**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

федеральное государственное автономное образовательное учреждение

высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ**

**ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**УТВЕРЖДАЮ**

Директор ИШНПТ

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ В.С. Высокосморный

«\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2024 г.

**ПРОГРАММА кандидатского экзамена**

ПРИЕМ **2024 г.**

ФОРМА ОБУЧЕНИЯ **очная**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **2.5.8 Сварка, родственные процессы и технологии** | | | | |
|  |  | | | |
| Уровень образования | Высшее образование – подготовка кадров высшей квалификации | | | |
| Курс | 2 | | семестр | **4** |
|  |  | | | |
|  |  | | | |
|  | |  | | |
| Заведующий кафедрой - руководитель  отделения на правах кафедры | |  | | В. А. Клименов |
| Руководитель программы аспирантуры (ПА) | |  | | В.А. Клименов |

2024 г.

1. **Общие положения**

Программа кандидатского экзамена по специальной дисциплине 2.5.8 Сварка, родственные процессы и технологии (далее – кандидатский экзамен) по программе подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (далее – программа аспирантуры) сформирована с учетом освоения аспирантами специальной дисциплины образовательного компонента программы аспирантуры и паспорта научной специальности.

Кандидатский экзамен представляет собой форму оценки степени подготовленности соискателя ученой степени кандидата наук к проведению научных исследований по конкретной научной специальности и отрасли науки, по которой подготавливается или подготовлена диссертация.

На кандидатском экзамене аспирант (соискатель) должен продемонстрировать умение пользоваться знаниями, приобретенными в ходе освоения дисциплин образовательного компонента программы аспирантуры.

Основу программы кандидатского экзамена по специальности 2.5.8 Сварка, родственные процессы и технологии, составили ключевые проблемы современного состояния и прогнозирование развития сварочного производства.

Направления исследований по специальности 2.5.8 Сварка, родственные процессы и технологии:

1. Физико-химические процессы в источниках энергии для сварки и родственных технологий.

2. Металлургические процессы в сварочной ванне, кристаллизация сварных швов.

3. Физические процессы в материалах при сварке и родственных технологиях, фазовые и структурные превращения, образование соединений и формирование их свойств.

4. Технологические основы сварки и родственных процессов.

5. Напряжения и деформации изделий при сварке и родственных процессах.

6. Системы стабилизации, программного управления и регулирования параметров технологии сварки и родственных процессов.

7. Влияние конструктивных особенностей сварных соединений и технологии сварки на прочность, надежность и ресурс сварных конструкций.

8. Оборудование для сварки и родственных процессов.

9. Материалы для сварки, родственных процессов и технологий.

10. Сварочные, присадочные, электродные материалы, флюсы, газы и припои, для образования, защиты и металлургической обработки зоны соединения конструкционных и функциональных материалов с применением сварочных источников энергии.

1. **Содержание и структура кандидатского экзамена**

**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.

**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, КПД процессов.

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

Физические процессы формирования излучения лазеров. Виды лазеров. Особенности газовых лазеров. Структурная схема СО2-лазера. Процессы, ограничивающие мощность СО2-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.

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

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, метод 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.

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.

Технология газопламенного и детонационного нанесения покрытий. Основные операции дуговой металлизации и плазменного напыления. Техника и технология вакуумных покрытий.

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 оксидов при пайке.

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

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

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.

**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 металлоконструкции. 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 прочности сварных конструкций при переменных нагрузках. Прочность сварных соединений при высоких и низких температурах.

Вероятностные методы оценки прочности сварных конструкций.

**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 основных блоков. Адаптивные роботы. Автоматические линии и участки роботов. Технико-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.

**Дополнительная часть программы кандидатского экзамена,**

**включающая региональную и вузовскую компоненты**

Специальные дополнительные требования к кандидатскому экзамену формируется аспиранту (соискателю) научным руководителем в зависимости от выбранного направления научных исследований, содержание которых изложено ниже.

