаях, когда нежелательно удваивать толщину металла. Их можно применять для малонагруженных узлов, где не требуется герметичность. Механическая прочность припоя (особенно низкотемпературного) обычно бывает ниже прочности соединяемого металла; для того чтобы обеспечить равнопрочность паяного изделия, прибегают к увеличению площади сая путем косо́го среза (в ус) или ступенчатого шва; часто с этой целью применяют комбинацию стыкового соединения с нахлесткой.

Пайкой можно изготавливать сложные по конфигурации узлы и целые конструкции, состоящие из нескольких деталей, за один

производственный цикл (нагрев), что позволяет рассматривать пайку (в отличие от сварки) как групповой метод соединения материалов и превращает ее в высокопроизводительный технологический процесс, легко поддающийся механизации и автоматизации.

При пайке возможны следующие дефекты: смещение паяемых элементов; раковины в швах; пористость в паяном шве; флюсовые и шлаковые включения; трещины; непропай; деформации местные и общие.

Виды контроля паяных конструкций

Виды контроля паяных конструкций, применяемые в промышленности, достаточно разнообразны. К ним относятся внешний осмотр, контроль радиационный, акустический, магнитный, капиллярный и др. Для проверки герметичности и прочности сварных конструкций применяются гидравлические испытания, испытания сжатым воздухом, различного типа течеискателями.

Внешний осмотр. Если внешний осмотр проводится с применением оптических средств (лупы, микроскопа, перископических оптических устройств и т. п.), то такой метод контроля называют визуально-оптическим. Внешнему и визуально-оптическому контролю подвергается почти 100% всех швов. Такой довольно простой метод контроля позволяет, однако, обнаружить наружные дефекты довольно широкого спектра: подрезы, поры, трещины, незаваренные кратеры, раковины, свищи, неравномерность шва и несоответствие его геометрии требованиям чертежа.

Радиационный контроль. Выявление дефектов основано на различном поглощении металлом и неметаллическими веществами проникающего излучения. В качестве источника подобных излучений применяют рентгеновские аппараты, позволяющие получить тормозное (рентгеновское) излучение, различного типа ускорители (ускорители электронов, бетатроны).

Акустический контроль. С его помощью выявляются многие внутренние дефекты: трещины, пустоты, поры, непровары, расслоения, непропай и т. п. Вид контроля основан на изменении характера распространения волн (звуковых и ультразвуковых) в сварных или паяных швах.

Магнитный контроль. Распределение магнитных силовых линий в случае намагничивания каким-либо образом сварных или паяных деталей изменяется в месте дефекта и может быть зафиксировано одним из следующих методов: магнитопорошковым, магнитографическим, индукционным. При магнитопорошковом методе на деталь на-

носится ферромагнитный порошок, предварительно смешанный с керосином, маслом. Более технологичен магнитографический метод, заключающийся в намагничивании предварительно размагниченной магнитной пленки, которая накладывается на контролируемый участок. На пленке фиксируется локальное нарушение магнитных силовых линий в месте дефекта, если такой имеется в шве. Записанная магнитограмма воспроизводится с помощью специального считывающего устройства на экране осциллографа.

Капиллярный контроль применяется для выявления наружных дефектов сварных и паяных соединений: трещин, свищей, расслоений и т. п. Один из вариантов такого контроля – люминесцентный. Сущность его заключается в том, что деталь на 20–30 мин погружают в индикаторную жидкость (например, смесь 85% керосина и 15% трансформаторного масла). Трещины, поры и другие дефекты, подобно капиллярам, втягивают в себя индикаторную жидкость и хорошо ее удерживают. Деталь вытирают насухо и на ее поверхность наносят сорбент – тальк или порошок магнезии. Сорбент через определенное время вытягивает на поверхность часть индикаторной жидкости, оставшейся в дефектах и не удаленной при вытирании детали. Если теперь поверхность детали облучить ультрафиолетовыми лучами, то индикаторная жидкость, поглощенная сорбентом, будет ярко люминесцировать, свидетельствуя о наличии дефекта.

Пайка уменьшает, а иногда полностью исключает остаточные напряжения и деформации. К числу очень важных преимуществ пайки следует отнести возможность соединения разнородных металлов, а также металлов с неметаллами. С помощью пайки можно получать неразъемные и разъемные соединения. Последнее очень важно в производстве радиоэлектронной аппаратуры, когда возникает необходимость демонтажа при настройке или замене дефектных приборов, установленных на печатной плате.

Возможность варьировать размеры соединяемых пайкой поверхностей (величины нахлестки) позволяет обеспечить равнопрочные с основным металлом соединения. При этом получается более благоприятная форма соединения с меньшей концентрацией напряжений, чем при контактной сварке. Перечисленные выше преимущества пайки позволяют рассматривать ее как прогрессивный технологический процесс, находящий все более широкое применение в производстве.

При помощи пайки можно соединять детали из углеродистой и легированной сталей всех марок, цветных металлов и сплавов, а также из разнородных металлов, сплавов с неметаллами.

Лабораторная работа № 3

ТЕХНОЛОГИЯ ПАЙКИ

ДЕРЕВОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Цель работы: ознакомиться с основными способами и особенностями пайки многолезвийного дереворежущего инструмента.

Задание: провести сравнительный анализ разных способов пайки твердыми припоями, выбрать и обосновать способ пайки твердосплавных дереворежущих круглых пил.

ТЕХНОЛОГИЯ И СПОСОБЫ ПАЙКИ ИНСТРУМЕНТА

Качество паяного твердосплавного или быстрорежущего дереворежущего инструмента определяется механическими показателями паяного соединения, которые, в свою очередь, зависят от следующих параметров:

- качества подготовки поверхности паяемых деталей перед пайкой;
- температуры и продолжительности нагрева;
- соблюдения величины зазоров при пайке;
- равномерности нагрева соединяемых поверхностей;
- полноты удаления оксидной пленки в процессе пайки.

При не соблюдении величины зазоров при сборке, нарушении параллельности паяемых соединений при пайке внахлестку качество паяного соединения ухудшается вследствие неравномерной толщины паяного шва. Немаловажное значение имеет и равномерность нагрева соединяемых поверхностей. Недогрев или перегрев отдельных мест паяного соединения приводит к нарушению условий удаления оксидной пленки, несмачиванию паяемых поверхностей припоем, образованию пор, пустот.

Пайка в печах

Пайка в печах является наиболее старым, экономичным и производительным способом соединения металлов в массовом производстве и обеспечивает высокое качество паяного инструмента. Удаление оксидных пленок и защита основных металлов и сплавов при печной пайке осуществляется за счет применения флюса, защитных и восстановительных атмосфер и вакуума. При этом требуется дополнительное применение сложных устройств для изготовления и очистки газовых

атмосфер или вакуумирования; устройств для транспортировки деталей; устройств и приспособлений для сборки и пайки. Все эти устройства и приспособления усложняют и удорожают процесс пайки. Кроме того, в печах происходит общий нагрев всей детали, что не годится для изготовления многолезвийного деревообрабатывающего инструмента из-за возможного коробления державок (корпусов) инструмента. В связи с этим, печная пайка наиболее приемлема для массового изготовления простого однолезвийного деревообрабатывающего инструмента типа резцов.

Газопламенная пайка

Газопламенная пайка применяется при ремонте деревообрабатывающего инструмента. Вследствие небольшой мощности горелки, неравномерность нагрева деталей под пайку приводит к короблению державок инструмента.

Электроконтактная пайка

Электроконтактная пайка наиболее целесообразна для изготовления деревообрабатывающего инструмента с твердосплавными пластинками небольших размеров (например, дисковые пилы, фрезы и др.).

Нагрев зуба инструмента до температуры пайки осуществляется в данном случае за счет выделения тепла при прохождении через него электрического тока. Количество выделяющегося при этом тепла обуславливается силой тока и омическим сопротивлением материала.

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t_n = P \cdot t_n, \quad (3.1)$$

где Q – количество тепла, Дж; I – сила тока, А; R – сопротивление, Ом; t_n – время нагрева, с; P – мощность, кВт.

Количество тепла, необходимое для нагрева инструмента до температуры пайки без потерь, выразится уравнением:

$$Q = C_M (T_n - T_0) G, \quad (3.2)$$

где C_M – средняя теплоемкость материала заготовки, Дж/кг·К; T_n – температура пайки, К; T_0 – начальная температура заготовки, К; G – масса нагреваемого участка заготовки, кг.

Сравнивая выражения (3.1) и (3.2), получим:

$$P_n = \frac{C_M (T_n - T_0) G}{t_n}, \quad (3.3)$$

где P_n – полезная мощность, кВт.

Основными достоинствами контактного нагрева являются: возможность автоматизации процесса пайки; стабильность режимов нагрева; возможность жесткого контроля температуры пайки; потребление энергии происходит только в момент нагрева.

Индукционная пайка

По сравнению с другими способами пайки индукционная пайка имеет ряд преимуществ: кратковременность и локальность нагрева; возможность пайки в контролируемых атмосферах; одинаковая пригодность пайки как для мелких, так и больших серий изделий.

В качестве аппаратуры индукционной пайки применяют установки ТВЧ и набор различных индукторов. Генераторы преобразуют электрический ток стандартной частоты в ток высокой частоты. Индукторы служат для передачи электрической энергии с помощью электромагнитного поля, под воздействием которого в металле возникают электрические токи, вызывающие нагрев детали. Переменный высокочастотный ток, протекая по проводнику (деталь), сосредотачивается главным образом в поверхностном слое и прогревает его. Глубина прогреваемого слоя зависит от частоты тока и определяется из соотношения

$$\delta = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}}, \quad (3.4)$$

где ρ – удельное электросопротивление нагреваемого металла, Ом·м; μ – магнитная проницаемость, Гс/м; f – частота тока, кГц.

При пайке крупных изделий частота тока должна быть большей, чем при пайке мелких.

ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ И РЕЖИМОВ ПАЙКИ, ТОЛЩИНЫ ШВА И ПОРИСТОСТИ НА ПРОЧНОСТЬ ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Прочность паяных соединений, согласно исследованиям, зависит от прочности припоя, основного материала, ширины зазора, способа пайки, качества подготовки поверхностей паяемых материалов, пористости шва, длины нахлестки и других факторов. Доказано, что прочность паяного шва при пайке твердосплавного инструмента погружением и в атмосфере азотноводородной смеси повышается. Это связано с более полным удалением оксидной пленки и более надежной защитой паяемых материалов от окисления во время пайки, по сравнению с пайкой в атмосфере.

В результате диффузионных процессов состав припоя изменяется, что улучшает прочностные свойства шва либо в результате легирования расплава припоя компонентами основного металла, либо в результате образования твердых растворов. Однако, если в паяном шве в процессе пайки образуются интерметаллические соединения, прочность его снижается. Установлен отрицательный эффект увеличения времени пайки.

При пайке твердого сплава со сталями мартенситного класса прочность шва увеличивается при мартенситном превращении стали. Степень упрочнения зависит от величины зазора и типа соединения. По данным исследований, упрочнение является результатом фазового наклепа, что подтверждается и повышением микротвердости шва.

Одним из важнейших факторов, влияющих на прочность паяного соединения, является ширина зазора, что объясняется структурой шва. С уменьшением зазора увеличивается растворимость основного металла в расплаве припоя, связанная с увеличением капиллярного давления, приводящая к изменению химического потенциала элементов основного металла и припоя.

Кроме вышеуказанных факторов, влияющих на прочность паяного шва, не последнее место принадлежит и пористости. Причины возникновения пористости следующие: образование газовых раковин; усадочные поры; эффект сфероидизации. С увеличением количества пор и их размеров прочность существенно уменьшается. При пайке латунями пористость может образоваться благодаря локальной несмачиваемости и испарению цинка при высоких температурах; возможности изоляции расплавленных капель легкоплавкого металла шлаковой пленкой от стального расплава; растворимостью газов в шве с последующим их выделением при кристаллизации, особенно при пайке припоями, содержащими цинк. Пористость может быть устранена за счет повышения сдавливания контактируемых поверхностей, применения в качестве припоев сплавов, не загрязненных шлаками, использования вибрации.

Повышение прочности паяных соединений может быть достигнуто и при пайке с компенсационными прокладками в результате уменьшения остаточных напряжений в соединении, рифлением поверхностей паяемых металлов, введением депрессантов. При введении депрессантов снижается температура плавления припоя, упрочнение шва достигается при испарении депрессанта припоя в вакууме, связыванием депрессанта с припоем в тугоплавкие соединения или растворением его в припое и основном металле.

Специфика технологии изготовления составного дереворежущего инструмента в литературе освещена слабо. При разработке технологии производства дереворежущего инструмента, как правило, используются рекомендации, основывающиеся на исследованиях, проводившихся в области составного металлорежущего инструмента. В то же время известно, что в металлообработке не находят применения инструменты, подобные тонким дисковым твердосплавным пилам. Изготовление таких пил, работающих на весьма высоких скоростях резания, условия их эксплуатации существенно отличаются от металлорежущего твердосплавного инструмента. Очень важен вопрос о термическом влиянии процесса пайки на корпус инструмента и припаиваемые пластинки.

Серьезные трудности вызываются тем, что дереворежущие инструменты, как правило, имеют большее количество режущих элементов, достигающее до 100 и более на круглых пилах. Процесс пайки этих элементов затрудняется тем, что их размеры невелики. Например, на круглые пилы припаиваются пластинки размером $3 \times 6 \times 12$ мм. Естественно, что производительность при изготовлении инструмента и его точность может быть достигнута лишь при условии автоматизации основных операций пайки. К этим операциям относятся: подача пластинки, припой и флюса в зону пайки, контроль температуры и времени пайки.

В деревообработке применяются совершенно специфические инструменты – длинные твердосплавные ножи. Вопрос пайки пластинок длиной 100–200 мм к каркасам ножей изучен недостаточно. Это, в особенности, касается проблемы прямолинейности составного ножа, поскольку тепловые характеристики (главным образом коэффициент линейного расширения) малоуглеродистой стали каркаса и твердого сплава значительно различаются.

В современной литературе нет материалов, касающихся термического воздействия на прочностные характеристики сталей каркаса дереворежущего инструмента. Противоречивы сведения о влиянии термообработки на свойства твердого сплава. Сложная проблема в технологии изготовления дереворежущего инструмента возникла в связи с вынужденной заменой дорогого и дефицитного серебряного припоя, который применялся для пайки инструмента, припоями на медной основе. Проблемы пайки дереворежущего инструмента требуют проведения дополнительных исследований.

Лабораторная работа № 4 ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ПАЙКИ НА ПРОЧНОСТЬ ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Цель работы: изучить влияние параметров пайки на прочность паяных соединений, механизм легирования и структуру шва.

Задание: установить влияние припоя и флюса на механические показатели паяного соединения. Изучить влияние температуры, скорости нагрева на механические показатели металла корпуса инструмента и твердого сплава. Обосновать оптимальные электрические параметры, влияющие на механические показатели паяного соединения при изготовлении твердосплавного дереворежущего инструмента.

Результаты исследований влияния нагрева на прочность твердого сплава и его структуру

Устройство для изучения нагрева инструментальных материалов на их прочность должно обеспечивать перекрытие режимов, которые имеют место при пайке. Такие возможности обеспечиваются нагревом образцов путем пропускания через них тока от регулируемого автотрансформатора.

Результаты влияния нагрева на прочность и структуру твердого сплава ВК15 приведены на рис. 4.1, 4.2, 4.3.

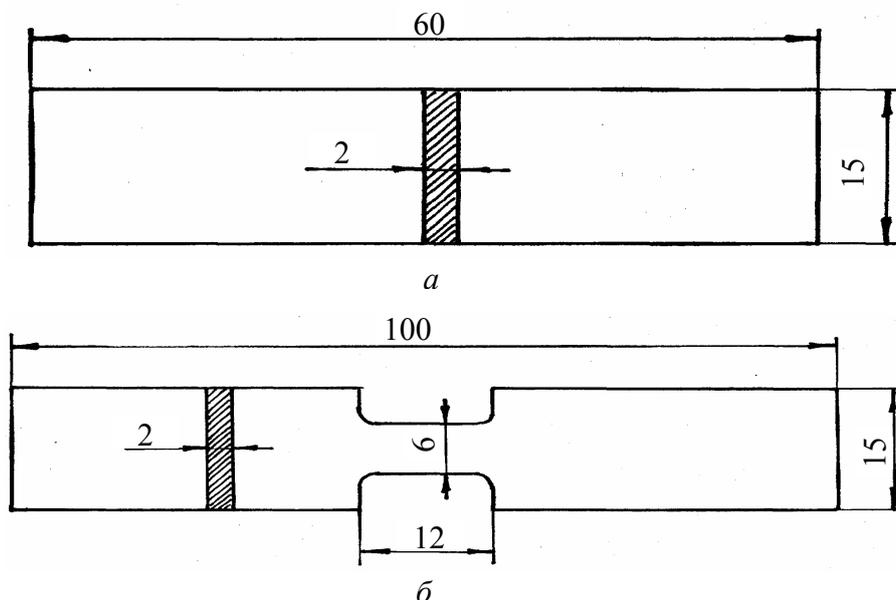


Рис. 4.1. Образцы для испытаний на механическую прочность:
a – образец из твердого сплава ВК15; *б* – образец из стали 9ХФ

Нагрев до температур, соответствующих температурам плавления медно-цинковых припоев, прочности твердого сплава практически не снижает. Напротив, покрытие поверхности твердосплавной пластинки расплавом припоя несколько увеличивает его прочность. Очевидно, это объясняется тем, что припой проникает в имеющиеся в поверхностном слое материала поры, заполняет их и снижает степень дефектности этого слоя (эффект «залечивания» микродефектов).

Безусловно, вреден нагрев твердого сплава до температур 1400–1500 К. Такой нагрев вызывает значительное снижение прочности инструментального материала. Наиболее сильное снижение прочности (20–25%) наблюдается при медленном нагреве, при скорости нагрева 50 К/с время нагрева до 1500 К составляет около 24 с. За это время на поверхности пластинки образуется значительный по величине слой окалины, кислород неизбежно проникает по границам зерен сплава, увеличивает степень их разобоченности, что не может не сказаться на прочности.

Наиболее приемлемой скоростью нагрева необходимо считать скорость около 150 К/с. Как видно из номограмм, при условии отсутствия перегрева эта скорость нагрева обеспечивает максимальную прочность твердого сплава.

Исследования влияния температуры и скорости нагрева стали каркаса на ее структуру и механические свойства

Наиболее широко для изготовления полотен круглых пил применяется низколегированная хромо-ванадиевая сталь 9ХФ. Как известно, на прочность зубьев пил, кроме параметров нагрева и охлаждения, существенное влияние оказывает последующая термообработка – отпуск. Учитывая это обстоятельство, нами проведены исследования влияния отпуска на прочностные свойства стали каркаса. Химический состав стали 9ХФ приведен в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Химический состав стали 9ХФ

| Химический состав, % | | | | | |
|----------------------|--------|---------|------|---------|--------|
| углерод | магний | кремний | хром | ванадий | никель |
| 0,92 | 0,38 | 0,34 | 0,60 | 0,22 | 0,22 |

Исследования проводились на той же экспериментальной установке. Образцы для пайки изготавливались из полотен круглых пил толщиной 2,4 мм. Полотно разрезалось на полоски шириной 15 мм, которые раскраивались на отрезки длиной 100 мм. После раскроя об-

разцы шлифовались по толщине до $2 \pm 0,05$ мм. Для того, чтобы скорость нагрева рабочих участков образца соответствовала скорости нагрева и охлаждения зубьев пил при пайке, а также для того, чтобы обеспечить разрыв образца в намеченном месте, на образцах вышлифовывалась шейка размерами $12 \times 6 \times 2$ мм (рис. 4.1).

Результаты исследований влияния нагрева на механические свойства стали 9ХФ

Из проведенных исследований вытекает, что нагрев стали каркаса, как и следовало ожидать, отрицательно влияет на ее механические свойства (рис. 4.2).

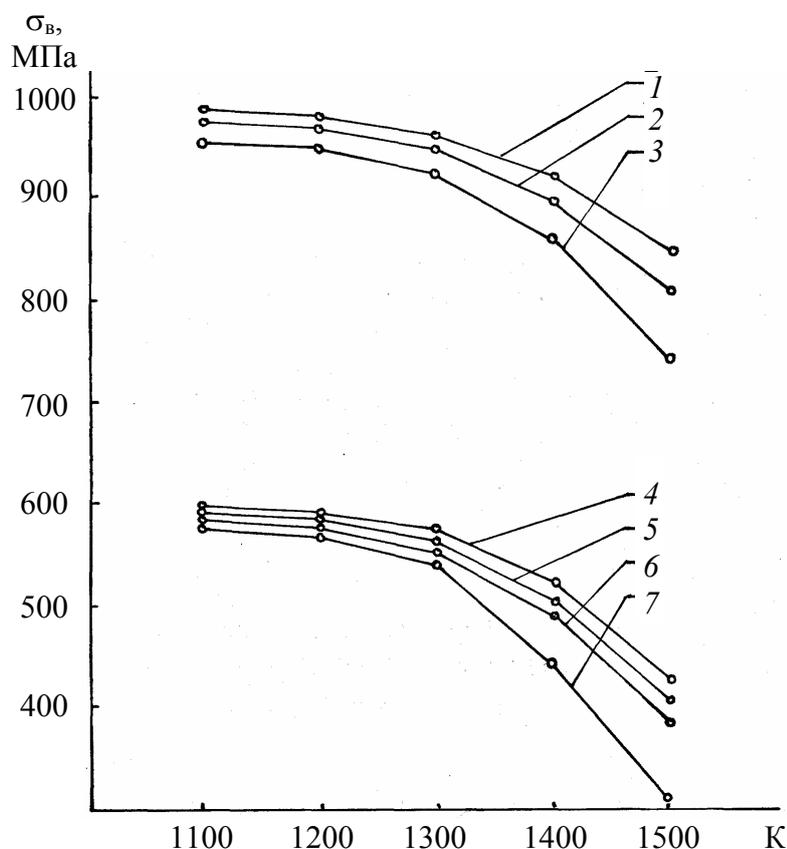


Рис. 4.2. Зависимость прочности стали 9ХФ от температуры нагрева и отпуска:

- | | |
|--------------------------------|------------------------------|
| 1 – нагрев с флюсом и припоем; | $V = 100$ К/с, отпуск 570 К; |
| 2 – нагрев с флюсом; | $V = 100$ К/с, отпуск 570 К; |
| 3 – нагрев на воздухе; | $V = 100$ К/с, отпуск 570 К; |
| 4 – нагрев с флюсом и припоем; | $V = 100$ К/с, без отпуска; |
| 5 – нагрев с флюсом; | $V = 100$ К/с, без отпуска; |
| 6 – нагрев на воздухе; | $V = 100$ К/с, без отпуска; |
| 7 – нагрев на воздухе; | $V = 50$ К/с, без отпуска. |

Однако при нагреве до температуры 1200 К это влияние невелико. Плавающие на поверхности металла флюс и припой несколько блокируют вредное влияние нагрева. Как и в случае с твердым сплавом, это мы объясняем эффектом «залечивания» дефектов поверхности. Причиной снижения прочности стали каркаса следует считать увеличение размеров ее зерна. Об этом свидетельствуют фрактограммы излома образцов, из которых следует, что на не перегретых образцах структура стали более мелкозернистая, чем на образцах, подвергнутых перегреву. Безусловно, необходим отпуск зубьев пил после напайки твердого сплава, об этом свидетельствует весьма значительное повышение механических свойств стали, которое описывается кривыми 1, 2 и 3 на рис. 4.2. Безусловно, отрицательно влияет на прочность стали длительная выдержка при высоких температурах.

Выводы

1. Температура нагрева оказывает незначительное влияние на микроструктуру твердого сплава, а, следовательно, и на его прочность. Снижение прочности твердого сплава при высоких температурах нагрева объясняется более интенсивным протеканием окислительных процессов на его поверхности.

2. Припой и флюс, расплавленные на поверхности твердого сплава, улучшают его механические свойства, что, по нашим предположениям, объясняется эффектом «залечивания» микро- и субмикрордефектов поверхности.

3. Увеличение времени нагрева, безусловно, недопустимо, поскольку это способствует развитию окислительных процессов на поверхности твердого сплава.

4. Высокие температуры нагрева ухудшают свойства стали каркаса, растет его зерно, интенсивно протекают процессы окисления поверхности.

Отрицательно на свойства стали влияет увеличение времени выдержки при высоких температурах.

5. Отпуск стали после нагрева под пайку абсолютно необходим, поскольку он позволяет увеличить прочность стали каркаса.

6. Как и для твердого сплава, смачивание поверхности стали флюсом и припоем увеличивает механические свойства.

7. Безусловно, при пайке необходим активный контроль температуры нагрева.

Образцы. Приспособления для пайки. Пайка образцов

Образцы (рис. 4.3) для пайки стали 10 изготавливались таким образом, чтобы прилагаемое к ним срезающее усилие $P_{ср}$ прикладывалось по оси паяного шва.

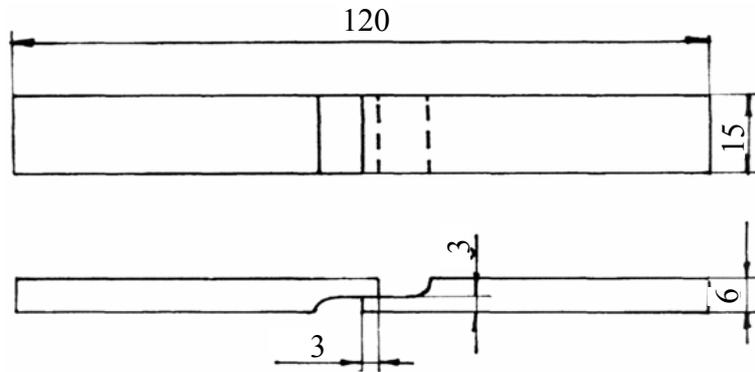


Рис. 4.3. Образец для испытаний на прочность паяных соединений сталь 10 – сталь 10

Образцы (рис. 4.4) для пайки твердого сплава и быстрорежущей стали со сталями 10 и 9ХФ изготавливались следующим образом. На одну из половинок стального образца 1 припаивалась пластина 2 твердого сплава или стали Р6М5. Пайка осуществлялась припоем (медным или медно-никелевым), температура плавления которого на 50 К превышала температуру плавления исследуемых припоев. Длина нахлестки в 2 раза превышала поперечное сечение стального образца. Поверхности пластинок твердого сплава и быстрорежущей стали после пайки подвергались очистке от остатков окислов и флюсов и обезжиривались.

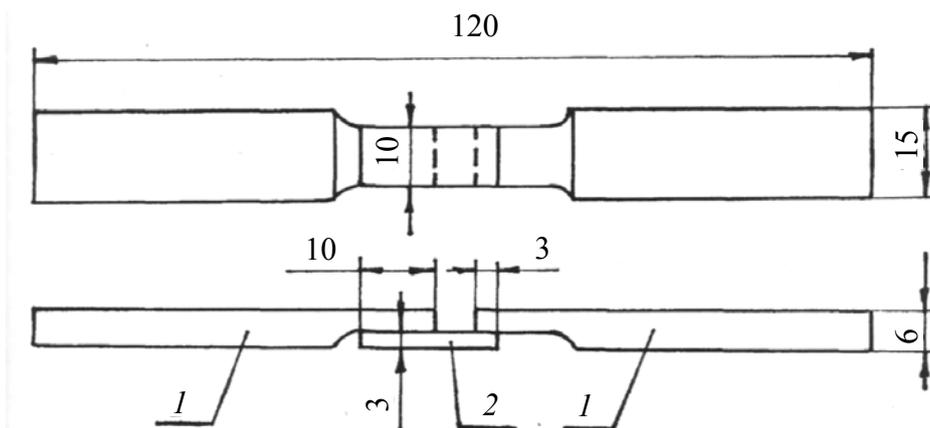


Рис. 4.4. Образец для испытаний на прочность паяных соединений
9ХФ (сталь 10) – Р6М5 (BK8, BK15):
1 – сталь 9ХФ (сталь 10); 2 – Р6М5 (BK8, BK15)

Испытания на прочность. Результаты испытаний

Паяные по вышеприведенной методике образцы испытывались на срез на разрывной машине Р10. Скорость нагружения составляла 2 мм/мин. Поскольку методика изготовления образцов предопределяет приложение срезающего усилия по оси паяного шва – последний работает на чистый срез.

Результаты опытов сведены в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Среднее значение срезающего усилия при испытании образцов

| Флюс | Припой | Температура пайки, К | Тип паяного соединения | $R_{ср}$, МПа |
|------|------------------|----------------------|------------------------|----------------|
| 1 | Л63 | 1230 | сталь 10 – сталь 10 | 260 |
| 2 | | | | 270 |
| 3 | | | | 320 |
| 1 | Л63 | 1230 | сталь 10 – ВК15 | 160 |
| 2 | | | | 260 |
| 3 | | | | 460 |
| 1 | Л63 | 1230 | 9ХФ – ВК15 | 220 |
| 2 | | | | 300 |
| 3 | | | | 480 |
| 1 | Л63 | 1230 | 9ХФ – ВК8 | 220 |
| 2 | | | | 280 |
| 3 | | | | 470 |
| 3 | ПСр40 | 950 | 9ХФ – Р6М5 | 150 |
| | Л63 | 1230 | | 350 |
| | медно-никелевый | 1500 | | 370 |
| | ферромарганцевый | 1500 | | 380 |
| | медно-никелевый | 1570 | | 200 |

Из таблицы следует, что различия в прочности паяного соединения образцов из стали 10, при условии применения разных по активности флюсов, относительно невелики и объясняются, по всей вероятности, практически бездиффузионной пайкой, так как диффузии железа в припой и компонентов припоя в основной металл не наблюдается, а также отсутствием труднорастворимых оксидов легирующих элементов. Это дает возможность применения для пайки углеродистых сталей дешевых, малоактивных флюсов. Повышение активности флюсов за счет введения в их состав борной кислоты и фторидов щелочных металлов способствует увеличению прочности паяного шва на 20–23%. По всей вероятности, это объясняется более

полным удалением оксидной пленки и лучшим смачиванием поверхности паяемых сталей.

