

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
«ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Структурное подразделение «Материаловедения, сварочных и аддитивных технологий
(126)»

УТВЕРЖДЕНА:
на заседании кафедры
Протокол №5 от 10 марта 2026 г.

Рабочая программа дисциплины

«ТЕОРИЯ СВАРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ»

Направление: 15.03.01 Машиностроение

Оборудование и технология сварочного производства

Квалификация: Бакалавр

Форма обучения: заочная

Документ подписан простой электронной
подписью
Составитель программы: Гречнева Мария
Васильевна
Дата подписания: 17.06.2026

Документ подписан простой электронной
подписью
Утвердил и согласовал: Балановский Андрей
Евгеньевич
Дата подписания: 19.06.2026

Год набора – 2026

Иркутск, 2026 г.

1 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы

1.1 Дисциплина «Теория сварочных процессов» обеспечивает формирование следующих компетенций с учётом индикаторов их достижения

Код, наименование компетенции	Код индикатора компетенции
ПКС-8 Способность выбирать основные и вспомогательные материалы и способы реализации основных технологических процессов и применять прогрессивные методы эксплуатации технологического оборудования при изготовлении изделий машиностроения	ПКС-8.1, ПКС-8.2

1.2 В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы

Код индикатора	Содержание индикатора	Результат обучения
ПКС-8.1	Имеет представление о металлургических процессах при различных способах сварки; условиях формирования сварочной ванны при сварке плавлением	Знать особенности формирования и кристаллизации сварочной ванны, металлургические процессы при различных способах сварки; способы управления металлургическими процессами для обеспечения качества сварных соединений; принципы регулирования газосодержания в сварочной ванне. Уметь определять параметры термодинамической системы; анализировать физико-химические и металлургические процессы в системе «дуга – атмосфера – сварочная ванна». Владеть навыками выполнения термодинамических расчетов, определения вероятности протекания химических реакций в зоне сварки, выбора основных и вспомогательных материалов, навыками работы с металлографическим оборудованием.
ПКС-8.2	Знает схемы нагреваемых тел и источников нагрева, основные параметры термического цикла, прогнозирует структуру и свойства металла в ЗТВ. Имеет представление о свариваемости сталей и технологической прочности сварных соединений.	Знать теплофизические величины, понятия и законы; дифференциальное уравнение теплопроводности; схемы нагреваемых тел; сварочные источники теплоты и их схематизацию; основные параметры сварочного термического цикла;

	В курсовой работе правильно выполняет расчет тепловых процессов	природу образования горячих и холодных трещин; связь структуры сварного соединения с его эксплуатационными свойствами; возможные изменения механических свойств применяемых материалов под влиянием термомеханического цикла сварки. Уметь применять термокинетические диаграммы для прогнозирования структуры и свойств металла в ЗТВ; рассчитывать параметры термического цикла и тепловые характеристики процесса сварки; оценивать свариваемость используемых материалов и влияние термического цикла сварки на формирование структуры и свойств сварных соединений. Владеть методами оценки свариваемости материалов; методами выбора рациональных параметров термического цикла сварки; навыками прогнозирования появления возможных дефектов и их предупреждения.
--	---	---

2 Место дисциплины в структуре ООП

Изучение дисциплины «Теория сварочных процессов» базируется на результатах освоения следующих дисциплин/практик: «Математика», «Физика», «Химия», «Материаловедение», «Физико-химические процессы при сварке», «Источники энергии для сварочных процессов»

Дисциплина является предшествующей для дисциплин/практик: «Технология сварки плавлением и давлением», «Сварка специальных материалов», «Производство сварных конструкций», «Производство сварных конструкций северного исполнения», «Специальные методы сварки и пайки», «Материалы для инновационных технологий», «Сварка полимерных и композиционных материалов»

3 Объем дисциплины

Объем дисциплины составляет – 9 ЗЕТ

Вид учебной работы	Трудоемкость в академических часах (Один академический час соответствует 45 минутам астрономического часа)		
	Всего	Учебный год № 3	Учебный год № 4
Общая трудоемкость	324	180	144

дисциплины			
Аудиторные занятия, в том числе:	36	16	20
лекции	8	4	4
лабораторные работы	12	8	4
практические/семинарские занятия	16	4	12
Самостоятельная работа (в т.ч. курсовое проектирование)	275	160	115
Трудоемкость промежуточной аттестации	13	4	9
Вид промежуточной аттестации (итогового контроля по дисциплине)	Зачет, Экзамен, Курсовая работа	Зачет	Экзамен, Курсовая работа

