



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ**  
**ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**  
**«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
**(ДГТУ)**

**Факультет «Технология машиностроения»**

**Кафедра «Машины и автоматизация сварочного производства»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

**по самостоятельному освоению курса «Теория сварочных процессов»**  
**для студентов направления 15.03.01 Машиностроения профиля подготовки**  
**«Оборудование и технология сварочного производства»**

**Ростов-на-Дону, 2022**

## ВВЕДЕНИЕ

Целью дисциплины «Теория сварочных процессов» является изучение физических, физико-химических и металлургических процессов, происходящих при сварке в металле шва и в околошовной зоне сварного соединения.

Поскольку наибольшее применение в нашей стране и за рубежом имеют процессы сварки плавлением сталей, то основной акцент в курсе делается именно на данные процессы.

Изучение дисциплины позволит технически грамотно подойти к разработке технологии сварки, позволяющей получить сварное соединение равнопрочное основному металлу с минимальным ухудшением свойств околошовной зоны.

Студенты, завершившие изучение дисциплины «Теория сварочных процессов», должны обладать следующими компетенциями:

- умение использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования (ОПК-1);

- умение обеспечивать моделирование технических объектов и технологических процессов с использованием стандартных пакетов и средств автоматизированного проектирования, проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом результатов (ПК-2);

- умение выбирать основные и вспомогательные материалы и способы реализации основных технологических процессов и применять прогрессивные методы эксплуатации технологического оборудования при изготовлении изделий машиностроения (ПК-17);

- умение оценить пригодность основного и присадочного материалов, организовать их хранение и обслуживание (ПСК-2).

В результате освоения дисциплины студент должен:

*знать:* физические основы (принципы) образования сварного соединения на базе установления межчастичных связей; требования, предъявляемые к источникам энергии при сварке, и характерные особенности наиболее распространенных источников энергии; характер воздействия термического цикла сварки на структуру и свойства металла сварного соединения; характер взаимодействия газовой и шлаковой фаз с металлической фазой в зоне плавления; физические причины образования дефектов в сварных соединениях;

*уметь:* по химическому составу основного металла, определить принципиальные трудности образования сварного соединения и меры их преодоления; по заданным геометрическим параметрам шва или механическим свойствам сварного соединения выбрать оптимальный режим дуговой сварки; по заданным режимам сварки рассчитать производительность процесса и оценить его эффективность;

*владеть:* навыками самостоятельной постановки локальной исследовательской научно-технической проблемы; применения математических моделей в инженерной деятельности; расчета основных параметров режима сварки.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ

### А. Основная

1. Кошкарёв Б.Т. Теория сварочных процессов. Учеб. пособие. – Ростов-н/Д, ДГТУ, 2003.
2. Теория сварочных процессов. Учебник для ВУЗов / под ред. Неровного В.М. – Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2007.

### Б. Дополнительная

1. Петров Г.Л., Тумарев А.С. Теория сварочных процессов: Учебник для вузов. Изд. 2-е. М.: Высшая школа, 1977.-392 с.
2. Багрянский К.В., Добротина З.А., Хренов К.К. Теория сварочных процессов: Учебник для вузов. Изд 2-е. Киев: Вища школа, 1976.- 424с.
3. Теория сварочных процессов. Учебник для вузов./ Под ред. В.В.Фролова.- М.:Высшая школа, 1988.-559с.
4. Сварка и свариваемые материалы. В 3-х тт. Т.1. Свариваемость материалов. Справочное издание / Под ред. Э.Л.Макарова.- М.: Металлургия, 1991.-528с.
5. Сварка в машиностроении. Справочник в 4-х тт. Т.2. /Под ред. А.Н.Акулова.- М.:Машиностроение, 1978.-462с.
6. Рыкалин Н.Н. Расчеты тепловых процессов при сварке.- М.: Машгиз, 1951.- 296с.
7. Лесков Г.И. Электрическая сварочная дуга.- М.:Машиностроение, 1979.-335с.
8. Жуховицкий А.А., Шварцман Л.А. Физическая химия. Изд. 3-е.- М.:Металлургия, 1976.- 520с.
9. Кох Б.А. Основы термодинамики металлургических процессов сварки.- Л.:Судостроение, 1975.- 239с.
10. Электроды для дуговой сварки и наплавки: Каталог.- Киев: Наукова думка, 1967.-440с.
11. ГОСТ 19521. Сварка металлов. Классификация.
12. Шоршоров М.А., Белов В.В. Фазовые превращения и изменения свойств стали при сварке.- М.:Наука, 1972.- 220с.
13. Шоршоров М.А., Чернышова Т.А., Красовский И.И. Испытания металлов на свариваемость.- М.:Металлургия, 1972.-204с.
14. ГОСТ 2601. Сварка металлов. Термины и определения основных понятий.
15. Сварка в машиностроении. Т.1. /Под ред. Н.А.Ольшанского.- М.:Машиностроение, 1978.- 504с.
16. Сварка в машиностроении. Т.3. /Под ред. В.А.Винокурова.- М.:Машиностроение, 1979.-567с.
17. Походня И.К. Газы в сварных швах.- М.:Машиностроение, 1972.- 256с.
18. Лившиц Л.С. Металловедение для сварщиков.- М.: Машиностроение, 1979.- 253с.
19. Гривняк И. Свариваемость сталей.- М.:Машиностроение, 1984.- 216 с.
20. ГОСТ 13585. Сталь. Метод для определения допускаемых режимов дуговой сварки и наплавки.

21. ГОСТ 23870. Свариваемость сталей. Метод оценки влияния сварки плавлением на основной металл.
22. ГОСТ 26389. Соединения сварные. Методы испытаний на сопротивляемость образованию горячих трещин при сварке плавлением.
23. ГОСТ 26388. Соединения сварные. Методы испытаний на сопротивляемость образованию холодных трещин при сварке плавлением.
24. Земзин В.Н., Шрон Р.З. Термическая обработка и свойства сварных соединений.- Л.:Машиностроение, 1978.- 367с.
25. ГОСТ 5272. Коррозия металлов. Термины.
26. ГОСТ 6032. Сталь. Методы испытания на межкристаллитную коррозию.
27. ГОСТ 9.908. Металлы и сплавы. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости.
28. Макаров Э.Л. Холодные трещины при сварке легированных сталей.- М.: Машиностроение, 1981.- 248с.
29. Шоршоров М.Х. и др. Горячие трещины при сварке жаропрочных сплавов.- М.:Машиностроение, 1971.- 224с.
30. Сварочные материалы для дуговой сварки. Справочное пособие в 2-х тт. Т.1. Защитные газы и сварочные флюсы /Под общ.ред. Н.Н.Потапова.- М.:Машиностроение, 1989.- 544с.

