

## **Модуль 1: Сварочные процессы и оборудование**

### **1.1 Введение в технологию сварки**

История

Области применения сварки

Общая информация о сварочных процессах

Краткое описание, характеристики

Области применения наиболее распространенных процессов

Аббревиатуры для обозначения сварочных процессов

Особенности применения сварочных процессов

Положения сварки (ISO 6947, ISO 17659)

Символическое обозначение соединений (общие сведения)

Классификация сварочных процессов (ISO, CEN и национальные стандарты)

### **1.2 Газокислородная сварка и родственные процессы**

Принципы процесса

Области применения

Типы пламени

Характеристики горючих газов (ацетилен, пропан и т.д.)

Реакции горения

Распределение температуры и влияющие факторы

Оборудование

Приемы сварки: правосторонняя, левосторонняя

Стандарты на присадочные материалы (как минимум – нелегированные стали)

Типовые применения процесса, типичные проблемы, дефекты

Вопросы техники безопасности

### **1.3 Введение в электротехнику**

Основные понятия (ток, напряжение, сопротивление)

Закон Ома

Параллельное и последовательное соединение

Постоянный ток (DC), полярность, переменный ток (AC)

Магнетизм в сварке

Емкость, конденсаторы, индуктивность, катушки индуктивности

Трансформаторы и выпрямительные мосты (однополупериодное и двухполупериодное выпрямление)

Транзисторы, тиристоры

Опасные факторы

Электробезопасность

### **1.4 Электрическая дуга**

Физические процессы в дуге (условия горения дуги, основные зоны дуги, стабильность горения дуги, ионизация газов, потенциал ионизации, силы, действующие на дугу)

Распределение напряжения в дуге

Выделение теплоты на катоде и аноде

Полярность, характеристики дуги переменного и постоянного тока, способы регулирования для основных процессов сварки

Влияние на процесс сварки

Распределение температуры в дуге и способы управления им

Влияние магнитных полей на дугу (причины, способы борьбы)

Ограничения в применении

### **1.5 Источники питания для дуговой сварки**

Классификация, типы и характеристики источников питания

Электрические характеристики источников питания (статические и динамические)

Связь между статическими характеристиками и процессом сварки

Управление параметрами статических ВАР (жесткой и падающей)

Стабильность дуги для основных процессов (ММА, TIG, MIG/MAG, SAW, PAW)

Рабочая точка, положение рабочей точки

Инверторы (основные функциональные составляющие, общие сведения)

Источники питания, управляемые процессорами

Стабильность процессов на переменном и постоянном токе

Источники переменного (синусоидального и прямоугольного) и постоянного тока

Напряжение холостого хода, ток короткого замыкания, коэффициент мощности трансформаторов

ПВ источников питания, типовые значения для распространенных дуговых процессов

Падение напряжения, выбор сечения кабелей в зависимости от тока

Установка значений тока и напряжения (электромагнитные и электронные устройства)

Стандарты по источникам питания и требованиям к ним

### **1.6 Введение в сварку в защитных газах**

Физические основы

Защитные газы (инертные и активные) и их влияние на характеристики дуги

Обращение и хранение газов (обзор)

Влияние параметров режима на геометрию шва

Стандарты (ISO, CEN и национальные) на защитные газы

### **1.7 Сварка TIG**

Характеристики источников питания

Способы возбуждения дуги, оборудование

Оборудование и приспособления: горелки, газовые линзы, управляющие устройства, увеличение и снижение тока, импульсные устройства

Влияние рода тока и полярности: DC(+), DC(-), AC

Особенности сварки материалов (например, алюминия)

Расходные материалы: защитные газы, присадочные материалы, электроды

Параметры процесса сварки: ток, напряжение, скорость, расход газа

Подготовка под сварку: разделка кромок, очистка

Специальные приемы сварки: точечная, в узкий зазор, горячей проволокой, орбитальная, приварка труб к листу, сварка труб, и т.д.

Стандарты на присадочные материалы и электроды (как минимум, нелегированные стали)

Типовые применения процесса, типичные проблемы и способы их решения

Вопросы техники безопасности

### **1.8.1 Сварка MIG/MAG**

Характеристики источников питания для классического процесса и с управлением от контроллера

Влияние рода тока и полярности

Оборудование и приспособления: горелки, механизмы подачи проволоки, ГСК, управляющие устройства

Виды переноса электродного металла (капельный, крупнокапельный, струйный, с короткими замыканиями, вращательный) и области их применения

Параметры процесса сварки: ток, напряжение, скорость, расход газа и т.д.

Расходные материалы: защитные газы, электродные проволоки и их комбинации

Подготовка под сварку: разделка кромок, очистка

Специальные приемы сварки: электрогазосварка, процессы с повышенной производительностью, точечная, двумя электродами, ленточным электродом, управление стабильностью процесса (за счет параметров дуги, подачи проволоки), и т.д.

Стандарты на присадочные материалы (как минимум, нелегированные стали)

Типовые применения процесса, типичные проблемы и способы их решения

Вопросы техники безопасности

### **1.8.2 Сварка порошковой проволокой**

Характеристики источников питания для классического процесса и с управлением от контроллера (только особенности, относящиеся к сварке порошковой проволокой)

Влияние рода тока и полярности

Оборудование и приспособления: горелки, механизмы подачи проволоки

Зависимость переноса металла от присадочного материала, области применения

Параметры процесса сварки: ток, напряжение, скорость, расход газа и т.д.

