

ПРОГРАММА
вступительного экзамена в аспирантуру
по специальности 05.03.06 «Сварка и родственные процессы и
технологии»

1. Важнейшие способы сварки (классификация, принципы, значения, перспективы).

Дуговая сварка плавящимся электродом. Дуговая сварка неплавящимся электродом. Плазменная и микроплазменная сварка. Электрошлаковая сварка. Газовая сварка. Сварка электронным лучом. Сварка лазером. Контактная сварка (стыковая, шовная, точечная). Конденсаторная сварка. Микросварка. Высокочастотная сварка. Диффузионная сварка. Автовакуумная сварка давлением. Сварка трением. Сварка взрывом.

2. Сварочная дуга.

Отличительные особенности дугового разряда. Электронная эмиссия. Явления в катодной области. Процессы в столбе. Температура столба дуги. Анодная область. Баланс энергии на катоде и аноде. Вольт-амперная характеристика дуги. Условия устойчивой работы сварочной дуги с плавящимся электродом. Саморегулирование дуги. Факторы, определяющие проплавленную способность сварочной дуги. Влияние компонентов флюсов, защитных газов и электродов на проплавленную способность дуги.

3. Другие источники сварочного нагрева.

Шлаковая ванна как источник сварочного нагрева. Электропроводность шлака в зависимости от температуры. Нагрев при контактной сварке сопротивлением, влияние давления и состояния поверхности. Ацетиленокислородное пламя; состав газов пламени и его температура. Электронный луч как источник нагрева. Лазерное излучение как источник нагрева при сварке. Плазма как источник сварочного нагрева. Особенности высокочастотного нагрева с индукционным и контактным подводом тока.

4. Распространение тепла при сварке.

Основные физические процессы, определяющие распространение

тепла в изделии при сварке. Основы расчетных методов нагрева изделия сварочными источниками тепла. Уравнения теплопроводности. Мгновенные и непрерывно действующие источники сварочного нагрева. Расчетные схемы процессов нагрева металла дугой. Нагрев мощными быстродействующими источниками. Длина ванны расплавленного металла. Отличительные особенности процессов распространения тепла при электрошлаковой, электронно-лучевой, лазерной, контактной и газовой сварке.

5. Термические циклы в изделии при сварке.

Основные характеристики простого термического цикла (мгновенная скорость охлаждения, максимальная температура, длительность нагрева выше данной температуры). Регулирование термических циклов при сварке и наплавке. Отличительные особенности термических циклов при электрошлаковой, электронно-лучевой, лазерной, контактной и газовой сварке. Методы математического моделирования тепловых процессов при сварке.

6. Перенос металла при сварке плавлением.

Особенности плавления электрода при различных способах сварки. Кинетика плавления и переноса. Силы, действующие на каплю. Виды переноса электродного металла. Влияние режимов сварки, состава покрытий (флюсов, газов) на перенос. Роль полярности тока. Управление переносом металла при дуговой сварке плавящимся электродом.

7. Формирование шва и сварочная ванна.

Влияние параметров режима на форму и размеры сварочной ванны при дуговой и электрошлаковой сварке. Температура сварочной ванны и методы ее измерения. Перемешивание металла в сварочной ванне и причины его вызывающие. Методы воздействия на этот процесс.

8. Защитные газы, применяемые при сварке. Взаимодействие между металлом и газами при сварке.

Окислительные, восстановительные и инертные защитные газы. Углекислый газ, требования к его составу. Аргон и гелий. Смеси газов, их составы и свойства.

Газовая фаза при дуговой сварке. Растворимость газов в

металлах, влияние температуры. Химическое взаимодействие газов и металла. Поведение газов при затвердевании металла. Влияние газов при кристаллизации металла. Зарождение и рост пузырьков. Причины образования пор в сварных швах, роль водорода, азота и окиси углерода. Влияние рода тока и режима сварки на образование пор. Методы предупреждения пор при сварке стали электродами, под флюсом, при сварке проволокой с внутренней защитой, при сварке в защитных газах, при электрошлаковой сварке.

9. Сварочные шлаки.

Классификация сварочных шлаков. Строение шлаков. Диаграмма состояния системы FeO - MnO. Понятие о концентрации и активности компонентов шлака. Изменение вязкости и электропроводности шлаков при изменении температуры. "Длинные" и "короткие" шлаки. Отделимость шлака с поверхности шва. Химическое сцепление шлака и металла. Механическое удерживание шлака на шве. Поверхностное и межфазное натяжение шлаков.