## СОДЕРЖАНИЕ КУРСА «ТЕОРИЯ СВАРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ»

### Раздел 1. Физические основы сварки металлов

Содержание курса, основные его разделы. Связь курса с общенаучными и общетехническими, а также с профилирующими дисциплинами.

Основная сварочная терминология.

Понятие сварки с конструктивной и технологической точек зрения. Термодинамическое понятие сварки. Основные трудности, препятствующие получению межатомных связей при сварке. Пути преодоления этих трудностей. Трехстадийность процесса образования соединений при сварке. Роль процессов пластического деформирования, диффузии и рекристаллизации в образовании сварного соединения при сварке в твердой фазе.

Литература: [1, с.8-15], [2, с.48-55], [5, с.347-362], [14]

### Методические указания

При рассмотрении роли сварки в развитии народного хозяйства нашей страны, объема применения наиболее распространенных способов сварки следует пользоваться обзорными статьями, публикуемыми ежегодно в научно-технических ежемесячных журналах «Сварочное производство» и «Автоматическая сварка».

Основные сварочные термины: сварка, сварной шов, сварное соединение, зона термического влияния (в дальнейшем ЗТВ), свариваемость и другие даны в ГОСТ 2601.

Следует четко представлять трудности, которые препятствуют реализации межатомных связей при образовании сварного соединения. Различные процессы сварки это, по существу, разнообразные технологические приемы преодоления этих трудностей с использованием для этих целей всевозможных физико-химических явлений.

Обратить внимание на области применения холодной сварки, необходимость подогрева при контактных методах сварки.

Следует ясно понимать характер установления межатомных связей при холодной сварке, контактных методах сварки, при сварке плавлением.

При сварке плавлением разнородных металлов надо понять трудности образования равнопрочного соединения и пути решения этой проблемы.

### Вопросы для самопроверки

1. Дайте определение терминам «сварка», «сварной шов», «сварное соединение», «ЗТВ».
2. Дайте определение термину «свариваемость».
3. Что следует понимать под энергией активации?
4. За счет каких процессов происходит образование сварного соединения при холодной сварке?
5. При каких методах контактной сварки сварной шов имеет дендритное строение?
6. Какие физико-химические процессы обеспечивают получение сварного соединения при сварке плавлением?
7. Как влияет взаимная растворимость свариваемых металлов на образование сварного соединения при сварке плавлением?
8. Какие технологические приемы обеспечивают получение сварного соединения при сварке плавлением металлов, не образующих твердых растворов?

## Раздел II. Источники нагрева при сварке

### 2.1. Классификация способов сварки

Классификация способов сварки по существующему стандарту. Требования к источникам тепла для сварки. Сравнительная характеристика наиболее распространенных источников тепла для сварки плавлением и давлением. Объем применения наиболее распространенных способов сварки.

Литература: [1, с.15-30], [11], [15, с.11-21]

### 2.2. Нагрев металла электрическим током при контактной сварке.

Собственное и контактное сопротивление проводника. Выделение тепла при точечной сварке. Общий тепловой баланс на участке протекания тока между электродами. Изменение собственного и контактного сопротивления в процессе сварки. Стимулирующая роль контактного сопротивления. Особенности шовной сварки металлов.

Стыковая сварка сопротивлением. Последовательность операций. Характер выделения тепла в месте контакта деталей. Роль контактного и собственно-

го сопротивления в выделении тепла в свариваемых деталях, изменение контактного сопротивления за время протекания тока.

Процесс стыковой сварки оплавлением. Последовательность операций. Процесс образования жидких мостиков и их разрушения.

Литература: [1, с.103-109]

### 2.3. Электрическая сварочная дуга

Условия возникновения электрического разряда в газах. Различные формы электрического разряда. Отличительные свойства дугового разряда.

Понятие об эмиссии электронов. Работа выхода электрона, потенциал выхода. Значение потенциала выхода для различных металлов. Виды эмиссии.

Понятие об ионности газа. Энергия и потенциал ионизации. Величины потенциала ионизации для разных металлов и газов. Рекомбинация ионов. Виды ионизации.

Условия возникновения и стабильного горения дуги. Способы возбуждения дуги. Возбуждение дуги при сварке плавящимся и неплавящимся электродом.

Основные параметры сварочной дуги, ее статическая характеристика. Физические процессы в различных зонах сварочной дуги. Баланс энергии на катоде и аноде. Использование сжатой дуги для сварки и резки различных материалов.

Перенос металла с электрода в сварочную зону. Влияние формы переноса на устойчивость процесса формирования шва, металлургические процессы при сварке. Главные формы неуправляемого переноса металла через дугу – сварка короткой и длинной дугой, перенос парами металла. Области существования различных форм переноса в зависимости от тока и напряжения дуги. Силы, действующие на переключку жидкого металла при сварке. Способы создания управляемого переноса металла.

Литература: [1, с.88-103], [2, с.59-80], [3, с.31-106], [7, с.5-132, 255-266]

### 2.4. Недуговые термические источники энергии

Газовое пламя – источник нагрева. Ацетилено-кислородное пламя: строение, реакции в различных зонах, распределение температуры.

Нагрев металла при электрошлаковой сварке (ЭШС). Характерные особенности процесса. Преимущества и недостатки данного способа сварки по сравнению с другими способами сварки плавлением. Области применения, разновидности процесса. Понятие об электрошлаковом переплаве.

Литература: [1, с.81-88, 110-112]

## Методические указания

Изучая материал данного раздела следует, прежде всего, иметь четкое представление об основных способах сварки: на каких физических процессах они основаны, как они осуществляются, какова последовательность операций по созданию сварного соединения.

Следует изучить роль контактного сопротивления при электроконтактных способах сварки.

Надо четко представлять условия возбуждения и устойчивого горения дуги, строение дуги, разновидности процесса переноса металла через дугу, влияние формы переноса металла на формирование и качество металла шва. Силы, действующие на каплю на конце электрода.

Необходимо знать различие между электрошлаковой и электродуговой сваркой под флюсом.