Расходные материалы: защитные газы, присадочные материалы (порошковые проволоки) и их комбинации

Подготовка под сварку: разделка кромок, очистка

Стандарты на присадочные материалы (как минимум, нелегированные стали)

Типовые применения процесса, типичные проблемы и способы их решения

Вопросы техники безопасности

### **1.9 Ручная дуговая сварка**

Принципы процесса и характеристики дуги

Влияние рода тока и полярности

Характеристики источников питания для ручной дуговой сварки: напряжение холостого хода, статические и динамические характеристики, род тока, способы возбуждения дуги

Оборудование и приспособления

Типовые применения процесса, типичные проблемы и способы их решения

Покрытые электроды (функции стержня и покрытия, реакции шлак-металл и газ-металл при сварке)

Производство электродов (общий процесс, типичные дефекты)

Хранение и обращение с электродами (условия хранения, повторная прокатка)

Стандарты на присадочные материалы (как минимум, нелегированные стали)

Выбор покрытых электродов

Параметры режима сварки: ток, напряжение, вылет и т.д.

Подготовка под сварку: разделка кромок, очистка

Зависимость между диаметром электрода и диапазоном тока, материалом прутка, длиной электрода и положениями сварки

Специальные приемы сварки: гравитационная и т.д.

Вопросы техники безопасности

### **1.10 Дуговая сварка под флюсом**

Принципы процесса сварки под флюсом и характеристики дуги

Влияние рода тока и полярности

Характеристики источников питания для сварки под флюсом: напряжение холостого хода, статические и динамические характеристики, род тока, способы возбуждения дуги

Оборудование и приспособления

Типовые применения процесса, типичные проблемы и способы их решения

Расходные материалы (функции флюса и проволоки (сплошного сечения и порошковой), типы флюсов и проволок, комбинации флюс-проволока, реакции шлак-металл и газ-металл при сварке)

Производство расходных материалов (общий процесс, типичные дефекты)

Хранение и обращение с электродами (условия хранения, повторная прокатка)

Стандарты на присадочные материалы (как минимум, нелегированные стали)

Параметры режима сварки: ток, напряжение, скорость, тип флюса и грануляция, вылет и т.д.

Подготовка под сварку: разделка кромок, очистка

Зависимость между комбинацией флюс-проволока и характеристиками наплавленного металла

Односторонняя сварка и способы формирования обратной стороны шва

Сварка одним и несколькими электродами

Специальные приемы сварки: наплавка лентами, добавление железного порошка, сварка холодной и горячей проволокой и т.д.

Вопросы техники безопасности

### **1.11 Контактная сварка**

Принципы процесса, обзор его разновидностей (точечная, шовная, рельефная, стыковая, оплавлением)

Закон Джоуля-Ленца, распределение температуры

Оборудование и приспособления

Типовые применения процесса, типичные проблемы (сварка деталей различной толщины, сварка деталей с покрытиями, сварка разнородных материалов, массоперенос, шунтирование, эффект Пельтье, пайка сопротивлением)

Электроды (функции, типы, формы, материалы)

Классификация электродов (ISO, CEN, национальные стандарты)

Параметры режима сварки: ток, усилие, время, род тока, форма импульса и т.д.

Подготовка под сварку: технологичность конструкции, сборка, очистка

Зависимость между параметрами режима сварки и характеристиками сварного соединения

Системы мониторинга, управления процессом, измерительные

Специальные испытания

Вопросы техники безопасности

### **1.12.1 Другие процессы сварки – лазерная, электронно-лучевая, плазменная**

Основы процессов плазменной и плазма-MIG сварки, оборудование  
Основы процесса электронно-лучевой сварки, оборудование  
Основы процесса лазерной сварки, оборудование  
Основы процессов гибридной лазерной сварки, оборудование  
Источники теплоты (для каждого процесса)  
Типовые области применения и проблемы  
Расходные материалы  
Подготовка под сварку: требования к соединениям, технологичность соединений, сборка, очистка  
Зависимость между параметрами режима сварки и характеристиками сварного соединения  
Сравнение процессов с высокой концентрацией энергии  
Вопросы техники безопасности  
Стандарты (ISO, CEN, национальные стандарты)

### **1.12.2 Другие процессы сварки (не указанные в 1.12.1)**

Основные принципы процесса  
Источники теплоты  
Оборудование и приспособления  
Типовые области применения и проблемы  
Расходные материалы  
Параметры режима сварки  
Подготовка под сварку: требования к соединениям, технологичность соединений, сборка, очистка  
Зависимость между параметрами режима сварки и характеристиками сварного соединения  
Вопросы техники безопасности  
Стандарты (ISO, CEN, национальные стандарты)

### **1.13 Резка, сверление и другие способы подготовки кромок**

Обзор процессов подготовки кромок  
Механическая резка  
Принципы газопламенной и порошковой резки, оборудование, области применения, вспомогательное оборудование  
Параметры газопламенной резки, качество реза, уровни содержания кислорода  
Материалы, пригодные для газопламенной резки  
Основные принципы дуговых способов резки (воздушно-дуговая, угольным и металлическим электродом, кислородно-дуговая, строжка угольным электродом), оборудование, области применения, вспомогательное оборудование  
Материалы, пригодные для дуговой резки, области применения, параметры процессов  
Основные принципы плазменной резки, оборудование, области применения, вспомогательное оборудование  
Материалы, пригодные для дуговой резки, области применения, параметры процессов, газы  
Специальные процессы плазменной резки (подводная)  
Плазменная строжка  
Основные принципы электронно-лучевого и лазерного сверления и резки, оборудование, параметры, области применения  
Основные принципы резки водяной струей, оборудование, параметры, области применения  
Основные принципы дуговой и газопламенной строжки, оборудование, параметры, области применения  
Вопросы техники безопасности  
Стандарты (ISO, CEN, национальные стандарты)

### **1.14 Наплавка и напыление**

Процессы наплавки и плакирования: основные принципы, области применения (прокаткой, взрывом, лентой, плазма-MIG, электрошлаковая, лазерная и т.д.)