Применение активных флюсов для пайки на конструкционную сталь 10 твердых сплавов, в состав которых входят металлы, образующие труднорастворимые оксиды (Co, W), совершенно необходимо, поскольку активные флюсы позволяют увеличить прочность паяного соединения примерно в 3 раза по сравнению с пайкой, при условии использования в качестве флюса буры. Недопустимость пайки твердого сплава малоактивными флюсами совершенно очевидна. Введение борной кислоты или борного ангидрида и фтористого натрия приводит к увеличению прочности соединения в 1,6 раза. Введение в состав флюса фтористого лития (по сравнению с флюсом № 2) увеличивает прочность примерно в 1,8 раза.

При пайке твердого сплава со сталью 9ХФ во всех случаях прочность паяных соединений несколько повышается, что можно объяснить более интенсивной диффузией в припой в основном кобальта в присутствии хрома и ванадия, а также меди и цинка в твердый сплав. Кроме того, присутствие во флюсе фтористого лития предотвращает образование на границе твердый сплав – припой хрупкого слоя, состоящего из карбида вольфрама, так как последний (по всей вероятности) растворяется во флюсе и диффундирует в припой, и диффузией вольфрама во все припои при пайке быстрорежущих сталей, в которых вольфрам находится в виде карбидов.

Немаловажную роль в повышении прочности паяного шва играет снижение поверхностного натяжения расплава припоя и связанная с ним растекаемость. На это непосредственно указывает уменьшение толщины паяного шва при пайке твердых сплавов со сталью 9ХФ. При одинаковом усилии прижима паяемых образцов толщина паяного шва резко уменьшается от флюса № 1 к флюсу № 3 (примерно в 3 раза). Кроме того, при пайке указанных образцов только с бурой наблюдается интенсивное порообразование, что также не способствует увеличению прочности паяного шва.

Анализ прочностных свойств соединений 9ХФ – Р6М5, паянных различными припоями, показывает, что серебряные припои для пайки быстрорежущих сталей совершенно непригодны, так как кроме высокой стоимости и дефицитности имеют и низкую прочность. Соединения, паянные медно-цинковыми, медно-никелевыми и ферромарганцевыми припоями имеют практически одинаковую прочность. Однако более технологичными и приемлемыми, по нашему мнению, являются медно-цинковые и медно-никелевые припои (исходя из конструкции и

назначения деревообрабатывающих инструментов). Перегрев сталей при пайке, как показывает пайка образцов медно-никелевым припоем при $T_{п} = 1570 \text{ К}$, совершенно недопустим, так как это ведет к охрупчиванию паяного соединения и резкому снижению его прочности (примерно в 2 раза). Химический состав паяного соединения меняется в зависимости от режимов пайки (рис. 4.5–4.7).

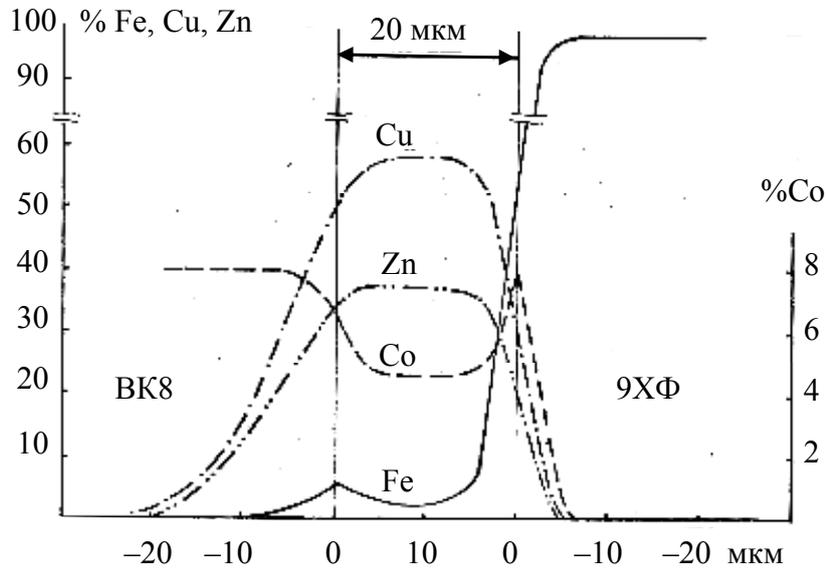


Рис. 4.5. Распределение элементов в паяном соединении.
Температура пайки – 1230 К; припой Л63; флюс № 3;
микроанализатор «Chitatshi»

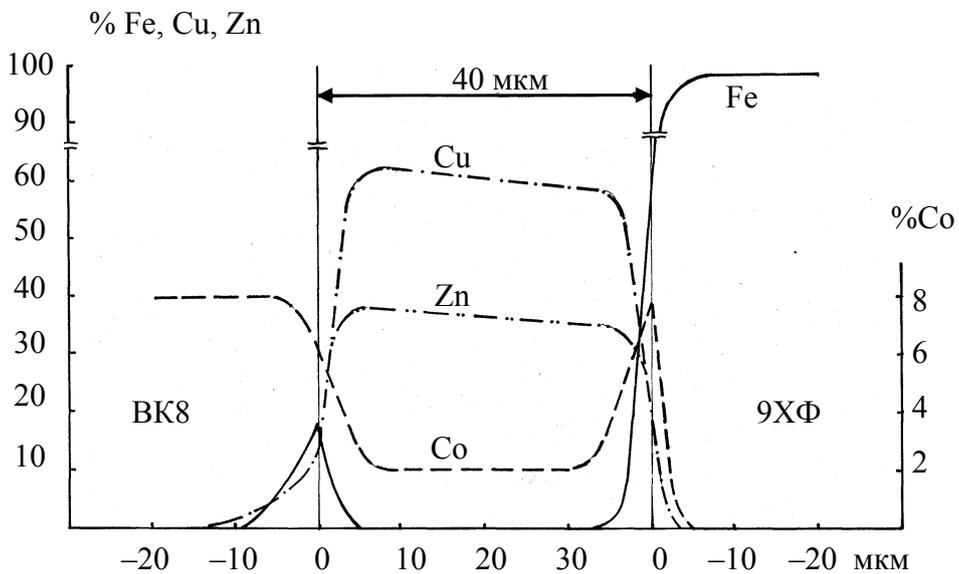


Рис. 4.6. Распределение элементов в паяном соединении.
Температура пайки – 1230 К; припой Л63; флюс № 2;
микроанализатор «Chitatshi»

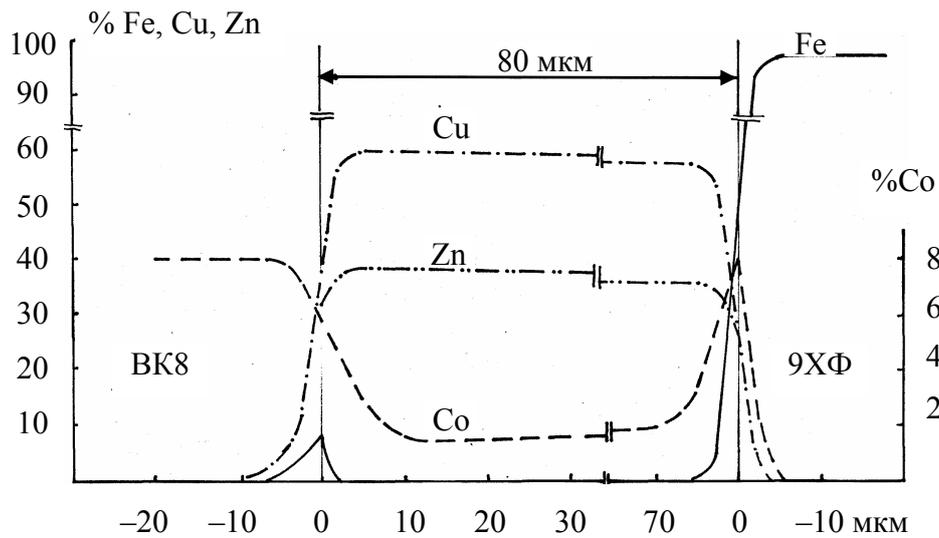


Рис. 4.7. Распределение элементов в паяном соединении.
Температура пайки – 1230 К; припой Л63; флюс № 1;
микроанализатор «Chitatshi»

Результаты исследований электрических и механических режимов пайки

Результаты исследований электрических параметров электроконтактной пайки представлены на рис. 4.8. Существенное значение имеет характер изменения сопротивления в зоне пайки и сила тока.

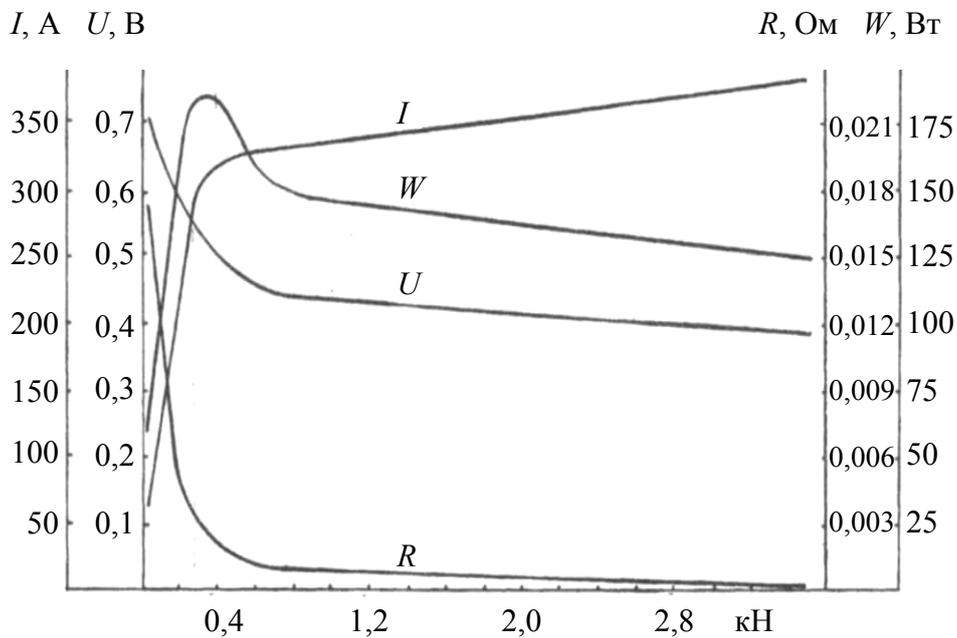


Рис. 4.8. Номограммы зависимостей
электрических параметров пайки от усилия прижима

Как видно из номограммы, при величине давления, приближающейся к нулю, сопротивление в цепи пайки имеет максимальное значение. Теоретически, при давлении, равном нулю, сопротивление в цепи пайки должно быть равно бесконечности. При давлении в пределах 0–200 Н наблюдается значительное падение сопротивления. При давлении 200–500 Н сопротивление изменяется менее резко и при давлении более 600 Н наблюдается очень медленное падение сопротивления, асимптотически приближающееся к минимальному значению, которое должно быть равно сопротивлению участвующих в процессе проводников. Наблюдается переход от констрикционного сопротивления к сопротивлению полного контакта. Падение сопротивления в цепи пайки ведет к изменению напряжения в этой цепи. Естественно, что разность потенциалов на электродах в цепи пайки зависит от сопротивления. Падение сопротивления приводит к снижению доли напряжения на электродах по отношению к действующему на обмотках трансформатора. До давления, равного 600 Н, напряжение существенно снижается. На участке 600–3600 Н напряжение медленно приближается к минимуму.

Характер изменения силы тока в цепи пайки подчиняется той же закономерности, но при увеличении давления до 300 Н ток быстро растет. От давления 600 Н имеет место медленное повышение величины тока до максимума.

Необходимо отметить, что изменение электрических параметров в цепи пайки существенно зависит от характеристики трансформатора. В нашей установке применялся трансформатор с жесткой характеристикой, что обусловило вид кривых напряжений и силы тока. Очевидно, что работа с высоким повторно-кратковременным режимом на таких трансформаторах может привести к их перегреву и выходу из строя. Однако, во-первых, пайка ведется на режимах, далеких от режимов, соответствующих максимальному значению силы тока, а во-вторых, режим работы трансформатора отличается низким ПВ, составляющим не более 20–40%. Преимуществами трансформаторов с жесткой характеристикой являются их малые габариты и более простое устройство.

Номограммы построены для режимов, которые не вызывают значительного нагрева образцов, поскольку при нагреве последних изменяется электрическое сопротивление, а, соответственно, и все электрические параметры цепи пайки. Увеличения скорости нагрева до требуемых значений можно достичь повышением напряжения питания цепи пайки. Теоретически такое увеличение напряжения рассчи-

тать трудно. Это объясняется сложными процессами теплопередачи в зоне пайки, характеристиками силового трансформатора, сопротивлением токоподводящих цепей.

Как видно из номограммы, максимальная мощность выделяется в зоне нагрева при давлении около 400 Н (напряжение в цепи составляет 0,65 В, сила тока равна 350 А). Выделяющейся при этом мощности, безусловно, недостаточно для получения необходимой скорости нагрева. Как показали пробные пайки, проведенные на опытном станке, напряжение, которое обеспечивает необходимую скорость нагрева, составляет около 3–3,5 В.

Лабораторная работа № 5 ВЫБОР ОСНОВНЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Цель работы: изучить влияние химического состава, структуры, физических показателей сплавов на их свариваемость.

Задание: произвести оценку свариваемости отдельных групп конструкционных сплавов.

Предварительную оценку свариваемости железоуглеродистых сплавов можно производить через эквивалент содержания углерода:

$$C_{\text{экв}} = C + \text{Si}/24 + \text{Mn}/6 + \text{Cr}/5 + \text{Ni}/40 + \text{Mo}/4 + \text{V}/14 + \text{Cu}/13 + \text{B}/2,$$

где буквами обозначены соответствующие элементы в процентах.

Если $C_{\text{экв}} > 0,35\%$, сварка такого сплава затруднена из-за склонности к образованию трещин. Стали с содержанием углерода до 0,25% свариваются хорошо, без применения дополнительных технологических приемов. Стали с содержанием углерода до 0,3% имеют удовлетворительную свариваемость. Стали с содержанием углерода до 0,45% имеют ограниченную свариваемость, это означает их склонность к образованию трещин. Стали с содержанием углерода выше 0,45% имеют плохую свариваемость. Низколегированные стали с содержанием легирующих элементов до 2,5% и среднелегированные до 10% при положительных внешних температурах свариваются удовлетворительно.

Свариваемость легированных сталей оценивают не только по возможности получения сварного шва с требуемыми физико-механическими свойствами, близкими к свойствам основного металла, но и важностью сохранения специальных свойств – коррозионной стойкости, жаропрочности, способности не образовывать закалочных структур и др.

Углеродистые и легированные стали с содержанием углерода более 0,3% (стали 45, 30ХГСА, 40ХНМА и др.) при типовых режимах сварки претерпевают закалку в зоне термического влияния (з. т. в.).

Соответствующие этим режимам скорости охлаждения для указанных сталей достаточно высоки и приводят к образованию мартенситной микроструктуры. Поэтому для сварных соединений этих сталей характерна повышенная твердость и пониженная пластичность в з. т. в.

В жестких сварных узлах, в которых образуются высокие сварочные напряжения, в закаленной з. т. в. возможно образование холодных трещин. Склонность к холодным трещинам повышается при насыщении металла водородом, который снижает пластичность закаленного металла. Источником водорода служит влага в покрытиях электродов, флюсах и защитных газах, которая разлагается в дуге, и атомарный водород насыщает жидкий металл сварочной ванны. В результате диффузии водорода им насыщается также з. т. в.

Для обеспечения хорошей свариваемости при дуговой сварке этих сталей рекомендуют следующие технологические мероприятия: предварительный и последующий подогрев заготовок до температуры 100–300°C в целях замедленного охлаждения и исключения закалки з. т. в.; прокалка электродов, флюсов при температуре 400–450°C в течение 3 ч и осушение защитных газов для предупреждения попадания водорода в металл сварного соединения; низкий (300–400°C) или высокий (600–700°C) отпуск сварных соединений сразу после окончания сварки в целях повышения пластичности закалочных структур и удаления водорода.

Контактную точечную сварку углеродистых и легированных сталей выполняют на мягких режимах, т. е. длительным нагревом током и быстрым удалением заготовок из машины для избежания отвода теплоты электродами. В результате обеспечивается замедленное охлаждение заготовок. Контактную стыковую сварку этих сталей выполняют с прерывистым оплавлением, при котором обеспечиваются подогрев заготовок перед сваркой и замедленное охлаждение.

Коррозионная стойкость стали обеспечивается содержанием более 12% Cr, а содержание 8% Ni стабилизирует аустенитную структуру и сохраняет ее при нормальных температурах (сталь 10X18H9T и др.). При сварке этих сталей на режимах, обуславливающих продолжительное пребывание металла в области температур 500–800°C, возможна потеря коррозионной стойкости металлом шва и з. т. в. Причиной этого является образование карбидов хрома на границах зерен и обеднение приграничных участков зерен хромом. В результате металл сварного соединения становится склонным к так называемой межкристаллитной коррозии. При дуговой сварке для предупреждения межкристаллитной коррозии сварных соединений рекомендуется сварка на малых погонных энергиях с применением теплоотводящих медных подкладок в целях получения жестких термических циклов и уменьшения времени пребывания металла при высоких температурах; термическая обработка после сварки: нагрев до температуры 1100°C и

закалка в воду. При нагреве происходит растворение карбидов, а закалка фиксирует чисто аустенитную структуру.

При дуговой сварке аустенитных сталей возможно образование в сварных швах горячих трещин. Они обусловлены широким интервалом кристаллизации вследствие повышенного содержания легирующих элементов и наличия вредных примесей (S). Образованию трещин способствует также крупнозернистая столбчатая макроструктура шва, при которой его кристаллизация завершается при наличии жидких прослоек большой протяженности.

Для предупреждения возникновения горячих трещин в сварных швах рекомендуется вводить в сварочные материалы (электроды, проволоку) легирующие элементы Si, Al, Mo, Mn и другие способствующие измельчению зерна, а также снижать содержание вредных примесей.

Аустенитные стали хорошо свариваются контактной сваркой. Сварку ведут на пониженных плотностях тока. Эти стали имеют высокое удельное электросопротивление и низкую теплопроводность, что обуславливает выделение большого количества теплоты при сварке и ограниченный его отвод из зоны сварного соединения. При этом применяют повышенное давление, поскольку аустенитные стали имеют значительную прочность при высоких температурах.

Чугун относится к категории плохо сваривающихся сплавов. Его сваривают при исправлении дефектов в отливках и ремонте деталей. Основные трудности сварки чугуна состоят в способности к отбеливанию зоны шва, выгоранию кремния из расплава, низкой пластичности чугунов. Сварку чугунов производят по специальным технологиям, в зависимости от температуры процесса их подразделяют на сварку без подогрева (холодную), сварку с подогревом зоны шва до 300–400°С и горячую с нагревом до 600–800°С. При сварке, особенно чугунов, большое воздействие на свойства сварного соединения оказывает з. т. в.

З. т. в. представляет собой участок сварного соединения, прилегающий к шву, в котором под действием нагрева происходят структурные изменения: укрупняется зерно, оплавляются границы зерен, в сплавах с полиморфными превращениями возможно образование микроструктуры закалочного типа. В результате этих изменений возможно резкое повышение твердости (зона 3) и снижение пластичности основного металла 1 в зонах 2 и 3 (рис. 5.1).

Для металлов с пониженной свариваемостью характерно образование горячих или холодных трещин 3 в шве и з. т. в. (рис. 5.2). Причины возникновения трещин: снижение прочности и пластичности как

в процессе формирования сварного соединения, так и в послесварочный период вследствие особенностей агрегатного состояния, полиморфных превращений и насыщения газами; развитие сварочных деформаций и напряжений, вызывающих разрушение металла, если они превышают его пластичность и прочность.

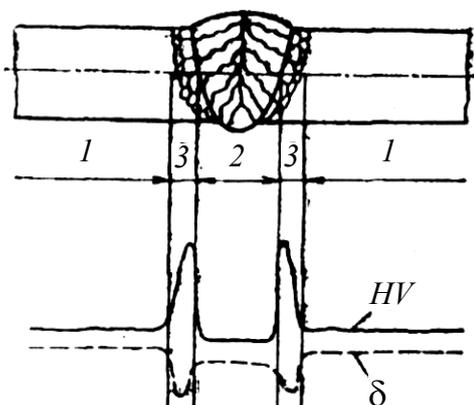


Рис. 5.1. Структура сварного шва

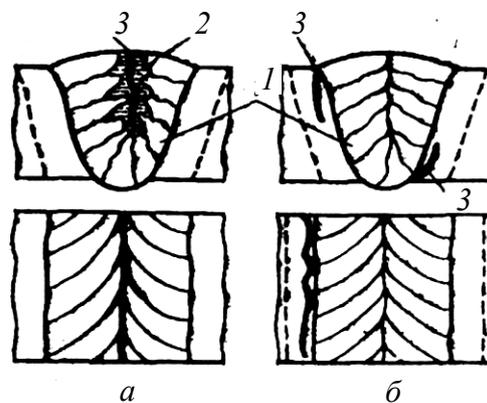


Рис. 5.2. Дефекты сварного шва

Возникновение собственных сварочных напряжений (т. е. без приложения внешних сил) происходит следующим образом. Вследствие неравномерного разогрева изделия при сварке температурные деформации шва и з. т. в. ограничиваются реакцией менее нагретых зон основного металла.

Вместо удлинения отдельных слоев свариваемого металла в соответствии с зависимостью $+\alpha_T T$ (α_T – температурный коэффициент металла; T – максимальная температура нагрева слоя) происходит равномерное удлинение всей свариваемой пластины, в результате чего грань пластины в момент максимального разогрева занимает другое положение. Поэтому шов и прилегающая к нему зона металла при нагреве претерпевают местную пластическую деформацию сжатия. Таким образом, к началу охлаждения эти зоны кажутся укороченными. После охлаждения и обратной температурной деформации они должны были бы занять положение в соответствии с зависимостью $-\alpha_T T$. Однако их температурная деформация снова ограничивается реакцией основного металла. В результате произойдет равномерное укорочение всей пластины. Поскольку шов и з. т. в. связаны с основным металлом, то они претерпевают внутреннюю упругопластическую деформацию растяжения. Соответствующие упругой деформации растягивающие напряжения (+) в шве и з. т. в. уравниваются сжимающими напряжениями (–) в основном металле.

Внешние наблюдаемые деформации сварных заготовок (например, укорочение пластины после сварки, соответствующее смещению ее грани) не совпадают с внутренними упругопластическими деформациями, а их величины противоположны: чем больше внешние деформации, тем меньше внутренние. Величина и знак собственных сварочных напряжений определяются внутренними деформациями.

Снижение внутренних деформаций и напряжений – один из путей предупреждения трещин. Для этого необходимо уменьшить реакцию основного металла на разогреваемые до высоких температур шов и з. т. в. Следует уменьшить геометрическую жесткость свариваемых заготовок, исключить их закрепление при сварке, а также применить предварительный подогрев для выравнивания температур по объему заготовки. Сварочные напряжения снимаются также немедленным после сварки высоким отпуском. В то же время методы снижения внутренних деформаций и напряжений (кроме отпуска) приводят к увеличению внешних деформаций сварной заготовки. Для устранения последних, наоборот, необходимо увеличение жесткости заготовок (постановка ребер, мембран или закрепление их при сварке). Выбор условий сварки определяется тем, что в данном случае опасней – трещины или коробление заготовки.

Горячие трещины образуются в период кристаллизации сварного шва, когда металл находится в двухфазном твердожидком состоянии. В этом состоянии металл имеет очень малую прочность и пластичность. В результате развития внутренних сварочных деформаций растяжения возможно разрушение по незатвердевшим жидким прослойкам между кристаллитами. Как правило, горячие трещины образуются вдоль оси сварных швов в зоне стыка столбчатых кристаллитов, где завершается кристаллизация шва. Склонность к горячим трещинам повышается при наличии в металле шва вредных примесей, которые обладают повышенной способностью к ликвации и образованию легкоплавких соединений. Последнее равносильно увеличению интервала кристаллизации, т. е. времени пребывания металла в двухфазном состоянии.

Холодные трещины чаще всего возникают в з. т. в. после полного затвердевания сварного шва в период окончания охлаждения или последующего вылеживания сварной конструкции в течение нескольких суток. Холодные трещины характерны для сплавов, претерпевающих при сварке закалку, усиленный рост зерна, повышенное насыщение газами, особенно водородом. Эти процессы приводят к понижению прочности и пластичности металла, т. е. к его охрупчиванию. Если

сварочные напряжения превышают прочность металла в указанном состоянии, то образуются холодные трещины.

Поры в сварных швах образуются в процессе кристаллизации сварного шва в результате выделения газов из пересыщенного газами затвердевающего металла. Причины появления пор: насыщение жидкого металла сварочной ванны газами вследствие повышенной влажности электродных покрытий, флюсов, защитных газов (водородом), нарушения защиты (азотом) и интенсивных окислительных процессов в шве (оксидом углерода); охлаждение сварных швов при кристаллизации с большой скоростью, вследствие чего затрудняется выход пузырьков газа из кристаллизующегося шва в атмосферу. Дуговая сварка чугуна чугунными электродами и с покрытиями не обеспечивает хорошего качества сварных соединений. Металл шва получает структуру белого чугуна, а з. т. в. закаливается.

Горячую сварку чугуна выполняют с предварительным подогревом свариваемых деталей до температуры 400–700°C. Детали подогревают в печах. Перед сваркой в деталях вырубают дефектные места и разделяют кромки, которые затем заформовывают с помощью графитных пластин и кварцевого песка, замешанного на жидком стекле. Сваривают чугунными электродами (диаметром 8–25 мм) со стабилизирующей или специальной обмазкой. Сваренные детали охлаждают вместе с печью. При горячей сварке чугуна получают сварное соединение без твердых отбеленных и закаленных участков. Однако горячая сварка – дорогой и трудоемкий процесс; ее применяют для ремонта уникальных деталей. Горячую сварку также выполняют науглероживающим газовым пламенем с флюсом на основе буры ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$).

При холодной сварке чугун сваривают без подогревания, медно-железными, медно-никелевыми электродами и электродами из аустенитного чугуна. В случае применения стальных электродов валики наплавляют низкоуглеродистыми электродами небольшого диаметра со стабилизирующей или качественной обмазкой. Применяют также стальные электроды со специальным покрытием, содержащим большое количество карбидообразующих элементов, дающим наплавленный металл с мягкой основой и вкраплениями карбидов. Эти способы не исключают образования отбеленных и закалочных структур в з. т. в., но они просты и обеспечивают мягкий хорошо обрабатываемый шов. Медно-железные электроды состоят из медного прутка с оплеткой из жести или пучка из медных и стальных стержней. Электроды имеют специальное или стабилизирующее покрытие. Медно-никелевые электроды состоят из стержней монель-металла (70% Ni,

28% Cu, 2% Fe) или мельхиора (80% Cu, 20% Ni) со стабилизирующей обмазкой. Применение медно-железных и медно-никелевых электродов позволяет получить сварное соединение, у которого отбеливание в з. т. в. наблюдается только на отдельных участках. Наибольшее применение имеют медно-железные электроды, как более дешевые и обеспечивающие достаточную прочность металла шва.

СВАРКА МЕДИ И ЕЕ СПЛАВОВ

На свариваемость меди большое влияние оказывают содержащиеся в ней вредные примеси (O_2 , H_2 , Pb и др.). Кислород, находящийся в меди в виде оксида Cu_2O , является одной из причин образования горячих трещин в сварных швах. Оксид меди образует с медью легкоплавкую эвтектику ($Cu_2O - Cu$), которая располагается по границам кристаллитов и снижает температуру их затвердевания. Наличие сетки эвтектики по границам кристаллов делает шов более хрупким при нормальных температурах.

В расплавленной меди водород имеет высокую растворимость, которая резко снижается при кристаллизации. Выделение водорода при затвердевании сварочной ванны может привести к образованию газовых пор. Водород, оставшийся в растворенном состоянии в твердом металле, вступает в реакцию с оксидом меди, в результате чего выделяются водяные пары. Последние не растворяются в меди и скапливаются под высоким давлением в микропустотах, что приводит к так называемой водородной хрупкости, которая может вызвать образование трещин в твердом металле в процессе охлаждения.

Для предотвращения указанных дефектов при дуговой сварке меди рекомендуется сварка в атмосфере аргона, гелия азота и их смесей; применение сварочной и присадочной проволоки, содержащих сильные раскислители: титан, цирконий, бор, фосфор, кремний и др.

Поскольку медь обладает высокой теплопроводностью, сварку ее выполняют на повышенной погонной энергии, а при толщине более 10 мм – с предварительным подогревом до температуры $300^\circ C$. Медь большой толщины (свыше 30 мм) сваривают плазменной сваркой. В единичном производстве и для ремонтных работ применяют газовую сварку мощным пламенем. При этом обеспечивается необходимый подогрев заготовок. Сварку выполняют с флюсом на основе буры ($Na_2B_4O_7$), который наносят на кромки заготовок и на присадочный пруток. Флюс растворяет Cu_2O и выводит его в шлак. Медь толщиной более 50 мм сваривают электрошлаковой сваркой.

Основная трудность при сварке латуней – испарение цинка. В результате снижается прочность и коррозионная стойкость латунных швов. Пары цинка ядовиты, поэтому необходима интенсивная вентиляция, сварщики должны работать в специальных масках. При сварке в защитных газах преимущественно применяют сварку неплавящимся вольфрамовым электродом, так как при этом происходит меньшее испарение цинка, чем при использовании плавящегося электрода.