### Вопросы для самопроверки

1. От каких факторов и как зависит контактное сопротивление?
2. Какова роль контактного сопротивления в процессе нагрева деталей при контактной сварке?
3. Чем различаются между собой способы стыковой сварки оплавлением и сопротивлением?
4. Какие силы действуют на перемычку жидкого металла при сварке оплавлением?
5. Как происходит установление межатомных связей при стыковой сварке оплавлением и сопротивлением?
6. Как протекают процессы возбуждения и ионизации частиц?
7. Какие физические процессы протекают в различных зонах электрической дуги?
8. Каковы энергетические преобразования в различных зонах электрической дуги?
9. Как осуществляется возбуждение дуги при сварке плавящимся и неплавящимся электродом?
10. От чего и как зависит устойчивость горения сварочной дуги?
11. Как осуществляется перенос металла через дуговой промежуток?
12. Для каких целей и как осуществляется управляемый перенос металла через дугу?
13. Как осуществляется начало процесса при электрошлаковой сварке?
14. Чем характеризуется нормальное ацетилено-кислородное пламя?

### Раздел III. Тепловые процессы при сварке

#### 3.1. Основы расчетов на теплопроводность

Изменение теплового состояния металла в процессе сварки. Влияние тепловых процессов на производительность сварки, ее экономическую эффективность, эксплуатационные свойства металла.

Понятие о передаче тепла за счет теплопроводности, конвективного и лучистого теплообмена. Теплосодержание, теплоемкость, объемная теплоемкость. Температурное поле, изотерма, градиент температуры, термический цикл точки.

Дифференциальное уравнение теплопроводности. Методы расчета теплового состояния тел. Начальные и граничные условия.

Литература: [1, с.120-131], [6, с.9-16]

### 3.2. Основные расчетные схемы нагреваемых тел и источников тепла.

Схематизация нагреваемых тел и источников тепла. Мгновенные сосредоточенные источники. Распределенные и непрерывно действующие источники.

Литература: [1, с.131-139], [2, с.103-117], [6, с.17-51]

### 3.3. Расчеты нагрева металла дугой

Тепловые характеристики сварочной дуги. Основные стадии распространения теплоты в изделии при сварке. Понятия квазистационарного состояния, погонной энергии. Упрощенные формулы для расчета температуры предельного состояния точки при сварке мощной быстродвижущейся дугой. Расчетные формулы для определения максимальных температур. Влияние режимов сварки, теплофизических свойств металла на характер температурных полей предельного состояния.

Литература:[1, с.140-165], [2, с.117-135], [6, с. 52-111], [15, с. 22-29]

### 3.4. Расчеты нагрева металла газовым пламенем

Тепловые характеристики газового пламени. Расчетные схемы процессов нагрева металла газовым пламенем для подвижной однопламенной горелки. Возможности приведения нормально-кругового источника тепла к сосредоточенному. Формулы для расчета температурного цикла при использовании однопламенной горелки.

Литература: [1, с.165-170], [6, с.112-173], [15, с.31-37]

### 3.5. Нагрев и плавление электродного металла при сварке

Два основных источника нагрева электрода в процессе сварки. Приближенный метод расчета процесса нагрева электрода током. Расчетные формулы, номограммы, порядок расчета. Необходимость ограничения температуры нагрева электрода при сварке покрытыми электродами. Расчетные формулы при большой плотности тока.

Теплоемкость, вводимая дугой в электрод. К.п.д. нагрева электрода дугой, численная величина его. Мгновенная производительность процесса расплавления электрода. Влияние температуры подогрева электрода протекающим током на производительность процесса расплавления электрода. Коэффициент расплавления, его численное значение для различных способов дуговой сварки. Коэффициент потерь, понятие о нем, числовые значения в различных условиях. Коэффициент наплавки, его численная величина при различных способах сварки. Мгновенная производительность процесса наплавки. Расчет площади наплавки, к.п.д. наплавки. Возможности увеличения площадей наплавки. Пути повышения производительности сварки при выполнении шва с заданной площадью наплавки.

Неравномерность плавления электрода при ручной дуговой сварке покрытыми электродами. Коэффициент неравномерности плавления электродов. Возможности повышения производительности расплавления электрода за счет



увеличения вылета при автоматической сварке. Предельные величины тока при автоматической сварке.

Литература: [1, с.171-178], [2, с.136-143], [6, с.179-203], [15, с. 48-50]

### 3.6. Плавление основного металла сварочной дугой

Основные параметры сварочной ванны и шва. Различные формы шва. Расчет длины и ширины сварочной ванны, времени существования ванны, глубины проплавления.

Тепловая эффективность процесса проплавления. Распределение эффективной тепломощности нагрева изделия. Понятие термического к.п.д. проплавления, способы его определения. К.п.д. проплавления и к.п.д. сварки.

Производительность процесса проплавления. Расчет площади проплавления. Возможности увеличения площади проплавления. Пути повышения производительности сварки при выполнении швов с заданной глубины проплавления.

Литература: [1, с.264-273], [2, с.143-153], [6, с. 204-226]

### 3.7. Термический цикл основного металла при сварке

Тепловое воздействие источников тепла на околошовную зону металла сварного соединения. Неравномерность распределения температуры и структурных изменений.

Схема распределения максимальных температур по сечению сварного соединения. Основные факторы термического цикла сварки – скорость охлаждения металла при температуре минимальной устойчивости аустенита, длительность нагрева выше температуры начала интенсивного роста зерна аустенита. Определение максимально допустимой скорости охлаждения металла. Возможные дефекты в ЗТВ.

Расчет мгновенной скорости охлаждения металла при данной температуре. Условия применения расчетных формул. Определение режимов сварки по допустимой скорости охлаждения металла. Торцевая проба, валиковая проба МВТУ. Пути регулирования простого термического цикла при сварке. Расчет длительности нагрева металла при сварке выше заданной температуры. Идеальный термический цикл при сварке сталей.

Литература: [2, с.153-158], [6, с.227-271], [15, с. 42-48, 116-134], [20], [21]

## Методические указания

Необходимо уметь рассчитать температуры точки тела при действии быстродвижущейся дуги или однопламенной горелки в случае сварки встык или наплавки валика. Следует четко представлять тепловые характеристики дуги и газового пламени. Надо знать роль нагрева электрода проходящим током в повышении производительности процесса расплавления и наплавки, причины, ограничивающие величину тока как при ручной, так и механизированных способах сварки, возможности увеличения производительности процесса за счет использования большого вылета при механизированных способах сварки.

