

Министерство образования и науки, молодежи и спорта Украины
Донбасская государственная машиностроительная академия

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению контрольных заданий
по дисциплине «Теория сварочных процессов»
для студентов специальности 6.050504
«Технологии и оборудования сварки»
для заочного отделения

Утверждено
на заседании кафедры ОиТСП
Протокол №20 от 05.06.2012г.

Краматорск 2012

УДК 621.791

Методические указания к выполнению контрольных заданий по дисциплине «Теория сварочных процессов» для студентов специальности 6.050504 «Оборудование и технология сварки» заочного отделения / Сост. В. М. Карпенко - Краматорск, ДГМА, 2000. - с.

Содержат общие методические указания, список рекомендуемой литературы, темы для самостоятельного изучения, вопросы для самоконтроля.

Составители: доц. Карпенко В.М.

Отв. за выпуск Богуцкий А.А.

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Курс «Теория сварочных процессов» посвящен изучению физических и физико-химических явлений, протекающих при сварке металлов: окислительно-восстановительных процессов в жидком металле, кристаллизация металла, образования в металле сварных швов горячих и холодных трещин, пор, взаимодействия между фазами.

Сварочные процессы довольно сложны и разнообразны. Для изучения курса «Теория сварочных процессов» необходимо знать теоретические основы физической химии, физики металлов, металловедения, теплотехники, теории металлургических процессов и т.д.

Цель методических указаний – оказать помощь студентам-заочникам при самостоятельном изучении дисциплины и выполнении контрольной работы.

Выполнять контрольную работу следует после изучения всех тем определенной части дисциплины, усвоив необходимые законы и зависимости, поняв их физическую сущность.

Рабочей программой предусмотрено изучение дисциплины в весеннем семестре на 4-м курсе. Ориентировочное распределение учебных занятий следующее:

Лекции, ч	- 12
Контрольная работа, шт	- 1
Лабораторная работа, ч	- 4
Экзамен, шт	- 1

Вариант контрольной работы выбирают по одной или двум последним цифрам шрифта студента. Контрольные работы рассчитаны на одну группу. В некоторых случаях варианты задания выбирает преподаватель.

При совпадении контрольных вопросов у студентов переписывание друг у друга не допускается.

Программа разбита на темы. Для темы приведено содержание, программа, методические указания, вопросы для самопроверки. В контрольных работах при решении задач единицы физико-химических величин должны быть в международной системе (СИ), если даже в описываемом источнике применены старые единицы.

По субботам в соответствии с расписанием для студентов-заочников преподаватели, ведущие курс, проводят консультации по дисциплине «Теория сварочных процессов» как по теоретической части, так и по решению задач.

Список литературы

1 Петров Г.Л., Тумарев А.С. Теория сварочных процессов. – М.: Высш. школа, 1977. – 392 с.

2 Теория сварочных процессов / Под ред. проф. В.В.Фролова. – М.: Высш. школа, 1970. – 592 с.

- 3 Багрянский К.В., Добротина З.А., Хренов К.К. Теория сварочных процессов. – Киев.: Вища школа, 1976. – 424 с.
- 4 Кох Б.А. Основы термодинамики металлургических процессов сварки. – Л.: Судостроение, 1975. – 233 с.
- 5 Сварка в машиностроении: Справочник: В 4 т. / Ред. кол.: Г.А.Николаев (предс.) и др. – М.: Машиностроение, 1978. – Т.1. – 321 с.
- 6 Волченко В.Н. Источники энергии сварочных процессов. – М.: Машиностроение, 1971. – 75 с.
- 7 Лесков Г.И. Электрическая сварочная дуга. М.: Машиностроение, 1970. – 335 с.

Дополнительная литература

- 8 Рыкалин Н.Н. Источники энергии для сварки // Сварочное производство. - 1974. - №11. - С. 52-57.
- 9 Кох Б.А. Термический цикл электрошлаковой сварки // Сварочное производство. - 1962. - №1. - С.1-4.
- 10 Мельбард С.Н. Температурное поле при электрошлаковой сварке // Сварочное производство. - 1960. - №9. - С.5-7.
- 11 Патон Б.Е., Лесков Г.И., Живача Л.И. Специфика образования шва при электронно-лучевой сварке // Автоматическая сварка. – 1976. - №3. - С.1-5.
- 12 Рыкалин Н.Н., Бекетов А.И. Расчет термического цикла околошовной зоны // Сварочное производство. – 1967. - №9. - С.22-25.
- 13 Рыкалин Н.Н., Кулагин И.Д., Николаев А.В. Тепловые характеристики взаимодействия плазменной струи с нагреваемым телом // Автоматическая сварка. – 1963. - №6. - С. 3-13.
- 14 Шаманин М.В., Петров Г.Л. О первичной кристаллизации металла сварочной ванны // Автоматическая сварка. – 1968. - №1. - С. 1-5.
- 15 Ерохин А.А. Кинематика металлургических процессов дуговой сварки. - М.: Машиностроение, 1964. - 256 с.
- 16 Ерохин А.А. Основы сварки плавлением. Физико-химические закономерности. - М.: Машиностроение, 1973. - 448 с.
- 17 Походня И.К. Газы в сварных швах. - М.: Машиностроение, 1972. - 256 с.
- 18 Подгаецкий В.В. Неметаллические включения в сварных швах. - М.: Машгиз, 1962. - 85 с.
- 19 Прохоров Н.Н. Физические процессы в металлах при сварке. - М.: Металлургия. - Т.1. - 1968. - 695 с.
- 20 Фрумин И.И. Автоматическая электродуговая наплавка. - Харьков: Металлургиздат, 1961. - 421 с.
- 21 Подгаецкий В.В., Кузьменко В.Г. Сварочные шлаки. – Киев: Наукова думка, 1988. – 251 с.
- 22 Потапов Н.Н. Основы выбора флюсов при сварке сталей. – М.: Машиностроение, 1979. – 169 с.