При газовой сварке лучшие результаты получают при использовании газового флюса [смесь метилбората $B(OCH_3)_3$ и метилового спирта CH_3OH]. Образующийся на поверхности сварочной ванны после выгорания органической части флюса борный ангидрид (B_2O_3) связывает пары цинка в шлак. Сплошной слой шлака препятствует выходу паров цинка из сварочной ванны. Латунь имеет меньшую теплопроводность, чем медь, поэтому для металла толщиной свыше 12 мм необходим подогрев до температуры $150^\circ C$.

Для сварки бронзы применяют те же способы и технологию, что и для сварки меди, за исключением оловянных бронз. Их сваривают с большой скоростью и без подогрева, так как в противном случае возможно выплавление легкоплавкой составляющей – олова.

Латуни и бронзы имеют более высокое удельное электросопротивление, чем медь, и они достаточно хорошо свариваются контактной сваркой. Медь контактной сваркой не сваривается.

МАГНИЕВЫЕ СПЛАВЫ

В сварных изделиях применяют магниевые сплавы МА2-1, МА8, МА12 и др. В последние годы уделяется внимание освоению процесса сварки деформируемого сплава МА12, который дает возможность создать легкие сварные конструкции, работоспособные при температурах до $350^\circ C$.

Для магниевых сплавов применяют аргонодуговую сварку на переменном токе неплавящимся электродом с подачей присадочной проволоки.

Сплавы сваривают после закалки и старения (МА12), после отжига (МА2-1). Изготовленное сварное изделие подвергают старению.

Такой режим термической обработки обеспечивает наиболее высокую прочность. Однако применение после сварки только старения существенно не снижает прочность металла и вместе с тем делает термическую обработку приемлемой для сварных изделий различных конструктивных форм.

Сплавы на основе системы магний – литий по сравнению, например, со сплавом МА2-1 обладают меньшей плотностью ($1,35\text{--}1,65\text{ г/см}^3$), более высоким модулем упругости, лучшим показателем удельной жесткости. Сверхлегкие магниевые сплавы (ИМВ-1, ИМВ-2, ВМД5 и др.) обладают высокой склонностью к окислению. Сверхлегкие магниевые сплавы сваривают аргонодуговым способом на переменном токе с поддувом аргона с обратной стороны.

ТИТАН И ЕГО СПЛАВЫ

Титан и его сплавы сваривают дуговым способом в среде защитных газов и автоматически под флюсом. Наиболее широко применяют аргонодуговую сварку неплавящимся электродом (автоматическую и полуавтоматическую с присадкой и без присадки, непрерывной и импульсной дугой) и плавящимся электродом (автоматическую и полуавтоматическую).

Сварка погруженной дугой является одной из разновидностей сварки неплавящимся электродом. Она заключается в том, что по мере расплавления основного металла вольфрамовый электрод погружается внутрь образующегося кратера сварочной ванны до полного расплавления свариваемых кромок. Способ позволяет сваривать элементы большой толщины. Погружают электрод и выводят его на поверхность по окончании сварки вручную или автоматически.

Для ручной и автоматической сварки титана и его сплавов используют местную газовую защиту с помощью специальных керамических сопел большого диаметра на сварочных горелках. Для защиты обратной стороны соединения применяют стальные или медные подкладки с канавками и отверстиями для прохода защитного газа. Кроме местной газовой защиты для сварки изделий из титана и его сплавов используют специальные камеры с контролируемой атмосферой и обитаемые камеры.

К настоящему времени большое разнообразие марок титана и его сплавов применяют при изготовлении сварных изделий (ОТ4, ОТ4-1, ВТ5, ВТ5-1, ВТ6 и др.).

Для сварки титана и его сплавов применяют присадочные проволоки марок ВТ1-00, ВТ2, ОТ4, ОТ4-1 и др. Титан и его сплавы очень чувствительны к концентрации напряжений. В связи с этим наиболее целесообразны стыковые соединения. Соединения других типов могут допускаться в отдельных случаях, когда невозможно применить стыковое соединение. Для сварных соединений ответственного назначе-

ния рекомендуются стыковые соединения. Все сварные детали и узлы независимо от марки титана или его сплава после сварки должны подвергаться термической обработке – отжигу. Отжигу подвергают также детали после устранения дефектов повторной сваркой. Отжиг сварных деталей и узлов рекомендуется в вакуумных печах или в контейнерах, заполненных инертным газом.

СВАРКА АЛЮМИНИЯ И ЕГО СПЛАВОВ

Трудности при сварке алюминия и его сплавов обусловлены образованием тонкой прочной и тугоплавкой поверхностной пленки оксида Al_2O_3 , плавящегося при температуре $2050^\circ C$; склонностью к образованию газовых пор и горячих трещин.

Пленка оксида покрывает капли расплавленного металла и препятствует сплавлению их между собой и основным металлом. Для разрушения и удаления пленки и защиты металла от повторного окисления при сварке используют специальные флюсы или ведут сварку в атмосфере инертных газов. Флюсы состоят из смеси хлористых и фтористых солей щелочноземельных металлов ($NaCl$, KCl , $BaCl_2$, CaF_2 и др.). Действие флюсов основано на растворении пленки оксидов. При сварке в защитных газах пленка разрушается в результате электрических процессов в том случае, если она оказывается в катодной области дуги. Это реализуется при сварке плавящимся электродом на постоянном токе обратной полярности и сварке неплавящимся электродом на переменном токе с использованием специальных источников тока.

Причиной газовой пористости в сварных швах алюминия является водород. Источник водорода – влага воздуха, которая сильно адсорбируется пленкой оксида на поверхности заготовки и сварочной проволоки. Газовая пористость обусловлена, с одной стороны, насыщением расплавленного металла большим количеством водорода, с другой, малой его растворимостью в твердом состоянии. Для предупреждения пористости необходима тщательная механическая очистка свариваемой поверхности заготовок и сварочной проволоки или химическая их очистка (например, раствором ШОН). При этом с пленкой оксида удаляется скопившаяся на ней влага.

Образование горячих трещин в алюминии и некоторых его сплавах связано с крупнокристаллической макроструктурой сварных швов.

Наиболее трудно свариваются термически упрочняемые сплавы системы $Al - Cu - Mg$ (дуралюмины). При нагреве свыше $500^\circ C$ происходит оплавление границ зерен с образованием на расплавленных

участках эвтектических выделений. После затвердевания эвтектика имеет пониженные механические свойства, что приводит к охрупчиванию з. т. в. и снижению ее прочности по сравнению с прочностью основного металла. Свойства з. т. в. не восстанавливаются термической обработкой.

При сварке самозакаливающихся сплавов системы Al – Mn – Mg возможно образование холодных трещин в послесварочный период, обусловленное выпадением хрупких интерметаллидов и действием сварочных напряжений.

Относительно хорошо свариваются термически не упрочняемые сплавы системы Al – Mn (сплав АМц) и системы Al – Mg (сплавы АМг).

Наиболее широко применяют сварку алюминия и его сплавов в атмосфере защитных газов неплавящимся (толщины 0,5–10 мм) и плавящимся (толщины более 10 мм) электродами. В этом случае получают более высокое качество сварных швов по сравнению с другими видами дуговой сварки. Применяют также автоматическую сварку плавящимся электродом полуоткрытой дугой по слою флюса, при которой для формирования корня шва используют медные или стальные подкладки. Возможна газовая сварка алюминия и его сплавов. Флюс наносят на свариваемые кромки в виде пасты или вводят в сварочную ванну на разогретом конце присадочного прутка. Алюминий и его сплавы также сваривают плазменной, электрошлаковой и контактной сваркой.

Учитывая высокую теплопроводность и электропроводимость алюминия, для его сварки необходимо применять большие силы тока. Чистый (до 0,5% примесей) и технический алюминий (до 1,0% примесей) хорошо свариваются холодной сваркой.

Лабораторная работа № 6

ТЕХНОЛОГИЯ РУЧНОЙ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКИ

Цель работы: изучить технологию ручной дуговой сварки, определить основные технологические параметры, влияющие на качество сварного соединения.

Задание: разработать технологию сварки конкретного узла с учетом материала заготовок, их сечения, пространственного положения сварного соединения.

Дуговой сваркой называют процесс, при котором нагрев осуществляется электрической дугой, представляющей собой длительный устойчивый электрический разряд между двумя электродами или электродом и металлом в ионизированной атмосфере газов и паров металла при перемещении электрода вдоль шва вручную.

На рис. 6.1 дуга горит между стержнем электрода 1 и основным металлом 7. Под действием теплоты дуги электрод и основной металл плавятся, образуя металлическую сварочную ванну 4. Капли жидкого металла 8 с расплавленного электродного стержня переносятся в ванну через дуговой промежуток. Вместе со стержнем плавится покрытие электрода 2, образуя газовую защиту 3 вокруг дуги и жидкую шлаковую ванну на поверхности расплавленного металла. Металлические и шлаковые ванны вместе образуют сварочную ванну. По мере движения дуги металл сварочной ванны затвердевает, и образуется сварной шов 6. Жидкий шлак по мере остывания образует на поверхности шва твердую шлаковую корку 5, которая удаляется после остывания шва.

Для образования и поддержания горения дуги необходимо иметь в промежутке между электродами электрически заряженные частицы – электроны, а также положительные и отрицательные ионы. Процесс образования ионов и электронов называется ионизацией, а газ, содержащий электроны и ионы, ионизированным. Ионизация дугового промежутка происходит во время зажигания дуги и непрерывно поддерживается в процессе ее горения. Ионизированный газ концентрируется в объеме около 1 см^3 , но и в этом небольшом пространстве различают три области. Две из них – катодная и анодная – пограничные между электродами и ионизированным газом. В этих областях наблюдается значительное падение напряжения, вызванное образованием около электродов пространственных зарядов (скоплением заряженных частиц). На поверхности анода и катода образуются электродные пятна,

через которые проходит сварочный ток. Электродные пятна выделяются яркостью свечения.

Третью область, расположенную между катодной и анодной областями, называют столбом дуги.

Общая длина сварочной дуги рассчитывается следующим образом:

$$L_d = L_k + L_c + L_a,$$

где L_k – длина катодной области, равная примерно 10^{-7} м; L_c – длина столба дуги; L_a – длина анодной области, равная примерно 10^{-6} м.

Длина дуги редко превышает 10–15 мм.

Общее напряжение сварочной дуги U_d складывается из суммы падений напряжений в отдельных областях дуги:

$$U_d = U_k + U_c + U_a,$$

где U_k , U_c , U_a – падения напряжения соответственно в катодной области, столбе дуги и анодной области, В.

Обычно в сварочных дугах напряжение $U_d = 10–60$ В.

Температура в столбе сварочной дуги достигает 5000–12 000°C и зависит от плотности тока, состава газовой среды дуги, материала и диаметра электрода.

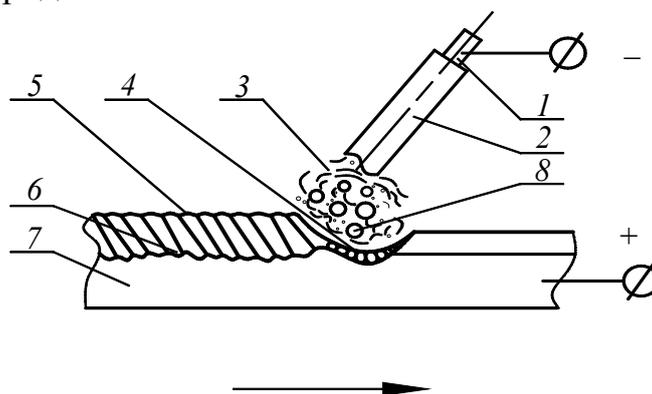


Рис. 6.1. Схема ручной электродуговой сварки

Сварочный пост для ручной дуговой сварки и резки состоит из стола сварщика, источника питания сварочной дуги, гибких сварочных проводов, электрододержателя, сварочного щитка или маски со светофильтром, инструмента электросварщика.

К источникам питания сварочной дуги относят:

1. Сварочные трансформаторы – это источники питания сварочной дуги переменного тока, понижающие напряжение сети с 220, 380, 500 В до 60–80 В и обеспечивающие падающую вольт-амперную характеристику.

Сварочный трансформатор (рис. 6.2) состоит из корпуса 1, внутри которого укреплен замкнутый магнитопровод 4 (сердечник), собранный из отдельных пластин, отштампованных из тонкой (0,5 мм) листовой электротехнической стали. На боковых стержнях магнитопровода расположены катушки первичной 12 и вторичной 11 обмоток трансформатора. Катушки первичной обмотки укреплены неподвижно и включаются в сеть переменного тока. Катушки вторичной обмотки подвижны и от них сварочный ток подается на электрод и изделие. Провода сварочной цепи присоединяются к зажимам 2. Сварочный ток плавно регулируется изменением расстояния между первичной и вторичной обмотками. Для этой цели служит вертикальный винт 9 с ленточной резьбой, который оканчивается рукояткой 5. При вращении рукоятки по часовой стрелке вторичная обмотка приближается к первичной, магнитная связь между ними увеличивается, и сварочный ток растет. Для установления необходимого сварочного тока на крышке 8 корпуса трансформатора расположена шкала 7.

2. Сварочные выпрямители – это аппараты, которые с помощью полупроводниковых элементов преобразуют переменный ток в постоянный. Материалами выпрямительного элемента (вентилей) служат селен и кремний. Сварочные выпрямители выполняются в подавляющем большинстве случаев по трехфазной схеме, преимущества которой заключаются в большом числе пульсаций напряжения и более равномерной нагрузке трехфазной сети.

3. Сварочные преобразователи – это аппараты, служащие для преобразования переменного тока в постоянный. Они позволяют регулировать величину сварочного тока в пределах 300–500 А; номинальное рабочее напряжение 32–40 В; напряжение холостого хода 80–90 В.

4. Сварочные агрегаты – это аппараты, состоящие из генератора постоянного тока и двигателя внутреннего сгорания, валы которых соединены эластичной муфтой. Они предназначены для питания сварочных постов при работе в полевых условиях и устанавливаются обычно на специальном прицепе.

5. Осцилляторы – это аппараты, которые применяют для питания сварочной дуги током высокой частоты (150–450 кГц) и высокого напряжения (2000–8000 В). Ток высокой частоты и высокого напряжения позволяет возбуждать дугу без касания электродом изделия и поддерживать ее без всяких усилий. Создаваемое осциллятором высокое напряжение не опасно для человека ввиду малой электрической мощности (менее 150 Вт).

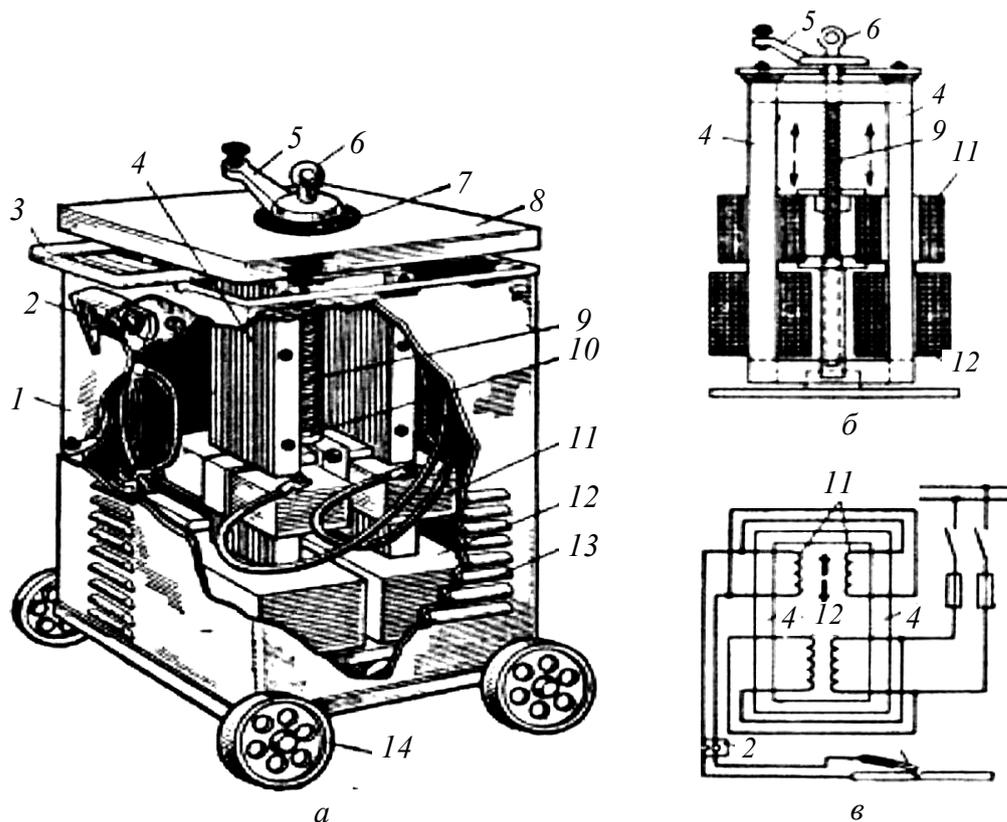


Рис. 6.2. Сварочный трансформатор:
а – внешний вид; *б* – схема регулирования сварочного тока;
в – электрическая схема.

К принадлежностям и инструментам сварщика относят:

1. Электрододержатель – предназначен для зажатия электрода и подвода к нему сварочного тока. Наиболее просты и удобны в работе электрододержатели пружинного, вилочного и пластинчатого типов. Электрододержатели выпускаются трех типов в зависимости от силы сварочного тока: 1-го типа – для тока 125 А; 2-го типа – 125–315 А; 3-го типа – 315–500 А. Электрододержатель должен выдерживать без ремонта 8000 зажимов электродов. Время смены электрода не должно превышать 4 с.

2. Щитки и маски – применяют для защиты глаз и кожи лица от лучей дуги, брызг металла и шлака. Материалом для их изготовления служит черная или пластмасса с матовой поверхностью фибра. Масса щитка не должна превышать 0,48 кг, маски – 0,50 кг. Защитные стекла (светофильтры) выпускают размером 52×102 мм. Светофильтр вставляется в рамку щитка или маски. Светофильтр защищают от брызг снаружи обычным оконным стеклом.

3. Сварочные провода – служат для подвода тока от источника питания к электрододержателю и изделию. Длина гибкого провода,

к которому присоединяется электрододержатель, обычно равна 2–3 м, остальная часть его может быть заменена проводами марок КРПТ, КРПТН и др. Соединение проводов разных марок выполняется муфтами, пайкой или медными кабельными наконечниками и болтами.

4. Одежда сварщика – куртка и брюки – шьется из брезента, иногда из сукна или асбестовой ткани. Все сварщики должны пользоваться брезентовыми рукавицами. При выполнении сварочных работ внутри замкнутых сосудов (котлов, емкостей, резервуаров и др.) сварщиков обеспечивают резиновыми ковриками, галошами, особыми наколенниками, подлокотниками и деревянными подставками.

5. Инструменты сварщика – стальная щетка для зачистки кромок перед сваркой и для удаления с поверхности швов остатков шлака; молоток-шлакоотделитель для удаления шлаковой корки, особенно с угловых швов или швов, расположенных в узкой, глубокой разделке между кромками; зубило; набор шаблонов для проверки размеров швов; стальное клеймо для клеймления швов, выполненных сварщиком; метр, отвес, стальная линейка, угольник, чертилка; ящик для хранения и переноски инструмента.

Электроды подразделяются на неплавящиеся и плавящиеся.

Неплавящиеся электроды изготавливают из технического вольфрама и его сплавов, электротехнического угля и синтетического графита. Угольные и графитовые стержни делают диаметром от 4 до 18 мм и длиной от 250 до 700 мм. Графитовые электроды имеют лучшую электропроводность и более стойки против окисления при высоких температурах, чем угольные. Диаметр вольфрамовых электродов составляет 2–10 мм в зависимости от силы сварочного тока.

Плавящиеся электроды бывают стальные, чугунные, алюминиевые, медные и др. Их изготавливают из сварочных проволок. Применяют преимущественно стальные электроды, стержни которых делают из электродной проволоки диаметром от 1,6 до 12 мм и длиной от 150 до 450 мм.

Металлические электроды подразделяют на голые и с покрытием.

Для получения высококачественного сварного соединения используют электроды, покрытые специальной обмазкой. Назначение обмазки – продуцирование шлака с металлическими оксидами и защита металла шва от соприкосновения с воздухом во время сварки. Кроме того, обмазка пополняет убыль элементов, выгорающих в дуге, а также вводит в шов новые элементы. Наконец, обмазка повышает устойчивость горения дуги. Более того, шлаковый покров замедляет остывание металла, что способствует выделению из него газов, в результате чего шов получается более прочным.

Покрытые металлические электроды для ручной электродуговой сварки и наплавки сталей имеют условное обозначение, например:

Э42А – УОНИ-13/45 – 5,0 – УДЗ
Е412 (5) – Б20

Приведенное выше условное обозначение электрода марки УОНИ-13/45 можно расшифровать следующим образом. Э42А – тип электрода; УОНИ-13/45 – марка; 5,0 – диаметр, мм; У – электрод для сварки углеродистых сталей с $\sigma_b < 600$ МПа (60 кгс/мм²); Д – покрытие толстое; 3 – третья группа по качеству изготовления; Е41 – $\sigma_b \geq 410$ МПа; 2 – $\delta \geq 22\%$; (5) – $T_x = -40^\circ\text{C}$; Б – покрытие основное, 2 – сварка возможна во всех положениях, кроме вертикального сверху вниз; 0 – сваривать только постоянным током обратной поверхности.

Типы электродов и расшифровка индексов металла шва зависят от группы электродов по назначению. Шифры групп назначения электродов:

У – для конструкционных сталей с временным сопротивлением $\sigma_b < 600$ МПа (60 кгс/мм²),

Л – для легированных конструкционных сталей с $\sigma_b < 600$ МПа (60 кгс/мм²),

Т – для теплоустойчивых легированных сталей,

В – для высоколегированных сталей,

Н – для наплавки.

Обозначения толщины покрытия:

М – тонкое,

С – среднее,

Д – толстое,

Г – особо толстое.

Под режимом сварки понимают совокупность показателей, определяющих характер протекания процесса сварки. Эти показатели влияют на количество тепла, вводимого в изделие при сварке.

К основным показателям режима сварки относятся: диаметр электрода или сварочной проволоки, сила сварочного тока, напряжение на дуге и скорость сварки. Дополнительные показатели режима сварки: род и полярность тока, тип и марка покрытия электрода, угол наклона электрода, температура предварительного нагрева металла.

На практике выбор режима ручной дуговой сварки часто сводится к определению диаметра электрода и силы сварочного тока. Скорость сварки и напряжение на дуге устанавливаются самим сварщиком в за-

зависимости от вида сварного соединения, марки стали, марки электрода, положения шва в пространстве и т. д.

Диаметр электрода выбирается в зависимости от толщины свариваемого металла, вида сварного соединения, типа шва и др. При сварке в нижнем положении диаметр электрода выбирают, пользуясь следующими, установленными практикой, данными:

| Толщина металла, мм | Диаметр электрода, мм | Толщина металла, мм | Диаметр электрода, мм |
|---------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|
| 0,5–1,5 | 1,6–2 | 9–12 | 4–6 |
| 1,5–3 | 2–3 | 13–20 | 5–6 |
| 3–5 | 3–4 | Более 20 | 6–12 |
| 6–8 | 4–5 | | |

При сварке стали большей толщины применяют электроды диаметром 4–6 мм при условии обеспечения полной возможности провара металла соединяемых деталей и правильного формирования шва. Применение электродов диаметром более 6 мм ограничивается вследствие большой массы электрода и электрододержателя. Кроме того, прочность сварных соединений, выполненных электродами больших диаметров, снижается за счет возможного непровара в корне шва и большой столбчатой макроструктуры металла шва.

В многослойных стыковых и угловых швах первый слой или проход выполняется электродом диаметром 2–4 мм; последующие слои и проходы выполняются электродом большего диаметра в зависимости от толщины металла и формы скоса кромок.

В многослойных швах сварка первого слоя электродом малого диаметра рекомендуется для лучшего провара корня соединения. Это относится как к стыковым, так и угловым швам.

Сварка в вертикальном положении выполняется обычно электродами диаметром не более 4 мм, реже – 5 мм; электроды диаметром 6 мм могут применяться только сварщиками высокой квалификации. Потолочные швы, как правило, выполняются электродами не более 4 мм.

Силу сварочного тока выбирают в зависимости от диаметра электрода. Для выбора силы тока можно пользоваться простой зависимостью: $I = k d$, где k – опытный коэффициент, равный 40–60 для электродов со стержнем из малоуглеродистой стали и 35–40 для электродов со стержнем из высоколегированной стали; d – диаметр электрода, мм. Относительно малый сварочный ток ведет к неустойчивому горению дуги, непровару и малой производительности. Чрезмерно большой ток ведет к сильному нагреву электрода при сварке, увеличению

скорости плавления электрода и непровару, повышенному разбрызгиванию электродного материала и ухудшению формирования шва. На величину коэффициента k влияет состав электродного покрытия. Повышенные значения коэффициента k принимают при сварке нижних швов, а пониженные – при сварке вертикальных, горизонтальных и потолочных.

При сварке вертикальных и горизонтальных швов ток должен быть уменьшен против принятого для сварки в нижнем положении примерно на 5–10%, а для потолочных – на 10–15%, с тем чтобы жидкий металл не вытекал из сварочной ванны.

Полярность тока может быть прямой и обратной. При прямой полярности анод (+) присоединяют к изделию, а катод (–) – к электроду. Концентрация теплоты на аноде больше (до 45%), чем на катоде. На практике сталь сваривают постоянным током при включении на прямую полярность потому, что масса изделия в большинстве случаев больше массы электрода. Такая технология обеспечивает наилучшие условия для хорошего провара основного металла. Сварку постоянным током сталей малой толщины необходимо выполнять при включении на обратную полярность во избежание прожога основного металла.

Напряжение при ручной дуговой сварке изменяется незначительно и возрастает с увеличением длины дуги. Для стальных покрытых электродов диаметром 4–5 мм нормальная длина дуги равна 5–6 мм. Такая дуга называется короткой. Горит она устойчиво и обеспечивает нормальное протекание процесса сварки. Дугу более 6 мм называют длинной. Она горит неустойчиво, стекающие с конца электрода капли металла больше окисляются кислородом и обогащаются азотом воздуха, сварочный шов получается пористым, повышается разбрызгивание металла, образуются места с непроваром и понижается производительность сварки. Зажигают дугу в большинстве случаев в три этапа: кратковременное прикосновение конца электрода к изделию, быстрый отвод его на расстояние 3–6 мм и появление устойчивого электрического разряда.

Перемещение электрода необходимо для поддержания горения сварочной дуги и получения сварного шва. Сварщик в процессе работы должен выполнять три движения электрода: непрерывное равномерное вниз по мере расплавления электрода, в направлении сварки и поперек шва. Направление сварки может быть слева направо и справа налево, от себя, к себе. Независимо от направления сварки положение электрода должно быть определенным, электрод должен быть наклонен к оси шва так, чтобы металл свариваемого изделия проплавлялся

на наибольшую глубину. При сварке в нижнем положении, на горизонтальной плоскости, угол наклона электрода должен быть равен 15° от вертикали в сторону ведения шва.

Техника ручной сварки

Возбуждение дуги может быть осуществлено двумя способами: 1) прикосновением торца электрода к свариваемому изделию и отводе электрода от изделия на расстояние 3–4 мм, 2) быстрым боковым движением электрода к свариваемому изделию и отводе электрода от изделия (подобно зажиганию спички).

Прикосновение электрода к изделию должно быть кратковременным, так как иначе он приваривается к изделию.

При сварке тонких листов накладывают узкий валик (шириной 0,8–1,5 диаметра электрода) без поперечных колебаний. В других случаях (при сварке толстых листов) применяют уширенные валики. При таких швах конец электрода совершает три движения: поступательное вдоль оси электрода, поступательное вдоль линии шва и колебательное. Последние улучшают прогрев кромок шва, замедляют остывание ванны наплавленного металла, обеспечивают получение однородного шва и устраняют непровар его корня.

Сварку встык без разделки кромок производят преимущественно сквозным проплавлением с одной стороны шва. В этих случаях рекомендуется применять подкладки (стальные, медные). Иногда, когда это возможно, производят подварку шва узким валиком с обратной стороны. При сварке встык шва с V-образной разделкой дугу зажигают вблизи скоса кромок и наплавливают валик металла. В зависимости от толщины листа и диаметра электрода шов выполняют за один или несколько проходов. При многослойной сварке каждый слой тщательно очищают. Число слоев определяют, исходя из диаметра электрода. Толщина слоя равна $(0,84–1,2)d_{эл}$. Сварку X-образных швов с целью уменьшения деформации производят переменным наложением слоев с обеих сторон разделки. При образовании углового шва электрод ставят под углом 45° к поверхности детали. Применяя повышенные величины тока, во избежание непровара шва, обе свариваемые поверхности наклоняют к горизонтальной плоскости под углом 45° .

При сварке горизонтальных швов на вертикальной плоскости разделку дают лишь верхнему листу, дугу возбуждают на нижней кромке, затем постепенно переходят на скошенную верхнюю кромку.

Вертикальные швы сваривать труднее, вследствие стекания расплавленного металла вниз. Для уменьшения стекания металла работу

ведут короткой дугой и в направлении снизу вверх за исключением листов толщиной до 1,5 мм.

Сварку потолочных швов производят очень короткой дугой, при которой происходит короткое замыкание электрода на деталь.

Положение и перемещение электрода при сварке

Положение электрода зависит от положения шва в пространстве. Различают следующие положения швов: нижнее, вертикальное и горизонтальное на вертикальной плоскости, потолочное. Сварку верти-

кальных швов можно выполнять сверху вниз и снизу вверх.

При сварке в нижнем положении электрод имеет наклон от вертикали в сторону направления сварки.