Знать математическую связь между мгновенной и удельной производительностью процесса наплавки и расплавления. Уметь рассчитывать площади наплавки и проплавления по заданным режимам сварки. Четко представлять основные параметры шва и методы их расчета.

При изучении материала п.3.7 получить представление о дефектах, возникающих в ЗТВ при термическом цикле сварки. Уметь рассчитать мгновенную скорость охлаждения в конкретных случаях сварки, по заданной критической скорости охлаждения найти режимы сварки или температуру предварительного подогрева изделия.

#### Вопросы для самопроверки

1. На какие сварочные процессы оказывает влияние термический цикл сварки?
2. Как влияет предварительный нагрев изделия на эффективность его нагрева при газовой сварке?
3. Почему при сварке неплавящимся электродом эффективный к.п.д. нагрева изделия меньше, чем при сварке плавящимся электродом?
4. Почему ограничивается величина тока при сварке покрытыми электродами?
5. Как влияет величина вылета на производительность и устойчивость процесса сварки?
6. Какие факторы влияют на коэффициент потерь металла?
7. Какие имеются пути регулирования простого термического цикла при сварке?
8. Что такое критическая скорость охлаждения металла?
9. Как по заданной скорости охлаждения рассчитать режимы сварки?
10. Что такое температура минимальной устойчивости аустенита?

#### Раздел IV. Физико-химические и металлургические процессы при сварке

##### 4.1. Равновесие физико-химических систем

Термодинамические системы, термодинамические процессы. Понятие о химическом равновесии. Виды равновесия. Закон действующих масс для гомогенных систем. Константа равновесия обратимой реакции, различные формы ее записи.

Закон действующих масс для гетерогенных систем. Основные закономерности, имеющие место в гетерогенных системах. Уравнение константы равновесия для гетерогенных систем.

Понятие упругости диссоциации. Коэффициенты активности, активная концентрация. Влияние температуры и давления на положение равновесия. Принцип подвижного равновесия Ле-Шателье.

Литература: [1, с.53-65], [2, с.160-188], [8, с.44-64], [9, с.114-148]

##### 4.2. Химическое сродство веществ к кислороду

Меры химического сродства элементов к кислороду. Процесс окисления металла, продукты окисления. Изменение растворимости газов в металле в за-

зависимости от температуры. Меры борьбы с окислением. Зависимость скорости окисления металла от его концентрации, сродства к кислороду, количества кислорода в газовой фазе. Порядок химического раскисления металла. Способы оценки сил химического сродства к кислороду различных элементов. Направление протекания реакции в зависимости от соотношения фактического давления кислорода и упругости диссоциации окисла. Зависимость упругости диссоциации от температуры. Порядок активности свободных элементов при различных температурах.

Упругость диссоциации окислов компонентов, находящихся в растворе. Четыре основных случая определения упругости диссоциации окисла в зависимости от его растворения в металле или шлаке.

Основные правила введения легирующих элементов и раскислителей в электродные покрытия или флюс.

Номограммы зависимости упругости диссоциации окисла растворенного компонента в сплаве. Порядок активностей металлов в зависимости от концентрации в сплаве и температуре.

Литература: [1, с.61-65], [2, с.197-203], [9, 149-157]

#### 4.3. Закон распределения вещества в двух несмешивающихся растворителях

Закон растворимости газов Д.Генри. Закон Сивертса. Изменение растворимости газов в жидкостях с изменением температуры. Закон распределения вещества В.Нернста. Практическое значение закона распределения в управлении металлургическими и сварочными процессами. Пути уменьшения содержания закиси железа в металле шва.

Литература: [1, с.69-70], [2, с.189-190], [8, с.94-96]

#### 4.4. Газовая фаза в зоне сварки плавлением

Процессы взаимодействия газовой и металлической фаз. Состав газовой фазы и ее свойства. Механизм насыщения металла газом.

Влияние кислорода на свойства металлов. Растворение кислорода в металлах. Растворимость кислорода в железе. Влияние кислорода на эксплуатационные свойства сталей. Содержание кислорода в металле шва при различных способах сварки. Предельно допустимое содержание кислорода в различных металлах. Применение окислительной среды при различных способах сварки металлов.

Влияние азота на свойства металла. Растворение азота в металлах. Растворимость азота в железе. Влияние азота на свойства сталей, никеля, титана. Возможности применения азота в качестве защитного газа при сварке. Сварка открытой дугой голой проволокой.

Взаимодействие водорода с металлами и газами. Диссоциация водорода, растворимость его в металлах. Влияние растворенного водорода на свойства металлов. Содержание водорода в металле шва при различных способах сварки. Причины насыщения металла шва водородом. Пути ограничения концентрации водорода в металле шва.

Литература: [1, с.183-227], [2, с.227-238], [15, с.79-85], [17, с.102-185]

#### 4.5. Шлаковая фаза при сварке плавлением

Понятие шлака, состав, влияние на металлургические процессы при сварке и технологические свойства дуги. Комплексные оксиды – силикаты, титанаты, алюминаты и др. Кислотность шлаков. Назначение сварочных шлаков. Важнейшие металлургические процессы, осуществляемые шлаками. Преимущества и недостатки кислых и основных шлаков. Вязкость шлаков и влияние ее на газовыделение из металла, формирование шва. Способы регулирования вязкости шлака. Условия наилучшего удаления твердого шлака с поверхности шва после сварки. Главные системы сварочных шлаков: оксидные, солевые, оксидно-солевые. Основные шлаковые системы, применяемые для сварки сталей, медных и алюминиевых сплавов.

Литература: [1, с.227-234], [2, с.238-244], [30, с.82-148]

#### 4.6. Окисление металла при сварке

Способы окисления металла при сварке. Условия окисления металла свободным кислородом.

Окисление сварочной ванны за счет окалины и ржавчины, находящихся на свариваемых материалах. Реакции разложения высших окислов. Окисление металла шлаками, содержащими закись железа. Зависимость между содержанием кислорода в металле и закисью железа в шлаке. Окисление металла шва активными по кислороду окислами (примеры).

Литература: [2, с.248-250], [30, с.167-239]

#### 4.7. Раскисление металла при сварке плавлением

Раскисление сталей при сварке. Основные способы раскисления сталей в общей металлургии. Необходимость применения не менее двух раскислителей при химическом раскислении. Промывка металла шлаком.

Раскисление углеродом, образование пор. Ограничение содержания углерода в электродной проволоке. Особенности промывки металла шлаком при сварке.