4 Структура и содержание дисциплины

4.1 Сводные данные по содержанию дисциплины

Учебный год № 3

№ п/п	Наименование раздела и темы дисциплины	Виды контактной работы						СРС		Форма текущего контроля
		Лекции		ЛР		ПЗ(СЕМ)				
		№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Взаимодействие расплавленного металла с газовой фазой	1	1	1, 3	5	1	2	1, 1, 4, 5	42	Отчет по лаборатор ной работе, Отчет
2	Взаимодействие металла со шлаком	2		2	3			1, 5	20	Отчет по лаборатор ной работе
3	Химические реакции в зоне сварки плавлением	3	1					5	10	Тест
4	Кристаллизация металла сварочной ванны. Микроструктура сварного соединения	4	1			2	2	4, 5	22	Отчет
5	Металлургически е процессы при различных способах сварки	5	1					2, 3, 5	66	Тест
	Промежуточная аттестация								4	Зачет
	Всего		4		8		4		164	

Учебный год № 4

№ п/п	Наименование раздела и темы	Виды контактной работы			СРС	Форма текущего
		Лекции	ЛР	ПЗ(СЕМ)		

	дисциплины	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	контроля
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Основные понятия и законы в расчётах тепловых процессов при сварке. Сварочные источники теплоты	1	1	1	2	1	2	2, 3, 4	16	Отчет по лабораторной работе, Отчет
2	Расчёты температурных полей при различных схемах нагрева	2	1			2	3	3, 4	10	Отчет
3	Параметры термического цикла и их расчёт	3	1			3, 4	4	1, 3, 3, 4	58	Отчет
4	Нагрев и плавление металла при сварке	4						4	5	Контрольная работа
5	Свариваемость и ее показатели	5				5	3	3, 4	10	Отчет
6	Горячие трещины	6						4	5	Контрольная работа
7	Холодные трещины	7	1	2	2			2, 4	11	Отчет по лабораторной работе
	Промежуточная аттестация								9	Экзамен, Курсовая работа
	Всего		4		4		12		124	

4.2 Краткое содержание разделов и тем занятий

Учебный год № 3

№	Тема	Краткое содержание
1	Взаимодействие расплавленного металла с газовой фазой	Взаимодействие металлов с газами при сварке. Диссоциация газов. Влияние кислорода, азота и водорода на свойства стали. Влияние CO ₂ и CO на свойства стали.
2	Взаимодействие металла со шлаком	Взаимодействие металла с флюсами при сварке. Физические свойства шлаков. Характеристика важнейших оксидов, входящих в состав шлаковой фазы. Основные системы сварочных шлаков. Массообмен между расплавленным металлом, газовой средой и шлаком. Переход вредных примесей из флюса в металл шва.
3	Химические реакции в зоне сварки плавлением	Раскисление металла при сварке. Виды раскислительных процессов. Легирование наплавленного металла. Рафинирование сварочной ванны и модифицирование металла шва. Влияние серы на структуру и свойства шва. Десульфация

		сварочной ванны. Снижение содержания фосфора в металле шва.
4	Кристаллизация металла сварочной ванны. Микроструктура сварного соединения	Особенности кристаллизации металла сварного шва. Первичная кристаллизация. Схема кристаллизации сварных швов. Виды химической неоднородности сварных швов. Фазовые превращения в металлах в твёрдом состоянии. Полиморфные превращения. Ферритное, перлитное, мартенситное, бейнитное превращения. Фазовые и структурные превращения в сталях при сварке на разных этапах термического цикла. Строение зоны термического влияния.
5	Металлургические процессы при различных способах сварки	Металлургия сварки покрытыми электродами. Metallургия сварки под флюсом. Metallургические процессы при сварке в защитных газах. Metallургия сварки порошковой проволокой. Metallургические процессы при электрошлаковой сварке.