При отсутствии поперечных колебательных движений конца электрода ширина валика равна $(0,8-1,5)d$ электрода. Такие швы (или валики) называют узкими, или ниточными. Их применяют при сварке тонкого металла и при наложении первого слоя в многослойном шве.

Получение средних швов (или валиков), ширина которых обычно не более $(2-4)d$ электрода, возможно за счет

колебательных движений конца электрода. Основные варианты колебательных движений конца электрода показаны на рис. 6.3.

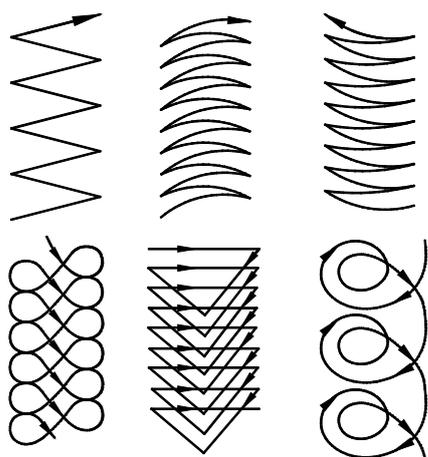


Рис. 6.3. Основные виды траекторий поперечных колебаний конца электрода

Порядок выполнения швов

В зависимости от длины различают короткие (250–300 мм), средние (350–1000 мм) и длинные (более 1000 мм) швы.

В зависимости от размеров сечения швы выполняют однопроходными или однослойными, многопроходными или многослойными. Однопроходная сварка производительна и экономична, но металл шва недостаточно пластичен вследствие грубой столбчатой структуры и увеличенной зоны перегрева. В случае многослойной сварки каждый нижележащий валик проходит термическую обработку при наложении последующего валика, что позволяет получить измельченную структуру металла шва и соответственно повышенные механические свойства шва и сварочного соединения.

Расположение слоев при многослойной сварке бывает трех видов наложения: последовательное каждого слоя по всей длине шва, «каскадным» способом и способом «горки». Оба последних способа применяют при сварке металла значительной толщины (более 20–25 мм). При выполнении многослойных швов особое внимание следует уделять качественному выполнению первого слоя в корне шва. Провар корня шва определяет прочность всего многослойного шва.

Основные дефекты сварных швов

Непровар – отсутствие соединения между металлом изделий и наплавленным металлом или недостаточная глубина проникновения наплавленного металла в основной. Причина – неправильно выбраны режимы сварки.

Пережог – окисление металла шва и прилегающего к нему основного металла. Причины – сильно окислительная среда, большая длина дуги, замедленное движение источников нагрева, интенсивный режим сварки. Прожог – местное сквозное проплавление свариваемых частей при электродуговой сварке. Причины – большая сила тока, недостаточная толщина металла, малая величина притупления кромок.

Подрез – углубление вдоль шва на основном металле. Причины – неравномерная подача присадочного прутка, неправильное положение электрода или горелки, избыток подводимого тепла.

Наплывы на швах. Причина – неправильно выбран режим и скорость сварки.

Пористость – появление свищей, газовых пузырей или шероховатости на поверхности шва. Причины – газы в металле, вода в обмазке или флюсе, ржавчина на свариваемых кромках или присадочном металле.

Шлаковые включения в металле. Причины – загрязнения основного и присадочного металла оксидами, которые получают в результате неравномерности плавления электродного покрытия, тугоплавкости и повышенной вязкости шлаков и недостаточного раскисления металла шва.

Трещины шва. Причины – большие усадочные и структурные напряжения в металле (например, образование мартенсита), повышенное содержание серы, фосфора и углерода в металле, чрезмерно жесткое закрепление свариваемых деталей.

Преимущества и недостатки ручной дуговой сварки

Ручная дуговая сварка обладает следующими преимуществами по сравнению с другими методами:

- 1) возможностью сварки в монтажных и цеховых условиях;
- 2) разнообразием применяемых типов соединений;
- 3) возможностями сварки конструкций различных габаритов;
- 4) возможностью изменения химического состава наплавленного металла;

- 5) возможностью сварки швов в любых пространственных положениях.

Недостатки ручной дуговой сварки:

- 1) необходимость применения электродов с обмазкой;
- 2) невысокая производительность процесса (до 2 кг наплавленного металла в час);

- 3) трудности сварки тонкого материала (менее 1–2 мм);

- 4) длительный срок обучения сварщика высокой квалификации (1,0–1,5 г);

- 5) большая зависимость качества сварки от индивидуальных особенностей сварщика, малая производительность.

Ручная дуговая сварка применяется главным образом в изделиях, имеющих короткие и прерывистые швы, швы сложной конфигурации, т. е. там, где трудно или невыгодно применять автоматические методы сварки. Дуговая сварка по распространению занимает первое место среди других видов сварки. Ее используют при производстве всех видов подвижного состава железнодорожного транспорта, морских и речных судов, котлов, автомобилей, подъемно-транспортных сооружений, трубопроводов для газов, жидкостей и сыпучих материалов, металлических конструкций и арматуры зданий, промышленных сооружений, мостов, узлов и деталей электротехнических, сельскохозяйственных и других машин и механизмов. К числу металлов, свариваемых электрической дугой, относятся почти все конструкционные стали, серый и ковкий чугуны, медь, алюминий, никель, титан и их сплавы и другие металлы и сплавы.

Лабораторная работа № 7 СВАРКА В СРЕДЕ ЗАЩИТНЫХ ГАЗОВ

Цель работы: изучить технологию сварки металлов в среде защитных газов.

Задание: разработать технологию и режимы сварки конкретного конструкционного узла.

При сварке в защитном газе электрод, зона дуги и сварочная ванна защищены струей защитного газа. В качестве защитных газов применяют инертные газы (аргон и гелий) и активные газы (углекислый газ, азот, водород и др.), иногда смеси двух газов или более. Наиболее распространено применение аргона Ar и углекислого газа CO_2 .

Аргон – бесцветный газ, в 1,38 раза тяжелее воздуха, нерастворим в жидких и твердых металлах. Аргон выпускают высшего и первого сортов, имеющих соответственно чистоту 99,992 и 99,987%. Поставляют и хранят аргон в стальных баллонах в сжатом газообразном состоянии под давлением 15 МПа.

Углекислый газ бесцветный, со слабым запахом, в 1,52 раза тяжелее воздуха, нерастворим в твердых и жидких металлах. Выпускают углекислый газ сварочный, пищевой и технический, имеющие соответственно чистоту 99,5, 98,5 и 98,0%. Для сварки газ поставляют и хранят в стальных баллонах в сжиженном состоянии под давлением 7 МПа. Аргонодуговой сваркой можно сваривать неплавящимся и плавящимся электродами. Сварку неплавящимся электродом применяют, как правило, при соединении металла толщиной 0,5–6 мм; плавящимся электродом – от 1,5 мм и более. В аргоне неплавящимся вольфрамовым электродом ($T_{пл} = 3370^\circ C$) можно сваривать с расплавлением только основного металла (толщиной до 3 мм), а при необходимости получения усиления шва или заполнения разделки кромок (толщина более 3 мм) – и присадочного материала (прутка или проволоки). Последний подают в дугу вручную или механически.

Сварку неплавящимся электродом ведут на постоянном токе прямой полярности. В этом случае дуга легко зажигается и горит устойчиво при напряжении 10–15 В. При обратной полярности возрастает напряжение дуги, уменьшается устойчивость ее горения и снижается стойкость электрода. Эти особенности дуги обратной полярности являются недостатком в сварочном процессе. Однако дуга обратной

полярности обладает одним важным технологическим свойством: при ее действии с поверхности свариваемого металла удаляются оксиды. Одно из объяснений этого явления заключается в том, что поверхность металла бомбардируется тяжелыми положительными ионами аргона, которые механически разрушают пленки оксидов. Процесс удаления оксидов также известен как катодное распыление. Указанные свойства дуги обратной полярности используют при сварке алюминия, магния и их сплавов.

При сварке неплавящимся электродом на переменном токе сочетаются преимущества дуги на прямой и обратной полярностях, однако асимметрия электрических свойств дуги, обусловленная ее меньшей электрической проводимостью при обратной полярности по сравнению с прямой, приводит к ряду нежелательных явлений.

В результате выпрямляющей способности дуги появляется постоянная составляющая тока прямой полярности. В этих условиях дуга горит неустойчиво, ухудшается очистка поверхности сварочной ванны от тугоплавких оксидов и нарушается процесс формирования шва. Поэтому для питания дуги в аргоне переменным током применяют специальные источники тока. В их схему включают стабилизатор горения дуги – электронное устройство, подающее импульс дополнительного напряжения на дугу в полупериод обратной полярности. Таким образом обеспечивается устойчивость дуги, постоянство тока и процесса формирования шва на обеих полярностях тока.

Нормальное протекание процесса сварки и хорошее качество шва обеспечиваются при высокой плотности тока (100 А/мм^2 и более). При невысокой плотности тока имеет место крупнокапельный перенос расплавленного металла с электрода в сварочную ванну, приводящий к пористости шва, сильному разбрызгиванию расплавленного металла и малому проплавлению основного металла. При высоких плотностях тока перенос расплавленного металла с электрода становится мелкокапельным или струйным. В условиях действия значительных электромагнитных сил быстро движущиеся мелкие капли сливаются в сплошную струю. Такой перенос электродного металла обеспечивает глубокое проплавление основного металла, формирование плотного шва с ровной и чистой поверхностью и разбрызгивание в допустимых пределах.

В соответствии с необходимостью применения высоких плотностей тока для сварки плавящимся электродом используют проволоку малого диаметра (0,6–3 мм) и большую скорость ее подачи. Такой ре-

жим сварки обеспечивается только механизированной подачей проволоки в зону сварки. Сварку выполняют на постоянном токе обратной полярности. В данном случае электрические свойства дуги в значительной степени определяются наличием ионизированных атомов металла электрода в столбе дуги. Поэтому дуга обратной полярности горит устойчиво и обеспечивает нормальное формирование шва, в то же время ей соответствует повышенная скорость расплавления проволоки и производительность процесса сварки.

Сварку сталей часто выполняют в смеси $Ar + 5\% O_2$. Кислород уменьшает поверхностное натяжение расплавленного металла, что способствует снижению критической плотности тока, при которой капельный перенос металла переходит в струйный. Одновременно повышается устойчивость горения дуги при относительно небольших токах, что облегчает сварку металла малой толщины.

При ручной аргонодуговой сварке конец вольфрамового электрода затачивают на конус. Длина заточки, как правило, должна быть равна двум-трем диаметрам электрода. Дуга зажигается на специальной угольной пластине. Зажигание дуги на основном металле не рекомендуется из-за возможности загрязнения и оплавления конца электрода. Для возбуждения дуги можно применить источник питания с повышенным напряжением холостого хода или дополнительный источник питания с высоким напряжением (осциллятор), так как потенциал возбуждения и ионизации инертных газов значительно выше, чем кислорода, азота или паров металлов. Дуговой разряд в инертных газах отличается высокой стабильностью.

Характерной особенностью аргонодуговой сварки неплавящимся вольфрамовым электродом при использовании переменного тока является возникновение в сварочной цепи составляющей постоянного тока, величина которой может достигать 50% от величины эффективного значения переменного тока сварочной цепи. Выпрямление тока, т. е. появление составляющей постоянного тока, зависит от размеров и формы вольфрамового электрода, материала изделия и режимов сварки (величины тока, скорости сварки и длины дуги). Появление в сварочной цепи составляющей постоянного тока особенно отрицательно сказывается на процессе сварки и качестве сварных соединений из алюминия и его сплавов. При чрезмерной величине составляющей постоянного тока нарушается стабильность горения дуги, резко ухудшается качество поверхности наплавляемого металла, появляются подрезы, чешуйчатость и снижается прочность сварных соединений и пластичность металла шва. Устранение составляющей постоянного тока в

сварочной цепи переменного тока является первостепенным условием для получения качественных сварных соединений.

Аргонодуговой сваркой можно выполнять все виды соединений: стыковые, тавровые, нахлесточные и угловые.

Для защиты металла шва со стороны корня и обеспечения формирования обратной стороны шва поддувают защитные газы (создают избыточное давление защитного газа со стороны корня шва).

При сварке титана, алюминия и их сплавов для поддува применяют аргон или в особых случаях гелий – при сварке титана. При сварке нержавеющей сталей применяют аргон, азот, углекислый газ и смесь азота с водородом (азота – 93%, водорода – 7%). Ручную аргонодуговую сварку выполняют без колебательных движений горелки, которые не рекомендуется применять из-за возможности нарушения защиты зоны сварки. Угол между осью мундштука аргонодуговой горелки и плоскостью свариваемого изделия должен быть $75-80^\circ$ (рис. 7.1). Присадочную проволоку располагают под углом $15-20^\circ$ относительно оси мундштука горелки, а угол между проволокой и изделием должен быть $15-20^\circ$.

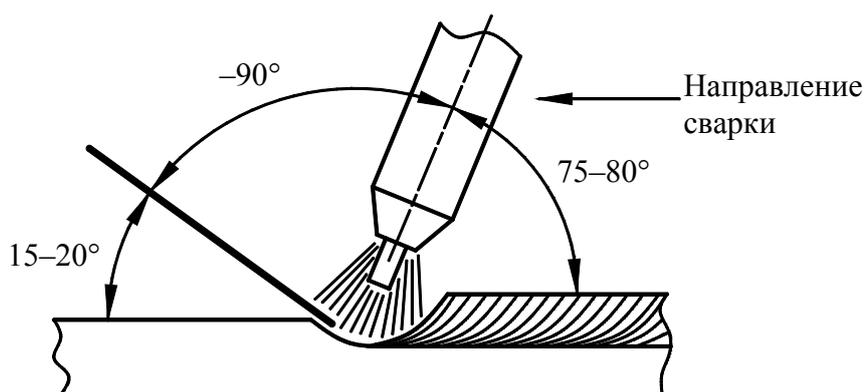


Рис. 7.1. Схема расположения присадочной проволоки и горелки по отношению к свариваемому изделию

Употребление газовых смесей вместо технически чистых газов аргона или гелия в некоторых случаях повышает устойчивость горения сварочной дуги, уменьшает разбрызгивание металла, улучшает формирование шва, увеличивает глубину проплавления, а также воздействует на перенос металла и увеличивает производительность сварки.

Для сварки используется гелий – инертный газ, не образующий с другими элементами химических соединений, за исключением некоторых гидридов, устойчивость которых находится только в узких ин-

тервалах температуры и давления. В промышленности гелий получают из природных газов путем их сжижения. Аргон несколько тяжелее воздуха, поэтому струя его хорошо защищает дугу и зону сварки. Дуга в аргоне отличается высокой стабильностью. По ГОСТ 10157–73 аргон вырабатывают трех сортов (таблица).

Таблица

Состав аргона различных сортов

| Показатель | Сорт | | |
|---|--------|-------|-------|
| | высший | 1-й | 2-й |
| Содержание аргона, %, не менее | 99,99 | 99,98 | 99,95 |
| Содержание кислорода, %, не более | 0,001 | 0,003 | 0,005 |
| Содержание азота, %, не более | 0,008 | 0,01 | 0,04 |
| Содержание влаги при давлении 0,1 МПа, г/см, не более | 0,01 | 0,03 | 0,03 |

Электродуговая сварка в защитном газе применяется в тех случаях, когда свариваемые металлы очень активны химически и при высокой температуре интенсивно взаимодействуют с кислородом воздуха (окисляются или даже сгорают). К таким металлам относятся сплавы на основе алюминия, титана и ряда других, редко применяемых в технике.

При этом виде сварки поток защитного газа должен омывать нагретые участки сварного шва и зону горения сварочной дуги, так как в ней непосредственно происходит плавление присадочной проволоки, выполненной из того же, что и свариваемые заготовки, материала.

Недостатком сварки в среде аргона и гелия является их высокая стоимость.

Сварку в углекислом газе выполняют только плавящимся электродом на повышенных плотностях постоянного тока обратной полярности. Такой режим обусловлен теми же особенностями переноса электродного металла и формирования шва, которые рассмотрены для сварки плавящимся электродом в аргоне.

При применении CO_2 в качестве защитного газа необходимо учитывать некоторые металлургические особенности процесса сварки, связанные с окислительным действием CO_2 . При высоких температурах сварочной дуги CO_2 диссоциирует на оксид углерода CO и кислород O , который, если не принять специальных мер, приводит к окислению свариваемого металла и легирующих элементов. Окислительное действие O нейтрализуется введением в проволоку дополнительного количества раскислителей марганца и кремния. Поэтому

для сварки в СО углеродистых низколегированных сталей применяют сварочную проволоку с повышенным содержанием этих элементов (Св-08ГС, Св-10Г2С и т. д.). На поверхности шва образуется тонкая шлаковая корка из оксидов раскислителей. Часто применяют смесь $\text{CO}_2 + 10\% \text{O}_2$. Кислород играет ту же роль, что и при добавке в аргон.

Процесс сварки в углекислом газе необходимо вести на короткой дуге. При сварке на токах 200–250 А длина дуги должна быть в пределах 1,5–4,0 мм, так как увеличение длины дуги повышает разбрызгивание жидкого металла и угар легирующих элементов. Существуют оптимальные соотношения между сварочным током и напряжением на дуге. Сварка возможна на постоянном токе, а также на переменном токе с применением осциллятора.

Для сварки плавящимся электродом в среде углекислого газа используются полуавтоматы и автоматы, причем для полуавтоматической сварки – полуавтоматы ПДШ-500, ПШ-54 и др.

Наиболее оригинальный полуавтомат А-547-Р для электродуговой сварки тонкой электродной проволокой в защитной среде углекислого газа спроектирован и изготовлен в Институте электросварки имени Е. О. Патона. Полуавтоматом можно выполнять сварку различных соединений листового металла толщиной до 3 мм и угловых соединений при катетах шва до 4 мм. Сварка возможна во всех пространственных положениях. Сварка производится электродной проволокой диаметром 0,8–1,0 мм постоянным током. Напряжение дуги составляет 17–21 В, сварочный ток – 70–200 А.

Сварка в атмосфере защитных газов в зависимости от степени механизации процессов подачи присадочной или сварочной проволоки и перемещения сварочной горелки может быть ручной, полуавтоматической и автоматической (рис. 7.2). По сравнению с ручной сваркой покрытыми электродами и автоматической под флюсом сварка в защитных газах имеет следующие преимущества: высокая степень защиты расплавленного металла от воздействия воздуха; отсутствие на поверхности шва при применении аргона оксидов и шлаковых включений; возможность ведения процесса во всех пространственных положениях; возможность визуального наблюдения за процессом формирования шва и его регулирования; более высокая производительность процесса, чем при ручной дуговой сварке; относительно низкая стоимость сварки в углекислом газе.

Рекомендуемые типы сварных соединений для аргонодуговой сварки неплавящимся и плавящимся электродом приведены на рис. 7.3.

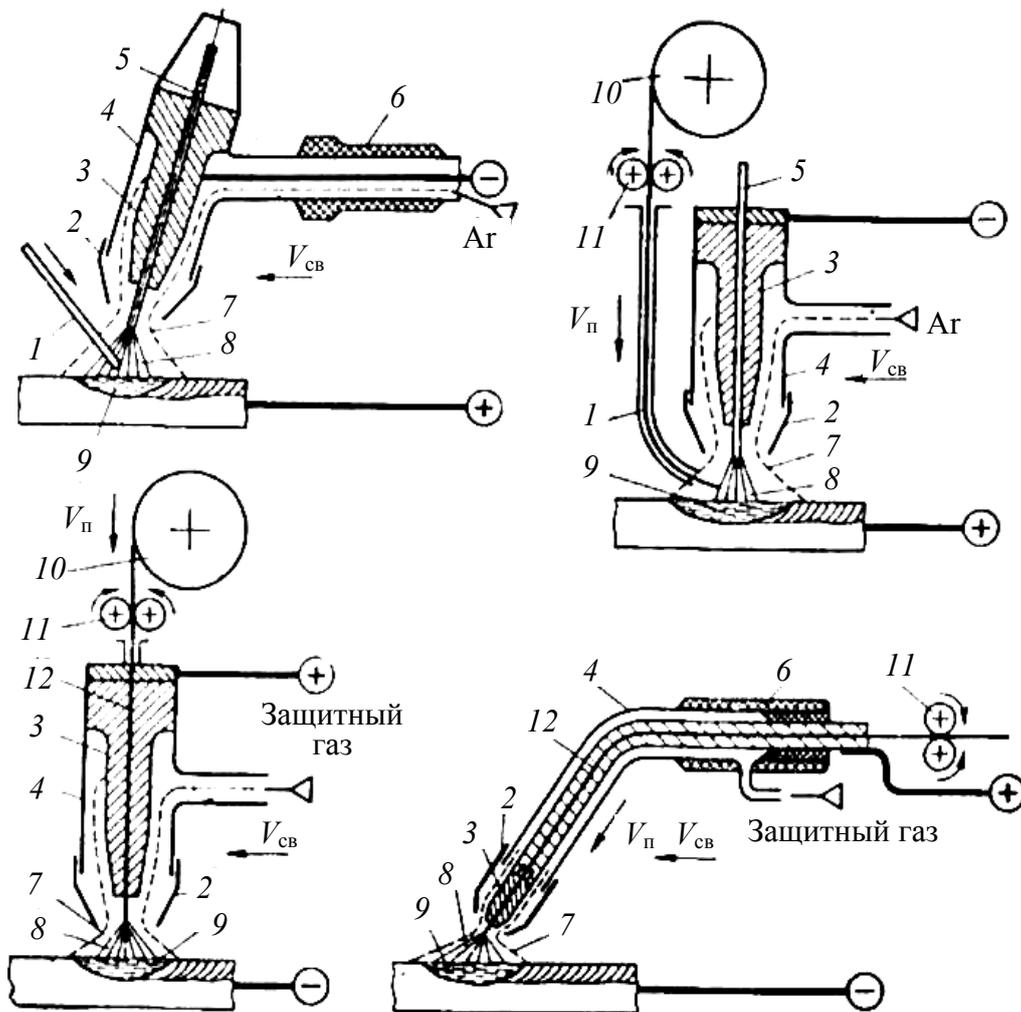


Рис. 7.2. Схемы сварки в среде защитных газов:

1 – присадочный пруток или проволока; 2 – сопло; 3 – токопроводящий мундштук; 4 – корпус горелки; 5 – неплавящийся вольфрамовый электрод; 6 – рукоятка горелки; 7 – атмосфера защитного газа; 8 – сварочная дуга; 9 – ванна расплавленного металла; 10 – кассета с проволокой; 11 – механизм подачи; 12 – плавящийся металлический электрод (сварочная проволока)

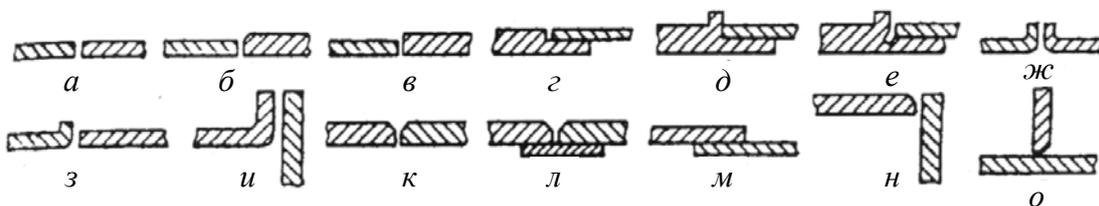


Рис. 7.3. Рекомендуемые типы

сварных соединений для аргонодуговой сварки:

а, б, в, г, к, л, м, н, о – для сварки плавящимся и неплавящимся электродом;
д, е, ж, з, и – для сварки неплавящимся электродом
(е – вариант для алюминиевых и магниевых сплавов)

Области применения сварки в защитных газах охватывают широкий круг материалов и изделий (узлы летательных аппаратов, элементы атомных установок, корпуса и трубопроводы химических аппаратов и т. п.). Аргонодуговую сварку применяют для цветных (алюминия, магния, меди) и тугоплавких (титана, ниобия, ванадия, циркония) металлов и их сплавов, а также легированных и высоколегированных сталей.

В углекислом газе сваривают конструкции из углеродистой и низколегированной сталей (газо- и нефтепроводы, корпуса судов и т. д.). Преимущество полуавтоматической сварки в CO_2 с точки зрения ее стоимости и производительности часто приводит к замене ею ручной дуговой сварки покрытыми электродами.

Лабораторная работа № 8 КОНТАКТНАЯ СВАРКА

Цель работы: ознакомиться со способами контактной сварки, изучить режимы сварки, области применения.

Задание: разработать режимы точечной сварки для выданных образцов.

Контактная сварка относится к способам сварки давлением с кратковременным нагревом места соединения электрическим током без оплавления или с оплавлением и с осадкой разогретых заготовок. Характерная особенность этих процессов – быстрота пластической деформации, в ходе которой формируется сварное соединение.

Способы контактной сварки получили широкое промышленное применение благодаря простоте выполнения и высокой производительности. Место соединения разогревается проходящим по металлу электрическим током, причем максимальное количество теплоты выделяется в зоне сварочного контакта. Количество теплоты определяют по закону Джоуля – Ленца:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t,$$

где I – сила тока, А; R – омическое сопротивление, Ом; t – время сварки, с.

Контакт свариваемых поверхностей заготовок происходит в отдельных точках, что ведет к уменьшению его действительного сечения и в этой зоне протекает ток большей плотности. Кроме того, на поверхности свариваемого металла имеются пленки оксидов и загрязнения с малой электропроводностью, которые также увеличивают сопротивление.

В результате высокой плотности тока в точках контакта металл нагревается до термопластического состояния или до оплавления. При непрерывном сдавливании нагретых заготовок образуются новые точки соприкосновения, и так до тех пор, пока не произойдет полное сближение до межатомных расстояний, т. е. сварка поверхностей. Контактную сварку классифицируют по типу свариваемого соединения, определяющего вид сварочной машины, и по характеру тока, питающего сварочный трансформатор. По типу сварного соединения различают сварку стыковую, точечную, шовную (роликосварную), рельефную.

По способу питания сварочного трансформатора различают сварку переменным током, главным образом однофазным, частотой 50 Гц; импульсом постоянного тока, когда первичная обмотка сварочного трансформатора подключается к выпрямительной установке. Вследствие индуктивности трансформатора ток в первичной обмотке постепенно возрастает, в результате чего во вторичной обмотке нарастающий импульс сварочного тока индуцируется аккумулярованной энергией.

Стыковая сварка

Стыковая сварка является видом контактной сварки, при которой заготовки свариваются по всей поверхности соприкосновения. При стыковой сварке свариваемые заготовки *1* закрепляют в зажимах *2* стыковой машины (рис. 8.1). Один установлен на подвижной плите, перемещающейся в направляющих. Второй укреплен на неподвижной плите. Сварочный трансформатор соединен с плитами гибкими шинами и питается от сети переменного тока через включающее устройство. Плиты перемещаются, и свариваемые детали сжимаются под действием усилия *P*, развиваемого механизмом осадки.

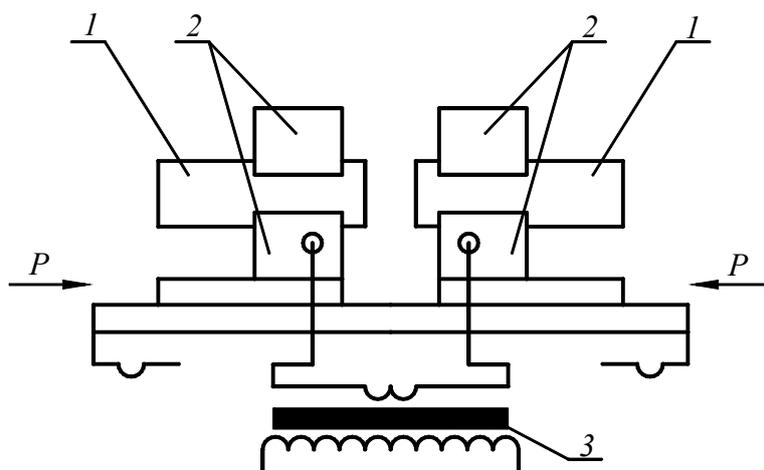


Рис. 8.1. Схема стыковой сварки:

1 – свариваемый металл; *2* – токопроводящие электроды;
3 – трансформатор

Стыковую сварку с разогревом стыка до пластического состояния и последующей осадкой называют сваркой сопротивлением, а при разогреве торцов заготовок до оплавления – сваркой оплавлением. Параметры сварки сопротивлением и оплавлением приведены на рис. 8.2.

Сущность сварки оплавлением (рис. 8.2, б) заключается в том, что свариваемые заготовки сближают при включенном сварочном транс-

форматоре. Касание поверхностей происходит по отдельным выступам. Ввиду того, что площадь образовавшихся контактов очень небольшая, плотность тока, протекающего через эти контакты, настолько велика, что происходит мгновенное оплавление металла с образованием жидких перемычек, которые под действием паров металла разрушаются. Часть металла в виде искр выбрасывается из стыка. Вместе с жидким металлом выводятся загрязнения, которые присутствуют на поверхности заготовок.