Раскисление стали кремнием и марганцем. Способы введения кремния и марганца в сварочную ванну. Типы марганцовистых и кремнемарганцовистых проволок. Кремне- и марганцевовосстановительный процесс, особенности его протекания.

Диффузионное раскисление металла сварочной ванны. Способы увеличения раскисляющей способности кислых шлаков.

Основные способы раскисления цветных металлов при сварке.

Литература: [1, с.245-252], [2, с.250-259]

#### 4.8. Рафинирование металла при сварке плавлением

Влияние серы на свойства сталей. Содержание серы в металле. Влияние марганца, углерода, кремния на склонность металла шва к образованию кристаллизационных трещин. Необходимость очистки металла шва от серы при сварке качественными электродами или с применением флюсов. Ограничение

содержания серы в сварочных материалах. Способы обессеривания металла. Роль основных шлаков в обессеривании металла шва.

Влияние фосфора на свойства металла. Содержание фосфора в металлах. Источники увеличения концентрации фосфора в сварочной ванне. Принципы очистки металла шва от фосфора. Роль основных шлаков в очистке металла от фосфора. Влияние температуры на процессы обесфосфоривания металла шва.

Литература: [1, с.259-261], [2, с.261-267]

#### 4.9. Легирование металла при сварке плавлением

Необходимость легирования металла при сварке. Связь активности металла со степенью его перехода в сварочную ванну. Связь процессов легирования и раскисления, способы защиты легирующих элементов от выгорания.

Способы легирования металла воздействием металлической, шлаковой и газовой фазами. Основные способы легирования металла введением в сварочную ванну свободных элементов.

Способы расчета концентрации какого-либо элемента в металле шва. Доля участия основного металла в металле шва, исходная и действительная концентрация металла. Коэффициенты усвоения легирующего элемента. Коэффициенты перехода металла из проволоки, электродного покрытия, флюса. Расчет содержания легирующего элемента в металле шва в случае легирования через проволоку, проволоку и электродное покрытие, керамический флюс.

Возможности легирования металла через шлаковую фазу. Легирование металла воздействием газовой фазы.

Литература: [1, с.252-259], [2, с.259-261]

### Методические указания

При изучении вопросов физической химии следует увязывать их со сварочными процессами. Наибольшее внимание следует уделить вопросам сродства элементов к кислороду, поскольку это является основой в рассмотрении явлений химического раскисления металла сварного шва. Знание закона распределения вещества позволяет правильно направить процесс физического раскисления металла шва при сварке.

Металлургические основы сварки плавлением являются базой для разработки технологии сварки металлов плавлением. При изучении данного раздела студент должен стремиться к полному пониманию характера взаимодействия газовой и шлаковой фаз с металлом в реакционной зоне. Необходимо уметь оценивать возможность окисления металла газовой и шлаковой фазами. Надо понимать, в чем причины применения активных газов  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  как защитной среды. Процесс окисления металла при сварке заслуживают пристального внимания. Надо представлять, как осуществляется диффузионное раскисление, кремне- и марганцевовосстановительные процессы.

Необходимо знать преимущества и недостатки кислых и основных флюсов, особенности применения и изготовления керамических флюсов (в отличие от плавленных). Требуется четко представлять источники обогащения металла шва при сварке вредными примесями – серой и фосфором.

Материал п.4.9 не вызывает у студента никаких затруднений, если он будет четко представлять себе кинетику образования сварного шва.

Рассмотрев все реакции, протекающие в сварочной ванне, студент должен ясно представлять назначение компонентов флюса или покрытия в управлении металлургическими процессами при сварке. При изучении металлургических процессов, протекающих при электрошлаковой сварке, следует заострить внимание на применяемых сварочных материалах (по сравнению со сваркой под флюсом тех же сталей).

### Вопросы для самопроверки

1. Что является истинной мерой сродства веществ, вступающих в реакцию?
2. Какой величиной определяется положение равновесия в гетерогенной системе?
3. Что понимается под упругостью диссоциации окисла и как она связана со сродством элемента к кислороду?
4. Как по номограммам и фактическому давлению кислорода в газовой фазе определить возможности выгорания или восстановления элементов при сварке?
5. Как определить характер воздействия газовой среды на металл?
6. При каких условиях возможно получение качественного шва, если газовая фаза носит окислительный характер?
7. Почему невозможно полное удаление окислов и нитридов из металла шва?
8. Как предохранить металл шва от насыщения его водородом?
9. При сварке каких металлов находят преимущественное применение основные шлаки?
10. Как добиться наилучшего удаления твердого шлака с поверхности шва?
11. Какие электродные покрытия применяют при сварке ответственных соединений?
12. В чем особенности изготовления и каковы области применения керамических флюсов?
13. Как осуществить раскисление сталей при сварке под кремнемарганцовистыми флюсами?
14. Как осуществляется промывка металла шлаком при сварке?
15. Возможно ли наличие шлаковой фазы при газoeлектрической сварке в  $\text{CO}_2$ ?
16. При каких способах сварки и почему возникает необходимость очистки металла шва от серы и фосфора?
17. Когда и как осуществляется легирование металла воздействием газовой фазы?
18. Как происходит окисление металла флюсом?

## Раздел V. Превращения в металлах и термометформационные процессы при сварке

### 5.1. Кристаллизация металла при сварке

Общие положения теории кристаллизации. Особенности кристаллизации сварочной ванны. Пути регулирования кристаллизации при сварке. Химическая неоднородность в зоне сплавления. Влияние химической неоднородности сварного соединения на свойства. Меры борьбы с химической неоднородностью металлов при сварке. Физическая неоднородность металла сварочной ванны. Дефекты первичной структуры (кристаллизации). Поры, причины их появления; металлургические реакции, приводящие к появлению пор при кристаллизации, влияние состояния поверхности основного металла на порообразование при сварке, роль водорода, азота и углекислого газа в появлении пористости. Шлаковые включения в металле шва. Причины появления крупных и мелких шлаковых включений и их состав. Меры борьбы, направленные на уменьшение физической неоднородности металла сварочной ванны.

Литература: [1, с.273-288, 303-308], [2, с.267-285], [3, с.433-478], [15, с.99-108], [18, с.28-58]

## 5.2. Горячие трещины при сварке

Понятие о горячих трещинах, температурном интервале хрупкости (ТИХ). Причины появления кристаллизационных и полигонизационных трещин. Технологическая прочность сварных соединений. Факторы, вызывающие образование горячих трещин. Влияние химического состава металла, растворенных газов, второй фазы, схемы кристаллизации, темпы нарастания растягивающих напряжений на образование горячих трещин. Меры борьбы с горячими трещинами при сварке.