Основные физические процессы (металлургические, образование деформаций) на границе раздела

Расходные материалы для наплавки и плакирования

Процессы напыления: основные принципы, области применения (газопламенное порошковое, газопламенное проволокой, дуговое порошковое, дуговое проволокой, плазменно-порошковое, HVOF (высокоскоростное газо-кислородное), холодным газом и т.д.)

Оборудование и параметры для каждого способа

Подготовка поверхности основного металла

Материалы для напыления

Структура напыленного слоя и переходного слоя

Техники напыления: холодная и с расплавлением

Типовые области применения, проблемы

Стандарты на обработку поверхностей и материалы

Вопросы техники безопасности

### **1.15 Полностью механизированные процессы и робототехника**

Общие сведения о механизации сварочных процессов для повышения производительности

Роботизация, механизация и автоматизация: различия, преимущества, недостатки, области применения

Роботизация (он-лайн и офф-лайн программирование, моделирование, гибкие производственные системы)

Системы компьютерного проектирования CAD/CAM

Виртуальное производство, моделирование производства

Слежение за стыком, типы и области применения

Датчики на газовых соплах, дуга в качестве датчика, индукционные датчики, видеонаблюдение

Сварка в узкий зазор (под флюсом, MIG/MAG, TIG)

Орбитальная сварка (MIG/MAG, TIG)

Типовые разновидности роботов, области применения

Типовые области применения, проблемы, способы их решения

Вопросы техники безопасности

### **1.16 Пайка**

Общие сведения о процессах пайки (механизмы формирования соединений, поверхностное натяжение, смачиваемость, капиллярность)

Обзор способов пайки, оборудование, области применения

Расходные материалы и флюсы для пайки, типы, области применения, основные функции флюсов

Материалы, пригодные для высокотемпературной пайки, основные требования

Пайка в вакууме и контролируемой атмосфере

Пайка-сварка (дуговая и лазерная)

Обзор способов низкотемпературной пайки (погружением, волновая, осаждением)

Преимущества и недостатки высокотемпературной и низкотемпературной пайки

Типовые области применения, проблемы

Обзор стандартов

Вопросы техники безопасности

### **1.17 Сварка пластмасс**

Общая информация о материалах и процессах их соединения

Основные принципы процессов: сварка нагретым элементом, стыковая, горячим газом, экструзионная, индукционная, контактная, с промежуточной вставкой, высокочастотная, трением, электрическая плавлением, ультразвуковая, вибрационная, адгезионная, пайка)

Параметры режима и управление ими, оборудование, требования к соединениям

Преимущества и недостатки способов

Типовые области применения, проблемы, способы их решения

Вопросы техники безопасности

### **1.18 Соединение керамики и композитных материалов**

Общая информация о керамике и композитных материалах, процессах их соединения

Основные принципы процессов

Преимущества и недостатки способов

Типовые области применения, проблемы,

### **1.19 Лабораторные работы**

Практические занятия с изучением влияния параметров режима основных процессов сварки на форму сварного соединения (ручная дуговая, TIG, MIG/MAG, порошковой проволокой, под флюсом, газокислородная)

Обсуждение результатов (оценка соединений, диагностика)

Практические занятия с изучением влияния параметров основных процессов резки на поверхность реза (кислородная, воздушно-дуговая, плазменная, дуговая)

## **Модуль 2: Материалы и их свариваемость**

### **2.1 Структура и свойства металлов**

Кристаллические решетки

Типы кристаллической структуры, дефекты структуры

Деформация (упругая и пластическая)

Деформация в холодном и горячем состоянии

Упрочнение и старение

Рекристаллизация

Свойства (влияние температуры, скорости приложения нагрузки, окружающей среды)

### **2.2 Диаграммы состояния и сплавы**

Чистые металлы и сплавы

Легирующие элементы

Двухэлементные диаграммы состояния (основные виды, сплавы с частично и полностью взаимно растворяющимися компонентами, без взаимного растворения)

Трехкомпонентные диаграммы

Кристаллизация, сегрегация

Структура сплавов

Структура отливок

Растворы (твердые, замещения)

Интерметаллидные соединения

Превращения в твердой фазе

Равновесные и неравновесные превращения

Механизмы упрочнения (легирование, осаждение, размер зерен)

Старение

Зависимость механических свойств от микроструктуры

### **2.3 Железоуглеродистые сплавы**

Кристаллизация железа и структурные превращения в твердой фазе  
Диаграмма состояния железо-углерод  
Микроструктура железоуглеродистых сплавов (перлит, ледебурит, и т.д.)  
Влияние легирующих элементов на диаграмму состояния железо-углерод  
Элементы, способствующие образованию карбидов  
Сплавы с замкнутой и расширенной гамма-областью  
Влияние скорости охлаждения, упрочнение  
Диаграммы ТТТ (превращения при постоянной температуре) и CCT (С-образные)  
Влияние легирующих элементов на диаграмму ТТТ  
Рост зерна  
Классификация видов термической обработки