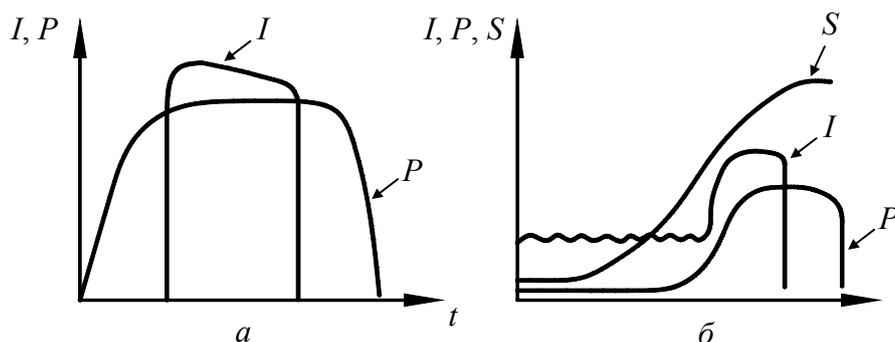


Рис. 8.2. Циклограммы контактной стыковой сварки:
а – сопротивлением; *б* – оплавлением; *I* – сварочный ток; *P* – усилие сжатия;
S – перемещение подвижной плиты; *t* – время

Продолжающееся сближение заготовок приводит к образованию новых перемычек и их оплавлению. Непрерывное возникновение и разрушение контактов-перемычек между торцами образует на торцах слоя жидкий металл. После оплавления торцов по всей поверхности осуществляют осадку. При осадке жидкий металл из стыка выдавливается наружу и, затвердевая, образует грат.

Для правильного формирования сварного соединения необходимо, чтобы процесс протекал в определенной последовательности.

Типы сварных соединений, выполненных стыковой сваркой сопротивлением, представлены на рис. 8.3. Этим способом соединяют заготовки малого сечения (до 100 мм²), так как при сварке больших сечений нагрев будет неравномерным. Сечения соединяемых заготовок должны быть одинаковыми по форме с малоразвитым периметром (круг, квадрат, прямоугольник с малым отношением сторон). Металл соединяемых заготовок должен быть однородным. Сварка сопротивлением дает положительные результаты для металлов, обладающих хорошей свариваемостью в пластическом состоянии. Этим методом можно сваривать низкоуглеродистые, низколегированные конструкционные стали, алюминиевые и медные сплавы.

Способ стыковой сварки оплавлением имеет две разновидности: непрерывное и прерывистое оплавление. При непрерывном оплавлении между заготовками, установленными в зажимах машины, оставляют зазор, подключают напряжение и равномерно сближают заготовки под напряжением. Соприкосновение происходит вначале по отдельным небольшим площадкам, через которые протекает ток высокой плотности. Расплавленный и кипящий металл выбрасывается наружу действием магнитного поля. После достижения равномерного оплавления всей поверхности стыка производят осадку.

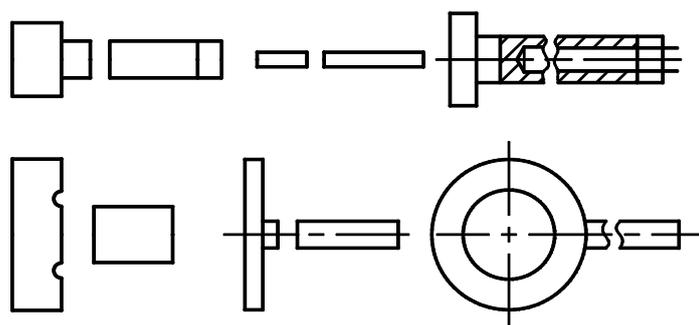


Рис. 8.3. Типы сварных соединений

При прерывистом оплавлении зажатые заготовки сближают под током, приводят их в кратковременное соприкосновение и вновь разъединяют на небольшое расстояние. Быстро повторяя следующие одно за другим сближения и разъединения, выполняют оплавление всего сечения. Затем выключают ток и осаживают заготовку. Под давлением часть расплавленного металла вместе с оксидами выдавливается из зоны сварки, образуя грат.

Сварка оплавлением имеет преимущества перед сваркой сопротивлением. В процессе оплавления выравниваются все выступы и неровности стыка, а окислы и загрязнения сгорают и удаляются вместе с металлом, поэтому не требуется особой подготовки места соединения. Можно сваривать заготовки с сечением сложной формы, а также заготовки с различными сечениями, разнородные металлы (быстрорежущую и углеродистую стали, медь, алюминий и т. д.).

Наиболее типичными изделиями, изготавливаемыми стыковой сваркой, являются элементы трубчатых конструкций, колеса и кольца, инструмент, рельсы, железобетонная арматура.

При сварке замкнутого контура, например труб (рис. 8.4), лишь часть тока идет через свариваемый стык, часть же шунтируется сплошным металлом. Поэтому при сварке замкнутых контуров прихо-

дится увеличивать подводимую мощность в два раза.

Различают следующие дефекты сварных соединений.

1. Непровар – полное или частичное отсутствие металлической связи из-за оставшейся невыдавленной из стыка оксидной пленки, а также из-за отсутствия образования общих пограничных зерен металла, несмотря на удаление оксидов. Причина непровара при отсутствии оксидов – недостаточный нагрев торцов.

2. Расслоение и трещины (обычно продольные горячи) возникают также при чрезмерной осадке при сварке металлов с выраженной строчечной структурой, в которой прослойки между волокнами имеют относительно низкую температуру плавления.

3. Дефекты структуры – крупное зерно, загрязнение стыка неметаллическими включениями, снижение содержания легирующих элементов в стыке и т. п.

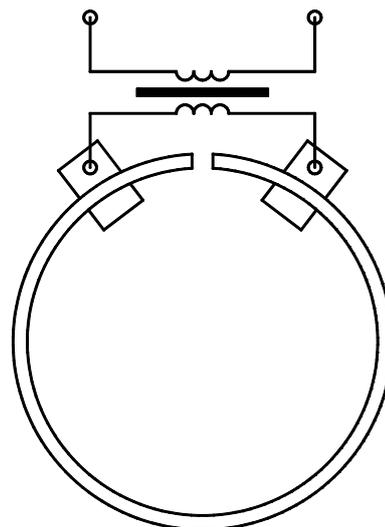


Рис. 8.4. Сварка замкнутого контура

Точечная сварка

Точечная сварка – вид контактной сварки, при которой заготовки соединяются в отдельных точках, причем одновременно можно сваривать одну, две или несколько точек; их положение определяется расположением электродов точечной машины. При точечной сварке заготовки собирают внахлестку и зажимают с некоторым усилием между двумя медными электродами, подводщими ток к месту сварки.

Соприкасающиеся с медным электродом поверхности свариваемых заготовок нагреваются медленнее их внутренних слоев. Нагрев продолжают до пластического состояния внешних слоев образующего точку объема металла и до расплавления внутренних слоев. Затем выключают ток и снимают давление. В результате образуется литая сварная точка. Точечная сварка в зависимости от расположения электродов по отношению к свариваемым заготовкам может быть двусторонней и односторонней. При двусторонней сварке (рис. 8.5, а) две или большее число заготовок 1 и 2 сжимают между электродами точечной машины. При односторонней сварке (рис. 8.5, б) ток распределяется

между верхним и нижним листами 3 и 4, причем нагрев осуществляется частью тока, протекающего через нижний лист. Для увеличения тока, проходящего через нижний лист, предусмотрена медная подкладка 5. Односторонней сваркой можно соединять заготовки одновременно двумя точками. Параметрами режима точечной сварки являются: усилие сжатия, плотность тока и время. Точечную сварку выполняют на мягких и жестких режимах. Мягкие режимы характеризуются большей продолжительностью времени сварки, плавным нагревом, уменьшенной мощностью. На них сваривают углеродистые, низколегированные стали и стали, склонные к закалке. Основные параметры мягких режимов: плотность тока $80\text{--}160\text{ А/мм}^2$, усилие на электродах $15\text{--}40\text{ МН/м}^2$ и время протекания тока $0,5\text{--}3,0\text{ с}$.

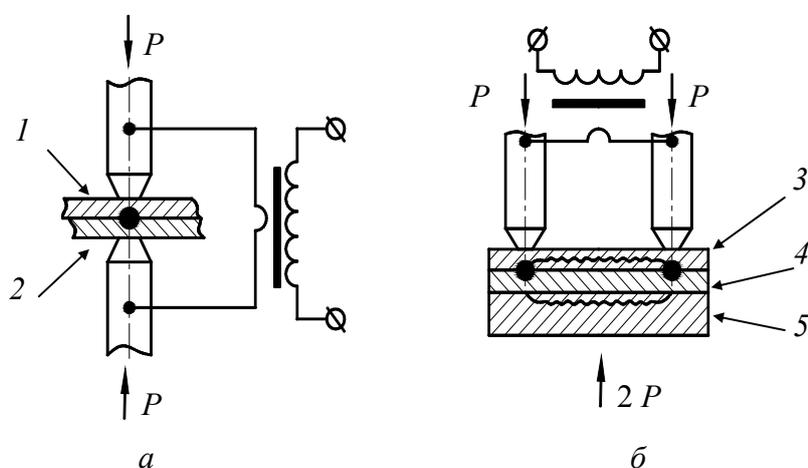


Рис. 8.5. Схемы точечной сварки:
а – двусторонняя; б – односторонняя

Жесткие режимы характеризуются повышенной производительностью в связи с уменьшением времени сварки, увеличением усилия сжатия и концентрированным нагревом. Эти режимы применяют при сварке коррозионно-стойких сталей, так как при использовании для этого мягких режимов возможно выпадение карбидов хрома в околошовной зоне и вследствие этого потеря коррозионной стойкости; при сварке алюминиевых и медных сплавов вследствие их высокой теплопроводности и недопустимости перегрева околошовной зоны; при сварке ультратонкого металла толщиной до $0,1\text{ мм}$. Параметры жестких режимов: $120\text{--}360\text{ А/мм}^2$, усилие на электродах $4\text{--}150\text{ МН/м}^2$ и время протекания тока $0,001\text{--}0,01\text{ с}$.

Типы сварных соединений, выполняемых точечной сваркой, показаны на рис. 8.6.

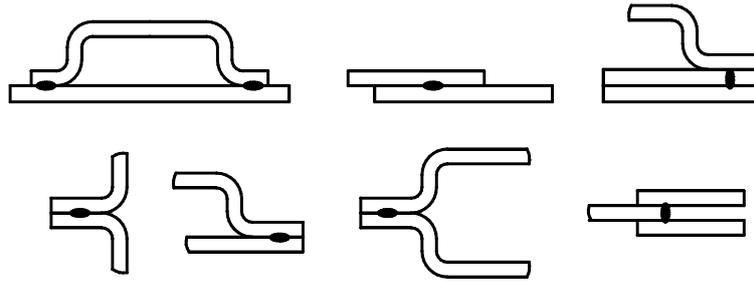


Рис. 8.6. Типы сварных соединений, выполняемых точечной сваркой

Точечной сваркой изготавливают штамповарные конструкции при соединении отдельных штампованных деталей сварными точками. В этом случае упрощается технология изготовления сварных узлов и повышается производительность.

Точечная сварка – универсальный способ, применяемый при изготовлении изделий из низкоуглеродистых, углеродистых, низколегированных, конструкционных и коррозионно-стойких сталей, алюминиевых и медных сплавов. Толщина свариваемых металлов составляет 0,5–5 мм.

Многоточечная контактная сварка – вид контактной сварки, когда за один цикл сваривается несколько точек. Многоточечную сварку выполняют по принципу односторонней точечной сварки. Многоточечные машины могут иметь от 1 до 100 пар электродов, соответственно можно сваривать 2–200 точек одновременно. Многоточечной сваркой сваривают одновременно и последовательно. В первом случае все электроды сразу прижимают к изделию, что обеспечивает меньшее коробление и большую точность сборки. Ток распределяется между прижатыми электродами специальным токораспределителем, включающим электроды попарно. Во втором случае пары электродов опускают поочередно или одновременно, а ток подключают поочередно к каждой паре электродов от сварочного трансформатора.

Многоточечную сварку применяют в основном в массовом производстве, где требуется большое число сварных точек на каждой свариваемой заготовке.

Технология шовной сварки

Шовная контактная сварка – это сварка, при которой соединение элементов выполняется внахлестку в виде непрерывного или прерывистого шва вращающимися дисковыми электродами, к которым подведен ток и приложена сила сжатия.

Применяют три способа шовной сварки: непрерывную, прерывистую с непрерывным вращением роликов и прерывистую с периодическим вращением роликов.

На рис. 8.7 представлена принципиальная схема шовной сварки.

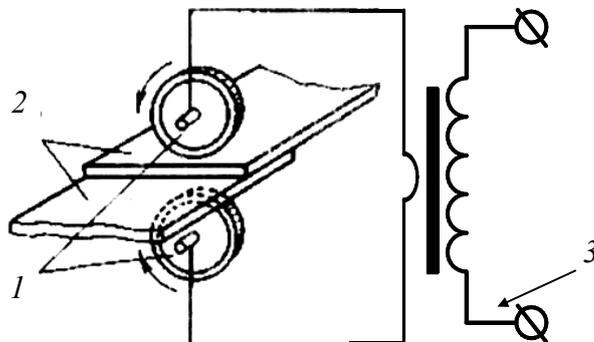


Рис. 8.7. Схема шовной сварки:
1 – ролики (дисковые электроды);
2 – свариваемые листы; 3 – трансформатор

Непрерывную шовную сварку выполняют сплошным швом при постоянном давлении роликов на свариваемые листы заготовки и при постоянно включенном сварочном токе в течение всего процесса сварки. При этом способе имеют большое значение тщательная зачистка свариваемых поверхностей, равномерная толщина листов и однородность химического состава металла. Даже при небольших нарушениях подготовки свариваемых кромок сварной шов получается низкого качества с прожогами и непроварами. По указанным причинам этот метод сварки не получил широкого применения.

Прерывистую сварку с непрерывным вращением роликов также выполняют при постоянной силе сжатия, но сварочная цепь периодически замыкается и размыкается. При этом способе шов формируется в виде сварных точек, перекрывающих друг друга. Шов получается более высокого качества.

Прерывистую сварку с периодическим вращением роликов выполняют при постоянной силе сжатия, но сварочная цепь замыкается в момент остановки роликов (шаговая сварка). Такой способ дает более качественный шов, так как обеспечивает хорошее формирование сварочной точки. Однако машины для такого способа отличаются сложностью конструкции и малой производительностью.

Широкое применение получила прерывистая шовная сварка с непрерывным вращением роликов при постоянной силе сжатия

в течение процесса сварки. Этим способом сваривают швы различных резервуаров и емкостей, а также конструкций из листового металла. Наиболее часто применяют сварные соединения с отбортовкой и внахлестку. При соединении с отбортовкой листов толщиной до 1 мм ширина отбортовки берется до 12 мм, а при толщине листов до 2 мм – 20 мм. При нахлесточном соединении величину нахлеста берут 10–20 мм.

Низкоуглеродистая и тонкая нержавеющая стали (типа Х18Н9) хорошо свариваются шовной сваркой. Сварку листов из низкоуглеродистой стали при суммарной толщине до 2 мм (1 + 1) производят роликами с шириной контактной поверхности 6 мм. Продолжительность импульсов тока в сварочной цепи составляет 0,04–0,06 с, а перерывов между ними – 0,02–0,04 с. Сварочный ток – 8–16 кА. Скорость сварки достигает ~2 м/мин. При суммарной толщине листов до 4 мм (2 + 2) ширина контактной поверхности роликов составляет 8,5–10 мм, сила сжатия – 6,5–8,4 кН, продолжительность импульсов тока – 0,08–0,12 с, а перерывов – 0,06–0,10 с. Сварочный ток достигает 20 кА, скорость сварки – 1,4–1,6 м/мин. При сварке нержавеющих сталей сварочный ток берется меньше указанных норм на 35–40%. Сварка листов из алюминия и его сплавов выполняется при сварочных токах 22–40 кА. Скорость сварки не превышает 1 м/мин, сила сжатия – 2,5–5,4 кН, продолжительность импульсов сварочного тока составляет только 15–30% времени одного цикла.

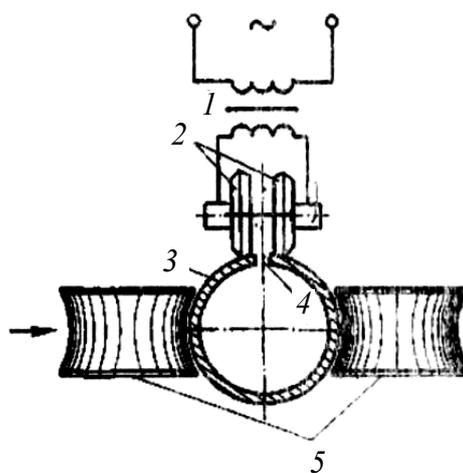


Рис. 8.8. Шовно-стыковая сварка

Разновидностью шовной сварки является шовно-стыковая сварка труб с продольным сварным швом (рис. 8.8). Из стальной ленты необходимой ширины формующими роликами подготавливают трубную заготовку 3 с верхним расположением стыка 4 кромок заготовки. Заготовка подается стыком под сварочные ролики 2, к которым подводится сварочный ток от трансформатора 1; сила сжатия передается заготовке через нажимные ролики 5. После заварки шва труба поступает на калибрующие валки, где срезается грат сварного шва и правятся размер и форма сечения, затем разрезается на трубы заданной длины.

Этим способом изготавливают трубы диаметром 14–400 мм при толщине стенок 0,5–12,5 мм. Скорость сварки достигает 10–15 м/мин.

Источники тока, механизмы давления и машины

Источники тока. Контактные машины работают на переменном токе (от тысяч до сотен тысяч ампер). Электрическая схема контактных машин состоит из трех элементов: трансформатора, прерывателя тока и переключателя ступеней мощности. Первичную обмотку трансформатора подключают к сети с напряжением 220–380 В. Ее изготавливают секционной для изменения числа рабочих витков при переключении ступеней мощности. Вторичная обмотка трансформатора состоит из одного или двух витков (вторичное напряжение 12 В). Сила вторичного тока составляет 1000–100 000 А. При изменении числа витков первичной обмотки изменяется коэффициент трансформации K .

Механизмы давления. Эти механизмы служат для сжатия заготовок между электродами машины и могут иметь рычажно-педальный, моторно-кулачковый или пневматический привод давления.

Машины для стыковой сварки. Машины выпускают мощностью 5–500 кВА. Стыковые машины мощностью до 25 кВА применяют для сварки сопротивлением черных и цветных металлов; мощностью 25–250 кВА – для сварки сопротивлением и оплавлением черных металлов; мощностью 150–500 кВА – для автоматической сварки оплавлением с подогревом.

Машины для точечной сварки. Такие машины выпускают мощностью 0,1–250 кВА. Точечные машины мощностью 0,1–25 кВА применяют для сварки заготовок толщиной 0,1–2 мм из черных и цветных металлов; мощностью 50–100 кВА с пневматическим или моторно-кулачковым механизмом давления – для автоматической сварки в массовом производстве; мощностью 75–250 кВА с пневматическим механизмом давления и с электронными прерывателями тока – для сварки заготовок толщиной от 2 мм и выше. Эти машины могут быть использованы также для рельефной сварки.

Машины для шовной сварки. По конструктивному оформлению эти машины близки к машинам для точечной сварки и отличаются от них формой электродов, выполненных в виде роликов. Шовные машины выпускают мощностью 25–200 кВА. В зависимости от способа шовной сварки (непрерывное или прерывистое включение тока) их снабжают механическими или электронными прерывателями тока.

Машины для конденсаторной сварки. Эти машины должны обладать высокой точностью и стабильностью дозировки тока, стабильностью механических сил сжатия.

Конденсаторные машины, как правило, состоят из батареи конденсаторов, выпрямительных устройств, сварочного трансформатора (при трансформаторной конденсаторной сварке), включателя сварочного тока, вспомогательных устройств и сварочного стола.

В зависимости от типа свариваемого соединения выпускают точечные, шовные и стыковые конденсаторные машины. По назначению и характеру действия эти машины могут быть универсальные (неавтоматические и полуавтоматические) и специализированные (неавтоматические, полуавтоматические и автоматические).

Лабораторная работа № 9 ГАЗОВАЯ СВАРКА

Цель работы: изучить сущность, работу аппаратуры, свойства применяемых газов, технологию и области применения газовой сварки.

Задание: зарисовать схемы газовой аппаратуры, описать принципы их работы, составить технологию сварки заданной конструкции, детали.

Схема поста газовой сварки и ее сущность

Расплавить металл в зоне сварного шва можно не только электрической дугой, но и пламенем, образующимся при сгорании некоторых газов в кислороде. Так при горении в кислороде водорода, ацетилена и ряда других, реже используемых газов, температура пламени превышает 3000°C .

Однако пламя является менее концентрированным источником энергии, поэтому таким методом можно сваривать только тонкие заготовки ($< 5\text{мм}$). Применяется такая сварка весьма ограниченно: в полевых условиях, где отсутствуют источники электрического тока, в строительстве (сварка трубопроводов в труднодоступных местах) и т. д.

К месту сварки ацетилен поставляется в стальных баллонах вместимостью 40 л, в которых при максимальном давлении 0,9 МПа содержится примерно $5,5\text{ м}^3$ газа. Для обеспечения безопасного хранения и транспортировки ацетилена, баллон заполнен пористым активированным углем, который пропитан ацетоном. В одном объеме ацетона растворяется 23 объема ацетилена. Баллон окрашен в белый цвет с надписью «Ацетилен» красного цвета.

Схема газового поста с питанием от баллонов показана на рис. 9.1.

К вентилям баллонов крепятся газовые редукторы, которые предназначены для снижения давления газа, поступающего из баллона к горелке, и поддержания постоянства установленного давления во время работы. Газовые редукторы имеют обычно два манометра, один из которых измеряет давление газа на входе в редуктор, второй – на выходе из него. Редукционные вентили (газовые редукторы) применяются для понижения давления газа, выходящего из баллонов, и для поддержания постоянного рабочего давления. Редукционные вентили понижают давление газа от 15 до 0,3 МПа, ацетиленовые – от 1,6 до 0,03–0,05 МПа. Редукционные вентили, как и газовые баллоны, окрашиваются в голубой и белый цвета. Редукционный вентиль прикрепляется к баллону при помощи накидной гайки, а ацетиленовый – при помощи хомута. Схема однокammerного редукционного вентиля представлена на рис. 9.2.

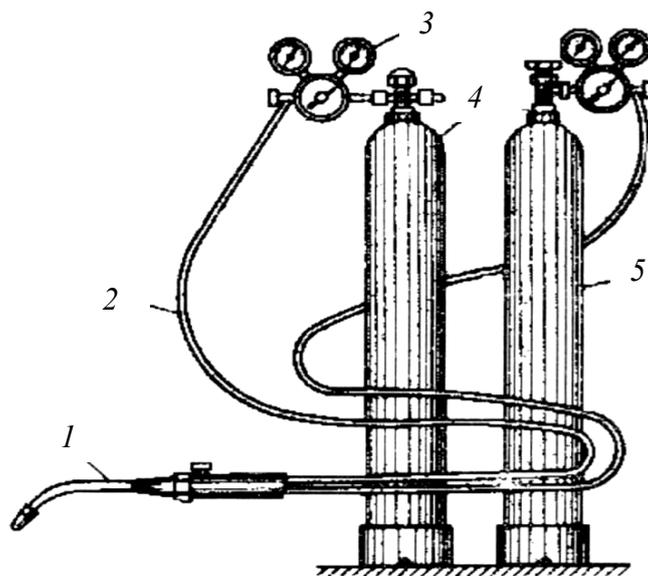


Рис. 9.1. Схема газосварочного поста с питанием от баллонов:

1 – сварочная горелка; 2 – гибкий шланг; 3 – редуктор;

4 – баллон с ацетиленом; 5 – баллон с кислородом

Основными рабочими элементами редукционного вентиля являются редуцирующий клапан 8, седло клапана 7, гибкая диафрагма 3, толкатель 6, пружины 4, 9, регулировочный винт 5.

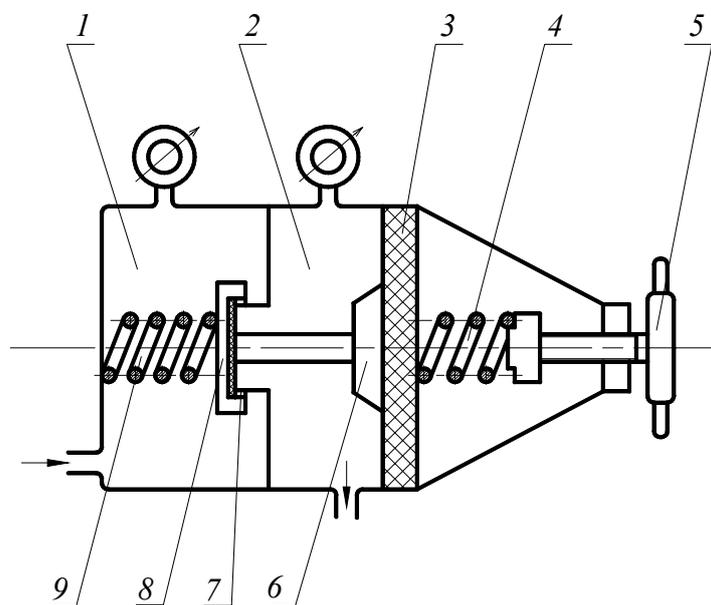


Рис. 9.2. Схема редукционного вентиля

Газ из баллона поступает в камеру высокого давления 1, а затем через узкое отверстие редуцирующего клапана 8 – в камеру низкого

давления 2. Здесь газ расширяется, давление его понижается. При возрастании давления в камере 2 мембрана 3 отжимается вправо и редуцирующий клапан под действием уравнивающей пружины 9 опускается на седло, закрывая отверстие клапана. При отборе газа из рабочей камеры 2 давление в ней понижается, мембрана отжимает клапан и в камеру поступает новая порция газа.

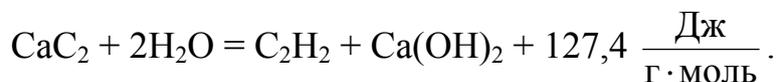
Редукторы для различных газов отличаются лишь устройством присоединительной части, которая соответствует устройству вентиля соответствующего баллона и исключает ошибочную установку, например, ацетиленового редуктора на кислородный баллон. Корпус редуктора окрашивают в определенный цвет, например, голубой для кислорода, белый для ацетилена. К сварочной горелке кислород и ацетилен от редукторов подаются через специальные резиновые шланги.

Кислородные вентили понижают давление газа от 15 до 0,3 МПа, ацетиленовые – от 1,6 до 0,03–0,05 МПа. Редукционный вентиль прикрепляется к баллону при помощи накидной гайки, а ацетиленовый – при помощи хомута.

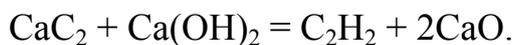
В мелкосерийном производстве и на ремонтных предприятиях ацетилен обычно получают при разложении карбида кальция водой.

В промышленности применяется технический карбид кальция, содержащий CaC_2 65–80%; CaO 25–10%; прочих примесей – до 6%.

Реакция разложения карбида кальция водой протекает экзотермически:



Тепловой эффект процесса разложения технического карбида кальция подсчитывается с учетом теплоты разложения CaO . Так, например, для 70%-ного технического карбида кальция тепловой эффект разложения – 1663 Дж/кг. Разложение карбида кальция при недостатке воды может вызвать значительное повышение температуры в зоне реакции и при достижении температуры 200°C возможно образование CaO по реакции



В этом случае кусочки карбида кальция покрываются плотной коркой $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (гашеной известью), которая вызывает их сильный перегрев. Поэтому непрерывное удаление с кусочков карбида кальция слоя $\text{Ca}(\text{OH})_2$ имеет важное значение для нормального процесса разложения карбида кальция и предупреждения возможности опасного перегрева, который может привести к взрыву ацетилена.

При эксплуатации ацетиленовых генераторов необходимо периодически перемешивать карбид кальция в зоне реакции и производить смену воды, загрязненной известковым илом.

Устройство и работа ацетиленового генератора высокого давления

Генератор предназначен для получения ацетилена путем воздействия водой на карбид кальция, его основные данные приведены в таблице. Генератор применяется для питания ацетиленом одного сварочного поста.

Таблица

Характеристика генератора АСП-1, 25-7

| Наименование показателей генератора | Значение показателей |
|---|----------------------|
| Производительность, м ³ /ч | 1,25 |
| Давление рабочее после затвора, МПа | 0,01–0,07 |
| Наибольшее допустимое давление, МПа | 0,15 |
| Вместимость корзины для карбида кальция, кг | 3,5 |
| Объем заливаемой воды, л: | |
| а) в газообразователь | 7,6 |
| б) в промыватель | 7,0 |
| в) в вытеснитель | 4,0 |
| Общий объем, л | 50,6 |
| Габариты, мм | 420×380×960 |
| Масса, кг (без воды и карбида кальция) | 20,2 |
| Давление, открывающее предохранительный клапан, МПа | 0,15 ± 0,02 |
| Давление, закрывающее предохранительный клапан, МПа | 0,135 ± 0,02 |

Генератор (рис. 9.3) работает следующим образом. Снимается крышка 2, выворачивая винт 3, освобождаем кронштейн 4. Вместе с крышкой извлекают из генератора корзину 6, куда загружают необходимое количество карбида кальция через съемный поддон 9. Отворачивают пробки штуцеров 15, 17, 19 и заливают водой, пока она не станет выливаться через контрольный штуцер 17, после чего герметизируют его пробкой. Уровень воды в генераторе показан на схеме.

Горловину генератора закрывают крышкой 2 и герметизируют с помощью резиновой полусферической прокладки 1 кронштейна 4 и винта 3 с моховиком. Корзина 6 с карбидом кальция оказывается в воде, и в газообразователе 8 накапливается ацетилен. Давление повышается и под его воздействием резиновая прокладка 1 сжимается, подпружинный шток 5 поднимает корзину из воды, и реакция останавливается. При расходовании ацетилена его давление в газообразователе

уменьшается, и корзина опускается в воду, таким образом поддерживается заданное давление ацетилена в генераторе. Дополнительно давление ацетилена контролируется и путем понижения уровня воды.