Основные методики определения сопротивления металла образованию горячих трещин. Наиболее распространенные технологические пробы на горячие трещины.

Литература: [1, с.299-303], [2, с.294-319], [3, с.478-489], [16, с.393-413], [18, с.59-62], [22], [29]

## 5.3. Фазовые превращения в свариваемых металлах в твердом состоянии Микроструктура сварных соединений.

Зависимость механических свойств металла от его микроструктуры. Основные закономерности фазовых и структурных превращений в сталях при нагреве и охлаждении. Зона термического влияния (ЗТВ) при сварке. Ее строение, структура и свойства отдельных участков ЗТВ при сварке сталей и других металлов.

Литература: [1, с.310-344], [12], [15, с.97-99, 135-143], [18, с.110-148]

## 5.4. Холодные трещины при сварке.

Понятие о холодных трещинах. Склонность черных и цветных металлов к образованию холодных трещин при сварке. Главные факторы, определяющие возникновение холодных трещин при сварке. Влияние режимов сварки и состава свариваемых металлов на возникновение холодных трещин. Роль водорода. Понятие технологической прочности металлов в процессе фазовых превращений в твердом состоянии. Методы борьбы с холодными трещинами при сварке.

Предварительный подогрев. Определение температуры предварительного подогрева металла по эквивалентному содержанию углерода.

Способы оценки сопротивляемости сварных соединений образованию холодных трещин. Количественная методика оценки сопротивляемости сварных соединений образованию холодных трещин. Технологические пробы на холодные трещины. Пути улучшения структуры и свойств сварных соединений: многослойная сварка, отжигающий валик, проковка шва, различные виды термообработки (предварительная, сопутствующая, после сварки).

Литература: [1, с.344-355], [2, с.319-325], [3, с.529-547], [16, с. 414-435], [23], [24, с.36-128], [28]

### 5.5. Коррозия сварных соединений

Основы учения о коррозии металлов. Сущность электрохимической коррозии. Стандартные электродные потенциалы. Зависимость электродного потенциала от различных факторов. Роль неоднородностей в металле в возникновении микрогальванических элементов, зарождение коррозии. Однородность металла – основное условие его высокой коррозионной стойкости.

Причины межкристаллитной коррозии в нержавеющей сталях и алюминиевых сплавах. Методы борьбы с межкристаллитной коррозией. Ножевая коррозия в сварных соединениях. Основные методы определения коррозионной стойкости металла. Методы защиты от коррозии. Требования, предъявляемые к коррозионной стойкости сварных соединений.

Литература: [25, с.144-161], [26], [27]

### Методические указания

Необходимо представлять влияние характера кристаллизации на качество металла шва. Особое внимание надо уделить физическим причинам образования дефектов первичной кристаллизации металла – пор, шлаковых включений, горячих трещин. Следует отметить стимулирующую роль вторых компонентов газовой фазы на появление пор (азота, водорода и др.).

Нужно уяснить роль шлаковых включений в снижении пластических свойств металла (особенно при работе изделия при низких температурах). Надо знать причины появления шлаковых включений в уже закристаллизовавшемся металле, пути наилучшей промывки металла шлаком, необходимость определенного соотношения количества марганца и кремния в металле шва с целью получения легкоплавких жидкотекучих силикатов в сталях.

Следует усвоить пути регулирования кристаллизации сварочной ванны (в том числе за счет модифицирования металла).

Надо знать влияние неоднородности структуры сварного соединения на его свойства, представлять явления, возникающие в ЗТВ при перегреве металла, связывать эти явления с эксплуатационными характеристиками металла. Необходимо четко представлять изменения структуры в ЗТВ при сварке углеродистых и легированных сталей.



При изучении раздела, посвященного горячим трещинам, надо иметь представление о взаимосвязи трех факторов – силового, металлургического, водородного – на процесс их образования.

Необходимо знать:

- какие легирующие элементы и примеси способствуют образованию горячих трещин;
- при каких способах и режимах сварки наибольшая опасность появления горячих трещин;
- в каких металлах наиболее часто встречаются подсолидусные трещины;
- какие существуют косвенные методы оценки склонности металлов к горячим трещинам;
- как повысить технологическую прочность металла в период его кристаллизации.

Следует знать:

- механизмы образования и характер холодных трещин в металле шва и ЗТВ, обусловленных изменениями механических свойств и характером напряженного состояния в процессе фазовых и структурных превращений – напряжения первого рода в макрообъемах металла;
- напряжения второго рода в объеме отдельных зерен и кристаллов;
- способы регулирования скорости охлаждения металла при сварке, способы борьбы с холодными трещинами, роль водорода в их образовании.

Следует понимать смысл критической скорости охлаждения металла.

Воздействие агрессивных сред на сварные конструкции заставляет сварщиков глубоко изучать вопросы общей, межкристаллитной и ножевой коррозии и меры борьбы с этими нежелательными явлениями.

### Вопросы для самопроверки

1. В чем специфические особенности кристаллизации металла при сварке плавлением?
2. Какие дефекты кристаллизации возможны при точечной контактной сварке?
3. Какая форма сварочной ванны способствует образованию горячих трещин?
4. Как можно улучшить структуру металла шва в период его кристаллизации?
5. Как влияет углерод на склонность сталей к горячим трещинам?
6. Что следует понимать под технологической прочностью металла в период его кристаллизации?
7. Что представляет собой температурный интервал хрупкости (ТИХ)?
8. Как влияет местный нагрев при сварке на механические и эксплуатационные свойства всего сварного соединения?
9. Какие структурные превращения протекают в околошовных зонах при сварке малоуглеродистых сталей?
10. Какие структурные превращения протекают при сварке закаливающих сталей?
11. Что понимается под зоной термического влияния?
12. В каких металлах и почему возникают холодные трещины?