### **2.4 Производство и классификация сталей**

Введение в металлургию сталей  
Процессы производства сталей (печной, конвертерный, кислородный и т.д.)  
Обработка стали (горячая и холодная прокатка, литье и т.д.)  
Химический состав и примеси  
Свойства сталей  
Несплошности и дефекты сталей  
Классификация сталей (по назначению, ISO/TR 15608)  
Обозначения сталей( национальные стандарты, стандарты EN, Wr. No.)  
Стальной прокат (листы, трубы, профили)  
Рост зерна  
Сертификат качества (например, EN 10204)

### **2.5 Поведение конструкционных сталей при сварке плавлением**

Температурные поля  
Тепловложение и погонная энергия  
Максимальная температура  
Скорость охлаждения и термический цикл,  $\Delta t_{8/5}$   
Распространение теплоты  
Зона термического влияния (участок роста зерна, перекристаллизации, диаграммы CCT)  
Свойства в ЗТВ  
Эквивалент углерода  
Сварочная ванна, форма шва  
Изменение химического состава  
Структура сварного соединения  
Многопроходная сварка  
Уравнения для расчета распределения теплоты  
Структура наплавленного металла (защита шва, расходные материалы и т.д.)  
Кристаллизация сварочной ванны  
Зависимость вязкости от размеров зерен  
Температура превращения

## **2.6 Образование трещин в сварных соединениях**

Для нелегированных, жаростойких и нержавеющей сталей:

### **Холодные трещины:**

Механизмы образования трещин в металле сварного шва и ЗТВ, причины и методы борьбы

Влияние водорода

Источники водорода, диффузия

Управление содержанием водорода

Влияние микроструктуры

Желаемая микроструктура и способы ее получения

Влияние легирующих элементов на склонность к образованию холодных трещин

Влияние напряжений

Влияние элементов оснастки (фиксаторов)

Влияние предварительного подогрева

Влияние количества аустенита в металле шва

Испытания на склонность к образованию холодных трещин

Определение температуры предварительного подогрева и межваликовой температуры (диаграммы, ISO/TR 17671-2 и ISO 13916)

### **Горячие трещины:**

Механизмы образования горячих трещин в металле шва и ЗТВ (кристаллизационные трещины, ликвационное растрескивание и т.д.), причины и методы борьбы

Влияние легирующих элементов, тепловложения, формы шва, формы валика

Фазы ликвации

Предотвращение горячих трещин (ISO/TR 17671-2)

Испытания на склонность к образованию горячих трещин

### **Трещины повторного нагрева:**

Механизмы образования горячих трещин в металле шва и ЗТВ, причины и методы борьбы

Типы сталей, склонных к образованию трещин повторного нагрева

Влияние легирующих элементов, термического цикла, напряжений

Растрескивание при термической обработке и многопроходной сварке

Предотвращение образования трещин повторного нагрева

Испытания на склонность к образованию трещин повторного нагрева

### **Ламеллярные трещины:**

Механизмы образования трещин, причины и методы борьбы

Влияние дефектов, формы сварного соединения, напряжений

Управление процессами образования ламеллярных трещин за счет выбора материала и формы сварного соединения (ISO/TR 17671-2)

Испытания на склонность к образованию ламеллярных трещин (изучение свойств по толщине)

Стали с повышенной устойчивостью к ламеллярному растрескиванию

### **Общие вопросы:**

Зависимости для оценки склонности к образованию трещин

Морфология отдельных видов трещин

Стандарты на испытания на склонность к образованию трещин

## **2.7 Виды разрушений**

Разрушение вследствие механических перегрузок (механизм и способы предотвращения)

Усталостное разрушение (механизм и способы предотвращения)

Разрушение вследствие ползучести (механизм и способы предотвращения)

Хрупкое и вязкое разрушение

Примеры разрушений

## **2.8 Термообработка основного металла и сварного соединения**

### **Термическая обработка основного металла:**

Нормализация

Упрочнение

Закалка и закалка с последующим отпуском

Термообработка на твердый раствор

Гомогенизация

Рекристаллизационный отжиг

Дисперсионное упрочнение

### **Термообработка сварных соединений:**

Послесварочная термообработка (снятие напряжений, нормализация, упрочнение)

### **Технические руководства по термообработке:**

Процедуры термообработки

Обзор оборудования для термообработки

Нормативные документы, отчеты (ISO/TR 17663)

Введение в измерение и регистрацию температуры (ISO 13916)

## **2.9 Конструкционные (нелегированные) стали**

Стали группы 1 (ISO/TR 15608)

Химсостав

Виды нелегированных сталей

Эквивалент углерода

Зависимость способности к упрочнению от эквивалента углерода

Сварочные процессы

Присадочные материалы, выбор, стандарты

Микроструктура и свойства ЗТВ (прочность, вязкость)

Влияние термического цикла сварки

Области применения

Стандарты (ISO, CEN, национальные)

## **2.10 Высокопрочные стали**

Стали групп 2 и 3 (ISO/TR 15608)

Способы улучшения микроструктуры (микролегирование, введение модификаторов)

Принципы обработки (контролируемая прокатка, ускоренное охлаждение, закалка, термомеханическая обработка и т.д.)