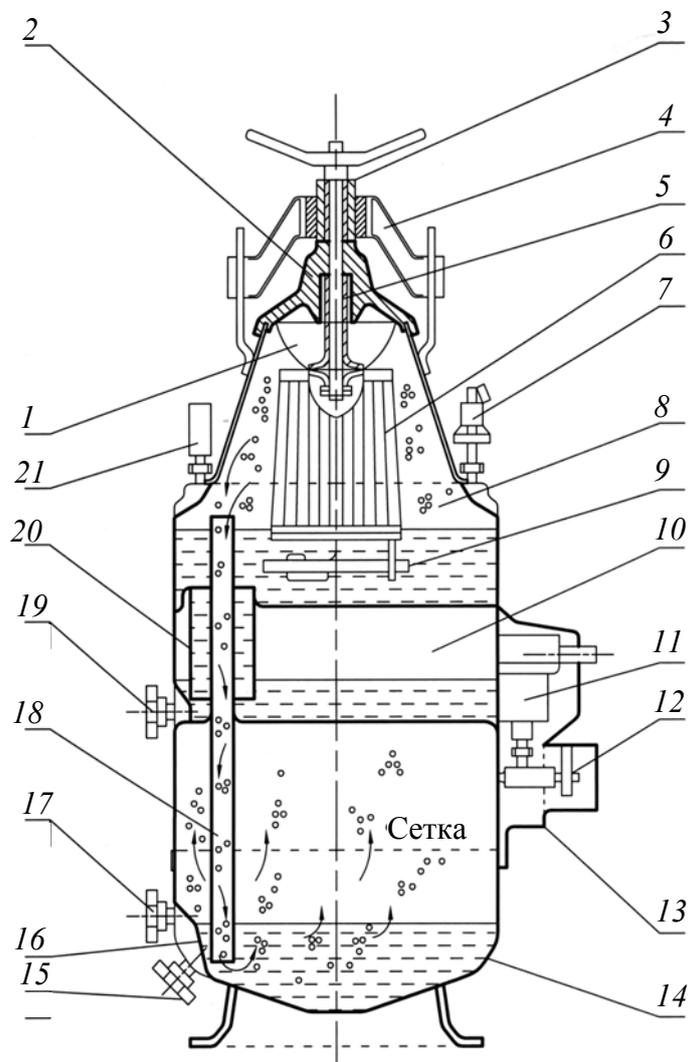


Рис. 9.3. Схема ацетиленового генератора АСП-1, 25-7

Под воздействием давления ацетилена вода из газообразователя вытесняется в вытеснительную камеру 10 через патрубок 20, где образуется воздушная подушка. При снижении давления ацетилена в газообразователе 8 сжатый воздух вытесняет воду обратно и поддерживает протекание реакции до восстановления рабочего давления.

Безопасная работа генератора обеспечивается установкой игольчатого клапана 7, который автоматически срабатывает при достижении критического давления ацетилена, величину которого можно контролировать визуально с помощью манометра 21. Ацетилен из газо-

образователя 8 через трубку 18 перемещается вниз, проходя через слой воды в газосборнике 14 промывается, капельки воды оседают на мелкой кристаллической сетке, закрепленной в сварном корпусе 16. Через вентиль 12 ацетилен поступает в предохранительный затвор 11 и дальше по шлангу к газовой горелке. Предохранительный затвор служит для предотвращения возможности проникновения пламени из шлангов в генератор при обратном ударе (при распространении пламени от горелки по ацетиленовому шлангу к генератору).

Газосварочные горелки служат для смешивания в требуемой пропорции кислорода и ацетилена, подачи горючей смеси к месту сварки и создания концентрированного пламени требуемой мощности. По принципу действия горелки подразделяются на инжекторные и безинжекторные (рис. 9.4). В инжекторных горелках поступление горючего газа (ацетилена) происходит за счет подсоса его струей кислорода, который, вытекая с большой скоростью из сопла инжектора, создает разрежение в каналах, по которым поступает ацетилен. Давление кислорода должно быть при этом равным 0,2–0,4 МПа, а давление ацетилена на входе в горелку может быть 0,001–0,002 МПа.

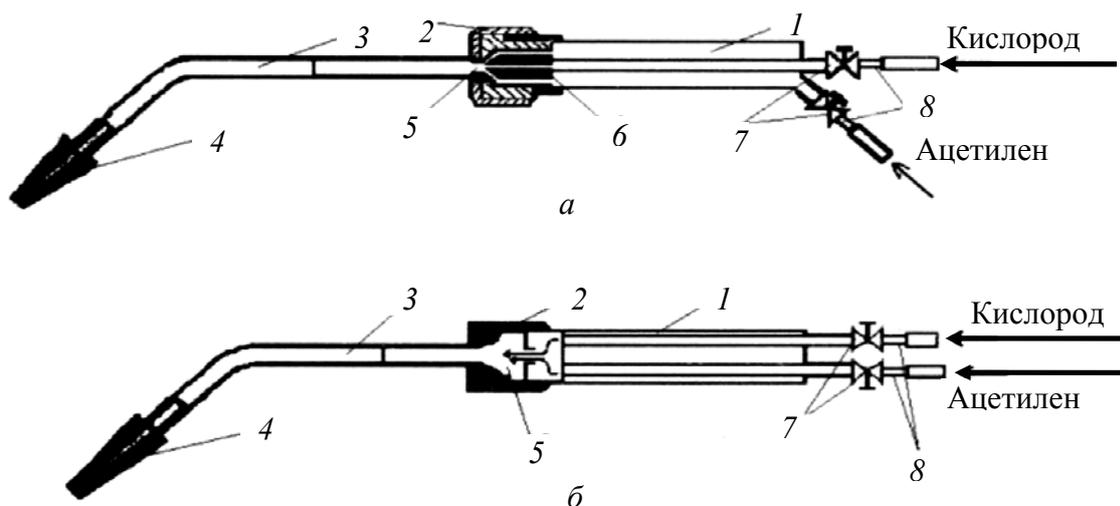


Рис. 9.4. Схемы ацетиленовых горелок:

- а* – инжекторные; *б* – безинжекторные; 1 – ствол горелки; 2 – гайка;
3 – наконечник; 4 – мундштук; 5 – смесительная камера; 6 – инжектор;
7 – вентиль; 8 – штуцер присоединительный

Горелки имеют сменные наконечники с различными диаметрами выходных отверстий инжектора и мундштука, что позволяет регулировать в широких пределах мощность ацетилено-кислородного пламени, поддерживая достаточно высокую скорость истечения газов из горелки. Инжекторные горелки имеют семь номеров сменных наконечников.

Горелки большой мощности и многопламенные, работающие в тяжелых условиях, при высокой температуре, обычно делаются безинжекторными, в них оба газа – кислород и ацетилен – поступают под одинаковым давлением в пределах 0,01–0,15 МПа.

В зависимости от соотношений объемов ацетилена и кислорода, подаваемых в горелку, изменяется состав пламени. Если на 1 объем ацетилена подается примерно 1–1,2 объема кислорода, то весь ацетилен полностью сгорает и такое пламя называется нормальным. Пламя состоит из трех зон: ядра пламени 1, восстановительной зоны 2 и факела 3 (рис. 9.5).

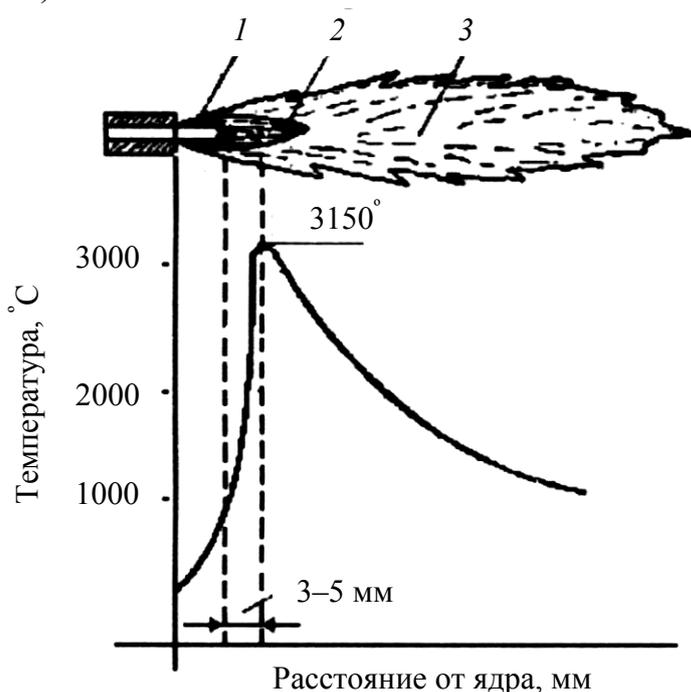


Рис. 9.5. Строение сварочного ацетилено-кислородного пламени:
1 – ядро; 2 – восстановительная зона; 3 – факел пламени

Ядро ослепительно белого цвета, имеет форму конуса с закругленным концом. В ядре происходит постепенный нагрев до температуры воспламенения газовой смеси, поступающей из мундштука. Восстановительная зона имеет значительно более темный цвет, чем ядро, и наиболее высокую температуру на расстоянии 3–5 мм от края ядра. В факеле протекает горение ацетилена за счет атмосферного кислорода. Нормальное пламя используют для сварки малоуглеродистых, низколегированных и высоколегированных сталей, а также меди, магниевых сплавов, алюминия, цинка, свинца и др.

При увеличении содержания кислорода ($O_2 / C_2H_2 > 1,2$) пламя приобретает голубоватый оттенок и имеет заостренную форму ядра.

Такое пламя называется окислительным и может быть использовано только при сварке латуни. В этом случае избыточный кислород образует с цинком, содержащимся в латуни, тугоплавкие оксиды, пленка которых препятствует дальнейшему испарению цинка.

При увеличении содержания ацетилена ($O_2 / C_2H_2 < 1$) пламя становится коптящим, удлиняется и имеет красноватый оттенок. Такое пламя называют науглераживающим и применяют для сварки высокоуглеродистых сталей, чугуна, цветных металлов и наплавке твердых сплавов, так как в этом случае компенсируется выгорание углерода и восстанавливаются оксиды цветных металлов.

Газы – заменители ацетилена. При сварке и резке металлов можно применять также другие горючие газы и пары горючих жидкостей. Свойства горючих газов для сварки и резки приведены в таблице приложения 2.

Вследствие более низкой температуры пламени этих газов применение их ограничено некоторыми процессами нагрева и плавления металлов. Некоторые газы и жидкие горючие (нефтяной газ, пропан, керосин) требуют по сравнению с ацетиленом большего удельного расхода кислорода для получения высокотемпературного пламени. Поэтому, например, пропан-кислородное или метан-кислородное пламя имеют окислительный характер и пригодны только для резки, пайки, поверхностной закалки и других подобных процессов, где характер пламени не имеет существенного значения.

При сварке же стали пропаном или метаном приходится применять сварочную проволоку, содержащую повышенное количество кремния и марганца, используемых в качестве раскислителей, а при сварке чугуна и цветных металлов использовать специальные флюсы.

При сварке стали пропан-бутаном возникают затруднения: глубина провара меньше, чем при ацетилено-кислородной сварке, зона нагрева основного металла несколько увеличена. Эти отрицательные факторы возникают в связи с пониженной температурой пламени, а также из-за необходимости применять пламя с избытком кислорода.

Пропан-бутановые смеси имеют незначительную скорость распространения пламени в кислороде (3,7 м/с). Поэтому факел и объем пламени пропана больше, пламя менее концентрировано, а температура его ниже, так как термический распад смесей происходит с поглощением тепла.

Сварка стали толщиной до 3 мм ведется левым способом, а от 3 до 6 мм – правым. Скорость сварки при правом способе на 20–25% выше, мощность пламени на 20–50% больше, расход пропан-бутана и кислорода на 15–25% меньше.

Механические свойства сварных соединений, выполненных пропан-бутановыми смесями, ни в чем не уступают сварным соединениям, выполненным ацетилено-кислородным пламенем.

Технология газовой сварки, возможные дефекты и методы контроля сварных соединений

Газовая сварка – сварка плавлением, при которой нагрев кромок соединяемых частей деталей производится пламенем газов, сжигаемых на выходе из горелки для газовой сварки.

Перед сваркой подготавливают шов. Для этого свариваемые поверхности очищают от грязи, ржавчины, масла и краски. Для сварки металла толщиной до 1,5 мм края деталей отбортовывают, высоту бортов делают от 1,5 до 2,5 мм и отбортованные кромки устанавливают плотно, без зазора. При сварке металла толщиной более 1,5 мм отбортовку не производят. Между кромками оставляют зазор от 0,5 до 1 мм. При толщине свариваемых деталей от 5 до 15 мм их кромки скашивают с одной стороны, при толщине более 15 мм кромки деталей скашивают с двух сторон. Угол раскрытия шва должен быть от 40° до 90°. Скашивают кромки зубилом, на станке или газовой резкой. Между свариваемыми кромками оставляют зазор 1–3 мм.

Сварку осуществляют следующим образом: кромки расплавляют горелкой, а затем в пламя вводят стальной присадочный пруток, который, расплавляясь, заполняет зазор. Передвигая постепенно горелку вдоль шва, производят сварку. При сварке тонких отбортованных деталей присадочный пруток не применяют, а оплавливают отогнутые кромки. При сварке длинных полос сначала прихватывают шов в нескольких местах, а затем его проваривают целиком. Это делают для того, чтобы избежать коробления изделия.

При газовой сварке на металл сварочной ванны активно воздействует газовая фаза всего пламени и особенно сварочной зоны, содержащей, в основном, CO + H₂ и частично пары воды, а также CO₂, H₂, O₂ и N₂ и некоторое количество свободного углерода. Состав газовой фазы определяется соотношением кислорода и горючего газа в газовой смеси, температурой пламени и сварочной зоной факела. От этого зависят металлургические взаимодействия газовой фазы с металлом сварочной ванны. Основные реакции при сварке – это окисление и восстановление. Направление реакции зависит от концентрации кислорода в газовой фазе (окислительное и науглероживающее пламя), температуры взаимодействия и свойств оксида. При сварке сталей основное взаимодействие газовой фазы происходит с железом, т. е. об-

разование его оксидов или восстановление. Элементы, имеющие большее сродство к кислороду, чем железо (Al, Si, Mn, Cr и т. д.) могут интенсивно окисляться тогда, когда реакций окисления железа не проходит. Они легко окисляются не только в чистом виде, но и находясь в виде легирующих добавок, причем чем их содержание выше, тем окисление интенсивнее. Окисление таких элементов, как Al, Ti, Mg, Si и некоторых других полностью исключить не удастся и для уменьшения их угара следует помимо регулирования состава газовой смеси дополнительно применять флюсы.

Ввиду относительно невысокого защитного и восстановительного действия пламени раскисление металла в сварочной ванне при сварке сталей достигается введением в нее марганца, кремния и других раскислителей через присадочную проволоку. Их действие основано на образовании жидкотекучих шлаков, способствующих самофлюсованию сварочной ванны. Образующиеся на поверхности сварочной ванны шлаки защищают расплавленный металл от кислорода, водорода и азота, газовой среды пламени и подсосываемого воздуха. Содержащийся в пламени водород может растворяться в расплавленном металле сварочной ванны. При кристаллизации металла часть не успевшего выделиться водорода может образовать поры. Азот, попадающий в расплавленный металл из воздуха, образует в нем нитриды. Структурные превращения в металле шва и околошовной зоне при газовой сварке имеют такой же характер, как и при других способах сварки плавлением. Однако вследствие медленного нагрева и охлаждения металл шва имеет более крупнокристаллическую структуру с равновесными неправильной формы зернами. В нем при сварке сталей с содержанием 0,15–0,3 углерода при быстром охлаждении может образовываться видманштеттовая структура. Чем выше скорость охлаждения металла, тем мельче в нем зерно и тем выше механические свойства металла шва. Поэтому сварку следует производить с максимально возможной скоростью.

Зона термического влияния состоит из тех же характерных участков, как и при дуговой сварке. Однако ее ширина значительно больше (до 30 мм при сварке стали больших толщин) и зависит от режима газовой сварки.

В процессе сварки происходит расплавление основного и присадочного металлов. Регулирование степени их расплавления определяется мощностью горелки, толщиной металла и его теплофизическими свойствами. Газовой сваркой выполняют сварные соединения различного типа.

Металл толщиной до 2 мм соединяют встык без разделки кромок и без зазора или, что лучше, с отбортовкой кромок без присадочного металла.

Металл толщиной 2–5 мм с присадочным металлом сваривают встык без разделки кромок с зазором между кромками.

При сварке металла свыше 5 мм используется V- или X-образная разделка кромок.

Тавровые и нахлесточные соединения допустимы только для металла толщиной до 3 мм. При большой толщине неравномерный разогрев приводит к существенным деформациям, остаточным напряжениям и возможности образования трещин.

Свариваемые кромки зачищают от загрязнений на 30–50 мм механическими способами или газовым пламенем. Перед сваркой детали сварного соединения закрепляются в сборочно-сварочном приспособлении или собираются с помощью коротких швов прихваток.

Направление движения горелки и наклон ее к поверхности металла оказывает большое влияние на эффективность нагрева металла, производительность сварки и качество шва. Различают два способа сварки: правый *а* и левый *б* (рис. 9.6).

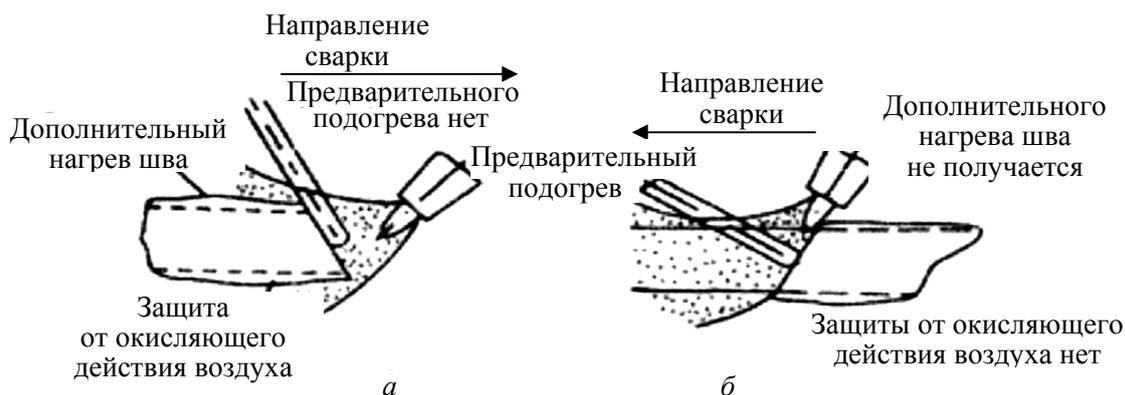


Рис. 9.6. Способы перемещения горелки (способы газовой сварки):
а – правый; *б* – левый

Внешний вид шва лучше при левом способе сварки, так как сварщик видит процесс образования шва. При толщине металла до 3 мм более производительным является левый способ сварки ввиду предварительного подогрева кромок. Однако при большой толщине металла при сварке с разделкой кромок угол скоса кромок при правом способе сварки на 10–15° меньше, чем при левом. Угол наклона мундштука также может быть на 10–15° меньше. В результате повышается производительность сварки. Тепловое воздействие пламени на металл зависит от угла наклона α оси пламени к поверхности металла (рис. 9.7).

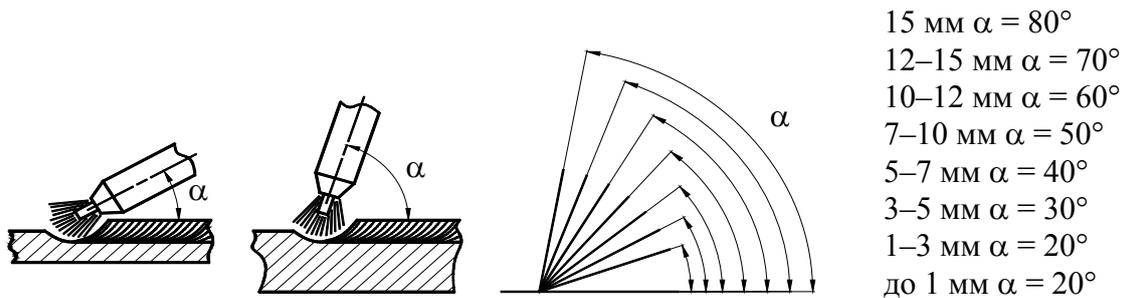


Рис. 9.7. Применяемые углы наклона горелки в зависимости от толщины металла

В процессе сварки горелке сообщаются колебательные движения и конец мундштука описывает зигзагообразный путь. Горелку сварщик держит в правой руке. При использовании присадочного металла присадочный пруток держится в левой руке. Присадочный пруток располагается под углом 45° к поверхности металла. Оплавленному концу присадочного прутка сообщают зигзагообразные колебания в направлении, противоположном движению мундштука (рис. 9.8).

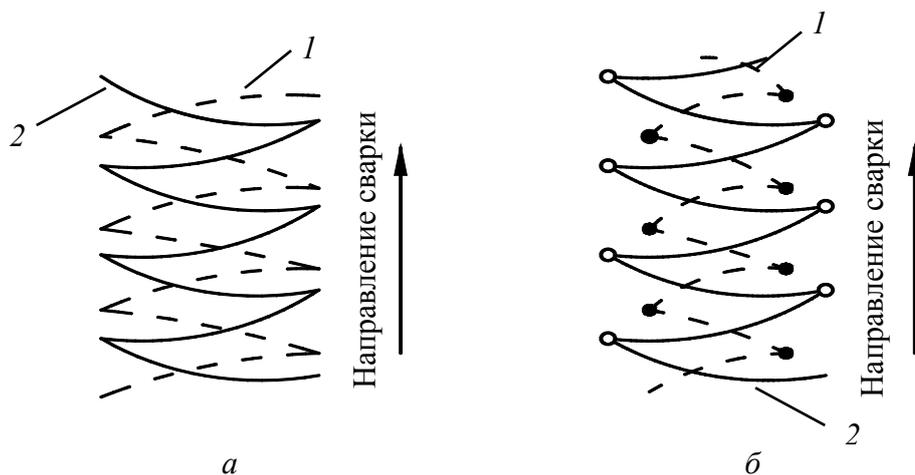


Рис. 9.8. Движения горелки и проволоки:

а – при сварке стали толщиной более 3 мм в нижнем положении;

б – при сварке угловых валиковых швов;

1 – движение проволоки; *2* – движение горелки; *3* – места задержек движения

Газовая сварка может производиться в нижнем, вертикальном и потолочном положениях. При сварке вертикальных швов «на подъем» процесс удобнее вести левым способом, горизонтальных и потолочных – правым способом.

При необходимости использования флюса он наносится на свариваемые кромки или вносится в сварочную ванну оплавленным концом присадочного прутка (налипающим на него при погружении во флюс).

Флюсы могут использоваться и в газообразном виде при подаче их в зону сварки с горючим газом.

Преимущества и недостатки способа

Преимущества:

- мобильность сварочного поста;
- возможность работы в труднодоступных местах;
- в случае разнородности материалов возможность применения пайки.

Недостатки:

- открытое пламя;
- ограничение объема работ запасом газа;
- взрывоопасность применяемых газов;
- уменьшение производительности процесса с увеличением толщины свариваемого металла.

Лабораторная работа № 10 ТЕРМИЧЕСКАЯ РЕЗКА МЕТАЛЛОВ

Цель работы: изучить методы термической резки металлов: а) способы резки, их сущность, преимущества и недостатки, области применения; б) схему газокислородной резки; в) используемые инструменты и оборудование; г) технологию резки, возможные дефекты.

Задание: разработать технологию резки конкретной заготовки.

Термическая резка – технологическая операция по своему назначению противоположная сварке металлов.

Все способы термической резки металлов осуществляются путем сжигания металла в струе кислорода или путем сквозного проплавления металла за счет теплоты электрической дуги или газового пламени.

Газокислородная резка основана на способности металла сгорать в струе технически чистого кислорода с выделением значительного количества теплоты. Для нормального протекания процесса кислородной резки необходимо, чтобы температура плавления металла была выше температуры его воспламенения; температура плавления оксидов, образующихся при резке – ниже температуры плавления металла, а образовавшиеся оксиды были достаточно жидкотекучими. Теплопроводность металла должна быть низкой. Указанным требованиям отвечает большинство марок углеродистой стали с содержанием углерода не более 0,7%. Однако высокохромистые стали, чугун, медь, магний, алюминий и их сплавы не поддаются обычной кислородной резке. Газокислородная резка делится на разделительную, поверхностную и резку кислородным копьем.

Разделительная резка применяется при раскрое листовой стали, резке профильного материала, вырезке различных деталей, отрезке прибылей отливок, разделке поковок, подгонке при монтаже сварных конструкций и пр.

Процесс разделительной кислородной резки начинается с нагрева металла *1* в начальной точке разреза подогревающим пламенем *4* (рис. 10.1), выходящим из мундштука *3*, до температуры начала горения (для стали 1200–1300°C). Затем по каналу мундштука *2* подается кислород. Режущий кислород *5* вступает в контакт с нагретым металлом и зажигает его. При этом выделяется значительное количество теплоты, которая передается через образовавшийся шлак нижележа-

щим слоям металла, распространяясь на всю толщину металла, прорезая сквозное отверстие, затем резак перемещают равномерно по детали, формируя рез. Расплавленный металл и оксиды 7 удаляются из разреза 6 под воздействием давления кислорода. Эффективность струи режущего кислорода зависит от чистоты кислорода, расхода его в единицу времени и от давления кислорода. Для стали толщиной от 20 до 100 мм оптимальное давление кислорода (перед мундштуком) составляет $8\text{--}10 \text{ кг/см}^2$ ($0,8\text{--}1,0 \text{ Мн/м}^2$), чистота кислорода (по ГОСТ 5583–58) первого сорта – 99,2%, теоретический расход кислорода – от $0,29$ до $0,38 \text{ м}^3$ на окисление 1 кг железа. Резка металла большой

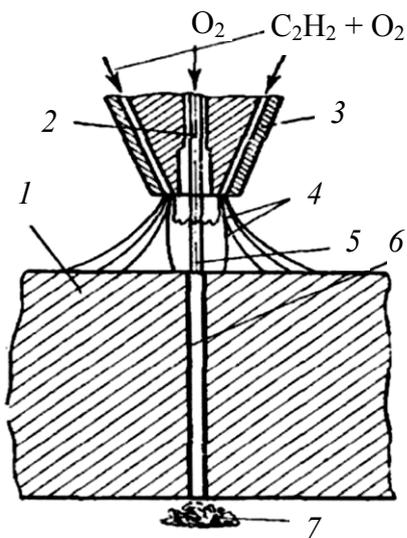


Рис. 10.1. Схема газокислородной резки

толщины производится специальными резаками типа УБТ-600 (толщиной до 600 мм) и Р-100 (толщиной до 2000 мм).

Последний резак отличается от стандартных большей длиной кислородопровода и наличием так называемого расширяющегося сопла. Такое сопло способствует большей скорости истечения газа, чем сопло обычного резака.

Ручная резка выполняется при помощи универсального инжекторного резака, схема которого показана на рис. 10.2. Этот резак служит для резки стали толщиной от 5 до 300 мм и работает при давлении ацетилена в пределах $0,01\text{--}1,5 \text{ кг/см}^2$ ($0,001\text{--}0,15 \text{ Мн/м}^2$). Кислородный резак выполнен на базе обычной сварочной горелки и отличается от последней только тем, что в передней части наконечника имеется головка резака, в которую впаяна трубка режущего кислорода 2.

Для подачи газов в головку резака имеются вентили 3, 4 и 5.

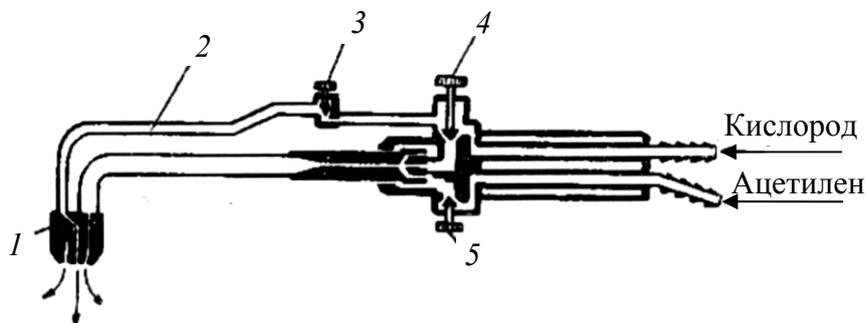


Рис. 10.2. Схема универсального резака для ручной резки

При резке не обязательно применять газ с высокой теплотой сгорания, каким является ацетилен. Во многих случаях его желательно заменять более дешевыми и менее дефицитными газами: коксовым, метаном, водородом, светильным, нефтяным, а также жидкими горючими – керосином или бензином. Замена ацетилена другими газами требует лишь некоторого увеличения в резачке сечений каналов подогревательного мундштука, инжектора и смесительных камер.

Для резки металла с применением газов-заменителей служит резак РЗР-55. Им режут металл толщиной от 5 до 300 мм. При использовании жидких горючих применяют специальную аппаратуру, имеющую дополнительное устройство для испарения горючего перед его поступлением в смесительную камеру. Керосинорез К-51 предназначен для резки металла толщиной от 5 до 200 мм.

В целях увеличения производительности резки стали толщиной от 2 до 12 мм применяют пакетную резку. Наилучшие результаты получаются при толщине листов 1,5–2 мм. Основными условиями хорошего качества разреза являются: ровная и чистая поверхность листов, хорошая сборка и плотное сжатие листов в пакете.

Машинная резка применяется при вырезке прямолинейных и криволинейных фасонных деталей по металлическому копиру. В качестве копира может служить также чертеж вырезаемого контура, по которому вручную обводится копирная игла. Возможно, кроме того, фотоэлектронное копирование. Машинная резка выполняется на специальных резательных установках.

