

**Российский государственный университет нефти и газа
(национальный исследовательский университет)
имени И.М. Губкина**

**Утверждена проректором по
научной и международной работе
проф. А.Ф. Максименко
14 апреля 2022 года**

ПРОГРАММА
вступительного испытания по научной специальности
2.5.8. «Сварка, родственные процессы и технологии»
для поступающих в аспирантуру РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина
в 2022/2023 уч. году

Москва 2022

Введение

Программа вступительного испытания разработана на основании требований, установленных паспортом научной специальности 2.5.8. «Сварка, родственные процессы и технологии».

Данная программа основана на дисциплинах, рассматривающих металлургические и физико-химические процессы в материалах при сварке, наплавке, пайке, нанесении покрытий, термической резке и других родственных процессах, фазовые и структурные превращения, образование соединений и формирование их свойств; технологические основы сварки плавлением и давлением; а также компьютерное моделирование физических и технологических процессов при сварке, методы проектирования надежных сварных конструкций, технологии сварочного оборудования и оборудование для сварки, резки, пайки, наплавки, нанесение покрытий, склеивания, методов управления параметрами технологических процессов для обеспечения качества сварных соединений.

Вопросы к вступительному экзамену

1. Общие вопросы

Развитие сварочной науки в России, роль кадрового потенциала, их подготовки и аттестации. Организация и управление качеством сварочной продукции. Структура и организация учебно-научных и производственных организаций.

История развития сварки, работы Н.Г. Славянова, Н.Н. Бенардоса, Е.О. Патона, Б.Е. Патона, Г.А. Николаева. Российская школа сварки, принципы соединения научных и практических целей. Роль науки о сварке и сварочной технике в развитии производительных сил России.

Объем фундаментальных и прикладных знаний, необходимых для успешной работы в области сварки. Математические методы планирования эксперимента и обработка его результатов. Компьютерные технологии в сварке. Автоматизация эксперимента. Роботизация сварочных работ.

2. Теоретические основы сварки, наплавки и нанесения покрытий

Природа образования соединений при сварке.

Классификация процессов сварки. Источники энергии для сварки, их обобщенные характеристики.

Строение, виды и области применения электрической сварочной дуги.

Основные процессы в столбе дуги. Напряженность поля, плотность тока и концентрации мощности в столбе.

Влияние газовых потоков и пинч-эффекта на энергетические и технологические

характеристики столба дуги

Физические явления в приэлектродных областях дуги. Процессы, определяющие мощность и ее концентрацию у электродов дуги. Закономерности плавления и испарения металлических электродов. Перенос металла в дуге.

Общие условия устойчивости электрической дуги. Саморегулирование дуги с плавящимся электродом. Действие магнитных полей на дугу, их использование для управления дугой и процессами сварки. Особенности дуг, питаемых переменным и импульсным токами.

Трехфазная дуга. Дуга под флюсом, дуга под водой. Сжатые дуги.

Параметры режима дуговой сварки и их влияние на форму ванны и размеры шва.

Лучевые источники нагрева, их виды, особенности и области применения.

Электронный луч, как источник энергии. Принцип сварки электронным лучом в вакууме.

Общие схемы формирования электронных пучков. Электронные пушки, их составные части и принципы действия.

Способы управления мощностью и ее концентрацией в электронных пучках. Управление положением пучков в пространстве. Процессы плавления металлов электронными пучками, к.п.д. процессов.

Лазерный луч как источник нагрева при сварке, резке и термической обработке.

Физические процессы формирования излучения лазеров. Виды лазеров. Особенности газовых лазеров. Структурная схема CO₂-лазера. Процессы, ограничивающие мощность CO₂-лазеров и ее стабильность. Плавление металлов лазерным лучом.

Достижения и проблемы электронно-лучевой и лазерной сварки.

Электрошлаковый нагрев. Энергетические процессы в шлаковой и металлической ваннах. Условия устойчивости электрошлакового процесса, физико-химические процессы при электрошлаковой сварке.