Нормализованные стали (химсостав, свойства)

Закаленные стали и стали после закалки с отпуском (химсостав, свойства)

Высокопрочные стали (химсостав, механические свойства)

Свариваемость, подбор времени  $t_{8/5}$ , предварительный подогрев, межваликовая температура, эквивалент углерода

Влияние циклов сварки на ЗТВ (структура, свойства)

Стали для нужд автомобилестроения (TRIP, TWIP, двухфазные и т.д.)

Области применения

Стандарты (ISO, CEN, национальные)

Выбор присадочных материалов

## **2.11 Применение конструкционных и высокопрочных сталей**

Мосты  
Краны  
Строительство  
Кораблестроение  
Трубопроводы  
Сосуды, работающие под давлением  
Автомобилестроение  
Стандарты (ISO, CEN, национальные)

## **2.12 Ползучесть, стали с сопротивлением ползучести**

Механизм ползучести  
Испытания на сопротивляемость ползучести  
Отпускная хрупкость  
Типы сталей с сопротивлением ползучести (группы 4, 5, 6 по ISO/TR 15608)  
Сварочные процессы  
Присадочные материалы, специальные требования к химсоставу  
Проблемы сварки, способы решения  
Влияние термического цикла сварки  
Контроль качества сварных соединений  
Стандарты (ISO, CEN, национальные)

## **2.13 Стали криогенного назначения**

Стали группы 9 по ISO/TR 15608  
Требования к материалам криогенного назначения и работающих при низких температурах  
Обзор/ перечень сталей криогенного назначения (включая 9% Ni)  
Влияние никеля на свойства низколегированных сталей  
Сварочные процессы  
Присадочные материалы  
Проблемы сварки, способы решения  
Свойства и области применения различных сталей криогенного назначения  
Контроль качества сварных соединений  
Стандарты (ISO, CEN, национальные)

## **2.14 Введение в коррозию**

Основы электрохимии  
Окислительно-восстановительный потенциал  
Пассивация  
Общая коррозия  
Дифференциальная аэрация  
Катодная и анодная защита  
Типы коррозии (межкристаллитная, транскристаллитная, ножевая, питтинг, щелевая и коррозионное растрескивание)  
Травление и пассивация

## **2.15 нержавеющие и жаропрочные стали**

Влияние легирующих элементов на двухкомпонентные диаграммы и фазовый состав

Системы Fe-Cr, Fe-Ni, Fe-Cr-Ni

Аустенизаторы и ферритизаторы

Влияние водорода

Эквивалент хрома и никеля

Диаграмма Шеффлера-деЛонга, другие диаграммы состояния

Измерение содержания феррита (ISO 8249, ISO 17655)

Концепция свариваемости  $t_{12/8}$

Обзор нержавеющих сталей (полностью аустенитные, ферритосодержащие, дисперсионно упрочненные, дуплексные, химически пассивные, с сопротивлением ползучести, жаропрочные, суперферритные, супермартенситные, супераустенитные) - группы 7, 8, 9, 10 по ISO/TR 15608

Сварка нержавеющих сталей

Сварочные процессы

Выбор присадочных материалов

Защитные газы и газы для обдува обратной стороны шва

Требования к соединениям

Термообработка

Послесварочная термообработка

Пассивация

Ножевая коррозия

475 °C хрупкость

Межкристаллитная коррозия

Признаки точечной коррозии

Механизм жаропрочности

Сопротивляемость окислению

Стандарты (ISO, CEN, национальные)

## **2.16 Введение в износ и защитные покрытия**

### **Износ**

Виды износа (гидродинамическое трение, реакционный, износ слоев, адгезионный, абразивный, усталостный, эрозия, кавитация, ударный, температурный, динамический)

Смазывание

Испытания на износ

### **Плакирование:**

Плакированные слои и процессы плакирования, взаимное растворение

Соединение плакированных сталей

Требования к соединениям и сварочным процессам

Области применения

Стандарты

### **Облицовка:**

Приварка облицовочных слоев

Требования к соединениям и сварочным процессам

### **Нанесение защитных покрытий:**

Коррозионно-стойкие покрытия

Износостойкие покрытия

### **Покрyтия:**

Стали с покрытиями

Гальванизированные стали

Покраска

Проблемы соединения

## **2.17 Чугуны и литейные стали**

Чугуны и литейные стали: определения, классификация по ISO/TR 15608  
Обзор литейных сталей  
Обзор чугунов  
Свариваемость чугунов и литейных сталей  
Применяемые сварочные процессы  
Присадочные материалы  
Области применения специальных сварочных процессов  
Стандарты (ISO, CEN, национальные)

## **2.18 Медь и сплавы на основе меди**

Классификация меди и сплавов на основе меди по ISO/TR 15608  
Физические и механические свойства  
Раскисление и свариваемость  
Применяемые сварочные процессы (сварка, пайка)  
Присадочные материалы  
Области применения сварочных процессов и проблемы  
Стандарты (ISO, CEN, национальные)  
Контроль качества сварных соединений

## **2.19 Никель и сплавы на основе никеля**

Классификация никеля и сплавов на основе никеля по ISO/TR 15608  
Свариваемость никеля и сплавов на основе никеля  
Применяемые сварочные процессы и присадочные материалы  
Защитные газы, газы для обдува обратной стороны шва  
Проблемы при сварке (горячие трещины) и их предупреждение  
Контроль качества сварных соединений  
Области применения сварочных процессов и проблемы  
Стандарты (ISO, CEN, национальные)