Темы для самостоятельного изучения

Тема 1. Источники энергии сварочных процессов

- Газовое пламя, электрическая сварочная дуга;
 - лазерный луч, электронный луч, световой луч, электрошлаковый источник, источник нагрева при ТВЧ, при сварке взрывом, контактной сварке.
- [6, 8, 9, 11, 13]

Методические указания

Источники энергии в дисциплине «Теория сварочных процессов» рассматриваются с точки зрения нагрева ими изделия, его проплавления, влияния на околошовную зону. Поэтому при изучении источников энергии следует обратить внимание на принцип их работы, концентрацию теплоты и математическую схему источника и процесса односторонней сварки и наплавки на массивное тело, на применимость известных простейших мгновеннодействующих источников нагрева. При изучении материала об электрической сварочной дуге следует рассмотреть ее как нормально-дуговой источник нагрева.

Вопросы для самопроверки

- 1 Физическая сущность каждого из источников энергии.
- 2 Особенности образования сварного соединения при сварке каждым из источников энергии.
- 3 Каково влияние коэффициента концентрации теплоты на выбор схемы источника нагрева и процесса сварки?
- 4 Зачем нужны специальные источники электрической энергии?

Тема 2. Физические процессы в сварочной дуге

- Ионизация газов в размерном пространстве;
- эмиссия электронов из катода;
- вольтамперные характеристики сварочной дуги;
- физические процессы в областях дугового разряда;
- энергетический баланс в этих областях;
- перенос металла через дуговой промежуток;
- влияние магнитных полей на дуговой разряд;
- сварочная дуга переменного тока.

[1 – 3, 7, 19, 20]

Методические указания

При изучении этой темы следует уделить внимание понятию ионизации чистых газов и их смесей. Определить работу и потенциал ионизации (для смеси – эффективный потенциал), влияние на него природы оксидов.

Определить методы ионизации, особое внимание обратить на термическую ионизацию, уравнение Саго для определения степени ионизации.

Рассмотреть термическую и автоэлектронную эмиссию электронов из катода, уравнение Ричарда-Дешмана применительно к обоим видам эмиссии, определить работу эмиссии, влияние чистоты и природы катода на работу эмиссии.

Изучить области вольтамперной характеристики для различных дуг. Провести анализ уравнения Г.Айртон.

Освоить физические процессы в прикатодной, прианодной областях, а также в столбе дуги. Определить причину высокой напряженности электрического поля в приэлектродных областях, температуру столба дуги, формулу К.К.Хренова для ее определения.

В зависимости от происходящих физических процессов в различных зонах дугового разряда рассмотреть перенос энергии и на базе этого составить энергетический баланс.

Перенос металла характеризует многие свойства сварного шва, поэтому имеет важное значение в теории сварки. Здесь надо изучить виды переноса, силы, действующие на каплю, висющую на торце электрода, влияние режимов сварки на перенос электродного металла, методы регулирования переноса металла.

Изучить влияние поперечного и продольного магнитного поля, а также влияние ферромагнитных масс на отклонение зарядов в разрядном промежутке, практическое значение этого явления.

Ознакомиться с изменениями формы кривых напряжения на дуге и сварочного тока в течение каждого периода их перемены, причины перерывов в горении дуги, методы стабилизации дуги на переменном токе.

Вопросы для самопроверки

- 1 Что называют ионизацией газов?
- 2 Чем отличается ионизация чистого газа от ионизации смеси?
- 3 Что называется эмиссией электродов из катода?
- 4 Какие процессы протекают в прикатодной, прианодной области, в столбе дуги?
- 5 Что называется вольтамперной характеристикой сварочной дуги? Какие она имеет области?
- 6 Какие Вы знаете виды переноса электродного металла через дуговой промежуток?
- 7 Какие силы действуют на каплю, висющую на торце электрода?
- 8 Какие существуют методы измельчения электродных капель при сварке?
- 9 Как влияют условия сварки (газовая среда, тип электродного покрытия) на перенос электродного металла.
- 10 Какова практическая ценность знаний влияния магнитных полей на сварочную дугу?

11 Особенности сварной дуги переменного тока и вытекающие из них методы ее стабилизации.

Тема 3. Металлургические процессы при сварке

- Растворимость газов при сварке (водорода, кислорода, азота), влияние газов на свойства металлов;
- испарение металлов при сварке (чистых и в растворах), упругость пара;
- окисление металлов при сварке газообразным кислородом, упругость диссоциации оксида;
- раскисляющая способность примесей, графики В.И.Дятлова.
[1 – 4, 15 –17, 19, 20]

Методические указания

Рассмотреть общие вопросы растворимости газов в металлах при сварке, законы Генри и Сивертса. Растворимость атомарного и молекулярного водорода в металле. Влияние температуры и аллотропического состояния металла на растворимость водорода. Атомно-водородная сварка. Влияние водорода на свойства металла шва.

Изучить испарение металлов при сварке в чистом виде и в растворах. Определить упругость пара и ее влияние на испарение металла.

Освоить окисление металлов при сварке газообразным кислородом для чистого металла и металла, находящегося в растворе. Определить упругость диссоциации оксида чистого металла и металла в растворе, окислительную способность металлов и влияние температуры на нее.

Определить понятие раскисляющей способности химических элементов, на примере графиков В.И. Дятлова показать зависимость раскисляющей способности элементов в зависимости от температуры. Показать важность раскисления металла кремнием для подавления реакции раскисления углеродом.

Вопросы для самопроверки

- 1 Определить основные газы, которые могут быть в зоне действия сварочной дуги, их растворимость в металлах.
- 2 В чем заключаются законы Генри и Сивертса?
- 3 Определить механизм растворения атомарного водорода при сварке.
- 4 Построить зависимость растворимости водорода от температуры и аллотропического состояния металла.
- 5 В чем заключается особенность растворения молекулярного водорода?
- 6 Каково влияние растворенного водорода на свойства металла сварных швов?
- 7 Определить механизм растворения кислорода в металле сварных швов.