13. Что следует понимать под технологической прочностью металла в процессе фазовых превращений в твердом состоянии?
14. Какие существуют технологические меры борьбы с холодными трещинами?
15. Как по эквивалентному содержанию углерода рассчитать температуру подогрева изделия перед сваркой?
16. Какие существуют методы улучшения структуры и свойств сварных соединений?
17. При каком способе сварки плавлением наиболее часто применяется термообработка сварного соединения?
18. Какие цели преследует термообработка сварного соединения?
19. В каких металлах и при каких условиях наблюдается межкристаллитная коррозия?
20. Какие причины приводят к появлению в металле ножевой коррозии?
21. В чем заключаются основные требования, предъявляемые к коррозионной стойкости сварного соединения?

## Раздел VI. Свариваемость металлов

Определение термина свариваемости по ГОСТ 2601. Физическая или принципиальная свариваемость. Влияние процессов взаимной кристаллизации при сварке давлением и плавлением однородных металлов и сплавов на их свариваемость.

Возможные варианты сварки разнородных металлов. Понятие технологической свариваемости металла, способы ее оценки. Тепловая свариваемость, металлургическая свариваемость. Виды испытаний металлов по определению технологической свариваемости. Оценка свариваемости различных металлов.

Литература: [1, с.360-388], [2, с.327-412], [13], [15, с.135-136], [19]

### Методические указания

Необходимо усвоить физическую свариваемость металлов и сплавов, содержащих элементы, обладающие неограниченной взаимной растворимостью, условия образования сварного соединения при сварке разнородных металлов с ограниченной растворимостью. Следует помнить, что вопрос о физической свариваемости не должен рассматриваться при сварке изделий из одного и того же металла, так как в этом случае нет принципиальных затруднений, мешающих взаимной кристаллизации металла. В этом случае лишь рассматривается технологическая свариваемость данного металла. Знать понятия металлургической и тепловой свариваемости, четко представлять, какие явления надо учитывать при оценке свариваемости (например, тепловой) различных материалов. Уяснить методы определения технологической свариваемости металлов.

### Вопросы для самопроверки

1. Как определить физическую свариваемость металлов?

2. Что надо понимать под технологической свариваемостью металлов?
3. Какие процессы ухудшают металлургическую свариваемость металла?
4. Что надо понимать под тепловой свариваемостью?
5. Технологическую свариваемость каких металлов можно оценивать по содержанию в них углерода или эквиваленту углерода?

## ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

К выполнению контрольных работ студенты должны приступать после изучения соответствующего раздела курса. В контрольной работе студенты должны показать, что они вполне изучили данный материал. Совершенно недопустимо дословное переписывание материала из учебников, учебных пособий.

Ответы на вопросы должны быть четкими, полными, с приведением аккуратно выполненных схем, графиков, рисунков и табличных данных.

Решение задач должно сопровождаться выводами по полученным результатам. Выбор коэффициентов, табличных данных, параметров режимов сварки должен быть обоснован.

Вариант контрольной работы выбирается по сумме двух последних цифр номера зачетной книжки.

### КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

#### Вариант 1

1. Классификация способов сварки, возможные классификационные признаки
2. Основные параметры термического цикла сварки
3. Определить мгновенную производительность расплавления (г/с) и коэффициент расплавления электрода диаметром 5 мм на номинальном токе при РДС малоуглеродистой стали, если  $U_0=28$  В;  $\eta_0=15\%$ ;  $T_0=20^\circ\text{C}$ ;  $D_1=200^\circ\text{C}$ ;  $A=2,4\cdot 10^{-2}$  мм<sup>4</sup>·С·А<sup>-2</sup>;  $m=2,5$  мм<sup>3</sup>·С·А<sup>-2</sup>.

Расчет производительности расплавления электрода производить к концу его плавления, принимая время протекания  $t=50$  с.

Найти коэффициент неравномерности плавления электрода.

#### Вариант 2

1. Основные принципиальные трудности, препятствующие установлению межатомных связей при сварке.
2. Идеальный термический цикл, способы его реализации.
3. Рассчитать долю участия основного металла в металле шва при РДС встык ВСт3кп толщиной 6 мм электродом диаметром 5 мм на номинальном токе, если коэффициент наплавки составляет 9,5 г/А·ч, а скорость сварки – 10 м/ч.

#### Вариант 3

1. Образование сварных соединений при сварке давлением. Характер установления межатомных связей при стыковых способах контактной сварки сопротивлением и оплавлением.

2. Способы возбуждения дуги при сварке плавящимся и неплавящимся электродом.
3. Определить площадь наплавки при сварке в  $\text{CO}_2$  проволокой диаметром 1,6 мм, если скорость ее подачи – 450 м/ч, величина тока – 380А, скорость сварки – 24 м/ч, а коэффициент потерь – 10%.

#### Вариант 4

1. Характер установления межатомных связей при точечной и шовной контактной сварке.
2. Физические условия возникновения и устойчивого существования сварочной дуги.
3. Определить необходимость подогрева таврового соединения толщиной 12 мм из стали 15ХСНД, если при сварке в  $\text{CO}_2$  величина тока составляет 280А, напряжения дуги – 26В, скорость сварки – 30 м/ч, а допустимая скорость охлаждения составляет от 2 до 9°С/с.

#### Вариант 5

1. Характер образования сварного соединения при холодной сварке.
2. Виды эмиссии в сварочной дуге.
3. Как изменится скорость охлаждения металла, если при наплавке валика на сталь 30ХГСА толщиной 25 мм применить подогрев металла перед сваркой. Режим сварки: ток дуги – 250А, напряжение дуги – 26В, скорость сварки – 24 м/ч. Температуру предварительного подогрева рассчитать по эквиваленту углерода.

#### Вариант 6

1. Характер установления межатомных связей при сварке плавлением.
2. Виды ионизации газа в межэлектродном промежутке при сварке.
3. Рассчитать полный тепловой к.п.д. проплавления при автоматической сварке под флюсом малоуглеродистой стали толщиной 10 мм встык на следующих режимах: величина тока – 500А, напряжение дуги – 30В, скорость сварки – 36 м/ч.

#### Вариант 7

1. Характер установления межатомных связей при сварке плавлением разнородных металлов.
2. Физические процессы и энергетические преобразования в катодной области.
3. Определить режим РДС, чтобы при скорости сварки 10 м/ч и катете шва 6 мм в сварном соединении из стали 35ХГСА обеспечить оптимальную скорость охлаждения, равную (2,5 – 6,0)°С/с. Наплавка на лист толщиной 26 мм.