Электроконтактный нагрев и плавление металлов. Физические процессы в сварочных контактах соединяемых заготовок.

Принципиальные схемы сварки взрывом. Условия образования соединений при сварке взрывом.

Физические процессы при диффузионной сварке. Механизм образования сварных соединений при диффузионной сварке.

Нагрев при трении. Процессы сварки трением. Явления при холодной и

ультразвуковой сварке. Природа образования соединений при пайке.

Классификация технологических процессов нанесения защитных покрытий.

Основные процессы газопламенного и детонационного напыления. Физические особенности дуговой металлизации и плазменного напыления. Процессы вакуумных покрытий.

Научные основы анализа физико-химических процессов при сварке, наплавке и нанесении покрытий. Первый закон термодинамики. Расчет параметров состояния систем при различных изопроцессах.

Второй закон термодинамики. Термодинамический потенциал, его использование в анализе процессов. Условия и характеристики равновесия в гомогенной среде. Определение химического сродства компонентов.

Третий закон термодинамики, его применение в анализе химического равновесия гетерогенных систем. Основы неравновесной термодинамики. Свариваемость материалов. Показатели свариваемости.

Металлургические процессы при сварке, наплавке и нанесении покрытий.

Взаимодействие металлов, шлаков и газов. Газы в сварных соединениях.

Основные характеристики тепловых процессов. Модели источников тепла, объектов сварки, наплавки. Дифференциальное уравнение теплопроводности, основные краевые условия, учитываемые при его решении.

Расчет температурных полей при нагреве тел движущимися сосредоточенными, точечными и линейными источниками тепла. Особенности нагрева пластин мощными быстродвижущимися источниками. Методы расчета температурных полей при нагреве тел распределенными источниками. Вычисление скоростей охлаждения в различных точках тел, нагреваемых движущимися источниками.

Термические циклы при однопроходной и многослойной сварке и наплавке. Плавление основного металла, длина жидкой ванны. Тепловая эффективность процессов сварки, наплавки и нанесения покрытий. Нагрев и плавление присадочных материалов.

Кристаллизация металла при сварке, наплавке и нанесении покрытий. Природа химической и физической неоднородности соединений металлов.

Горячие трещины при сварке. Методы оценки сопротивляемости металлов образованию горячих трещин. Способы предотвращения горячих трещин.

Особенности структуры зоны термического влияния в сварных соединениях.

Фазовые и структурные превращения при сварке конструкционных сталей.

Природа холодных трещин. Методы оценки сопротивляемости металлов образованию холодных трещин. Способы предотвращения холодных трещин.

Деформации и напряжения при неравномерном нагреве. Механизм возникновения напряженного состояния при сварке, наплавке и нанесении покрытий. Приближенная теория сварочных деформаций и напряжений.

Методы математического и компьютерного моделирования процессов сварки, пайки, наплавки, напыления и резки.

3. *Технология сварки, наплавки-нанесения покрытий, пайки и склеивания*

3.1. Технология сварки, наплавки и нанесения покрытий плавлением. Классификация процессов сварки плавлением. Технология сварки и наплавки покрытыми электродами. Технология автоматической и механизированной сварки. Наплавка и нанесение покрытий.

Технология сварки низкоуглеродистых, низколегированных и среднелегированных конструкционных сталей. Технология сварки высоколегированных сталей и сплавов мартенситного, ферритного и аустенитного классов. Технология сварки разнородных сталей одного структурного класса и разных структурных классов. Технология сварки чугуна. Технология сварки меди и ее сплавов, алюминия, магния и их сплавов, никеля и его сплавов, титана и его сплавов. Особенности сварки тугоплавких и химически активных металлов.

Технология сварки разнородных металлов и сплавов. Особенности технологии и техники сварки стали с алюминием, медью, титаном и их сплавами. Влияние режимов сварки на форму и состав швов.