- 8 Построить зависимость растворимости кислорода от температуры и аллотропического состояния металла.
- 9 Каково влияние растворенного кислорода на свойства металла сварных швов?
- 10 Каков механизм растворимости азота в металле при сварке?
- 11 Как влияют на растворимость азота температура и аллотропическое состояние металла?
- 12 Каково влияние растворенного азота на свойства металла сварных швов?
- 13 От каких факторов зависит испарение металлов при сварке?
- 14 Что такое упругость пара? Как через упругость пара определить склонность металла к испарению?
- 15 Определить упругость пара металла, находящегося в растворе.
- 16 Как происходит окисление металла газообразным кислородом?
- 17 Что такое упругость диссоциации оксида?
- 18 Как через упругость диссоциации оксида можно характеризовать окислительную способность металла?
- 19 Как влияет температура на окислительную способность металлов?
- 20 Что называется раскисляющей способностью химических элементов?
- 21 Как влияет температура на раскисляющую способность химических элементов?

Тема 4. Кристаллизация металла при сварке

- Особенности кристаллизации металла сварочной ванны;
 - геометрические представления о первичной кристаллизации металла при сварке;
 - кристаллизация при многопроходной сварке, при электрошлаковой сварке;
 - вторичная кристаллизация;
 - теория образования горячих трещин при сварке, методы испытания металлов на стойкость против образования горячих трещин, методы их предотвращения;
 - теория образования холодных трещин в швах и околошовной зоне, методы испытания металлов на стойкость против образования холодных трещин и методы их предотвращения;
 - теория образования пор при сварке, методы их предупреждения;
 - образование сегрегаций и неметаллических включений при сварке.
- [1 – 3, 14 – 18, 20]

Методические указания

Определить понятие первичной кристаллизации, особенности кристаллизации металла сварочной ванны, скорость кристаллизации, геометрические представления о первичной кристаллизации, образование транскристаллитной структуры при многопроходной сварке, особенности

первичной структуры при электрошлаковой сварке, вторичную кристаллизацию.

Освоить механизмы образования кристаллизационных и композиционных горячих трещин, методы испытания металлов на склонность к образованию горячих трещин и методы их предупреждения (металлургические, технологические и конструктивные).

Изучить понятие холодных трещин, теории, объясняющие их образование, теории задержанного разрушения, технологические и машинные методы испытания металлов на склонность к холодным трещинам, методы предупреждения холодных трещин.

Изучить процессы, которые вызывают образование газовых пор при сварке (образование газового зародыша, его рост и всплывание), факторы, влияющие на фактическую пористость металла при сварке, методы предупреждения пористости.

Вопросы для самопроверки

- 1 Какие отличия в кристаллизации металла при сварке от кристаллизации его в изложницах?
- 2 Почему направление и скорость роста кристалла зависят от скорости сварки?
- 3 Что называется первичной кристаллизацией, а что вторичной?
- 4 Какие факторы влияют на образование кристаллизационных горячих трещин?
- 5 Какие основные причины образования полигонизационных горячих трещин?
- 6 Какие Вы знаете качественные методы испытания на чувствительность металла сварных швов к горячим трещинам?
- 7 Какие количественные методы применяются для испытания шлаков на склонность к горячим трещинам?
- 8 Какие меры применяются для предупреждения горячих трещин?
- 9 В чем заключается закалочная теория образования холодных трещин?
- 10 В чем заключается водородная теория предупреждения холодных трещин?
- 11 Какие Вы знаете технологические и машинные методы испытания на чувствительность металла сварных соединений к холодным трещинам?
- 12 Какие вы знаете меры предупреждения холодных трещин?
- 13 Определить виды холодных трещин в металле сварных соединений.
- 14 Какие трещины называются холодными?
- 15 Какие теории объясняют задержанное разрушение металла при сварке?
- 16 Каков механизм образования газового зародыша в сварочной ванне?
- 17 Определить условия роста газового зародыша в сварочной ванне.
- 18 Определить условия всплывания газового пузыря в сварочной ванне.
- 19 Назвать меры предупреждения пористости металла при сварке.
- 20 Что такое сегрегации в металле сварных швов?
- 21 Каков механизм образования ликваций в металле сварных швов?
- 22 Какова природа неметаллических включений в металле сварных швов?

- 23 Какова структура и состав неметаллических включений в металле сварных швов?
- 24 Какие меры применяют для снижения количества неметаллических включений в металле сварных швов?
- 25 Как влияют форма и количество неметаллических включений на свойства металла сварных швов?

Тема 5. Сварочные шлаки

- Назначение шлаковой фазы при сварке, ее структура;
- физические свойства сварочных шлаков;
- взаимодействие между шлаком и металлом при сварке;
- легирование металлов при сварке.

[1-3, 20-22]

Методические указания

Изучить основные функции сварочных шлаков, их составы, строение и структуру, физические свойства в зависимости от их кислотности, состава или температуры (плотность, вязкость, температура плавления), взаимодействие между шлаком и металлом (окислительно-восстановительные процессы) при их нагреве и остывании, влияние состава шлака на содержание в металле сварочных швов серы и фосфора, легирование металл, коэффициент перехода легирующего элемента, способы легирования при сварке.

Вопросы для самопроверки

- 1 Каковы основные функции сварочных шлаков?
- 2 Какие Вы знаете теории строения сварочных шлаков?
- 3 Как определяется кислотность сварочных шлаков?
- 4 Что такое плотность сварочных шлаков и как ее рассчитать по их составу?
- 5 Что такое диапазон плавности шлаков?
- 6 Что такое вязкость сварочных шлаков?
- 7 Как вязкость шлаков зависит от температуры?
- 8 Как определяется вязкость шлаков?
- 9 Описать взаимодействие шлаков с металлами при высоких температурах.
- 10 Сущность рафинирования металла сварных швов на серу через сварочные шлаки.

Тема 6. Влияние термического цикла сварки

- Понятие околошовной зоны –зоны термического влияния;
- особенности влияния термического цикла сварки на свойства металла околошовной зоны;
- околошовная зона при сварке низкоуглеродистой стали;
- околошовная зона при сварке закаливающихся сталей.