#### Вариант 8

1. Виды сварки, относящиеся к термическому классу сварочных процессов.
2. Разновидности процессов переноса металла через дугу.
3. Определить длительность пребывания металла при температуре более 900°С для участка, прилегающего к линии сплавления, при автоматической сварке

под флюсом встык стали толщиной 12 мм при токе 600А, напряжении 38В, скорости сварки – 48 м/ч., начальной температуре изделия – 20°C.

#### Вариант 9

1. Технологические разновидности процесса ЭШС.
2. Физические процессы и энергетические преобразования в столбе дуги и в анодной области.
3. Определить скорость подачи электродной проволоки диаметром 1.2 мм при полуавтоматической сварке в  $\text{CO}_2$  стали, если величина тока составляет 300А, напряжения дуги – 30В, к.п.д. нагрева электрода дугой – 25%, температура нагрева электрода в вылете протекающим током – 900°C.

#### Вариант 10

1. Виды сварки, относящиеся к термомеханическому классу сварочных процессов.
2. Цели и способы создания управляемых форм переноса металла через дуги.
3. Рассчитать величину к.п.д. сварки, если при сварке под флюсом малоуглеродистой стали толщиной 6мм встык значение тока составляет 300А, напряжение дуги – 30В, скорость сварки – 36 м/ч, а коэффициент наплавки – 12 г/А·ч.

#### Вариант 11

1. За счет каких процессов происходит установление межатомных связей при термомеханическом классе сварочных процессов?
2. Как и с какими целями можно регулировать термический цикл сварки?
3. Рассчитать площадь металла шва при РДС электродом диаметром 5 мм на номинальном токе со скоростью 12 м/с, если встык свариваются пластины толщиной 6 мм, а коэффициент наплавки равен 8 г/А·ч.

#### Вариант 12

1. Характер установления межатомных связей при сварке трением.
2. Необходимость и пути снижения скорости охлаждения при сварке углеродистых и низколегированных сталей.
3. Определить площадь металла шва при сварке в  $\text{CO}_2$  стали толщиной 8 мм встык проволокой диаметром 1,6 мм. Режим сварки: величина тока – 380А, напряжение – 34В, скорость сварки – 24 м/ч, коэффициент наплавки – 15 г/А·ч.

#### Вариант 13

1. Технологические разновидности дуговой сварки.
2. Как влияет введение дополнительного металла (в виде железного порошка, рубленой или сплошной дополнительной присадочной проволоки) в сварочную ванну на геометрию сварного шва, к.п.д. наплавки и проплавления, если не изменять режим сварки?

3. Выбрать режим сварки в  $\text{CO}_2$  стали толщиной 8 мм, обеспечивающий получение катета шва 6 мм при скорости сварки 25 м/ч и скорости охлаждения не более  $12^\circ\text{C}/\text{с}$ . Коэффициент наплавки 15 г/А·ч.

#### Вариант 14

1. Физическая (принципиальная) свариваемость металлов.
2. Как повлияет введение щелочных или щелочно-земельных элементов на производительность сварки, если величина тока и длина дуги остаются прежними?
3. Как повлияет предварительный подогрев стали 35ХМА (температуру подогрева определить по эквиваленту углерода) толщиной 20 мм на длительность пребывания металла при температуре интенсивного роста аустенитного зерна. Сварка ручная дуговая электродом диаметром 4 мм на номинальном токе со скоростью 12 м/ч.

#### Вариант 15

1. Энергия активации: понятие, ее виды.
2. Способы первоначального возбуждения дуги при сварке плавящимся и неплавящимся электродом.
3. Как изменится величина ЗТВ при сварке под флюсом стали 12Х1МФ толщиной 30 мм, если применить предварительный и сопутствующий подогрев, величину которого определить по эквиваленту углерода. Режим сварки: проволока диаметром 3 мм, величина тока – 400 А, напряжения 32В, скорость сварки – 42 м/ч.

#### Вариант 16

1. Процесс образования сварных соединений при сварке трением. Характер установления межатомных связей.
2. Тепловые характеристики сварочной дуги.
3. Выбрать режим сварки (диаметр электрода, ток и напряжение дуги, температуру подогрева), который бы обеспечил получение сварного соединения из стали 30ХМ без трещин, если критическая скорость охлаждения  $170^\circ\text{C}/\text{с}$ , скорость сварки – 18 м/ч, катет шва – 6 мм, коэффициент наплавки – 15 г/А·ч, толщина металла – 20мм.

#### Вариант 17

1. Термическая ионизация газа. Эффективный потенциал ионизации, его влияние на температуру столба дуги.
2. Негативные процессы, протекающие в ЗТВ при сварке сталей плавлением.
3. Определить коэффициент наплавки и к.п.д. сварки при автоматической сварке стали в  $\text{CO}_2$  проволокой диаметром 2 мм, если величина тока составляет 400А, напряжение дуги – 35В, скорость сварки – 24 м/ч, площадь наплавки –  $0,32\text{ см}^2$ , проплавления –  $0,60\text{ см}^2$ .

#### Вариант 18

1. Технологические разновидности дуговой сварки.

2. Способы расчетного и экспериментального определения площадей наплавки и проплавления при заданных режимах сварки.
3. Определить ширину участка полной закалки при сварке встык стали 20 толщиной 6 мм в углекислом газе на следующих режимах: диаметр электрода – 1,4 мм, величина тока – 260А, напряжение дуги – 26В, скорость сварки – 15 м/ч.

## **Лабораторные работы по дисциплине «Теории сварочных процессов»**

### **1. Изучение дугового разряда между угольными электродами**

**Цель работы:**

Знакомство с дуговым разрядом, его строением.

Овладение методикой снятия статических характеристик электрической дуги.

### **2. Исследование эластичности сварочной дуги**

**Цель работы:**

Изучить методику определения эластичности сварочной дуги.

Определить влияние компонентов электродного покрытия (флюса) на эластичность сварочной дуги.

Определить влияние электрических параметров сварочной цепи на эластичность сварочной дуги.

### **3. Определение эффективной тепломощности сварочных источников тепла калориметрическим методом**

**Цель работы:**

Овладеть методикой определения эффективной тепломощности сварочных источников тепла калориметрическим методом.

Вычислить эффективный к.п.д. процесса нагрева изделия при сварке.

Выяснить причины, влияющие на величину эффективного к.п.д.

### **4. Исследование проплавления изделия при дуговой сварке**

**Цель работы:**

Овладеть методикой определения расчетного и экспериментального термического к.п.д. процесса проплавления, площадей проплавления и наплавки. Изучить влияние параметров режима сварки на производительность наплавки и проплавления.