Учебный год № 4

№	Тема	Краткое содержание
1	Основные понятия и законы в расчётах тепловых процессов при сварке. Сварочные источники теплоты	Основные теплофизические величины и понятия. Закон теплопроводности Фурье. Схемы нагреваемых тел. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Схематизация источников теплоты. Сварочная дуга как источник теплоты. Тепловые характеристики сварочной дуги. Эффективная тепловая мощность дуги. Эффективный к.п.д. нагрева. Погонная энергия дуги. Распределение удельного теплового потока.
2	Расчёты температурных полей при различных схемах нагрева	Нагрев тел мгновенными источниками теплоты. Мгновенный точечный источник в бесконечном теле. Мгновенный линейный источник в бесконечной пластине. Мгновенный плоский источник в бесконечном стержне. Быстродвижущиеся источники теплоты.
3	Параметры термического цикла и их расчёт	Термический цикл при однопроводной сварке. Расчёт максимальных температур. Расчёт мгновенных скоростей охлаждения. Расчёт длительности пребывания при температуре выше заданной. Термический цикл при многослойной сварке. Тепловые режимы сварки.
4	Нагрев и плавление металла при сварке	Расчёт ширины различных участков зоны термического влияния. Формы сварочной ванны при различных способах сварки. Расчёт длины и ширины сварочной ванны. Тепловая эффективность процесса проплавления. Термический и полный к.п.д. процесса проплавления основного металла. Нагрев и плавление присадочного металла. Производительность расплавления электрода.

5	Свариваемость и ее показатели	Физическая и технологическая свариваемость. Критерии свариваемости. Оценка свариваемости сталей по эквивалентному содержанию углерода. Оценка свариваемости сталей по валиковой пробе и по методике ИМЕТ-1.
6	Горячие трещины	Деформационная способность металла сварного шва в процессе кристаллизации и последующего охлаждения. Причины образования горячих трещин. Виды горячих трещин. Факторы склонности к горячим трещинам и их предотвращение. Методы оценки стойкости сплавов к образованию горячих трещин.
7	Холодные трещины	Закалочная теория возникновения холодных трещин. Водородная теория возникновения холодных трещин. Теория замедленного разрушения. Предотвращение холодных трещин. Способы оценки склонности к холодным трещинам. Ламелярные трещины. Хрупкие разрушения.

4.3 Перечень лабораторных работ

Учебный год № 3

№	Наименование лабораторной работы	Кол-во академических часов
1	Изучение методики определения содержания диффузионного водорода в наплавленном металле	2
2	Определение содержания водорода в наплавленном металле в зависимости от вида электродного покрытия	3
3	Исследование влияния загрязнений свариваемых кромок и влаги на порообразование при автоматической сварке низкоуглеродистых сталей	3

Учебный год № 4

№	Наименование лабораторной работы	Кол-во академических часов
1	Определение эффективной тепловой мощности и эффективного к.п.д. сварочной дуги	2
2	Изучение структуры стали 45 в зоне термического влияния в зависимости от скорости ее охлаждения при температуре наименьшей устойчивости аустенита	2

4.4 Перечень практических занятий

Учебный год № 3

№	Темы практических (семинарских) занятий	Кол-во академических часов
1	Расчёт эффективного потенциала ионизации смеси газов и паров в дуге	2
2	Изучение строения сварного соединения	2

Учебный год № 4

№	Темы практических (семинарских) занятий	Кол-во академических часов
1	Расчёт эффективной мощности, погонной энергии, эффективного и термического к.п.д. при различных способах сварки	2
2	Расчёт ширины зон сварных соединений: перекристаллизации, перегрева, рекристаллизации, межкристаллитной коррозии	3
3	Расчёт скорости охлаждения при сварке	2
4	Расчёт длительности пребывания металла выше заданной температуры	2
5	Расчёт эквивалентного содержания углерода для различных марок стали	3

4.5 Самостоятельная работа

Учебный год № 3

№	Вид СРС	Кол-во академических часов
1	Оформление отчетов по лабораторным и практическим работам	30
2	Подготовка к зачёту	26
3	Подготовка к контрольным работам	30
4	Подготовка к практическим занятиям	24
5	Проработка разделов теоретического материала	50

Учебный год № 4

№	Вид СРС	Кол-во академических часов
1	Написание курсового проекта (работы)	43
2	Оформление отчетов по лабораторным и практическим работам	12
3	Подготовка к практическим занятиям	25
4	Проработка разделов теоретического материала	35

В ходе проведения занятий по дисциплине используются следующие интерактивные методы обучения: Интерактивная лекция

5 Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины

5.1 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

5.1.1 Методические указания для обучающихся по курсовому проектированию/работе:

1. Гречнева М. В. Теория сварочных процессов. Тепловые процессы и технологическая прочность металлов при сварке : учебное пособие / М. В. Гречнева, А. Е. Балановский, 2018. - 116 с.
2. Методические указания к самостоятельной работе по дисциплине "Теория сварочных процессов" [Электронный ресурс] : направление подготовки 15.03.01 "Машиностроение": программа бакалавриата "Оборудование и технология сварочного производства": форма обучения очная / Иркут. нац. исслед. техн. ун-т, Ин-т авиамашиностроения и трансп., Каф. машиностроит. технологий и материалов; сост. М. В. Гречнева. Ч. 2 : Тепловые процессы, свариваемость и технологическая прочность металлов при сварке, 2016. - 12 с.
<http://elib.istu.edu/viewer/view.php?file=/files/er-13968.pdf>
3. Матханов В. Н. Тепловые режимы электродуговой сварки сталей : учеб. пособие / Василий Николаевич Матханов, 1992. - 92 с.

5.1.2 Методические указания для обучающихся по практическим занятиям

1. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине "Теория сварочных процессов" [Электронный ресурс] : Направление подготовки: 15.03.01 «Машиностроение»: программа бакалавриата: «Оборудование и технология сварочного производства» / Иркут. нац. исслед. техн. ун-т, Ин-т авиамашиностроения и трансп., Каф. машиностроит. технологий и материалов; сост. М. В. Гречнева, А. Е. Балановский. Ч. 1 : Физико-химические и металлургические процессы при сварке, Ч. 2. Тепловые процессы, свариваемость и технологическая прочность металлов при сварке, 2016. - 12.
<http://elib.istu.edu/viewer/view.php?file=/files/er-13965.pdf>
2. Методические указания к самостоятельной работе по дисциплине "Теория сварочных процессов" [Электронный ресурс] : направление подготовки 15.03.01 "Машиностроение": программа бакалавриата "Оборудование и технология сварочного производства": форма обучения очная / Иркут. нац. исслед. техн. ун-т, Ин-т авиамашиностроения и трансп., Каф. машиностроит. технологий и материалов; сост. М. В. Гречнева. Ч. 2 : Тепловые процессы, свариваемость и технологическая прочность металлов при сварке, 2016. - 12 с.
<http://elib.istu.edu/viewer/view.php?file=/files/er-13968.pdf>

5.1.3 Методические указания для обучающихся по лабораторным работам:

Методические указания к лабораторным работам по дисциплине "Теория сварочных процессов" [Электронный ресурс] : направление подготовки 15.03.01 "Машиностроение": программа бакалавриата "Оборудование и технология сварочного производства" / Иркут. нац. исслед. техн. ун-т, Ин-т авиамашиностроения и трансп., Каф. машиностроит. технологий и материалов, 2016. - 16 с. <http://elib.istu.edu/viewer/view.php?file=/files/er-13961.pdf>

5.1.4 Методические указания для обучающихся по самостоятельной работе:

1. Гречнева М. В. Теория сварочных процессов. Тепловые процессы и технологическая прочность металлов при сварке : учебное пособие / М. В. Гречнева, А. Е. Балановский, 2018. - 116 с.
2. Методические указания к самостоятельной работе по дисциплине "Теория сварочных

процессов" [Электронный ресурс] : направление подготовки 15.03.01 "Машиностроение": программа бакалавриата "Оборудование и технология сварочного производства": форма обучения очная / Иркут. нац. исслед. техн. ун-т, Ин-т авиамашиностроения и трансп., Каф. машиностроит. технологий и материалов; сост. М. В. Гречнева. Ч. 2 : Тепловые процессы, свариваемость и технологическая прочность металлов при сварке, 2016. - 12 с.
<http://elib.istu.edu/viewer/view.php?file=/files/er-13968.pdf>

6 Фонд оценочных средств для контроля текущей успеваемости и проведения промежуточной аттестации по дисциплине

6.1 Оценочные средства для проведения текущего контроля

6.1.1 учебный год 3 | Тест

Описание процедуры.

Для студентов заочного обучения СРС составляет основную часть времени, отведённого на данную дисциплину. Самостоятельная проработка предусмотрена для всех разделов теоретического курса дисциплины и производится с использованием литературных источников, интернет-ресурсов, конспектов установочных лекций.

Для контроля используются вопросы из полного списка ФОС по дисциплине.