[1 – 3, 1-, 12]

Методические указания

Изучить влияние термического цикла сварки на формирование структуры металла шва, зоны оплавления и околошовной зоны, определить влияние на нее температуры, скорости охлаждения и характерные участки околошовной зоны. Рассмотреть строение околошовной зоны при сварке низкоуглеродистой и закаливающейся стали.

Вопросы для самопроверки

- 1 Что называется зоной сплавления?
- 2 Определить понятие околошовной зоны и ее значение при сварке металлов.
- 3 Определить влияние охлаждения по термическому циклу сварки на характерные участки околошовной зоны.
- 4 Из каких участков состоит околошовная зона при сварке низкоуглеродистой стали?
- 5 Из каких участков состоит околошовная зона при сварке закаливающихся сталей?
- 6 Методы улучшения структуры металла и его свойств при сварке закаливающихся сталей.

Задача 1

Определить равновесную концентрацию водорода в металле шва при аргонодуговой сварке, если учесть, что аргон содержит в своем составе влагу. Принять, что металл шва представляет собой чистое железо. Содержание влаги в аргоне, температура системы и концентрация кислорода в шве указаны для каждого варианта (табл. 1).

Таблица 1

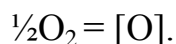
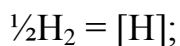
Показатели	В а р и а н т					
	1	2	3	4	5	6
Температура T, К	1800	1810	1820	1830	1840	1850
[% O]	0,020	0,023	0,025	0,027	0,030	0,032
Содержание влаги в аргоне, г\м ³	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,035
Показатели	В а р и а н т					
	7	8	9	10	11	12
Температура T, К	1860	1870	1880	1890	1900	1910
[% O]	0,035	0,037	0,040	0,042	0,045	0,050
Содержание влаги в аргоне, г\м ³	0,045	0,055	0,65	0,05	0,06	0,07

Методические указания к решению задачи по растворимости водорода

Для сварочных процессов практический интерес представляет случай, когда расплавленный металл контактирует с газовой фазой, имеющей в своем металле влагу (пары воды), например, при сварке в аргоне, который может содержать некоторое количество влаги. Водяной пар в условиях сварки разлагается, а образовавшийся кислород и водород растворяются в металле:



Эта реакция включает в себя промежуточные:

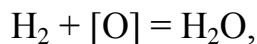


Константа равновесия реакции растворения водорода зависит от температуры и определяется уравнением

$$\lg K_{\text{H}} = \lg \frac{a_{[\text{H}]}}{p_{\text{H}}^{1/2}} = -\frac{1900}{T} - 1,577.$$

Поскольку растворимость водорода достаточно мала (влаги в аргоне содержится мало), то для чистого железа можно принять $a_{[\text{H}]} = [\% \text{H}]$. Жидкое железо сварочной ванны имеет большее сродство к кислороду, поэтому в результате взаимодействия в газовой фазе кислорода остается мало. Растворимость водорода при этом зависит от концентрации кислорода в стали.

Растворение в рассматриваемой системе определяется реакцией



константа равновесия которой имеет вид

$$\lg K_{\text{a}} = \lg \frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{p_{\text{H}_2} \cdot a_{[\text{O}]}} = \frac{6728}{T} - 2,976.$$

Растворимость водорода определяется по формуле

$$[\%H] = K_H \sqrt{\frac{P_{H_2O}}{1 + K_a a_{[O]}}};$$

где P_{H_2O} - парциальное давление водяного пара в исходной газовой смеси;

$a_{[O]}$ - активность кислорода в металле, которую с небольшой погрешностью можно принять равной его концентрации.

Таким образом, для расчета растворимости водорода по этой формуле необходимо знать величину P_{H_2O} . Определение парциального давления водяного пара основано на известном содержании P_{H_2O} в аргоне. Прежде всего определяется объем водяного пара в газовой фазе, состоящей в основном из аргона. Предположим, что в 1 м^3 газа содержится $0,1 \text{ г}$ влаги, тогда объем влаги

$$V_{H_2O} = \frac{0,1}{M} 0,0224 \text{ м}^3,$$

где M – молекулярная масса влаги;

$0,0224$ – объем грамм-молекулы газа.

Для расчета парциального давления водяного пара P_{H_2O} можно принять давление газовой фазы объемом 1 м^3 равным 10^5 Па . Тогда P_{H_2O} пропорционально объему влаги в общем объеме газовой фазы.

Например, $V_{H_2O} = 0,002 \text{ м}^3$, следовательно,

$$P_{H_2O} = \frac{10^5 0,02}{1} = 2000 \text{ Па}.$$

Задача 2

Определить равновесную концентрацию раскислителя при изменении остаточного содержания кислорода в металле шва. Температура постоянная. Построить график зависимости содержания кислорода от равновесной концентрации раскислителя.

Таблица 2

Показатели	В а р и а н т					
	1	2	3	4	5	6
Температура T, К	180	185	190	180	1900	2000
Раскислитель	Mn			Si		
Содержание кислорода, %	0,20; 0,15; 0,10; 0,05			0,300; 0,225; 0,150; 0,075		

Окончание таблицы 2

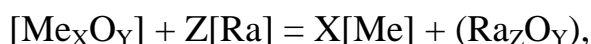
Показатели	В а р и а н т					
	7	8	9	10	11	12
Температура Т, К	1800	1900	2000	1800	1900	2000
Раскислитель	Ti			Al		
Содержание кислорода, %	0,020; 0,015; 0,010; 0,005			0,00025; 0,00020; 0,00015; 0,00010		

Расчет произвести без применения активностей.

Методические указания
к решению задачи по раскисляющей способности
химических элементов

Поскольку газы в сварных швах приводят к ухудшению их свойств и работоспособности, концентрация газов должна быть минимальной.