## **2.20 Алюминий и сплавы на основе алюминия**

Классификация алюминия и сплавов на основе алюминия по ISO/TR 15608 (чистый, деформируемые и термоупрочняемые сплавы)  
Свариваемость алюминия и сплавов на основе алюминия (разупрочнение в ЗТВ, пористость, горячие трещины, деформации и коробление)  
Очищение от оксидной пленки (катодная очистка, травление)  
Применяемые сварочные процессы  
Присадочные материалы (выбор, хранение)  
Защитные газы, газы для обдува обратной стороны шва  
Особенности проектирования конструкций  
Подготовка соединений  
Области применения и проблемы (легковесные конструкции, криогенное назначение)

## **2.21 Титан и другие металлы и сплавы**

Титан: классификация сплавов по ISO/TR 15608  
Магний: классификация сплавов по ISO/TR 15608  
Тантал  
Цирконий  
Применяемые сварочные процессы присадочные материалы  
Типичные проблемы

## **2.22 Соединение разнородных материалов**

Основы сварки разнородных материалов

Использование диаграмм Шеффлера, деЛонга при сварке разнородных материалов

Выбор процессов соединения

Эффект взаимного растворения

Расходные материалы

Проблемы сварки (образование интерметаллидов, диффузия углерода)

Причины отказов при эксплуатации (термическая усталость, расслоение)

### **Типичные применения:**

Соединение высоколегированной и низкоуглеродистой стали

Соединение нержавеющей и низкоуглеродистой стали

Соединение аустенитной нержавеющей и мартенситной нержавеющей стали

Соединение аустенитной нержавеющей и ферритной нержавеющей стали

Соединение аустенитной нержавеющей и нержавеющей дуплекс стали

Соединение сплавов Cu-Ni и низкоуглеродистой/ нержавеющей стали

Соединение сплавов на основе никеля и низкоуглеродистой стали

Соединение нержавеющей стали и сплавов на основе меди

Соединение стали и алюминия, сплавов на основе алюминия

Соединение меди и алюминия, сплавов на основе алюминия

Соединение никеля и меди

## **2.23 Разрушающие испытания материалов и сварных соединений**

### **Разрушающие испытания:**

Испытания на разрыв

Испытания на изгиб

Ударные испытания

Определение твердости

Испытания на усталость

Испытания механики разрушения (CTOD и др.)

Испытания на ползучесть

Испытания на коррозию

Химический анализ

Определение содержания водорода

Металлографические исследования материалов и сварных соединений:

Подготовка образцов (шлифование, полирование)

Оборудование для подготовительных операций (ручное, механическое, автоматическое)

Микроскопы (оптические, электронные)

Исследования микро- и макроструктуры сварных соединений

Стандарты на испытания

## **Модуль 3: Сварные конструкции**

### **3.1 Основы теории конструкционных систем**

Элементы конструкций (нити, стержни, балки, пластины, плиты, оболочки)

Теория сил

Сложение и разложение сил

Равновесие сил и моментов

Опоры, ограничения и основные типы связей

Равновесие системы

Статически определенные и неопределенные системы

Напряжения, возникающие под действием внешних сил

Зависимость между нагрузкой и внутренними силами

Расчет и определение внутренних сил и моментов простых статически определенных систем

### **3.2 Введение в сопротивление материалов**

Виды напряжений (нормальные, тангенциальные)

Виды деформаций

Диаграмма растяжения, теории текучести

Упругая и пластическая деформация

Модуль Юнга, модуль сдвига, коэффициент поперечного сжатия

Основные свойства материалов

Виды напряжений, возникающие под действием внутренних сил и моментов

Свойства сечений

Характеристики сечений

Расчет напряжений

Предельные состояния и разрушение: вязкое, хрупкое, усталостное, в результате ползучести

### **3.3 Проектирование соединений под сварку и пайку**

Введение (важность выбора формы разделки кромок и проектирования сварных соединений, влияние сварочных напряжений и деформаций)

Типы сварных и паяных соединений (ISO 9692, CEN, национальные стандарты)

Выбор формы разделки кромок, типа сварного соединения, проектирование сварных соединений

Классификация видов разделки кромок (по типу материала, толщине, сварочному процессу, области применения)

Допуски (ISO 13920)

Обозначение сварных швов на чертежах

Обозначение сварных и паяных швов согласно ISO 2553

Национальные стандарты

### **3.4 Основы проектирования сварных соединений**

Виды напряжений в сварных соединениях (номинальные, в критических сечениях, в концентраторах)

Напряжения в стыковых и угловых швах

Расчет параметров сечения сварных швов

Определение номинальных напряжений в одиночных швах

Определение напряжений при многоосном напряженном состоянии

Определение допустимых напряжений для швов, выполненных дуговой и контактной сваркой

Примеры расчета номинальных напряжений в сварных соединениях

Главные напряжения, номинальные/ нормальные напряжения, касательные напряжения, круг Мора

Концентрация напряжений, коэффициент концентрации напряжений, коэффициент концентрации деформаций

Факторы ограничения. Расчет методом конечных элементов. Экспериментальное определение характеристик упругости: кривые растяжения, фотоэластичность, метод Муара (интерференция), голография