10. Взаимодействие шлаков и металла при сварке.

Восстановление и окисление кремния и марганца. Окисление углерода при сварке. Содержание кислорода в металле шва и неметаллические включения. Содержание серы и фосфора в металле шва. Влияние режима сварки на интенсивность взаимодействия шлака и металла.

11. Типы электродных покрытий.

Классификация электродов по отечественному и международному стандартам. Особенности металлургических процессов сварки электродами с различными типами покрытий (руднокислое, рутиловое, фтористо-кальциевое, органическое). Сварочно-технологические характеристики электродов. Особенности плавления электродов с различными типами покрытий. Защита расплавленного металла от воздуха в покрытиях различного типа. Особенности взаимодействия металла с газами и шлаком. Причины пористости швов при сварке электродами различных типов и методы борьбы с пористостью. Гигиеническая характеристика электродов. Современная технология изготовления электродов.

12. Типы флюсов и сварочных проволок для дуговой и электрошлаковой сварки.

Основные требования к флюсу для дуговой сварки. Плавленные и керамические флюсы. Типы и марки сварочных и наплавочных флюсов и проволок.

13. Легирование и модифицирование наплавленного металла.

Сравнительная характеристика легирования через проволоку, через покрытие качественных электродов и через флюс. Целесообразные области применения различных путей легирования. Расчет состава наплавленного металла и металла шва при сварке под флюсом в защитных газах.

14. Первичная кристаллизация металла.

Особенности первичной кристаллизации сварных швов. Распределение легирующих элементов и примесей при кристаллизации сварочной ванны. Образование слоев кристаллизации. Микроскопическая химическая и физическая неоднородность.

15. Структура металла шва.

Первичная и вторичная структуры при сварке малоуглеродистых, низколегированных и высоколегированных сталей. Влияние скорости охлаждения и состава на структуру швов. Анализ структуры стальных швов с применением термокинетических диаграмм превращения аустенита. Включения в металле шва и принципы их образования.

16. Зона термического влияния сварки.

Структура участков, различно удаленных от границы сплавления при сварке малоуглеродистых и закаливающихся легированных сталей. Размеры и структура зоны в зависимости от способа и режимов сварки. Особенности структуры участка перегрева при сварке плавлением.

17. Трещины в сварных соединениях.

Классификация трещин. Особенности образования горячих и

холодных трещин в околошовной зоне и металле шва при сварке углеродистых и легированных сталей. Методы оценки сопротивляемости сварных соединений образованию холодных и горячих трещин. Зависимость образования горячих трещин от химического состава металла, от условий кристаллизации. Характеристика основных факторов, определяющих склонность соединений к образованию холодных трещин.

18. Деформации и напряжения при сварке.

Классификация сварочных напряжений и деформаций. Механизм образования продольных напряжений и деформаций в простейших элементах сварных конструкций. Механизм образования поперечных напряжений и деформаций. Методы измерения остаточных напряжений, вызванных сваркой. Особенности распределения сварочных напряжений и деформаций в тонкостенных элементах: плоскостных, оболочках, балках. Методы борьбы со сварочными напряжениями.

19. Механические свойства сварных соединений.

Механические свойства металла шва и сварного соединения при основных способах сварки плавлением и давлением (дуговая сварка качественными электродами, под флюсом, в защитных газах, порошковой проволокой, голой легированной проволокой; электрошлаковая сварка; электронно-лучевая сварка; диффузионная сварка). Влияние химического состава и структуры металла шва на его механические свойства. Зависимость механических свойств металла шва и сварного соединения от скорости их охлаждения. Твердость в зоне термического влияния. Старение металла шва и околошовной зоны, порог хладоломкости. Влияние длительной выдержки при высоких температурах на механические свойства швов. Выносливость сварных соединений. Влияние напряженного состояния, температуры и технологических дефектов на вибрационную прочность. Меры повышения выносливости сварных соединений.

20. Хрупкое разрушение сварных конструкций.

Основные характеристики хрупкого разрушения сталей и сварных соединений. Влияние температуры, концентрации напряжений, вязкости у надреза на сопротивляемость конструкционных материалов хрупкому

разрушению, роль остаточных напряжений в возникновении хрупких трещин. Способы оценки хладоломкости стали. Сопротивляемость сталей и сварных соединений возникновению и распространению хрупкой трещины. Общие сведения о расчетных методах оценки сопротивляемости материалов хрупкому разрушению. Пути повышения хладостойкости сварных конструкций.