Применительно к кислороду это обеспечивается раскислением металла. Раскисление может осуществляться удалением кислорода с помощью углерода и металлов, имеющих большее родство к кислороду (Mn, Si, Ti, Al и др.). Такой вид раскисления называется осаждением. Удаление кислорода в результате взаимодействия металла сварочной ванны со шлаком – диффузионным раскислением; восстановлением металла при его контактировании с газовой фазой. В общем виде реакция может быть представлена так:



где $[Me_xO_y]$ - концентрация оксида;

Ra - раскислитель.

При осаждающем раскислении продукты реакции могут получаться как в конденсированном (твердом или жидком), так и в газообразном состоянии. Раскисляемый металл должен находиться в жидком состоянии. Металлы – раскислители вводят в сварочную ванну через электродный металл, покрытие электродов, флюс, сердечник порошковой проволоки или ленты. Углерод через сварочные материалы специально не вводят, а раскисление получается за счет элемента, содержащегося в свариваемом и электродном металлах. При этом углерод выступает как раскислитель лишь при высоких температурах – в каплях металла, в электродном пятне сварочной ванны, но и этот процесс является нежелательным, поскольку он уменьшает концентрацию основного легирующего элемента – углерода и, кроме того, дает газообразную окись углерода, приводящую к образованию пор.

Реакция



должна подавляться введением других раскислителей.

Процесс раскисления стали более активным раскислителем в металлургии хорошо изучен и представляется следующими выражениями:

$$\begin{aligned}
 &[\text{FeO}] + [\text{Mn}] = [\text{Fe}] + [\text{MnO}]; \\
 &\lg K_{\text{Mn}} = \lg [\% \text{O}] [\% \text{Mn}] = -25270/T + 12,55. \\
 &2[\text{FeO}] + [\text{Si}] = 2[\text{Fe}] + [\text{SiO}_2]; \\
 &\lg R_{\text{Si}} = \lg [\% \text{O}]^2 [\% \text{Si}] = -48174/T + 21,63. \\
 &2[\text{FeO}] + [\text{Ti}] = 2[\text{Fe}] + [\text{TiO}_2]; \\
 &\lg [K_{\text{Ti}}] = \lg [\% \text{O}]^2 [\% \text{Ti}] = 30700/T + 10,33. \\
 &3[\text{FeO}] + 2[\text{Al}] = 3[\text{Fe}] + [\text{Al}_2\text{O}_3]; \\
 &\lg K_{\text{Al}} = \lg [\% \text{O}] [\% \text{Al}]^2 = -58715/T + 16,5.
 \end{aligned}$$

Марганец среди рассматриваемых раскислителей – самый слабый, поэтому в процессе раскисления создаются большие остаточные концентрации Mn, но этот элемент кроме всего прочего оказывает десульфизирующее воздействие на металл и тем самым уменьшает опасность образования горячих трещин при сварке.

Кремний является более активным раскислителем, чем марганец. Тем не менее введение кремния в сварочную ванну приходится ограничивать, так как оксиды кремния увеличивают кислотность шлака и делают его вязким.

Титан – еще более сильный раскислитель, чем марганец и кремний. Образующийся кислотный оксид TiO_2 нерастворим в металле и легко вступает в комплексы, переходящие в шлак. Кроме того, титан полезен как сильный модификатор, т.е. элемент, способствующий измельчению зерна металла.

Алюминий – наиболее сильный раскислитель среди рассматриваемых металлов, поэтому остаточные (равновесные) содержания Al в металле минимальны. Недостаток алюминия как раскислителя – его способность давать в шве мельчайшие неметаллические включения.

Приведенные выше уравнения справедливы для случая раскисления железа одним элементом, но следует помнить, что при комплексном раскислении раскислительная способность Mn, Si, Ti и Al возрастает.

Несколько большая точность расчетов при раскислении одним элементом может быть получена при пользовании уравнениями для определения константы равновесия, учитывающими коэффициенты активности элементов. Примером могут служить реакции раскисления железа марганцем и кремнием с образованием твердых оксидов:

$$\begin{aligned}
 &[\text{Mn}] + [\text{O}] = (\text{MnO}) \\
 &\lg K_{\text{Mn}} - \lg \frac{[\% \text{O}] [\% \text{Mn}] \bar{f}_{\text{O}}^{\text{Mn}} \bar{f}_{\text{Mn}}^{\text{Mn}}}{a_{(\text{MnO})}} = -\frac{15065}{T} + 6,25,
 \end{aligned}$$

где $\bar{f}_{\text{O}}^{\text{Mn}}, \bar{f}_{\text{Mn}}^{\text{Mn}}$ – коэффициенты активности соответственно кислорода и марганца;
 $a_{(\text{MnO})}$ – активность оксида марганца.

Активность чистых оксидов равна единице.

Задача 3

Определить концентрацию легирующего элемента, вводимого через электродную проволоку, в пяти слоях наплавки. Построить график зависимости изменения содержания элемента в наплавке с увеличением номера слоя. Определить номер слоя, дальнейшее увеличение которого практически не влияет на его состав (с учетом сотых долей процента), т.е. состав основного металла перестает оказывать действие на состав наплавки.

Таблица 3

Показатели	В а р и а н т											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Содерж. элемента в сновн. металле	0,10	0,01	0,03	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,02	0,03	0,05	0,07
Содерж. элемента в электр. металле	3,5	1,5	1,7	2,0	2,3	2,5	2,7	2,6	5,0	4,0	4,5	5,5
Доля осн. металла в наплавке	0,65	0,50	0,55	0,60	0,70	0,61	0,59	0,57	0,63	0,64	0,58	0,62

Окончание таблицы

Коэф. перехода элемента из осн. металла	0,95	0,71	0,84	0,85	0,63	0,70	0,60	0,72	0,55	0,52	0,45	0,51
Коэф. перехода элемента из электрода	0,90	0,60	0,77	0,79	0,58	0,60	0,52	0,66	0,48	0,45	0,37	0,47

Методические указания
к решению задачи по легированию металла сварного шва,
в том числе при многослойной наплавке

В сварочной практике процессы легирования можно рассчитывать с помощью коэффициентов перехода. Коэффициентом перехода η называют