**1. Математическое моделирование процессов сварки, пайки и наплавки**

Модель. Виды моделей. Приемы моделирования. Математическое моделирование. Классификация математических моделей по пространственно-временному признаку. Цель и задачи математического моделирования. Основные принципы построения математических моделей. Нахождение линейной эмпирической формулы. Метод «натянутой нити», метод сумм, метод наименьших квадратов.Статистический анализ результатов сравнительных испытаний. Критерии равенства и однородности. Однофакторный дисперсионный анализ. Планирование экстремальных поисковых экспериментов. Постановка задачи оптимизации. Метод Гаусса-Зейделя. Градиентные методы.

**2. Контроль и методы управления качеством в сварочном производстве**

Промышленная продукция сварочного производства и ее качества. Сварочные дефекты. Служба технического контроля. Контроль основных, сварочных материалов и сварочного оборудования. Контроль квалификации сварщиков и выполнения технологического процесса. Визуальный и измерительный контроль. Капиллярные методы контроля. Ультразвуковой и радиационный методы контроля. Магнитные методы контроля. Вихревой метод контроля. Тепловой контроль. Разрушающие методы контроля.

1. **Методические указания по процедуре проведения**

**и оценивания кандидатского экзамена**

**Условия допуска к сдаче кандидатского экзамена**

К кандидатскому экзамену допускаются:

* аспиранты, полностью освоившие программу специальной дисциплины и сдавшие зачет, предусмотренный учебным планом на предыдущем этапе обучения.
* соискатели, прикрепленные к ТПУ для сдачи кандидатских экзаменов, перед экзаменом по специальной дисциплине обязаны пройти собеседование с ведущими специалистами профильного ОМ ИШНПТ, на базе которой ведется подготовка аспирантов.

В рамках подготовки к кандидатскому экзамену по специальности 2.5.8 Сварка, родственные процессы и технологии аспирант (соискатель) представляет реферат по тематике своего диссертационного исследования. Тема реферата должна быть согласована с научным руководителем диссертации. Проверку подготовленного реферата проводит член экзаменационной комиссии. При наличии оценки «зачтено» за реферат аспирант допускается к сдаче кандидатского экзамена.

*Требования к оформлению*. Реферат выполняется на листах бумаги формата А4. Текст печатается на компьютере 14 шрифтом. Пробел между строками – 1,5 интервала. При написании текста необходимо соблюдать поля: левое - 25÷30 мм, правое – 10÷15 мм, верхнее - 20 мм, нижнее - 20 мм. Все страницы реферата нумеруются и брошюруются. Объем работы должен составлять не менее 1-го авторского листа (не менее 24 стр.). *Оригинальность текста реферата* должна составлять 95%.

*Структура реферата включает* титульный лист, лист рецензии, содержание, введение, основную часть, заключение, список использованной литературы.

*Титульный лист* является первым листом реферата и заполняется по образцу.

*Содержание* включает наименование глав, разделов, параграфов с указанием номера страницы, с которой они начинаются. Во *введении* раскрывается значение выбранной темы, степень ее исследованности, цель и задачи работы, формулируются основные положения темы и структура работы. Текст *основной* *части* делится на главы, разделы или параграфы, здесь излагается содержание работы. В основной части целесообразно выделение 2-3 вопросов, отражающих разные аспекты темы. В реферате важно привести различные точки зрения на проблему и дать им оценку. В *заключении* подводятся итоги рассмотрения темы. Приветствуется определение автором перспективных направлений по изучению проблемы.

Страницы реферата нумеруются арабскими цифрами, соблюдается сквозная нумерация по всему тексту. Номер ставится внизу страницы по центру. Каждая глава (раздел) должна начинаться с новой страницы. *Ссылки* на источники, цитаты в тексте в квадратных скобках. *Список использованной литературы* дается в алфавитном порядке и должен содержать не менее 15 источников, из них не менее 50% последних пяти лет, из которых не менее половины последних трех лет.

**Проведение кандидатского экзамена**

На кандидатском экзамене экзаменуемый должен продемонстрировать совокупность имеющихся знаний по специальной дисциплине.

Прием кандидатских экзаменов осуществляется очно и в устной форме в комиссии, утвержденной приказом ректора, в составе которой должно участвовать не менее 3-х членов. В случае особых обстоятельств допускается прием кандидатского экзамена в режиме онлайн.