Машина МДМ-2 с дистанционно-масштабным управлением и фотоэлектронным копированием предназначена для вырезки деталей криволинейной конфигурации из стальных листов толщиной от 5 до 200 мм. Наибольшая ширина листа 2500 мм. Можно выполнять резку одновременно шестью резаками, вырезающими деталь, соответствующую по конфигурации копиру (чертежу) или превышающую его по размеру в 2; 5 или 10 раз. Кроме того, этой машиной можно производить прямоугольную продольную обрезку, подготовку прямолинейных кромок для деталей толщиной от 10 до 120 мм под сварку и т. д. Машина МДМ-2 состоит из копировальной (задающей) и исполнительной (режущей) машин.

Кислородно-флюсовая резка. При резке высоколегированных хромистых сталей на поверхности разреза образуется тугоплавкая оксидная пленка с температурой плавления около 2000°C, препятствующая процессу резания. Обычная кислородная резка чугуна также не выполняема из-за образования на поверхности разреза тугоплавкой

пленки и выделения большого количества оксида и двуоксида углерода, загрязняющих кислород. Резка меди и ее сплавов затруднительна по той же причине.

От обычной кислородной резки кислородно-флюсовая резка отличается тем, что в разрез вместе с режущим кислородом вдувается металлический порошок, подаваемый из бункера непосредственно через мундштук или по дополнительной трубке. Порошок воспламеняется и горит над поверхностью детали, выделяя дополнительную теплоту, в результате чего образующиеся окислы не затвердевают. Продукты сгорания металлического порошка понижают концентрацию тугоплавких окислов, разжижая их, благодаря чему облегчается удаление продуктов реакции из разреза кислородной струей. Возможно также применение специальных порошкообразных (флюс + песок) и химических составов (углекислый натрий с добавкой 5–1,5% фтористого натрия).

Режимы кислородно-флюсовой резки отличаются от обычной кислородной резки применением более мощного подогревающего пламени (на 15–25%) и большим расстоянием от мундштука до металла. При резке нержавеющей хромоникелевой стали толщиной до 100 мм это расстояние устанавливается равным 15–40 мм. В качестве флюса применяют также чистые железные порошки марок ВС и ВК. При резке высокотеплопроводного металла (меди и ее сплавов) необходимы повышенная мощность подогревающего пламени и большие расходы кислорода и флюса (смесь железного порошка с 15–20% алюминиевого порошка и 10–15% феррофосфора). Для разделительной кислородно-флюсовой резки применяются специальные установки типа УФР и УРХС.

Поверхностная кислородная резка в отличие от обычной разделительной резки заключается в том, что струя режущего кислорода направляется не вертикально к поверхности металла, а под некоторым углом (обычно от 15 до 40°). Скорость резки не превышает 2 м/мин. Поверхностная резка применяется для удаления дефектов с поверхности проката, слитков и литья, а также дефектов сварных швов, снятия металла в корне стыковых швов перед подваркой и сплошной очистки прокатных заготовок из легированной стали.

Резка кислородным копьем. В стальную трубку (копье) после нагрева ее конца газовой горелкой подают кислород, вследствие чего происходит воспламенение конца трубки. Одновременно производят подогрев мест, где намечено пробить отверстие. Горящий конец трубки вплотную подводят к металлу и производят резку. Резка осуществляется

за счет сгорания металла трубки и изделия в струе кислорода. Образующиеся оксиды удаляют из зоны разреза струей кислорода.

Резка копьем применяется для пробивки леток в металлургических печах, удаления прибылей стальных отливок, образования осевых отверстий в поковках, глубоких отверстий в металле и породе при подрывных работах и т. п.

Дуговая резка состоит в том, что дуга, горящая между электродом и разрезаемым металлом, проплавляет его на всю толщину, расплавленный металл вытекает из разреза. Эта резка применяется при выплавке дефектных сварных швов и пороков в отливках, при отрезке прибылей на стальных и чугунных отливках, а также отливках из цветных металлов.

Резка металлов и сплавов электрической дугой выполняется как угольным, так и металлическим электродами. Качество резки угольным электродом низкое. Разрез получается широким с неровными кромками. Резка металлическим электродом обеспечивает более высокое качество, чем угольным, и может быть выполнена на том же оборудовании и теми же электродами, которыми выполняется сварка.

В последнее время получил распространение способ воздушно-дуговой резки, при которой металл, выплаваемый дугой, непрерывно удаляется струей сжатого воздуха.

Развитием варианта резки металлическим электродом является кислородно-дуговая резка и резка струей аргоноводородной смеси.

Кислородно-дуговая электрическая резка производится на автоматах или вручную. При этом способе электрическая дуга нагревает основной металл, а режущая струя кислорода сжигает и выдувает его.

Кислородно-дуговой резкой режут углеродистые и низколегированные стали толщиной до 100 мм.

Дуговая резка аргоноводородной смесью заключается в том, что горящая между вольфрамовым электродом и разрезаемым металлом дуга расплавляет металл и к месту разреза подводится струя аргоноводородной смеси. Под воздействием теплоты дуги и теплоты, выделяющейся при диссоциации водорода, металл плавится и выдувается из разреза давлением газа. Этим способом разрезают главным образом алюминиевые сплавы. Резка выполняется на специальных машинах.

Резка проникающей (плазменной) дугой представляет собой процесс местного расплавления и удаления из полости разреза металла теплотой дуги и струей дуговой плазмы.

Плазменной струей независимой дуги режут тонкие металлические листы и неэлектропроводные материалы, а струей, создаваемой

зависимой дугой, более толстые листы (алюминий толщиной от 80 до 120 мм). Кроме того, эта резка может применяться при раскрое листов, вырезке плоскоконтурных деталей (вручную или механизированным способом), отрезке прибылей и литниковых систем, при разрезке проката цветных металлов (алюминия, магния, меди, никеля и их сплавов). Для резки неэлектропроводных материалов необходимо применение плазменных горелок с независимой дугой. При резке плазменной струей применяют различные газы и их смеси. При резке нержавеющей сталей применяют как чистый азот, так и смесь азота с водородом (50% H_2), резка меди осуществляется с применением чистого водорода, а резка алюминия – с использованием смеси аргона и водорода (35% H_2).

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица 1

Бессурьмянистые оловянно-свинцовые припой

| Марка | Содержание элементов, % (Pb – остальное) | | | | |
|--------------------------|--|-----------------|---------------------|------|--------------|
| | Основные компоненты | | Примеси, не более * | | |
| | Sn | Другие элементы | Sb | Cu | As |
| ПОС 90-П ПОС 90 | 89–91 | – | 0,05 | 0,05 | 0,01 0,02 |
| ПОС 61-П ПОС 61 | 59–61 | – | | | 0,01 0,03 |
| ПОС 40-П ПОС 40 | 39–41 | – | | | 0,01 0,03 |
| ПОС 30-П ПОС 30 | 29–31 | – | | | 0,01 0,03 |
| ПОС 10-П ПОС 10 | 9–10 | – | | | 0,02 0,03 |
| ПОС 61М-П ПОС 61М | 59–61 | 1,2–2,0 Cu | 0,20 | – | 0,01 |
| ПОСК 50–18 | 49–51 | 17–19 Cd | | 0,08 | 0,03 |
| ПОСК 2–18-П ПОСК 2–18 | 1,8–2,3 | 17,5–18,5 Cd | 0,05 | 0,05 | 0,01 0,02 |

* Во всех припоях содержание других примесей (% , не более): Bi – 0,1; Fe, Ni, S – 0,02; Zn, Al – 0,002.

Таблица 2

Малосурьмянистые оловянно-свинцовые припой

| Марка | Содержание элементов, % (Pb – остальное) | | | |
|--------------------------------|--|----------|---------------------|------|
| | Основные компоненты | | Примеси, не более * | |
| | Sn | Sb | Cu | As |
| ПОССу 61–0,5-П ПОССу 61–0,5 | 59–61 | 0,05–0,5 | 0,05 | 0,02 |
| | | | 0,08 | 0,03 |
| ПОССу 50–0,5-П ПОССу 50–0,5 | 49–51 | | 0,05 | 0,02 |
| | | | 0,08 | 0,03 |
| ПОССу 40–0,5-П ПОССу 40–0,5 | 39–41 | | 0,05 | 0,02 |
| | | | 0,08 | 0,03 |
| ПОССу 35–0,5-П ПОССу 35–0,5 | 34–36 | | 0,05 | 0,02 |
| | | | 0,08 | 0,03 |
| ПОССу 30–0,5-П ПОССу 30–0,5 | 29–31 | 0,05 | 0,02 | |
| | | 0,08 | 0,03 | |
| ПОССу 25–0,5-П ПОССу 25–0,5 | 24–26 | 0,05 | 0,02 | |
| | | 0,08 | 0,03 | |
| ПОССу 18–0,5-П ПОССу 18–0,5 | 17–18 | 0,06 | 0,03 | |
| | | 0,08 | 0,03 | |

* Во всех припоях содержание других примесей (% , не более): Bi – 0,1; Fe, Ni, S – 0,02; Zn, Al – 0,02.

Физико-механические свойства оловянно-свинцовых припоев

| Марка | Температура плавления, °С | | Плотность, г/см ³ | Удельное электросопротивление, Ом · мм ² /м | Коэффициент теплопроводности, кал/(см · с · °С) | Временное сопротивление разрыву, кгс/мм ² | Относительное удлинение, % | Ударная вязкость, кгс · м/см ² | Твердость по Бринеллю, НВ |
|--------------|---------------------------|----------|------------------------------|--|---|--|----------------------------|---|---------------------------|
| | солидус | ликвидус | | | | | | | |
| ПОС 90 | 183 | 220 | 7,6 | 0,120 | 0,130 | 4,9 | 40 | 4,2 | 15,4 |
| ПОС 61 | 183 | 190 | 8,5 | 0,139 | 0,120 | 4,3 | 46 | 3,9 | 14,0 |
| ПОС 40 | 183 | 238 | 9,3 | 0,159 | 0,100 | 3,8 | 52 | 4,0 | 12,5 |
| ПОС 10 | 268 | 299 | 10,8 | 0,200 | 0,084 | 3,2 | 44 | 3,2 | 12,5 |
| ПОС 61М | 183 | 192 | 8,5 | 0,143 | 0,117 | 4,5 | 40 | 1,1 | 14,9 |
| ПОСК 50–18 | 142 | 145 | 8,8 | 0,133 | 0,130 | 4,0 | 40 | 4,9 | 14,0 |
| ПОССу 61–0,5 | 183 | 189 | 8,5 | 0,140 | 0,120 | 4,5 | 35 | 3,7 | 13,5 |
| ПОССу 50–0,5 | 183 | 216 | 8,9 | 0,149 | 0,112 | 3,8 | 62 | 4,4 | 13,2 |
| ПОССу 40–0,5 | 183 | 235 | 9,3 | 0,169 | 0,100 | 4,0 | 50 | 4,0 | 13,0 |
| ПОССу 35–0,5 | 183 | 245 | 9,5 | 0,172 | 0,100 | 3,8 | 47 | 3,9 | 13,3 |
| ПОССу 30–0,5 | 183 | 255 | 8,7 | 0,179 | 0,090 | 3,6 | 45 | 3,9 | 13,2 |
| ПОССу 25–0,5 | 183 | 266 | 10,0 | 0,182 | 0,090 | 3,6 | 45 | 3,9 | 13,6 |
| ПОССу 18–0,5 | 183 | 277 | 10,2 | 0,198 | 0,084 | 3,6 | 50 | 3,6 | – |
| ПОССу 95–5 | 234 | 240 | 7,3 | 0,145 | 0,110 | 4,0 | 46 | 5,5 | 18,0 |
| ПОССу 40–2 | 185 | 229 | 9,2 | 0,172 | 0,100 | 4,3 | 48 | 2,8 | 14,2 |
| ПОССу 35–2 | 185 | 243 | 9,4 | 0,179 | 0,090 | 4,0 | 40 | 2,6 | – |
| ПОССу 30–2 | 185 | 250 | 9,6 | 0,182 | 0,090 | 4,0 | 40 | 2,5 | – |
| ПОССу 25–2 | 185 | 260 | 9,8 | 0,185 | 0,090 | 3,8 | 35 | 2,4 | – |
| ПОССу 18–2 | 186 | 270 | 10,1 | 0,206 | 0,081 | 3,6 | 35 | 1,9 | 11,7 |
| ПОССу 15–2 | 184 | 275 | 10,3 | 0,208 | 0,080 | 3,6 | 35 | 1,9 | 12,0 |
| ПОССу 10–2 | 268 | 285 | 10,7 | 0,208 | 0,080 | 3,5 | 30 | 1,9 | 10,8 |
| ПОССу 8–3 | 240 | 290 | 10,5 | 0,207 | 0,081 | 4,0 | 43 | 1,7 | 12,8 |
| ПОССу 5–1 | 275 | 308 | 11,2 | 0,200 | 0,084 | 3,3 | 40 | 2,8 | 10,7 |
| ПОССу 4–6 | 244 | 270 | 10,7 | 0,208 | 0,080 | 6,5 | 15 | 0,8 | 17,3 |

Область применения оловянно-свинцовых припоев

| Марка припоя | Область применения |
|--------------|---|
| ПОС 90 | Лужение и пайка внутренних швов пищевой посуды и медицинской аппаратуры |
| ПОС 61 | Лужение и пайка электро- и радиоаппаратуры, печатных схем, точных приборов с высокогерметичными швами, где недопустим перегрев |
| ПОС 40 | Лужение и пайка электроаппаратуры, деталей из оцинкованного железа с герметичными швами |
| ПОС 10 | Лужение и пайка контактных поверхностей электрических аппаратов, приборов, реле для заливки и лужения контрольных пробок топок паровозов |
| ПОС 61М | Лужение и пайка электропаяльниками тонких (толщиной менее 0,2 мм) медных проволок, фольги, печатных проводников в кабельной, электро- и радиоэлектронной промышленности. Применение припоя при лужении и пайке в тиглях и ваннах не допускается |
| ПОСК 50–18 | Пайка деталей, чувствительных к перегреву, металлизированной керамики, ступенчатая пайка конденсаторов |
| ПОССу 61–0,5 | Лужение и пайка электроаппаратуры, пайка элементов печатных плат, обмоток электрических машин, оцинкованных радиодеталей при жестких требованиях к температуре |
| ПОССу 50–0,5 | Лужение и пайка авиационных радиаторов, пайка пищевой посуды с последующим лужением пищевым оловом |
| ПОССу 40–0,5 | Лужение и пайка жести, обмоток электрических машин, пайка монтажных элементов, моточных и кабельных изделий, радиаторных трубок, оцинкованных деталей холодильных агрегатов |
| ПОССу 35–0,5 | Лужение и пайка свинцовых кабельных оболочек электротехнических изделий неотвественного назначения, тонколистовой упаковки |
| ПОССу 30–0,5 | Лужение и пайка листового цинка, радиаторов |
| ПОССу 25–0,5 | Лужение и пайка радиаторов |
| ПОССу 18–0,5 | Лужение и пайка трубок теплообменников, электроламп |
| ПОССу 95–5 | Пайка в электропромышленности, пайка трубопроводов, работающих при повышенных температурах |
| ПОССу 40–2 | Лужение и пайка холодильных устройств, тонколистовой упаковки. Припой широкого назначения |
| ПОССу 30–2 | Лужение и пайка в холодильном аппаратостроении, электроламповом производстве, автомобилестроении, абразивная пайка |
| ПОССу 18–2 | Пайка в автомобилестроении |
| ПОССу 8–3 | Лужение и пайка в электроламповом производстве |
| ПОССу 5–1 | Лужение и пайка деталей, работающих при повышенных температурах, лужение трубчатых радиаторов |
| ПОССу 4–6 | Пайка белой жести, лужение и пайка деталей с закатанными и клепаными швами из латуни и меди, шпатлевка кузовов автомобилей |
| ПОССу 4–4 | Лужение и пайка в автомобилестроении |
| ПОСК 2–18 | Лужение и пайка металлизированных и керамических деталей |

Примечание. Малосурьмянистые припои рекомендуются для пайки цинковых и оцинкованных деталей.

Таблица 5

Алюминиевые припой

| Марка | Содержание элементов, % | | | | Температура полного расплавления, °С |
|-------|-------------------------|----|----|--------|--------------------------------------|
| | Al | Cu | Si | Zn, Mn | |
| П575А | 80 | – | – | 20 Zn | 575 |
| П550А | 65,5 | 27 | 6 | 1,5 Mn | 550 |
| 34А | 66 | 28 | 6 | – | 525 |
| В-62 | 51 | 20 | 4 | 25 Zn | 500 |

Таблица 6

Многокомпонентные алюминиевые припой

| Содержание элементов, % (Al – остальное) | | | | Температура пайки, °С |
|--|----|----|-----------------|-----------------------|
| Si | Cu | Ge | Другие элементы | |
| 10 | – | 4 | 0,4 Mn; 0,5 Mg | 600 |
| 10 | 4 | – | 2 Zn | 610 |
| 6 | – | – | 10 Zn | 640 |
| 1 | 10 | – | – | 640 |
| – | 20 | 20 | – | 500 |

Таблица 7

Легкоплавкие серебряные припой

| Марка | Содержание элементов, % | | | | | | Температура плавления, °С | |
|------------------|-------------------------|-----------|-----------|----|-----------|-----------------|---------------------------|------------|
| | Ag | Sn | Sb | Cd | Pb | Другие элементы | соли-дус | лик-ви-дус |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| ПСрО 10-90 | 10 ± 0,5 | Остальное | – | – | – | – | 221 | 280 |
| ПСрОСy 8 (ВПр-6) | 8 ± 0,5 | То же | 7,5 ± 0,5 | – | – | – | 235 | 250 |
| ПСрМО 5 (ВПр-9) | 5 ± 0,5 | « | 1 ± 0,2 | – | – | 2 ± 0,5 Cu | 215 | 240 |
| ПСрОС 3,5-95 | 3,5 ± 0,5 | « | – | – | 1 ± 0,3 | – | 220 | 224 |
| ПСр 3 | 3 ± 0,3 | « | – | – | Остальное | – | 300 | 305 |
| ПСрО 3-97 | 3 ± 0,3 | « | – | – | – | – | 221 | 225 |
| ПСрОС 3-58 | 3 ± 0,4 | 57,8 ± 1 | 0,5 ± 0,3 | – | Остальное | – | 180 | 190 |

Окончание табл. 7

| | | | | | | | | |
|------------|---------------|----------------|---------------|---------------|-----------|-------------------|-----|-----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| ПСр 3Кд | $3 \pm 0,5$ | – | – | Остальное | – | $1 \pm 0,5$ Zn | 314 | 342 |
| ПСр 2,5 | $2,5 \pm 0,3$ | $35,5 \pm 0,5$ | – | То же | – | – | 295 | 300 |
| ПСр 2,5 С | $2,5 \pm 0,2$ | – | – | « | – | – | 304 | 306 |
| ПСр 2 | $2 \pm 0,3$ | 30 ± 1 | $5 \pm 0,5$ | « | – | – | 225 | 235 |
| ПСрОС 2-58 | $2 \pm 0,3$ | 58 ± 1 | $0,5 \pm 0,3$ | « | – | – | 183 | 183 |
| ПСр 1,5 | $1,5 \pm 0,3$ | 15 ± 1 | – | « | – | – | 265 | 270 |
| ПСр 1 | $1 \pm 0,2$ | 35 ± 1 | $0,9 \pm 0,4$ | $2,5 \pm 0,5$ | Остальное | – | 205 | 235 |

Таблица 8

Припой серебряные (по ГОСТ 19738-74)

| Марка | Содержание элементов, % | | | | | |
|----------------------|-------------------------|----------------|----------------|---------------|----------------|------------------|
| | Ag | Cu | Zn | Sn | Cd | Другие элементы |
| ПСр 72 | $72,0 \pm 0,5$ | Остальное | – | – | – | – |
| ПСр 71 | $71,0 \pm 0,5$ | То же | – | – | $1,0 \pm 0,2$ | $1,0 \pm 0,2$ Р |
| ПСр 70 | $70,0 \pm 0,5$ | $26,0 \pm 0,5$ | Остальное | – | – | – |
| ПСрМО 68-27-5 | $68,0 \pm 0,5$ | Остальное | – | $5,0 \pm 0,5$ | – | – |
| ПСр 65 | $65,0 \pm 0,5$ | $20,0 \pm 0,5$ | Остальное | – | – | – |
| ПСр 62 | $62,0 \pm 0,5$ | $28,0 \pm 1,0$ | – | Остальное | – | – |
| ПСр 50 | $50,0 \pm 0,5$ | Остальное | – | – | – | – |
| ПСр 50Кд | $50,0 \pm 0,5$ | $16,0 \pm 1,0$ | $16,0 \pm 1,0$ | – | Остальное | – |
| ПСр КдМ 50-50-34-16 | $50,0 \pm 0,5$ | Остальное | – | – | $34,0 \pm 1,0$ | – |
| ПСр 45 | $45,0 \pm 0,5$ | $30,0 \pm 0,5$ | Остальное | – | – | – |
| ПСр МЦКд 45-15-16-24 | $45,0 \pm 0,5$ | Остальное | $16,0 \pm 1,0$ | – | $24,0 \pm 1,0$ | – |
| ПСр 40 | $40,0 \pm 1,0$ | $16,7 \pm 0,7$ | $17,0 \pm 0,8$ | – | Остальное | $0,3 \pm 0,2$ Ni |
| ПСр 37,5 | $37,5 \pm 0,5$ | Остальное | $5,5 \pm 0,5$ | – | – | $8,2 \pm 0,3$ Mn |
| ПСр 25 | $25,0 \pm 0,3$ | $40,0 \pm 1,0$ | Остальное | – | – | – |
| ПСр 25Ф | $25,0 \pm 0,5$ | Остальное | – | – | – | $5,0 \pm 0,5$ Р |
| ПСр 15 | $15,0 \pm 0,5$ | То же | – | – | – | $4,8 \pm 0,3$ Р |
| ПСр 12М | $12,0 \pm 0,3$ | $52,0 \pm 1,0$ | Остальное | – | – | – |
| ПСр 10 | $10,0 \pm 0,3$ | $53,0 \pm 1,0$ | То же | – | – | – |

Таблица 9

Свойства серебряных припоев

| Марка | Плотность, г/см ³ | Температура, °С | | Удельное электрическое сопротивление, мкОм · см |
|----------------------|---------------------------------|---------------------|-------------------------|--|
| | | начала плавления | полного расплавления | |
| ПСр 72 | 10,0 | 779 | 779 | 2,1 |
| ПСр 71 | 9,8 | 645 | 795 | 4,3 |
| ПСр 70 | 9,8 | 715 | 770 | 4,1 |
| ПСрМО 68-27-5 | 9,9 | 655 | 765 | 14,0 |
| ПСр 65 | 9,45 | 695 | 722 | 8,6 |
| ПСр 62 | 9,6 | 650 | 723 | 25,5 |
| ПСр 50 | 9,3 | 779 | 860 | 2,5 |
| ПСр 50 Кд | 9,25 | 625 | 640 | 7,8 |
| ПСр КдМ 50-50-34-16 | 9,4 | 615 | 615 | 6,5 |
| ПСр 45 | 9,6 | 630 | 635 | 5,8 |
| ПСр МЦКд 45-15-16-24 | 9,1 | 665 | 730 | 10,0 |
| ПСр 40 | 9,25 | 590 | 610 | 7,0 |
| ПСр 37,5 | 8,9 | 725 | 810 | 37,2 |
| ПСр 25 | 8,7 | 740 | 775 | 7,7 |
| ПСр 25Ф | 8,3 | 645 | 725 | 18,6 |
| ПСр 15 | 8,5 | 640 | 810 | 20,7 |
| ПСр 12М | 8,3 | 793 | 830 | 7,4 |
| ПСр 10 | 8,4 | 822 | 850 | 7,1 |

Таблица 10

Состав и область применения серебряных припоев

| Марка или состав припоя, % | Пайка |
|---|---|
| ПСр 50, ПСр 70, ПСр 72 | Токопроводящих соединений, от которых требуется высокая электропроводность |
| ПСр 50 Кд | Капиллярных швов |
| ПСр 40, ПСр 45, Ag | Титана и коррозионно-стойких сталей |
| 72 Ag – 28 Cu | Тонкостенных конструкций из коррозионно-стойких сталей |
| 82 Ag – 15 Mn – 3 Cu | Коррозионно-стойких сталей, титана, жаропрочных и кобальтовых сплавов в восстановительной атмосфере |
| В Ag-3, В Ag-4 | Твердосплавного инструмента |
| В Ag-7 | Пищевой посуды, электроприборов |
| В Ag-8 | Вакуумных изделий |
| 24 Ag – 5 Mn – 2 Ti – 2 Ge – Cu | В вакууме металлизированной керамики (770°С) |
| Ag – 24 Cu – 19 Ge – 1 Ti Ag – 9 Pd – 9 Ge | В вакууме титана и его сплавов (700°С) |

Таблица 11

Состав латуней, применяемых в качестве припоев

| Марка | Содержание элементов, % (Zn – остальное) | | | | Температура полного расплавления, °С |
|--------------|---|---------|----------|---------|---|
| | Cu | Sn | Si | Ni | |
| Л 63 | 62,0–65,0 | – | – | – | 905 |
| Л 68 | 67–70 | – | – | – | 938 |
| ЛОК 62-06-04 | 60–63 | 0,4–0,6 | 0,3–0,4 | – | 905 |
| ЛОК 59-1-03 | 58–60 | 0,7–1,1 | 0,2–0,4 | – | 905 |
| МЦН 48-10 | 46–50 | – | – | 9–11 | 985 |
| ЛК 62-05 | 60,5–63,5 | – | 0,3–0,7 | – | 905 |
| ЛКН 56-03-6 | 55,0–57,5 | – | 0,25–0,3 | 5,5–6,0 | 905 |

Таблица 12

Физико-механические свойства медно-цинковых припоев

| Марка | γ , г/см ³ | $\alpha \cdot 10^6$, мм (мм·°С) | ρ , $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ | σ_B , кгс/мм ² | δ , % | НВ |
|--------------|---------------------------------|--|--|-------------------------------------|-----------------|-----|
| ПМЦ36 | 7,7 | 22 | 0,03 | – | – | – |
| ПМЦ48 | 8,2 | 21 | 0,036 | 21 | 3 | 130 |
| ПМЦ54 | 8,3 | 21 | 0,04 | 26 | 4 | 123 |
| Л 63 | 8,5 | 20 | 0,071 | 31 | 38 | 56 |
| Л 68 | 8,6 | 19 | 0,071 | 30 | 40 | 56 |
| ЛОК 62-06-04 | – | – | – | 45 | – | – |

Таблица 13

Сплавы меди с фосфором

| Марка | Содержание фосфора, % (Cu – остальное) | Примеси, %, не более | |
|-------|--|----------------------|-------|
| | | Bi | Sb |
| МФ1 | 9,5–11,0 | 0,002 | 0,002 |
| МФ2 | 7,5–9,5 | 0,005 | 0,1 |

Таблица 14

Никелевые припои, содержащие ниобий и титан

| Марка | Содержание элементов, % (Ni – остальное) | | | Температура, °С | |
|---------|---|----|-------|---------------------|---------------------------|
| | Nb | Ti | V, Si | начала плавления | полного рас- плавления |
| Пр Н65В | 18 | 12 | 5 V | 1213 | 1297 |
| Пр Н68К | 18 | 12 | 2 Si | 1113 | 1235 |

Таблица 15

Титановые припои для пайки окиси бериллия и графита

| Содержание элементов, % | | | Температура пайки, °С |
|-------------------------|----|-----------------|-----------------------|
| Ti | Si | Другие элементы | |
| 93 | – | 7 Ni | 1700 |
| 93 | – | 7 Fe | 1620 |
| 53 | – | 47 Cr | 1450 |
| 22 | 78 | – | 1400 |

Таблица 16

Титановые припои для плавки молибдена

| Содержание элементов, % (Ti – остальное) | | | Температура полного расплавления, °С |
|--|----|-----------------|--------------------------------------|
| Cr | Ni | Другие элементы | |
| 25 | – | 10 Co | 1282 |
| 13 | – | 13 Fe | 1327 |
| – | 10 | 25 Zr | 1350 |
| – | 10 | 6 Si | 1182 |
| 25 | 15 | – | 1160 |
| 15 | 13 | – | 1254 |
| 20 | – | 2 Be | 1330 |
| 40 | – | 2 Be | 1232 |
| 40 | 5 | 1 Be | 1282 |

Таблица 17

Титановые припои для пайки ниобия

| Содержание элементов, % | | | | Температура пайки, °С |
|-------------------------|----|----|-----------------|-----------------------|
| Ti | Be | Fe | Другие элементы | |
| 68 | 4 | – | 28 V | 1250 |
| 63 | – | 27 | 10 V | 1300 |
| 63 | – | 27 | 10 Mo | 1300 |
| 48 | 4 | – | 48 Zr | 1050 |
| 45 | – | 15 | 40 Zr | 1050 |

Таблица 18

Флюсы для пайки электро- и радиотехнических приборов

| Компоненты | Состав, % | Компоненты | Состав, % |
|-------------------|-----------|----------------|-----------|
| Канифоль | 100 | Канифоль | 24 |
| Канифоль | 50 | Стеарин | 1 |
| Полиамидная смола | 50 | Спирт этиловый | 75 |
| Канифоль | 40 | Канифоль | 5 |
| Бензин | 60 | Скипидар | 23 |
| Канифоль | 30 | Олеин | 22 |
| Спирт этиловый | 70 | Спирт этиловый | 50 |