отношение концентрации элемента в шве к его исходной концентрации. Принято различать коэффициенты перехода элемента из основного металла и электрода, так как эти компоненты сварочного процесса подвергаются, в частности, различным тепловым воздействиям. Значение коэффициента перехода зависит от условий сварки: способа, режима, концентрации элементов, марки флюса или покрытия и пр. Поэтому коэффициенты перехода следует использовать лишь для тех условий, в которых они определялись. Погрешность расчетов с использованием коэффициентов перехода может достигать до 20%. Уравнение для вычисления степени легирования шва элементом имеет вид:

$$[\%R]_{\text{шва}} = [\%R]_{\text{О.М.}} \gamma \eta' + [\%R]_{\text{Э}} (1 - \gamma) \eta'',$$

где η' , η'' - коэффициент перехода элемента соответственно из основного металла в шов и электродного металла в шов. Как правило, $\eta' > \eta''$;

$[\%R]_{\text{О.М.}}$, $[\%R]_{\text{Э}}$ - содержание элемента соответственно в основном и электродном металле;

γ - доля основного металла в шве, $\gamma = F_{\text{пр}} / (F_{\text{пр}} + F_{\text{н}})$,
где $F_{\text{пр}}$, $F_{\text{н}}$ - площадь поперечного сечения соответственно основного и наплавленного металла.

Доля основного металла в шве γ может быть определена расчетным путем. Для этого используются уравнения:

$$F_{\text{пр}} = \eta_t \frac{q_{\text{и}}}{v_{\text{св}} \gamma \rho H_{\text{пл}}};$$

$$F_{\text{н}} = \frac{\alpha_{\text{н}} I_{\text{св}}}{3600 V_{\text{св}} \rho},$$

где η_t - термический КПД процесса проплавления основного металла;

$q_{\text{и}}$ - эффективная мощность источника энергии;

$V_{\text{св}}$ - скорость сварки, см/с;

γ - плотность металла (для низкоуглеродистых и низколегированных сталей $\gamma = 7,8 \text{ г/см}^3$);

$H_{\text{пл}}$ - энтальпия металла при температуре плавления (для низкоуглеродистых сталей $H_{\text{пл}} = 1380 \text{ Дж/с}$);

$I_{\text{св}}$ - сила сварочного тока, А.

Расчеты $[\%R]_{\text{шва}}$ по вышеприведенной формуле отличаются простотой и доступностью, так как в литературе приводятся данные о коэффициентах перехода.

Частным случаем расчета $[\%R]_{\text{шва}}$ может считаться определение концентрации какого-либо элемента при многослойной наплавке. Чем больше

слоев накладывается на основной металл, тем меньшее влияние на химический состав оказывает подложка.

Б.Д.Лебедев с учетом формулы для расчета $[\%R]_{\text{шва}}$ использовал теоретические разработки Хосун и Моригаки и предложил следующую формулу:

$$[\%R]_{\text{шва}} = [\%R]_э \eta'' + \gamma^n \{ [\%R]_{\text{О.М.}} \eta' - [\%R]_э \eta'' \},$$

где $[\%R]_{\text{шва}}$ – концентрация элемента в п-ом слое;

n – показатель степени, определяющий число наплавленных слоев.

Химический состав металла шва зависит не только от составов сварочных материалов, но и от режима сварки. Если стабилизировать составы сварочных материалов, возможные изменения химического состава могут быть объяснены только влиянием режима сварки:

$$[\%R]_{\text{шва}} = f[I_{\text{св}}, U_{\text{д}}, V_{\text{св}}].$$

Зависимости подобного рода известны.

Задача 4

Определить по формуле Международного института сварки степень основности указанного сварочного флюса. Химические составы флюса изменяются в некоторых пределах, расчет необходимо произвести дважды: при минимальном (по рецептуре) содержании основных оксидов и максимальном – кислых; при максимальном содержании основных оксидов и минимальном – кислых. Укажите, кислым или основным является флюс заданной марки

Таблица 4

Вариант	Марка флюса	Вариант	Марка флюса
1	АН-348А	7	АН-2
2	АН-348В	8	АН-3
3	АН-348АМ	9	Linde-20
4	ОСЦ-45	10	Linde-90
5	АН-60	11	ТА.:t.3 (Польша)
6	ФЦ-9	12	ТА,st.5(Польша)

Таблица 5 - Составы флюсов для сварки сталей

Флюс	Массовая доля оксида, %									
	SiO ₂	MnO	CaO	MqO	Al ₂ O ₃	CaF ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	FeO	K ₂ O+Na ₂ O
АН-348А	41,0-44,0	34,0-38,0	До 6,5	5,0-7,5	До 4,5	4,0-5,5	2,0	-	-	-
АН-348В	40,0-44,0	30,0-34,0	До 10,0	6,0-9,0	До 8,0	4,0-6,0	2,0	2,0-6,0	-	-
АН-348М	41,0-44,0	34,0-38,0	До 6,5	5,0-7,5	До 1,5	3,5-4,5	2,0	-	-	-
ОСЦ-45	38,0-44,0	38,0-44,0	До 6,5	До 2,5	До 5,0	6,0-9,0	2,0	-	-	-
АН-60	42,5-46,5	36,0-41,0	3,0-11,0	0,5-3,0	До 5,0	5,0-8,0	1,5	-	-	-
ФЦ-9	38,0-41,0	38,0-41,0	До 6,5	До 2,5	10,0-13,0	2,0-3,0	2,0	-	-	-
АН-2	48,0-50,0	14,5-15,5	28,0-30,0	-	-	2,5-3,5	-	-	-	-
АН-3	48,0-50,0	15,5-18,5	15,0-18,0	8,5-10,5	-	2,0-3,5	2,0	-	-	-
Linde-20 (США)	50,0-53,0	До 0,6	28,0-31,8	9,0-10,0	4,0-6,0	4,0	-	-	0,5	1,0-2,0
Linde-90 (США)	33,0-34,0	29,0-30,0	6,0-7,0	-	21-22	4,0-6,0	-	1,0	2,0	-
ТА.т.3 (Польша)	38,0-44,0	40,0-45,0	До 5,0	-	До 4,0	5,0-7,0	1,5	-	-	-
ТА.т.3 (Польша)	35,0-39,0	38,0-45,0	До 7,0	-	До 6,0	5,0-8,0	1,5	1,5-3,5	-	-

Методические указания
к решению задачи по взаимодействию шлака
и металла при сварке

Диффузионное раскисление металлов при сварке характеризуется тем, что оксид, находящийся в металле, переходит в шлак. Происходит перераспределение оксида между металлом и шлаком, которое подчиняется закону распределения:

$$L = \frac{(\text{FeO})}{[\text{FeO}]},$$

где L – константа распределения;
(FeO) - содержание оксида в шлаке;
[FeO] - содержание оксида в металле.