Технология наплавки. Формирование свойств наплавленного металла, метода его легирования.

Технология электрошлаковой сварки и наплавки конструкций из углеродистых и легированных сталей. Технология электрошлаковой сварки легких и цветных металлов и сплавов.

Особенности технологии лучевых методов сварки.

Дефекты сварных соединений. Поры в сварных швах. Неметаллические включения в швах. Прочие дефекты сварных соединений.

3.2. Технология контактной, холодной, ультразвуковой сварки, сварки взрывом и трением.

Классификация способов контактной сварки. Условия формирования сварных соединений при точечной и шовной сварке. Особенности формирования соединений при стыковой сварке.

Выбор режимов и технология сварки конструкционных материалов при точечной и шовной сварке. Технология стыковой сварки.

Технология сварки токами высокой частоты. Технология и области применения холодной сварки. Технология и области применения ультразвуковой сварки. Технология сварки взрывом крупногабаритных листов. Технология сварки трением.

Технология сварки пластмасс.

3.3. Технология газопламенного и детонационного нанесения покрытий. Основные операции дуговой металлизации и плазменного напыления.

Техника и технология вакуумных покрытий.

3.4. Технология пайки металлов.

Пайка металлов. Теоретические основы пайки металлов. Сущность процесса пайки металлов. Физические процессы при пайке. Диффузионное и химическое взаимодействие припоя с паяемым металлом. Способы удаления поверхностных пленок и восстановление окислов при пайке.

Припои. Классификация припоев по химическому составу, температуре плавления и механическим свойствам. Наиболее распространенные группы припоев.

Флюсы. Назначение и требования к флюсам. Виды флюсов и их классификация. Типы паянных соединений. Расчет прочности паянных соединений. Технология пайки различных металлов и сплавов. Методы контроля паянных соединений.

3.5. Технология склеивания металлов и пластмасс.

Современное представление о механизме процесса склеивания. Классификация клеев. Наиболее распространенные клеи на основе термореактивных и термопластичных полимеров. Преимущества и недостатки клеевых соединений. Основные операции технологического процесса склеивания металлов. Прочность соединений. Принципы конструирования клеевых конструкций. Клеесварные конструкции. Методы контроля клеевых соединений.

4. Сварные конструкции

Деформации и напряжения, вызываемые процессами сварки, наплавки и нанесения покрытий. Концентрация напряжений в сварных соединениях. Влияние дефектов на механические свойства сварных соединений и их работоспособность.

Остаточные напряжения в сварных соединениях. Деформации, напряжения и перемещения в элементах сварных конструкций, экспериментальные и расчетные методы их определения. Методы снижения напряжений и деформаций при сварке и наплавке.

Прочность сварных соединений при статических нагрузках. Прочность при переменных нагрузках. Причины хрупких разрушений сварных конструкций.

Принципы расчета и проектирования сварных соединений и конструкций. Применение компьютерной техники в расчетах и проектировании металлоконструкций.

Влияние технологии изготовления балок на их несущую способность.

Напряженное состояние узлов ферм. Влияние технологии изготовления решетчатых конструкций на их служебные характеристики.

Напряжения и деформации в листовых конструкциях. Особенности конструкции котлов и сосудов, их напряженное состояние. Основы расчета и проектирования труб и трубопроводов. Требования и технологии изготовления емкостей и труб.

Специфика сварных деталей машин. Принципы проектирования сварных конструкций из цветных металлов и пластмасс.

Методы повышения сварных конструкций при переменных нагрузках. Прочность сварных соединений при высоких и низких температурах.

Вероятностные методы оценки прочности сварных конструкций.

5. *Механизация и автоматизация технологических операций сварки, наплавки и нанесения покрытий*

Классификация процессов и операций сварки, наплавки и нанесения покрытий как объектов механизации и автоматизации. Схемы современных систем автоматизации дуговых методов сварки и наплавки.

Принципы автоматизации контактной сварки. Автоматические системы в электрошлаковой сварке и наплавке.