### **3.5 Поведение сварных конструкций при различных типах нагружения**

Предел прочности  
Прочность при повышении температуры  
Прочность при понижении температуры  
Соппротивление ползучести  
Поведение при ударных нагрузках  
Влияние концентраторов и дефектов сварки  
Виды разрушений (вязкое, хрупкое, усталостное, расслаивание)  
Выбор сталей по группам качества  
Типичные характеристики распространенных сталей  
Использование стандартов и нормативных документов  
Проведение экспериментов на растяжение-сжатие и обработка экспериментальных данных

### **3.6 Проектирование сварных соединений с преимущественно статической нагрузкой**

Стальные конструкции (включая легковесные)  
Элементы конструкций (колонны, элементы жесткости, места соединений, опорные и покрывающие плиты, армированные конструкции, подпорки, рамы и фермы, раскосы, узловые соединения, сварные соединения, скобы, решетчатые конструкции, и т.д.)  
Использование различных типов сварных швов  
Использование стандартов и нормативных документов  
Примеры

### **3.7 Поведение сварных конструкций при циклических нагрузках**

Виды и характеристики циклической нагрузки  
Статистический анализ напряжений в реальных конструкциях  
Диаграмма S-N  
Накопление напряжений  
Предел выносливости (малоцикловая усталость и др.)  
Влияние средних напряжений (включая остаточные)  
Влияние размаха напряжений  
Распределение напряжений  
Влияние концентраторов  
Влияние дефектов сварки  
Методы повышения выносливости (местная нагартовка, TIG обработка поверхности шва, проковка, снятие напряжений и т.д.)  
Стандарты ISO, CEN и национальные  
Правило Палмгрена-Минера  
Классификация сварных соединений

### **3.8 Проектирование сварных конструкций, работающих при циклической нагрузке**

Области применения (мосты, краны, машины, корабли и оффшорные конструкции, башни и мачты, транспорт: автомобильные, железнодорожный и др.)  
Критерии приемки  
Определение размеров в соответствии со стандартами и нормативными документами  
Рассмотрение примеров  
Методы расчета

### **3.9 Проектирование сварных конструкций, работающих под давлением**

Сварные конструкции: котлы, сосуды, трубопроводы и т.д.

Расчет сварных соединений

Учет высоких и низких температур

Проектирование (фланцы, штуцера, оболочки, компенсационные пластины и т.д.)

Использование стандартов, нормативных документов и законодательных актов

Рассмотрение примеров

Стандарты (ISO, CEN и национальные)

### **3.10 Проектирование конструкций из алюминиевых сплавов**

Сравнение основ проектирования стальных и алюминиевых конструкций

Легковесные конструкции

Распространенные сплавы, типичные нагрузки и деформации

Влияние ЗТВ (разупрочнение)

Особенности проектирования профилей

Учет дефектов

Области применения (транспорт, корабли, авиатехника, космическая техника)

Расчет размеров в соответствии со стандартами и нормативными документами

Рассмотрение примеров

### **3.11 Введение в механику разрушения**

Основы механики разрушений

Применение механики разрушений

Линейная упругая механика разрушений

Основы линейной упругой механики разрушений

Критический размер трещины,  $K_{Ic}$

Методы испытаний механики разрушений (CTOD и др.)

Методы оценки

Докритический рост трещины

Испытания на усталость

Стандарты ISO, CEN и национальные

## **Модуль 4: Сварочное производство**

### **4.1 Введение в обеспечение качества в сварочном производстве**

Концепция обеспечения качества и контроля качества (включая анализ и постоянное совершенствование)

Свариваемость (ISO / TR 581)

Программа проверки и инспекции (цель, состав и источники развития)

Аудит предприятия

Персонал и оборудование

Обслуживание и ремонт

Надзор

Деятельность инженеров / технологов / специалистов / практиков по сварке в различных отраслях промышленности (ISO 14731)

Стандарты (ISO 9000, ISO 3834, национальные и международные)

#### **4.2 Управление качеством при производстве**

Требования к качеству сварных и паяных конструкций

Производственный цикл сварки и пайки

Координаторы сварочных работ и персонал по обеспечению качества; функции и ответственность (ISO 14731, ISO 9712, CEN и национальные стандарты)

Общие сведения о подтверждении полномочий и аттестации сварщиков и пайщиков

Подтверждение полномочий и аттестация сварщиков и пайщиков (ISO 9606, CEN и национальные стандарты)

Технологическая инструкция по сварке (WPS) - цель, основы разработки (ISO 15607 и 15609, CEN и национальные стандарты)

Аттестация технологии сварки и пайки (ISO 15610, 15611, 15612, 15613 и 15614, CEN и национальные стандарты)

Аттестация операторов сварки и пайки (ISO 14732, CEN и национальные стандарты)

Прослеживаемость (идентификация материалов, сварщиков / операторов, процедур, сертификатов)

##### **Практические занятия:**

Аттестация технологии сварки

Аттестация персонала сварки

#### **4.3 Остаточные напряжения и деформации**

Факторы, влияющие на образование остаточных напряжений и деформаций

Термические характеристики материалов

Причины возникновения остаточных напряжений и деформаций

Зависимость механических характеристик от температуры

Величины продольных и поперечных напряжений сжатия

Распределение остаточных напряжений в сварном соединении (параллельно оси шва, перпендикулярно, по толщине детали, влияние толщины деталей)

Взаимосвязь между тепловложением, напряжениями и деформациями

Методы измерения остаточных напряжений

Специальные приемы сварки

Влияние остаточных напряжений на эксплуатационные характеристики конструкции

Методы уменьшения остаточных напряжений и деформаций

Примеры способов уменьшения и контроля деформаций

Обработка сварных швов, снятие сварочных деформаций (обработка давлением, прокатка, местный нагрев и др.).