Для сварочных шлаков константа распределения закисы железа должна быть больше единицы, т.е. шлак должен растворять FeO лучше, чем металл. Из данных распределения следует, что при повышенных концентрациях в шлаке (FeO) может происходить окисление металла. Хотя формула дает лишь качественную сторону явления, но из нее следует, что взаимодействие металла и шлака зависит от содержания оксидов в последнем. При этом очень важен характер оксидов кислый, основной или амфотерный. В связи с этим введено понятие основности шлака B , которая формально, исходя из молекулярной теории, может быть представлена в виде

$$B = \frac{\sum (R_2O + RO)}{\sum RO_2},$$

где $\sum (R_2O + RO)$, $\sum RO_2$ – суммы оксидов в шлаке соответственно основных и кислых, мол %.

Шлаки считаются кислыми при $B < 1$, основными – при $B > 1$, нейтральными – при $B = 1$. Формальным это выражение для определения B является потому, что при взаимодействии металла и шлака важно не просто соотношение концентраций различных оксидов, а наличие свободных оксидов. При этом следует учитывать возможность образования в шлаке различных комплексных соединений.

В качестве примера Г.Л.Петров приводит 2 вида возможных соединений, образующихся при сварке: $FeO \cdot SiO_2$ и $(FeO)_2 \cdot SiO_2$. Таким образом, одна молекула оксида кремния может связать и одну и 2 молекулы FeO. Поэтому шлак, состоящий из 50 мол.% SiO_2 и 50 мол.% FeO, при $B = 1$ фактически будет кислым.

В формуле Международного института сварки химическая активность отдельных соединений в какой-то степени оценивается из соотношения

$$B = \frac{CaO + MgO + BaO + SrO + K_2O + Na_2O + CaF_2 + 0,5(MnO + FeO)}{SiO_2 + 0,5(Al_2O_3 + TiO_2 + ZrO_2)},$$

где CaO, BaO, ... - содержание химического соединения во флюсе, масс.%.

Задача 5

Определить, успевают ли всплыть шлаковые частицы со дна сварочной ванны глубиной 1 см, не учитывая перемешивания металла, для заданных условий сварки. Построить график зависимости скорости всплывания частиц от их радиуса

Таблица 6

Вариант	Плотность шлакового включения γ_2 , г/см ³	Вязкость металла η , Па·с	Время пребывания ванны в жидком состоянии, с
1	2,55	0,0010	8,0
2	2,60	0,0011	7,0
3	2,70	0,0012	9,0
4	2,80	0,0013	10,0
5	2,90	0,0014	9,0
6	3,00	0,0015	8,0
7	2,50	0,0010	7,5
8	2,65	0,0011	7,0
9	2,75	0,0012	6,0
10	3,00	0,0013	5,0
11	4,00	0,0014	8,0
12	4,30	0,0015	9,0

Окончание таблицы 6

Вариант	Радиус включения r , см
1	$6,0 \cdot 10^{-5}$; $6,2 \cdot 10^{-5}$; $6,4 \cdot 10^{-5}$; $6,6 \cdot 10^{-5}$; $6,8 \cdot 10^{-5}$.
2	$7,0 \cdot 10^{-5}$; $7,2 \cdot 10^{-5}$; $7,4 \cdot 10^{-5}$; $7,6 \cdot 10^{-5}$; $7,8 \cdot 10^{-5}$.
3	$8,0 \cdot 10^{-5}$; $8,2 \cdot 10^{-5}$; $8,4 \cdot 10^{-5}$; $8,6 \cdot 10^{-5}$; $8,8 \cdot 10^{-5}$.
4	$9,0 \cdot 10^{-5}$; $9,2 \cdot 10^{-5}$; $9,4 \cdot 10^{-5}$; $9,6 \cdot 10^{-5}$; $9,8 \cdot 10^{-5}$.
5	$4,0 \cdot 10^{-4}$; $4,1 \cdot 10^{-4}$; $4,2 \cdot 10^{-4}$; $4,3 \cdot 10^{-4}$; $4,4 \cdot 10^{-4}$.
6	$3,5 \cdot 10^{-4}$; $3,6 \cdot 10^{-4}$; $3,7 \cdot 10^{-4}$; $3,8 \cdot 10^{-4}$; $3,9 \cdot 10^{-4}$.
7	$3,0 \cdot 10^{-4}$; $3,1 \cdot 10^{-4}$; $3,2 \cdot 10^{-4}$; $3,3 \cdot 10^{-4}$; $3,4 \cdot 10^{-4}$.
8	$2,5 \cdot 10^{-4}$; $2,6 \cdot 10^{-4}$; $2,7 \cdot 10^{-4}$; $2,8 \cdot 10^{-4}$; $2,9 \cdot 10^{-4}$.
9	$2,0 \cdot 10^{-4}$; $2,1 \cdot 10^{-4}$; $2,2 \cdot 10^{-4}$; $2,3 \cdot 10^{-4}$; $2,4 \cdot 10^{-4}$.
10	$1,1 \cdot 10^{-4}$; $1,3 \cdot 10^{-4}$; $1,5 \cdot 10^{-4}$; $1,7 \cdot 10^{-4}$; $1,9 \cdot 10^{-4}$.
11	$6,0 \cdot 10^{-5}$; $7,0 \cdot 10^{-5}$; $8,0 \cdot 10^{-5}$; $9,0 \cdot 10^{-5}$; $10,0 \cdot 10^{-5}$.
12	$1,0 \cdot 10^{-5}$; $2,0 \cdot 10^{-5}$; $3,0 \cdot 10^{-5}$; $4,0 \cdot 10^{-5}$; $5,0 \cdot 10^{-5}$.