21. Технологические особенности сварки углеродистых и низколегированных сталей.

Состав и свойства низкоуглеродистых и низколегированных сталей. Особенности их сварки. Особенности сварки средне- и высокоуглеродистых сталей. Сварка термически упрочненных низкоуглеродистых и низколегированных сталей. Сварка полуспокойных низкоуглеродистых и низколегированных сталей. Сварка конверторных сталей.

22. Технологические особенности сварки среднелегированных сталей.

Состав и свойства, среднелегированных сталей, влияние легирующих элементов на их структуру и свойства. Особенности сварки среднелегированных сталей. Влияние термического цикла сварки, состава сварочных материалов, колебаний электрода, наклона электрода или изделия и других технологических факторов на структуру и свойства сварных швов. Влияние термического цикла сварки на свойства металла шва и околошовной зоны. Возможность и условия получения полной конструктивной равнопрочности с основным металлом сварных соединений из высокопрочных среднелегированных сталей.

23. Технологические особенности сварки высоколегированных сталей.

Классификация высоколегированных сталей по структуре и назначению. Общие правила сварки нержавеющей сталей. Классификация электродов для сварки нержавеющей сталей. Влияние легирующих элементов на структуру высоколегированных сталей и сварных швов. Диаграмма Шеффлера.

24. Металлургические и технологические особенности сварки цветных металлов.

Важнейшие особенности и основные способы сварки алюминия, титана, меди и сплавов на их основе. Дефекты при сварке цветных металлов со сталями и между собой. Важнейшие особенности сварки химически активных тугоплавких металлов: ниобия, молибдена, вольфрама и других, а также сплавов на их основе. Причины образования пор и трещин. Меры их устранения.

25. Коррозия сварных соединений.

Особенности соединений, определяющие их коррозионную стойкость при работе в агрессивных средах. Виды коррозионного разрушения сварных соединений; атмосферная коррозия, коррозия в электролитах, коррозия под напряжением. Методы оценки и испытаний сварных соединений на стойкость к коррозии. Методы защиты сварных соединений от коррозии.

26. Износостойкая наплавка.

Наплавка для восстановления размеров и для повышения стойкости. Абразивный износ и требования к наплавленному металлу. Износ при повышенных температурах и термическая стойкость. Износостойкость наплавленных деталей машин. Микроструктура наплавленного металла и износостойкость.

Важнейшие способы наплавки (дуговая наплавка под флюсом, в защитном газе, самозащитными порошковыми проволоками и лентами, штучными электродами, электрошлаковая, плазменная, индукционная, газопламенная, электроконтактная). Плакирование взрывом и прокаткой. Наплавка для восстановления размеров и для повышения стойкости деталей. Основные виды изнашивания. Методы испытаний на износостойкость. Классификация и характеристика важнейших типов наплавленного металла, принципы выбора. Структура наплавленного металла.

27. Смежные процессы (принципы, значение для сварочной технологии).

Газопламенная сварка. Плазменная резка. Металлизация. Газотермическое, плазменнодуговое и электронно-лучевое напыление. Пайка. Классификация методов. Особенности образования соединений.

28. Контроль качества.

Классификация методов контроля качества сварных соединений.

Физические основы и классификация ультразвуковых и радиационных методов контроля. Аппаратура. Техника безопасности проведения контроля.

29. Современные способы улучшения свариваемости и общего повышения качества сталей и сплавов.

Характеристика качества стали и сплавов при обычных методах их изготовления. Рафинирование сталей жидкими синтетическими шлаками. Вакуумный дуговой переплав. Электрошлаковый переплав. Электрошлаковый обогрев слитков при кристаллизации. Электрошлаковая подпитка слитков. Плазменнодуговой переплав. Электронно-лучевой переплав. Причины улучшения свариваемости металлов при рафинировании. Особенности проплавления рафинированных сталей при аргонодуговой сварке неплавящимся электродом.

Учебники и учебные пособия.

1. Петров Г.Л., Тумарев А.С. Теория сварочных процессов. -М.: Высшая школа, 1977.
2. Багрянский К.В. и др. Теория сварочных процессов. -Киев: Вища школа, 1976.
3. Фролов В.В. и др. Теория сварочных процессов. Учебник для вузов по специальности "Оборудование и технология сварочного производства" - М.:Высшая школа, 1988.
4. Петров Г.Л. Сварочные материалы. - М.: Машиностроение, 1972.
5. Рыкалин Н.И. Расчеты тепловых процессов при ев арке. - М.: Машгиз, 1951.