#### **4.4 Сборочно-сварочное и вспомогательное оборудование**

Состав производственных линий

Сборочное оборудование, позиционеры (типы, области применения, преимущества, специальные мероприятия)

Роликовые стенды, манипуляторы

Кабели, электрические соединители, меры предосторожности

Рабочая зона (окружающая среда)

Дополнительное оборудование (установка, перемещение, обдув газом обратной стороны шва и др.)

Сборка соединений под сварку

Простановка прихваток (распределение, длина, удаление)

Оборудование для предварительного подогрева, термообработки, контроль температуры (для печей и средств локального нагрева)

#### **4.5 Техника безопасности**

Общие сведения о требованиях техники безопасности  
Охрана здоровья и окружающей среды, оценка рисков  
Электробезопасность  
Соединительное оборудование  
Защитные газы  
Излучение и защита глаз  
Сварочные аэрозоли  
Предельно допустимые концентрации  
Фильтры вентиляционных систем (ISO 15012), удаление аэрозолей (типы оборудования, систем)  
Эргономика  
Определение концентрации аэрозолей, критерии приемки  
Уровень шума и защита органов слуха  
Специальные риски, связанные с автоматизированными установками  
Стандарты и национальные нормативные документы  
Защитная одежда  
Риски, связанные с обработкой швов (вибрации и шум)  
Риски, связанные с нагревом (брызги металла, пламени, продукты сгорания, открытый огонь)  
Воздух рабочей зоны

#### **4.6 Измерение, контроль и регистрация параметров при сварке**

Методы измерения (электрические параметры, расход газа, температура, скорость)  
Инструменты (типы, типичные применения)  
Температура (ISO 13916), влажность, скорость движения воздуха  
Время охлаждения ( $t_{8/5}$ )  
Сварочные параметры (напряжение, ток, скорость, расход газа и др.)  
Контроль при термообработке (скорость нагрева и охлаждения ISO / TR 17663)  
Калибровка и аттестация оборудования (ISO 17662)

#### **4.7. Дефекты и критерии приемки**

Типы дефектов сварки (стандарты ISO 6520)  
Критерии приемки (ISO 5817, 10042, 13919, 9013, 17635)  
Влияние дефектов  
Общие сведения об ISO/TR 15235  
Инженерные методики анализа конструкции

#### **4.8 Неразрушающий контроль**

Основы неразрушающего контроля (визуальный, капиллярный, магнитопорошковый, вихревыми токами, акустическая эмиссия, рентгеновский, ультразвуковой и др.)  
Области применения и ограничения  
Конструктивные особенности с учетом методов контроля  
Калибровка  
Интерпретация  
Регистрация данных  
Правильный выбор методов неразрушающего контроля для различных случаев (CEN / TR 15135)  
Аттестация и сертификация персонала неразрушающего контроля (EN 437, ISO 9712)  
Процедуры неразрушающего контроля  
Автоматизация неразрушающего контроля (компьютерная оценка и др.)  
Применение стандартов и нормативных документов  
Вопросы охраны здоровья  
Осмотр документов и протоколов неразрушающего контроля реальных конструкций

#### **4.9 Экономика**

Анализ затрат при сварке  
Производительность наплавки  
Стоимость рабочей силы  
Стоимость сварочных материалов  
Стоимость оборудования  
Возмещение расходов  
Стоимость энергии  
Коэффициент использования оборудования для сварочных процессов  
Смета расходов при сварке  
Сведения о текущей стоимости рабочей силы, расходных материалов, оборудования, газов, электроэнергии и т.д.  
Применение программного обеспечения  
Меры по снижению затрат при сварке  
Механизация  
Автоматизация  
Роботизация

#### **4.10 Ремонтная сварка**

Технологическая инструкция по ремонтной сварке  
Программа ремонтной сварки  
Аттестация технологии ремонтной сварки  
Неразрушающий контроль при ремонтной сварке  
Специальные предостережения

#### **4.11 Сварные соединений арматурных сталей**

Типы арматурных сталей, их свойства  
Прямые и косвенные нагрузки  
Типы сварных соединений  
Расчеты  
Свариваемость с учетом требований к прочности сварного соединения  
Предварительный подогрев в зависимости от диаметра стержня  
Типовые сварочные процессы  
Стандарты и нормативные документы (ISO 17660 и национальные стандарты)

#### **4.12 Рассмотрение примеров производства сварных конструкций**

Конструкции из сталей и легких сплавов, котлы и сосуды, работающие под давлением, оборудование и трубопроводы для химических производств, кораблестроение, сооружения в открытом море, транспортная отрасль (автомобилестроение, железнодорожный транспорт), самолетостроение  
По каждой группе:  
Стандарты, особенности конструкции  
Выбор материалов и сварочных процессов  
Сварка на монтаже (транспортировка и монтаж)  
Расходные материалы, процедуры сварки  
Допуски на подготовку под сварку и сборки  
Послесварочная термообработка, неразрушающий контроль, контроль качества  
Практика по визуальному контролю (оценка сварных соединений на шлифах и образцах после разрушающего контроля, включая угловые швы)