Методические указания

к решению задач по определению скорости всплывания
шлаковых частиц из металлической сварочной ванны

Капля, образующаяся при дуговой сварке покрытыми электродами, порошковыми самозащитными проволоками и другими способами, снаружи окутана шлаком. Обладая кинетической энергией, капли при попадании в сварочную ванну погружаются вглубь, где происходит разделение металла и шлака. Шлак может оказаться внутри сварочной ванны в результате раскислительных процессов. Шлаковые частицы стремятся всплыть на

поверхность ванны в связи со своей малой плотностью. Скорость всплывания частиц в спокойном жидком металле определяют по формуле Стокса:

$$V_{\text{вспл}} = 2,22r^2q (\gamma_1 - \gamma_2) \frac{1}{\eta},$$

где r – радиус включения, см;

q – $9,81 \text{ см/с}^2$ – ускорение свободного падения;

γ_1 – плотность металла, для чистого железа $\gamma_1 = 7,88 \text{ г/см}^3$;

γ_2 – плотность шлакового включения, г/см^3 ;

η – вязкость жидкого металла, Па·с.

Из этой формулы следует, что более всего влияет на скорость всплывания шлака размер его частиц, так как радиус включения входит в формулу во второй степени. При пользовании этой формулой следует учитывать, что в условиях сварки наблюдается интенсивное перемешивание жидкого металла, которое понижает точность расчетов. Формулой Стокса можно пользоваться лишь для ориентировочной оценки возможности удаления шлаковых частиц при сварке.

Задача 6

Рассчитать по методике Сефериана температуру предварительного подогрева для предотвращения холодных трещин при сварке

Таблица 7

Вариант	Марка стали	Толщина стали, мм	Химический состав стали, %					
			C	Mn	Cr	Ni	Mo	V
1	30ХН3А	50	0,33	0,60	0,90	3,15	-	-
2	40хМФА	40	0,44	0,70	1,10	-	0,30	0,16
2	20Н2М	55	0,25	0,70	-	1,90	0,30	-
3	40ХН	42	0,41	0,80	0,75	1,40	-	-
4	30ХГС	45	0,35	1,10	1,10	-	-	-
5	38Х2Н2МА	42	0,37	0,50	1,70	1,70	0,25	-
6	40ХН2МА	40	0,40	0,80	0,90	1,65	0,22	-
7	30ХГСН2А	45	0,33	1,30	1,20	1,80	-	-
8	30ХГН	38	0,43	1,10	0,80	1,00	-	-
9	40Х2Н2МА	42	0,42	0,60	1,65	1,75	0,30	-
10	38ХН3МА	36	0,40	0,50	1,20	3,25	0,25	-
11	38ХН3МФА	60	0,39	0,50	1,50	3,50	0,45	0,15

Методические указания
к решению задач по определению температуры предварительного
подогрева для предотвращения холодных трещин

Холодные трещины появляются после сварки при температурах ниже 420 К или после полного охлаждения в течение суток. Факторами, способствующими образованию холодных трещин, служат частичная или полная закалка, значительные количества водорода и растягивающие сварочные напряжения. Для низколегированных сварных соединений с Х-, V- и U-образными разделками японскими исследователями предложен параметр трещинообразования, учитывающий химический состав, содержание водорода и толщину металла:

$$P_w = C + \frac{(Si + Mn + Cr + Ni + Cn)}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B + \frac{[H]}{60} + \frac{K_o \delta}{40 \cdot 10^3},$$

где $[H]$ – содержание диффузионного водорода, $см^3/100г$;

K_o – коэффициент жесткости соединения;

δ – толщина металла, мм.

При $P_w < 0,285$ холодные трещины в сварных соединениях не образуются.

В тех случаях, когда существует возможность образования холодных трещин, следует идти по пути уменьшения жесткости конструкции, снижения содержания диффузионного водорода в шве и, наконец, предотвращения закалочных структур. Если уменьшить жесткость конструкции в большинстве случаев невозможно, так как ее размеры заданы чертежом, то воздействовать на количество водорода и образующиеся структуры можно условиями сварки. Так, Д.Сефериан предложил методику определения температуры предварительного подогрева для предотвращения холодных трещин. Прежде всего определяется эквивалент углерода:

$$C_{\Sigma} = C + \frac{Mn + Cr}{9} + \frac{Ni}{18} + \frac{Mo}{13}.$$

Затем вносится поправка на толщину свариваемого металла:

$$C'_{\Sigma} = 0,005 \delta C_{\Sigma}.$$

Тогда общий эквивалент углерода

$$C''_{\Sigma} = C_{\Sigma} + C'_{\Sigma} (1 + 0,005\delta),$$

а температура подогрева

$$T_{\text{под}} = 350 \sqrt{C_{\text{з}}'' - 0,25}.$$

Как следует из приведенных формул, Д. Сефериан не учитывает содержания водорода, что является недостатком расчетного метода.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению контрольных заданий
по дисциплине «Теория сварочных процессов»
для студентов специальности 6.050504
«Оборудование и технология сварки»
для заочного отделения

Составитель Владимир Михайлович Карпенко

Редактор Нелли Александровна Хахина

194/2000. Подп. в печать. Формат 60х84/16

Офсетная печать. Усл.печ.л. Уч.-изд.л.

Тираж 75

ДГМА. 84313, г.Краматорск, ул. Шкадинова, 72

СОДЕРЖАНИЕ

Общие методические указания.....	3
Список литературы.....	3
Темы для самостоятельного изучения.....	5
Задача 1.....	13
Задача 2.....	15
Задача 3.....	17
Задача 4.....	20
Задача 5.....	22
Задача 6.....	24