Флюсы на основе хлористых солей

| Компоненты | Состав, % | Область применения |
|--|---------------------------------|--|
| Цинк хлористый Вода | 40 60 | Пайка и лужение железа, чугуна, стали, меди, латуни, бронзы, свинца, никеля, серебра |
| Цинк хлористый Аммоний хлористый Вода | 10–50 5–10 85–40 | |
| Цинк хлористый Кислота соляная Вода | 10–50 25–35 65–15 | |
| Цинк хлористый Аммоний хлористый Кислота соляная Вода | 10–50 5–10 5–30 80–10 | |
| Цинк хлористый Натрий хлористый Аммоний хлористый | 70 15 15 | |
| Кадмий хлористый Натрий хлористый Цинк хлористый Аммоний хлористый | 15–50 10–25 20–65 2–10 | |
| Цинк хлористый Олово двуххлористое Медь хлорная Кислота соляная Вода | 40 5 0,5 3,5 51 | |
| Цинк хлористый Олово двуххлористое Калий хлористый Кислота соляная Вода | 40 2 2 2 54 | Пайка стали, чугуна, меди и ее сплавов малооловянистыми припоями, а также припоями на основе висмута, кадмия и цинка |
| Цинк хлористый Натрий хлористый Медь хлорная Кислота соляная Калий хлористый Вода | 40 5 1 1 1 52 | Пайка стали, мелких сплавов, оцинкованного железа малооловянистыми и цинковыми припоями |
| Цинк хлористый Аммоний хлористый Плавиновая кислота Вода | 50 5 2 43 | Пайка чугуна |
| Цинк хлористый Натрий хлористый Калий хлористый Вода | 40 5 1 54 | Пайка стали, оцинкованного железа и медных сплавов малооловянистыми припоями |

| Компоненты | Состав, % | Область применения | |
|-----------------------|-----------|--|--|
| Цинк хлористый | 40 | Пайка меди и ее сплавов цинковыми припоями | |
| Натрий хлористый | 20 | | |
| Медь хлорная | 2 | | |
| Кислота соляная | 1 | | |
| Вода | 37 | | |
| Цинк хлористый | 40 | Пайка стали висмутовыми припоями | |
| Олово двуххлористое | 2,5 | | |
| Натрий хлористый | 10 | | |
| Кислота соляная | 2 | | |
| Вода | 45,5 | | |
| Цинк хлористый | 40 | | |
| Олово двуххлористое | 4 | | |
| Медь хлорная | 0,5 | | |
| Натрий хлористый | 10 | | |
| Кислота соляная | 2,5 | | |
| Вода | 43 | | |
| Натрий хлористый | 50 | | Пайка меди и ее сплавов припоями на основе кадмия, имеющими температуру плавления выше 400°С |
| Кадмий хлористый | 30 | | |
| Цинк хлористый | 15 | | |
| Аммоний хлористый | 5 | | |
| Цинк хлористый | 15 | Пайка углеродистых сталей | |
| Аммоний хлористый | 1,5 | | |
| Кислота соляная | 36 | | |
| Спирт денатурат | 12,8 | | |
| Кислота ортофосфорная | 2,2 | | |
| Железо хлорное | 0,6 | | |
| Вода | 31,9 | | |
| Цинк хлористый | 45 | Пайка чугуна, стали, меди и ее сплавов | |
| Аммоний хлористый | 40 | | |
| Олово двуххлористое | 5 | | |
| Барий хлористый | 5 | | |
| Медь хлорная | 5 | | |
| Цинк хлористый | 25 | Пайка монеля | |
| Аммоний хлористый | 25 | | |
| Глицерин | 25 | | |
| Вода | 25 | | |
| Цинк хлористый | 30 | Пайка стали | |
| Медь хлорная | 5 | | |
| Кислота соляная | 5 | | |
| Вода | 60 | | |
| Цинк хлористый | 30 | Пайка стали висмутом и свинцом | |
| Олово двуххлористое | 5 | | |
| Кислота соляная | 5 | | |
| Вода | 60 | | |

Таблица 20

Паяльные пасты

| Компоненты | Состав, % | Компоненты | Состав, % |
|-------------------|-----------|-------------------|-----------|
| Вазелин | 85 | Вазелин | 80 |
| Хлористый цинк | 15 | Канифоль | 16 |
| Вазелин | 65 | Хлористый цинк | 4 |
| Хлористый цинк | 20 | Вазелин | 70 |
| Хлористый аммоний | 3 | Парафин | 6 |
| Вода | 12 | Хлористый цинк | 23 |
| | | Хлористый аммоний | 1 |

Таблица 21

Активные коррозионные флюсы для пайки коррозионно-стойкой стали

| Компоненты | Состав, % | Компоненты | Состав, % |
|----------------------------|-----------|-------------------|-----------|
| Хлористый цинк* | 100 | Фосфорная кислота | 50 |
| Хлористый цинк* | 75 | Соляная кислота | 10 |
| Соляная кислота | 25 | Цинк хлористый | 9 |
| Хлористый цинк* | 90 | Литий хлористый | 1 |
| Уксусная кислота | 10 | Вода | 30 |
| Хлористый цинк* | 70 | Цинк хлористый | 30 |
| Соляная кислота | 25 | Аммоний хлористый | 10 |
| Фтористоводородная кислота | 5 | Медь хлористая | 10 |
| Фосфорная кислота | 100 | Соляная кислота | 50 |
| Фосфорная кислота | 99 | Цинк хлористый | 36 |
| Сернистая медь | 1 | Аммоний хлористый | 3 |
| Хлористый цинк | 50 | Олово хлористое | 3 |
| Хлористый аммоний | 5 | Соляная кислота | 1 |
| Соляная кислота | 1 | Вода | 57 |
| Вода | 44 | | |

* Насыщенный раствор.

Таблица 22

Порошкообразные флюсы для пайки алюминия и его сплавов легкоплавкими припоями

| Компоненты | Состав, % | Компоненты | Состав, % |
|-------------------|-----------|-------------------|-----------|
| Цинк хлористый | 90 | Цинк хлористый | 83,5 |
| Аммоний хлористый | 8 | Литий хлористый | 5,4 |
| Натрий фтористый | 2 | Медь хлористая | 4,8 |
| Цинк хлористый | 85 | Калий хлористый | 3,6 |
| Литий хлористый | 5 | Кадмий хлористый | 1,45 |
| Натрий хлористый | 5 | Натрий хлористый | 1,0 |
| Калий хлористый | 5 | Свинец хлористый | 0,25 |
| Олово хлористое | 88 | Цинк хлористый | 90 |
| Аммоний хлористый | 10 | Аммоний хлористый | 10 |
| Натрий фтористый | 2 | Кадмий хлористый | 25 |

| Компоненты | Состав, % | Компоненты | Состав, % |
|-------------------|-----------|------------------|-----------|
| Цинк хлористый | 88 | Калий хлористый | 20 |
| Аммоний хлористый | 10 | Натрий хлористый | 20 |
| Натрий фтористый | 2 | Литий хлористый | 15 |
| Калий хлористый | 47 | Литий фтористый | 10 |
| Литий хлористый | 38 | Цинк фтористый | 10 |
| Натрий фтористый | 5 | Цинк бромистый | 40 |
| Цинк фтористый | 5 | Литий фтористый | 5 |
| Кадмий хлористый | 5 | Калий хлористый | 24 |
| Калий хлористый | 50 | Литий хлористый | 15 |
| Литий хлористый | 40 | Натрий хлористый | 15 |
| Криолит | 10 | Свинец хлористый | 1 |

Таблица 23

Флюсы для пайки медью и медно-цинковыми припоями

| Компоненты | Состав, % | Область применения |
|------------------------|-----------|--|
| Кислота борная* | 70 | Пайка конструкционных коррозионно-стойких и жаропрочных сталей латуню и жаропрочными припоями |
| Бура | 21 | |
| Кальций фтористый | 9 | |
| Бура | 100 | Пайка углеродистых сталей, чугуна, меди, твердых сплавов медно-цинковыми припоями |
| Бура | 80 | Пайка низкоуглеродистых сталей и медных сплавов |
| Кислота борная | 20 | |
| Бура | 50 | Применяют для пайки коррозионно-стойких сталей, твердых и жаропрочных сплавов медно-цинковыми припоями. Флюс разводят на растворе хлористого цинка |
| Кислота борная | 50 | |
| Кислота борная | 78 | Пайка медными припоями коррозионно-стойких углеродистых сталей, жаропрочных, твердых и медных сплавов |
| Бура | 12 | |
| Кальций фтористый | 10 | |
| Бура | 50 | Пайка твердых сплавов медью, медно-цинковыми и медно-никелевыми припоями |
| Кислота борная | 10 | |
| Кальций фтористый | 40 | |
| Бура | 95 | Применяют при пайке чугуна медью и медно-цинковыми припоями. Флюс разводят в концентрированном растворе хлористого цинка |
| Калий марганцевокислый | 5 | |
| Бура | 75 | Пайка припоями на медной основе |
| Кальций фтористый | 10 | |
| Натрий фтористый | 15 | |

| Компоненты | Состав, % | Область применения |
|---|----------------------------------|---|
| Кислота борная** Бура Кальций фтористый Лигатура (4% Mg, 48% Al, 48% Cu) | 80 14 5,5 0,5 | Пайка коррозионно-стойких сталей и жаропрочных сплавов латунью и другими припоями с температурой плавления 850–1100°C |
| Бура Кислота борная Кальций хлористый | 58 40 2 | Пайка латуни и меди |
| Бура Борная кислота Калий фтористый Кальций фтористый Сода кальцинированная Натрий хлористый | 25 25 20 10 10 10 | Пайка стали, меди, бронзы, латуни |
| Бура Углекислый натрий Азотнокислый натрий Фтористый натрий | 80 4 4 12 | Пайка коррозионно-стойких сталей и серого чугуна |
| Бура Калий фтористый Борный ангидрид Кобальт хлористый | 20 50 20 10 | Пайка спеченных сплавов на основе карбидов вольфрама, кобальта, молибдена |
| Бура Хлористый аммоний Бикарбонат натрия | 60 20 20 | Пайка сталей, меди и латуни |

* Флюс Ф200.

** Флюс Ф201.

Таблица 24

Выбор флюса в зависимости от основного металла

| Основные компоненты флюса | Паяемые металлы и сплавы |
|---|---|
| Канифоль Древесная смола | Медь, латунь, олово, кадмий, серебро, палладий, золото, платина; стали, покрытые медью, оловом, серебром, кадмием |
| Глицерин, цинк хлористый, аммоний хлористый | Медь, латунь, бронзы, оцинкованное железо, никель, палладий; золото, платина, серебро; стали, покрытые никелем, серебром, цинком |
| Соли гидразина | Медь, латунь, серебро, золото, палладий, платина, никель, кадмий, свинец, олово |
| Триэтаноламин, фторборат металлов | Оцинкованное железо, алюминий, бериллиевая бронза, медь, латунь |
| Цинк хлористый | Медь, латунь, бронза, сталь, чугун, свинец, никель, палладий, никонель, золото, платина, серебро, цинк, хлористые стали, монель, нихром |
| Цинк хлористый, соляная кислота | |

| Основные компоненты флюса | Паяемые металлы и сплавы |
|--|--|
| Цинк хлористый, аммоний хлористый | Углеродистые и низкоуглеродистые стали, медь, латунь, бронза, цинк, олово, свинец |
| Цинк хлористый, плавиковая кислота | Чугун; латуни и бронзы, содержащие алюминий, кремний, марганец |
| Цинк хлористый, хлориды олова, меди, натрия, калия, соляная кислота | Медь, латунь, бронза, сталь, чугун, никель, хромоникелевые сплавы, оцинкованное железо, монель |
| Цинк хлористый, органические кислоты, соляная кислота, хлориды меди, олова | Коррозионно-стойкая сталь, никель, чугун |
| Хлориды и фториды цинка, лития, натрия, кадмия | Алюминий и его сплавы |
| Фосфорная кислота, спирт | Бронза, содержащая марганец; хромистая сталь |
| Стеарин, воск, вазелин, жиры | Цинк, свинец, олово, кадмий, медь, латунь |
| Бура | Углеродистые стали, чугун, медь, твердые сплавы |
| Бура, борная кислота | Низкоуглеродистые стали, чугун, медь, латунь |
| Бура, борная кислота, фториды кальция, натрия | Коррозионно-стойкая сталь, жароупорные и твердые сплавы |
| Хлориды и фториды натрия, магния, калия, бария, алюминия, криолит | Алюминий и его сплавы |
| Хлориды, фториды, бораты | Алюминиевые бронзы и латуни, содержащие не более 5% Al |
| Хлориды, фториды | Магний и его сплавы |
| Фтористый аммоний, фторборат аммония, фторборат калия, фтористый водород, аргон* | Коррозионно-стойкая сталь, жаропрочные сплавы |
| Трехфтористый бор, аргон* | Сплавы, содержащие алюминий, магний, хром, титан, кремний; коррозионно-стойкая сталь |
| Борметилловый и борэтиловый эфир** | Медь, углеродистые, низкоуглеродистые и коррозионно-стойкие стали |
| Литий, натрий, калий, рубидий, цезий*** | Коррозионно-стойкая сталь |

* Для получения газа при пайке в контейнере.

** То же, при пайке газопламенными горелками.

*** Для получения газообразного металла при пайке в вакууме.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Качество сварных соединений и конструкций проверяют разрушающими и неразрушающими методами контроля. К разрушающим методам относятся: механические испытания, технологические пробы, металлографические исследования, химический анализ, коррозионные испытания, испытания па свариваемость. Прочность и пластичность сварных соединений проверяют при помощи механических испытаний специально изготовленных образцов. По ГОСТу предусмотрены следующие виды механических испытаний: испытание металла шва на растяжение на образцах Гагарина (рис. 1, *a*); испытание сварного соединения на растяжение (рис. 1, *б*); испытание металла шва и зоны термического влияния на ударный изгиб (рис. 1, *в*); испытание сварного соединения на изгиб (рис. 1, *г*); определение твердости.

К неразрушающим физическим методам контроля относятся:

- радиационный (радиографический) контроль просвечиванием швов;
- ультразвуковой контроль (УЗД);
- магнитный и электромагнитный контроль.

Радиационный (радиографический) контроль основан на использовании рентгеновских или гамма-излучений. Эти ионизирующие электромагнитные излучения распространяются волнообразно, так же, как световые и радиоволны. Они отличаются чрезвычайно малой длиной волны, которая в миллионы раз меньше длины световых волн и вместе с тем обладает высокой энергией, значительно большей энергии видимого света. Эти излучения могут проникать через материалы с разной интенсивностью для различных веществ, зависящей от толщины металла и энергии излучения. Эти свойства используются в дефектоскопии для выявления дефектов в сварных швах. С одной стороны шва устанавливают источник излучения, а с другой – детектор, фиксирующий сведения о его сплошности или наличии дефектов. Детектором служит электронно-оптический преобразователь, рентгеновская пленка, фотобумага и т. п. При отсутствии дефектов излучение будет поглощаться сплошным металлом и выпуклый шов будет фиксироваться в виде более светлой, чем основной металл, полосы. Дефекты – непровары, поры, шлаковые включения, подрезы, раскрытые трещины не будут поглощать излучения так интенсивно, как металл, поэтому на экране преобразователя, на пленке или фотобумаге они будут фиксироваться более темными пятнами и полосами на фоне светлого шва.

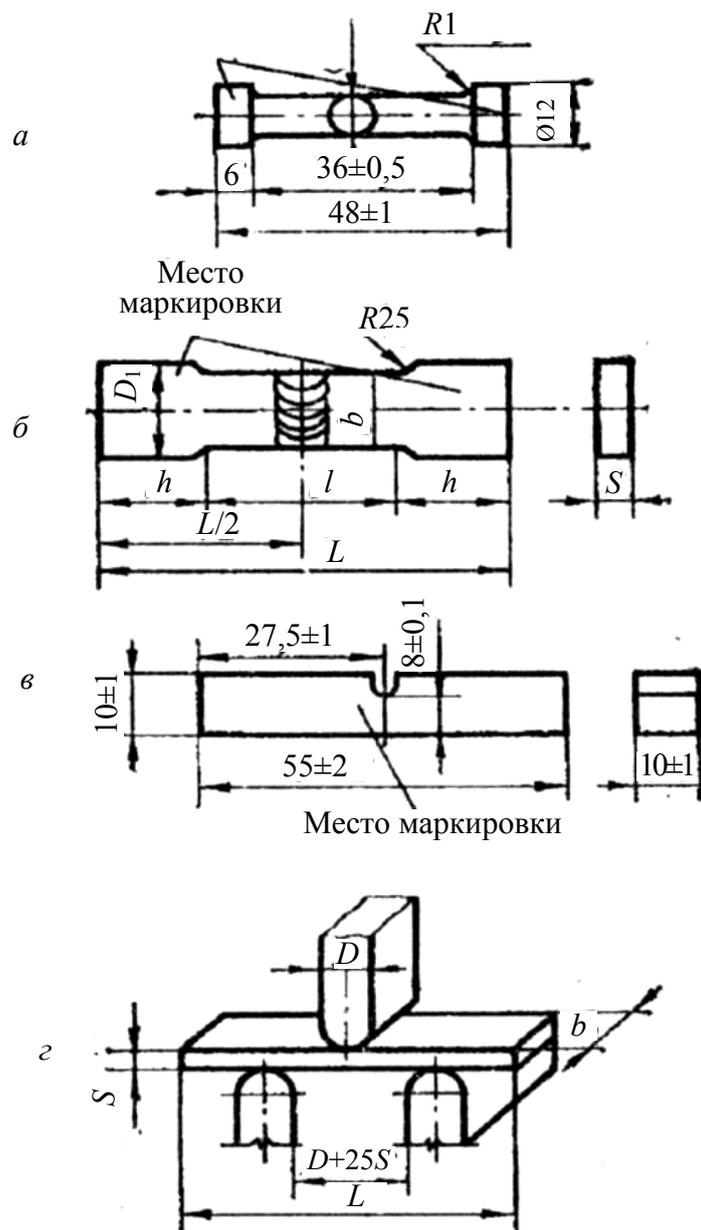


Рис. 1. Механические испытания:
a – металла шва на растяжение на образцах Гагарина; *б* – сварного соединения на растяжение; *в* – металла шва и зоны термического влияния на ударный изгиб; *z* – сварного соединения на изгиб

Для радиационной дефектоскопии используют рентгеновские аппараты и гамма-источники. В рентгеновских аппаратах основным рабочим элементом является рентгеновская трубка. Она состоит из стеклянного баллона, из которого почти полностью удален воздух, и

впаянных в баллон катода и анода. Катод состоит из вольфрамовой спирали, при нагревании которой источником тока до высокой температуры он испускает электроны.

Анод изготовлен в виде пластины из вольфрама и молибдена, расположенной под углом. Электроны катода с большой энергией ударяются о металл пластины и, отражаясь от нее, тормозятся, создавая так называемое тормозное рентгеновское излучение – R-лучи. В строительстве используется несколько типов рентгеновских аппаратов, выпускаемых промышленностью.

В зависимости от целей исследования изготавливают макро- или микрошлифы. Макроанализ сварных соединений производят с целью установления глубины и формы сварочной ванны, направления и величины столбчатых кристаллитов, размера зоны влияния, характера и размера дефектов (непровары, трещины, поры, шлаковые включения и др.). Микроанализ сварных соединений дает возможность определять размер зерна в различных участках зоны влияния и характер структурных составляющих (перлит, цементит, мартенсит и др.). Коррозионными испытаниями сварных соединений можно оценить стойкость соединений против общей и межкристаллитной коррозии: химическим анализом электродного и основного металла определяют содержание тех или иных элементов в металле. Визуальный (внешний осмотр) является обязательным при контроле качества сварки любыми методами. Контроль прочности и плотности готового изделия осуществляют следующими испытаниями.

Гидравлическим (чаще водой), определяющим прочность и плотность сосудов (котлов, баллонов для газов и жидкостей), трубопроводов, конструкций резервуаров для хранения нефтепродуктов и т. п.; сосуды и трубопроводы, работающие с избыточным давлением, испытывают при давлении, превышающем рабочее в 1,5–2 раза; этим испытанием при давлении 1,4 кгс/см можно обнаружить неплотность диаметром до 10 см.

Пневматическим. При этом виде испытания в сварное соединение нагнетается сжатый воздух, создавая давление, превышающее атмосферное на 0,1–0,2 кгс/см². Сварное соединение смачивают мыльным раствором или опускают в воду. Неплотности определяют по образующимся мыльным пузырям или пузырькам воздуха.

Испытанию керосином подвергают изделия, работающие без избыточного давления. При этом испытании шов с одной стороны смазывают мелом, а с другой – керосином. Если в соединении имеются неплотности, то на окрашенной мелом поверхности появляются темные

или желтоватые жирные пятна керосина. С помощью керосина можно обнаружить неплотности диаметром до $18 \cdot 10^{-5}$ см.

Методы магнитной дефектоскопии сварных соединений основаны на намагничивании изделий и образовании полей рассеяния в сварных швах, имеющих дефекты. Существуют два метода магнитной дефектоскопии: магнитного порошка и индукционный. Метод магнитного порошка заключается в том, что если в сварном соединении имеется дефект, то магнитные силовые линии, стремясь обойти его, выходят на поверхность шва, и дефект обнаруживается по скоплению магнитного порошка. Этим методом выявляют дефекты, залегающие на глубине до 5 мм, при их ширине более 0,003 мм. Индукционный метод позволяет выявлять дефекты, залегающие на глубине до 15 мм. Для этого метода применяется специальный дефектоскоп системы К. К. Хренова и С. Т. Назарова. Индукционным методом контролируют стыковые сварные соединения толщиной до 30 мм.

Магнитографический метод контроля основан на принципе использования магнитного рассеяния, возникающего во время намагничивания контролируемого изделия в местах расположения дефектов. Запись дефектов (продольные трещины, непровары, поры, шлаковые включения) производится на специальную ферромагнитную ленту. Этим методом контролируют сварные изделия (трубопроводы) толщиной 4–15 мм, с глубиной залегания дефекта 10% и более от толщины шва. Рентгено- и гамма-дефектоскопия сварных соединений основана на различном поглощении проникающего излучения участками шва с дефектами и без них. Дефектные места (трещины, поры, непровары, шлаковые и газовые включения) оказывают прохождению рентгено- и гамма-лучам меньшее сопротивление, чем участки металла без дефектов (рис. 2).

Применяемые в промышленности рентгеновские аппараты позволяют просвечивать изделия различной толщины: для стали 25–200, для алюминия 25–300, для меди 25, для свинца 4 мм. Аппараты-бетатроны служат для просвечивания изделий из стали толщиной 50–500 мм (швы выполнены электрошлаковой сваркой).

Гамма-лучами просвечивается сталь толщиной 10–300 мм, алюминий 10–100 мм. Оценкой чувствительности рентгеновских и гамма-снимков по обнаружению дефектов в шве является минимальный размер (выраженный в процентах по отношению к металлу) дефекта. Так, при просвечивании стали толщиной 10 мм гамма-снимок выявляет дефект размером 0,34 мм (3,4%), а рентгеновский дефект размером

0,15 мм (1,5%). Чувствительность гамма-снимков повышается с увеличением толщины металла и для стали толщиной 40–50 мм становится равной рентгеновским (2% от толщины стали).

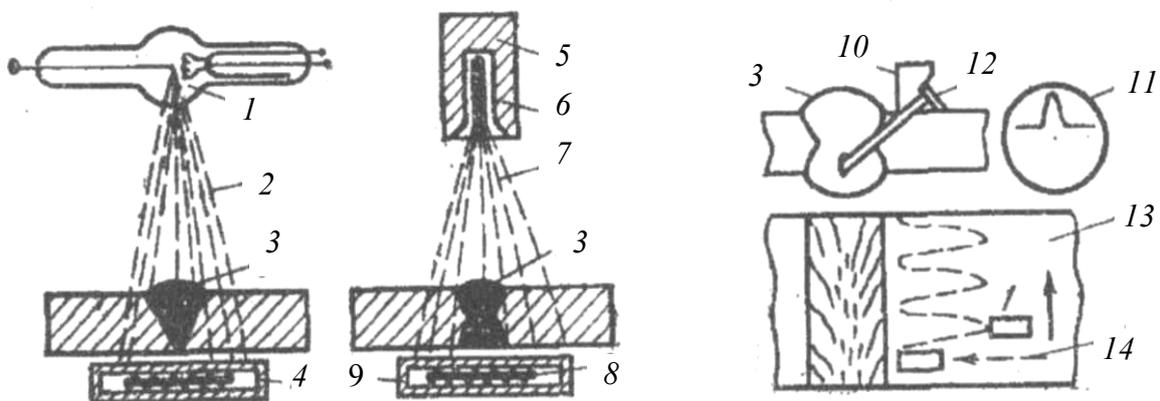


Рис. 2. Методы контроля сварных швов:

- 1 – катод; 2 – рентгеновские лучи; 3 – шов; 4 – кассета; 5 – ампула с радиоактивным веществом; 6 – свинцовый кожух; 7 – гамма-лучи; 8 – пленка; 9 – кассета; 10 – щуп с пьезокристаллом; 11 – экран осциллографа с импульсом; 12 – провод от щупа к дефектоскопу; 13 – направление продольного перемещения щупа; 14 – направление перемещения щупа при контроле

Вторым по своему значению для промышленного контроля сварных изделий является ультразвуковой метод. Ультразвуковые колебания получают чаще всего магнитострикционным и пьезоэлектрическим способами. При выполнении контроля рядом со швом на поверхности металла устанавливают пьезоэлектрический щуп ультразвукового дефектоскопа, который посылает в металл ультразвуковые колебания. Ультразвук вводится в изделие отдельными импульсами под углом к поверхности металла. В перерывах между импульсами пьезоэлемент щупа является приемником отраженного от дефекта ультразвука. При наличии дефекта в шве возникает отраженный луч, который благодаря пьезоэффекту воспринимается щупом и преобразуется в электрический заряд. После усиления электрический заряд подается на трубку осциллографа, что дает возможность убедиться только в наличии дефекта в шве, без определения его характера. С помощью ультразвука проверяют качество основного металла и сварных соединений толщиной от 5 до 3600 мм. Этим методом обнаруживаются трещины или непровары длиной более 5 мм, газовые или шлаковые включения диаметром более 1–1,5 мм при толщине изделия свыше 3 мм.

Горючие газы для сварки и резки

| Наименование | Температура пламени при сгорании в кислороде, °С | Вес 1 м ³ при 20°С и давлении 760 мм рт. ст., кг | Теплотворная способность (низшая), ккал/м ³ | Коэффициент замены ацетилена | Количество кислорода, подаваемого в горелку на 1 м ³ горючего, м ³ | Способ получения (для сварки и резки) | Способ хранения и транспортировки | Область применения |
|---|--|---|--|------------------------------|--|---------------------------------------|---|---|
| Газы: – ацетилен (ГОСТ 5457-60) | 3150 | 1,09 | 12 600 | 1 | 1,0–1,3 | Из карбида кальция | Растворенный в ацетоне в баллонах под давлением 19 кгс/см ³ при 20°С | Все случаи сварки и резки |
| – водород (ГОСТ 3022-45) | 2000–2100 | 0,084 | 2400 | 5,2 | 0,3–0,4 | Разложение воды электрическим током | В газообразном виде в баллонах под давлением | Сварка стали толщиной до 2 мм, сварка латуни, свинца, алюминия, пайка, кислородная резка |
| – пропан технический (ГОСТ 10196-62) | 2100 | 1,92 | 21 200 | 0,6 | 3,5 | Переработка нефти на заводах | В жидком виде в баллонах под давлением до 16 кгс/см ² | Сварка и пайка стали (толщиной до 4–6 мм), чугуна и цветных металлов, кислородная и кислородно-флюсовая резка |
| – природный (94% метана) | 2000 | 0,7–0,9 | 8000 | 1,6–1,8 | 1,5–1,6 | Из скважины | По газопроводу или в баллонах под давлением до 165–200 кгс/см ² | Сварка легкоплавких металлов, пайка, кислородная и кислородно-флюсовая резка |
| Пары керосина | 2400–2450 | 0,8–0,84* кг/дм ³ | 10 600 ккал/кг | 1,0–1,3 | 1,7–2,4 м ³ на 1 кг керосина | Переработка нефти | В жидком виде в цистернах или бочках под атмосферным давлением | Кислородная резка стали, сварка легкоплавких металлов, пайка |

* Для керосина указан вес жидкости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хряпин, В. Е. Справочник паяльщика / В. Е. Хряпин. – М.: Машиностроение, 1981. – 348 с.
2. Лашко, Н. Ф. Пайка металлов / Н. Ф. Лашко, С. В. Лашко. – М.: Машиностроение, 1977. – 328 с.
3. Кириченко, В. А. Влияние условий нагрева при пайке на свойства твердого сплава и стальной основы инструмента / В. А. Кириченко, Д. С. Карпович // Сварка и родственные технологии: респ. сб. науч. тр. – Минск, 2000.
4. Фоминых, В. П. Ручная дуговая сварка / В. П. Фоминых, А. П. Яковлев. – М.: Машиностроение, 1981. – 237 с.
5. Багрянский, К. В. Теория сварочных процессов / К. В. Багрянский. – Киев, 1976. – 273 с.
6. Степанов, В. В. Справочник сварщика / под ред. В. В. Степанова. – М.: Машиностроение, 1975. – 250 с.
7. Полухин, П. И. Технология металлов и сварка: учеб. для вузов / под ред. П. И. Полухина. – М.: Высш. шк. – 1987.
8. Кабанов, Н. С. Технология стыковой контактной сварки / Н. С. Кабанов, Э. Ш. Слепак. – М.: Машиностроение, 1970. – 263 с.

Учебное издание

**ТЕХНОЛОГИЯ
КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ.
ПАЙКА И СВАРКА МЕТАЛЛОВ**

Методические указания

Составитель **Карпович** Семен Иванович

Редактор М. В. Гайдукова
Компьютерная верстка О. Ю. Шантарович

Подписано в печать 30.11.2009. Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 6,9. Уч.-изд. л. 7,2.
Тираж 300 экз. Заказ .

Учреждение образования
«Белорусский государственный технологический университет».
220006. Минск, Свердлова, 13а.
ЛИ № 02330/0549423 от 08.04.2009.

Отпечатано в лаборатории полиграфии учреждения образования
«Белорусский государственный технологический университет».
220006. Минск, Свердлова, 13.
ЛП № 02330/0150477 от 16.01.2009.