Рекомендуемая дополнительная литература.

1. Аснис А.Е. Динамическая прочность сварных соединений из малоуглеродистых и низколегированных сталей. -М.: Машгиз, 1962.
2. Винокуров В.А., Григорьянц А.Г., Теория сварочных деформаций и

- напряжений. - М.: Машиностроение, 1984.
3. Гельман А.С. Технология и оборудование контактной сварки. - М.: Машгиз, 1960.
 4. Глизманенко Д.Л., Евсеев Л.В. Газовая сварка и резка металлов. -М.: Машгиз, 1961.
 5. Гуревич С.М. Справочник по сварке цветных металлов. - Киев: Наукова думка, 1981.
 6. Ерохин А.А. Основы сварки плавлением. - М.: Машиностроение, 1973.
 7. Касаткин Б.С., Мусияченко В.Ф. Низколегированные стали высокой прочности для сварных конструкций. - Киев: Техніка, 1970.
 8. Каховский Н.И. Сварка высоколегированных сталей. - Киев: Техніка, 1975.
 9. Кучук-Яценко С.И., Лебедев В.К. Контактная стыковая сварка непрерывным оплавлением . -Киев: Наукова думка, 1976.
 - 10.Лесков Г.И. Электрическая сварочная дуга. -М: Машиностроение, 1970.
 - 11.Махненко В.И. Расчетные методы исследования кинетики сварочных напряжений и деформаций. - Киев: Наукова думка, 1976.
 - 12.Медовар Б.И. Сварка жаропрочных аустенитных сталей и сплавов.- М.: Машиностроение, 1966.
 - 13.Волченко В.Н. и др. Сварка и свариваемые материалы. Том 1. Свариваемость материалов. - М.: Металлургия, 1991.
 - 14.Николаев Г. А. Сварные конструкции .-М: Машгиз, 1962.
 - 15.Новожилов Н.М. Основы металлургии дуговой сварки в активных защитных газах. - М.: Машгиз, 1972.
 - 16.Подгаецкий В.В. Сварочные шлаки.- Киев: Наукова думка, 1964.
 - 17.Подгаецкяй В.В., Парфессо Г.И. Трещины сульфидного происхождения при сварке стали. - Киев: Наукова думка, 1977.
 - 18.Потапьевский А.Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. - М: Машиностроение, 1974.

19. Походня И.К. Газы в сварных швах. - М: Машиностроение, 1972.
20. Походня И.К. и др. Сварка порошковой проволокой. - Киев: Наукова думка, 1972.
21. Бабкин Д.М. и др. Дуговая сварка алюминия и его сплавов. - М.: Машиностроение, 1982.
22. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением (под редакцией Б.Е.Патона). - М.: Машиностроение, 1974.
23. Труфяков В.И., Дворецкий В.И., Михеев П.П. Прочность сварных соединений при переменных нагрузках. - Киев: Наукова думка, 1990.
24. Фрумин И.И. Автоматическая электродуговая наплавка. - М.: Metallurgizdat, 1961.
25. Хренов К.К. Сварка, резка и пайка металлов. - М: Машиностроение, 1970.
26. Шоршоров М.Х. и др. Испытание металлов на свариваемость. - М.: Metallurgiya, 1972.
27. Электрошлаковая сварка (под ред. Б.Е.Патона). - М.: Машгиз, 1959.
28. Хасун А., Мorigаки 0. Наплавка и напыление. - М.: Машиностроение, 1985.
29. Шиллер З., Гайзиг У., Панцер З. Электронно-лучевая технология. - М.: Энергия, 1980.
30. Рыкалин Н.Н., Зуев Н.В., Углов А.А. Основы электронно-лучевой обработки материалов. - М.: Машгиз, 1978.
31. Назаренко О.К., Истомин Е.И., Локшин В.Е. Электронно-лучевая сварка. - М: Машгиз, 1961.
32. Микроплазменная сварка (под ред. Б.Е.Патона). - Киев: Наукова думка, 1979.
33. Никифоров Г.Д., Бобров Г.В., Никитин В.М. Технология и оборудование сварки плавлением. - 1978.