Экзаменационный билет включает в себя 3 вопроса.

Первые два вопроса - это вопросы основной части данной Программы, которые соответствуют паспорту научной по специальности 2.5.8 Сварка, родственные процессы и технологии, третий вопрос должен соответствовать проблематике научной деятельности аспиранта (соискателя).

Ответы на вопросы выполняются в письменном виде в форме тезисов. Устный ответ осуществляется в виде самостоятельного изложения материала на основе письменных тезисов. После устного ответа члены экзаменационной комиссии вправе задать отвечающему уточняющие вопросы по ответам. При необходимости задаются дополнительные вопросы по различным темам специальной дисциплины. Результат сдачи заносится в журнал регистрации, который хранится в отделении / НОЦ. Протоколы сдачи экзаменов с подписью всех членов комиссии сдаются в отдел аспирантуры и докторантуры.

Критерии оценки ответа на кандидатском экзамене:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **% выполнения заданий**  **экзамена** | **Экзамен, балл** | **Соответствие**  **традиционной оценке** | **Определение оценки** |
| 90%÷100% | 18 ÷ 20 | «Отлично» | Отличное понимание предмета, всесторонние знания, отличные умения и владение опытом практической деятельности, необходимые результаты обучения сформированы, их качество оценено количеством баллов, близким к максимальному |
| 70% - 89% | 14 ÷ 17 | «Хорошо» | Достаточно полное понимание предмета, хорошие знания, умения и опыт практической деятельности, необходимые результаты обучения сформированы, качество ни одного из них не оценено минимальным количеством баллов |
| 55% - 69% | 11 ÷ 13 | «Удовл.» | Приемлемое понимание предмета, удовлетворительные знания, умения и опыт практической деятельности, необходимые результаты обучения сформированы, качество некоторых из них оценено минимальным количеством баллов |
| 0% - 54% | 0 ÷ 10 | «Неудовл.» | Результаты обучения не соответствуют минимально достаточным требованиям |

1. **Рекомендуемая литература**

**Основная литература**

1. Чернышов, Г. Г. Оборудование и основы технологии сварки металлов плавлением и давлением : учебное пособие / Г. Г. Чернышов, Д. М. Шашин. — Санкт-Петербург : Лань, 2013. — 464 с. — ISBN 978-5-8114-1342-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/12938 (дата обращения: 04.06.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Федосов, С. А. Основы технологии сварки : учебное пособие / С. А. Федосов, И. Э. Оськин. — 2-е изд. — Москва : Машиностроение, 2017. — 125 с. — ISBN 978-5-9909179-3-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/107157 (дата обращения: 04.06.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Зорин, Н. Е. Материаловедение сварки. Сварка плавлением : учебное пособие / Н. Е. Зорин, Е. Е. Зорин. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2017. — 164 с. — ISBN 978-5-8114-2156-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/90859 (дата обращения: 04.06.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Деев, Г. Ф. Зона сплавления в сварном соединении : монография / Г. Ф. Деев, Д. Г. Деев. — Санкт-Петербург : Лань, 2018. — 152 с. — ISBN 978-5-8114-2928-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/99279 (дата обращения: 04.06.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
5. Денисов, Л. С. Контроль и управление качеством сварочных работ : учебное пособие / Л. С. Денисов. — Минск : Вышэйшая школа, 2016. — 619 с. — ISBN 978-985-06-2739-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/92440 (дата обращения: 04.06.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
6. Маслов, Б. Г. Методы контроля проникающими веществами. Модуль 2 Капиллярная дефектоскопия : учебно-методическое пособие / Б. Г. Маслов, А. Л. Ремизов, А. А. Дерябин. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. — 52 с. — ISBN 978-5-7038-4706-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/103325 (дата обращения: 04.06.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
7. Герасимова, Л. П. Контроль качества сварных и паяных соединений : справочник / Л. П. Герасимова. — Вологда : Инфра-Инженерия, 2024. — 380 с. — ISBN 978-5-9729-1608-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/428858 (дата обращения: 04.06.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