Принципы механизации и автоматизации заготовительных операций. Современные средства механизации и автоматизации транспортных операций. Схемы механизированных сборочно-сварочных поточных линий. Автоматические сборочно-сварочные линии.

Требования, предъявляемые к промышленным роботам для сварки, наплавки и нанесения покрытий. Типы промышленных роботов. Общие характеристики роботов и их основные блоков. Адаптивные роботы. Автоматические линии и участки роботов. Техноко-экономическая эффективность применения роботов. Перспективы применения роботов в сварочном производстве.

Система автоматизированного проектирования технологии сварки (САПР ТС). Структура САПР. Программное обеспечение и аппаратные средства реализации. Выход окончательной продукции САПР.

6. *Контроль качества сварки, наплавки и нанесения покрытий*

Технологические и конструктивные меры повышения качества сварки, наплавки и нанесения покрытий, способы их обеспечения и контроля. Дефекты и уровни дефектности сварных соединений.

Классификация методов контроля качества сварки, наплавки и нанесения

покрытий. Методы неразрушающего контроля качества металлов, швов, наплавов и покрытий.

Физические основы и разновидности магнитных и электромагнитных методов контроля, техника и технология их применения.

Основы и классификация радиационных методов контроля.

Источники рентгеновского и гамма-излучения, их конструкции, аппаратура и приспособления для управления. Радиографический контроль. Методы дозиметрии и обеспечения безопасности.

Физические основы, классификация ультразвуковых методов контроля. Приборы и оптимальные параметры ультразвукового контроля. Технология ультразвукового контроля, методы измерения дефектов.

Принципы, классификация и технология капиллярных методов контроля. Методы контроля непроницаемости. Течеискатели.

Механические испытания качества сварки, наплавки и нанесения покрытий. Металлография, химический анализ и коррозионные испытания сварных соединений, наплавов и покрытий.

Средства механизации, автоматизации и обработки результатов контроля качества изделий. Основные понятия статистического управления качеством.

Вероятностные схемы-модели оценки качества сварки, наплавки и нанесения покрытия, статистическое регулирование качества.

Методы организации и управления качеством технологических сварочных процессов.

Основная литература

1. Теоретические основы сварки / Под ред. В.В.Фролова. М.: В. школа, 1970.
2. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением. /Под ред. Б.Е.Патона.М.: Машиностроение, 1974. 768с.
3. Акулов А.И., Бельчук Г.А., Демянцевич В.Г. Технология и оборудование электрической сварки плавлением.- Машиностроение, 1977. 577с.
4. Петров Г.Л., Тумарев А.С. Теория сварочных процессов. М.: В. школа. 1977.470с.
5. Сварка в СССР. Том 1. Технологические процессы, сварочные материалы и оборудование. М.: Наука,1981. 533с.
6. Сварка в СССР. Том". Теоретические основы сварки, прочности и проектирования.М.:Наука,1982. 493с.

7. Сварка и свариваемые материалы: в 3-х томах. Т.1. Свариваемость материалов. Справ. изд./Под ред. Э.Л. Макарова. М.: Металлургия, 1991.с.528.
8. Макаров Э.Л. Холодные трещины при сварке легированных сталей. М.:Машиностроение, 1981. 248с.
9. Еремин Е.Н. Плазменно-дуговые технологические процессы в сварочном производстве. Учебное пособие.-Омск: изд-во ОмГТУ, 2000. 275с.
10. Зуев И.В. Обработка материалов концентрированными потоками энергии. М.: Издательство МЭИ, 1998,1998. 162с.
11. Теория, технология и оборудование диффузионной сварки: Учебник для вузов /В.А. Бачин, В.Ф. Квасницкий, Д.И. Котельников и др.; под ред. В.А. Бачина. М.: Машиностроение, 1991. 352с.
12. Сварка трением: Справочник /Под ред. В.К. Лебедева, И.А. Черненко, В.И. Вилля.Л.: Машиностроение. 1987. 263с.
13. Машиностроение. Энциклопедия /Ред.совет: К.В.Фролов (пред.) и др. М.: Машиностроение. М38 Оборудование для сварки. Т.1У-6 / В.К. Лебедев, С.И. Кучук-Яценко, А.И. Четвертко и др. Под.ред. Б.Е. Патона. 1999. 496с.
14. Сварка и сварочные материалы: в 3-х т.Т.2. Технология и оборудование. Справ. изд./Под ред. В.М. Ямпольского. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 1966. 574с.
15. Стеклов О.И. Стойкость материалов и конструкций коррозий под напряжением. М.: Машиностроение. 1990. 384с.
16. Лашко С.В., Врублевский Е.И. Технология пайки изделий в машиностроении:Справочник проектировщика. М.: Машиностроение. 1993. 464с.
17. Волков С.С., Черняк Б.Я. Сварка пластмасс ультразвуком. М.: Химия, 1986.256с.
18. Волков С.С. Сварка и склеивание полимерных материалов: Уч. пособие для вузов.М.: Химия,2001. 376с.
19. Николаев Г.А. Ольшанский Н.А. Специальные методы сварки. М.: Машиностроение,1975. 232с.
20. Холопов Ю.В. Ультразвуковая сварка пластмасс и металлов.- Л.: Машиностроение,1988. 224с.
21. Хасун А., Моригаки О. Наплавка и напыление. /Перевод с японского под ред.Степина В.В. М.: Машиностроение, 1985. 285с.
22. Волков С.С., Гирш В.И. Склеивание и напыление пластмасс. М.: Химия, 1988.112с.

23. Оборудование для контактной сварки: Справочное пособие /Под ред. В.В. Смирнова. - СПб.: Энергоатомиздат. Санкт-Петербургское отд-ние, 2000. 848с.
24. Саликов В.А., Шушпанов М.Н., Коломенский А.Б., Пешков В.В., Фролов В.А. Сварка самолетостроении. Учебное пособие. Воронеж. Изд-во ВГТУ. 2001. 431с.
25. Кудинов В.В., Бобров Г.Д. Нанесение покрытий напылением. Теория, технология и оборудование. Учебник для вузов. М.: Металлургия.1992.-432с.
26. Николаев Г.А., Куркин С.А., Винокуров В.А. Сварные конструкции. Прочность сварных соединений и деформаций конструкций. М.: Высш. школа. 1982. 310с.
27. Николаев Г.А., Винокуров В.А., Сварные конструкции. Расчет и проектирование:Учеб. Для ВУЗов. М.: Высш. школа. 1990г. 446с.
28. Куркин С.А., Николаев Г.А. Сварные конструкции. Технология изготовления, механизация, автоматизация: Учеб. для вузов. М.: В.школа. 1991.-398с.
29. Сварные конструкции. Механика разрушения и критерии работоспособности /В.А. Винокуров, С.А. Куркин, Г.А. Николаев /Под ред. Б.Е. Патона. М.: Машиностроение. 1996. 576с.
30. Махненко В.И. Расчетные методы исследования кинетики сварочных напряжений и деформаций. Киев: Наукова думка.1976. 320с.
31. Копельман Л.А. Сопrotивляемость сварных узлов хрупкому разрушению. Л.: Машиностроение.1978. 231с.
32. Львов Н.С., Гладков Э.А. Автоматика и автоматизация сварочных процессов. М.: Машиностроение, 1982. 302с.
33. Патон Б.Е., Спыну Г.А., Тимошенко В.Г. Промышленные роботы для сварки. Киев: Наукова думка, 1977. 280с.
34. Алешин Н.П., Щербинский В.Г. Контроль качества сварочных работ. М.: Высш. Школа. 1986. 204с.
35. Щербинский В.Г., Алешин Н.П. Ультразвуковой контроль сварных соединений. 3- е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. 496с.