**Дополнительная литература**

1. Зайцев, Н. Л. Теоретические основы сварки плавлением : учебное пособие / Н. Л. Зайцев. — Челябинск : ЮУрГУ, 2014. — 78 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/154146 (дата обращения: 04.06.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей..
2. Теория сварочных процессов : учебное пособие / В. М. Неровный, А. В. Коновалов, Б. Ф. Якушин [и др.] ; под редакцией В. М. Неровного. — 2-е изд. — Москва : МГТУ им. Баумана, 2016. — 702 с. — ISBN 978-5-7038-4543-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/106410 (дата обращения: 04.06.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Козловский, С. Н. Введение в сварочные технологии : учебное пособие / С. Н. Козловский. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 416 с. — ISBN 978-5-8114-1159-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/210602 (дата обращения: 04.06.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Лупачев, А. В. Технология сварки плавлением : учебное пособие / А. В. Лупачев, В. Г. Лупачев. — Минск : РИПО, 2020. — 446 с. — ISBN 978-985-7234-92-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/194919 (дата обращения: 04.06.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
5. Латыпова, Е. Ю. Сварка давлением: технология и оборудование : учебное пособие / Е. Ю. Латыпова, Ю. А. Цумарев. — Минск : РИПО, 2021. — 300 с. — ISBN 978-985-7253-25-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/333899 (дата обращения: 04.06.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
6. Зорин, Н. Е. Материаловедение сварки. Сварка плавлением / Н. Е. Зорин, Е. Е. Зорин. — 5-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2024. — 164 с. — ISBN 978-5-507-47409-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/382046 (дата обращения: 04.06.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
7. Казаков, С. И. Сварка плавлением и термическая резка металлов : учебное пособие / С. И. Казаков. — Курган : КГУ, 2014. — 365 с. — ISBN 978-5-4217-0276-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/177875 (дата обращения: 04.06.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
8. Бурмистров, Е. Г. Основы сварки и газотермических процессов в судостроении и судоремонте : учебник / Е. Г. Бурмистров. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2020. — 552 с. — ISBN 978-5-8114-5234-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/138176 (дата обращения: 04.06.2025). — Режим доступа: для авториз.
9. Михайлицын, С. В. Сварочные и наплавочные материалы / С. В. Михайлицын, И. Н. Зверева, М. А. Шекшеев. — Вологда : Инфра-Инженерия, 2020. — 228 с. — ISBN 978-5-9729-0402-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/148392 (дата обращения: 04.06.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
10. Овчинников, В. В. Сварочное производство. Сварочные материалы. Свойства сварных соединений. Дефекты сварных соединений : учебник / В. В. Овчинников, М. А. Гуреева. — Вологда : Инфра-Инженерия, 2023 — Том 2 — 2023. — 508 с. — ISBN 978-5-9729-1507-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/347306 (дата обращения: 04.06.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
11. Радченко, М. В. Производство сварных конструкций. Опасные производственные объекты : учебник / М. В. Радченко, В. Г. Радченко, Т. Б. Радченко. — Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. — 532 с. — ISBN 978-5-9729-0746-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/192606 (дата обращения: 04.06.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
12. Овчинников, В. В. Сварочное производство. Оборудование для производства сварных конструкций : учебник / В. В. Овчинников, М. А. Гуреева. — Вологда : Инфра-Инженерия, 2024 — Том 3 — 2024. — 596 с. — ISBN 978-5-9729-1701-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/428873 (дата обращения: 04.06.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
13. Лучкин, Р. С. Проектирование сварных конструкций : учебно-методическое пособие / Р. С. Лучкин. — Тольятти : ТГУ, 2017. — 150 с. — ISBN 978-5-8259-1148-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/140028 (дата обращения: 04.06.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
14. Макаров, Г. И. Расчет и проектирование сварных конструкций нефтегазового профиля : учебник / Г. И. Макаров. — Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. — 344 с. — ISBN 978-5-9729-0638-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/192607 (дата обращения: 04.06.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
15. Олещук, В. А. Автоматизация производственных процессов в машиностроении : учебное пособие / В. А. Олещук. — Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. — 152 с. — ISBN 978-5-9729-1315-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/346547 (дата обращения: 04.06.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.