Критерии оценивания.

Ввиду невозможности проведения текущего контроля у студентов заочного обучения оценка знаний производится при проведении итогового контроля по дисциплине. Критерии приведены в типовых оценочных средствах промежуточной аттестации.

6.1.2 учебный год 3 | Отчет по лабораторной работе

Описание процедуры.

Каждый студент должен выполнить предусмотренные программой лабораторные работы. При подготовке к лабораторной работе следует изучить по лекциям и учебникам теоретический материал по теме работы, ознакомиться с методическими указаниями и сформулировать ответы на контрольные вопросы. По выполненной работе составить отчет, который должен содержать титульный лист с указанием названия работы, фамилии, имени и отчества студента и группы; цель работы; схемы, рисунки, графики и иные материалы; ответы на содержащиеся в задании контрольные вопросы. Отчёт оформляется в соответствии с требованиями, приведёнными в методических указаниях к лабораторной работе, и загружается в систему электронного обучения <https://el.istu.edu>. Работа считается зачётной при получении положительной оценки преподавателя.

Курс 3.

Лабораторная работа 1. Изучение методики определения содержания диффузионного водорода в наплавленном металле.

Вопросы для контроля:

1. В какой форме может существовать водород в металле?
2. Назовите источники водорода при различных способах сварки.
3. Какие методики определения водорода вы знаете?
4. Изложите сущность метода «карандашных проб».

Лабораторная работа 2. Определение содержания водорода в наплавленном металле в зависимости от вида электродного покрытия.

Вопросы для контроля:

1. Назовите типы электродных покрытий.
2. Что является основанием для контроля диффузионного водорода в металле сварного шва?
3. Как влияет водород на качество сварного шва?
4. Перечислите меры по предупреждению образования холодных трещин.

Лабораторная работа 3. Исследование влияния загрязнений свариваемых кромок и влаги на порообразование при автоматической сварке низкоуглеродистых сталей.

Вопросы для контроля:

1. Какова основная причина пористости металла шва?
2. Какие газы оказывают наибольшее влияние на образование пор в сварных соединениях из низкоуглеродистой стали?
3. Перечислите источники водорода в шве при РДС, сварке под флюсом, в среде защитных газов.
4. В чем заключается металлургический путь борьбы с пористостью? Приведите типичные химические реакции.
5. Как влияет скорость сварки на порообразование?

Курс 4.

Лабораторная работа 1. Определение эффективной тепловой мощности и эффективного к.п.д. сварочной дуги.

Вопросы для контроля:

1. Дайте определение полной и эффективной тепловой мощности дуги и эффективному к.п.д. дуги.
2. Назовите величины эффективного к.п.д. для наиболее распространённых способов сварки.
3. Что понимается под термином «водяной эквивалент калориметра»?
4. Что такое погонная энергия дуги?

Лабораторная работа 2. Изучение структуры стали 45 в зоне термического влияния в зависимости от скорости ее охлаждения при температуре наименьшей устойчивости аустенита.

Вопросы для контроля:

1. Охарактеризуйте свариваемость стали 45.
2. Как влияет скорость охлаждения на структуру и свойства стали 45?
3. Понятие и расчёт эквивалентного содержания углерода.
4. Назначение подогрева при сварке.
5. Строение зоны термического влияния при сварке закаливающих сталей.
6. Какие тепловые режимы используют при сварке закаливающих сталей?

Критерии оценивания.

Отчёт считается зачтённым, если студент объяснил в нём цели работы, раскрыл тему и ответил на контрольные вопросы. Работа считается незачтённой, если она не выполнена, неправильно решены задачи или не даны ответы на контрольные вопросы.

6.1.3 учебный год 3 | Отчет

Описание процедуры.

Каждый студент должен выполнить предусмотренные программой практические занятия. При подготовке к практическому занятию студент должен изучить материал по теме работы, ознакомиться с методическими указаниями и сформулировать ответы на контрольные вопросы. Отчёт оформляется в соответствии с требованиями, приведёнными в методических указаниях, и загружается в систему электронного обучения <https://el.istu.edu>. Работа считается зачётной при получении положительной оценки преподавателя.

Курс 3.

Практическое занятие 1. Расчёт эффективного потенциала ионизации смеси газов и паров в дуге.

Вопросы для контроля:

1. Что такое ионизация газов?
2. Понятия потенциала ионизации и работы выхода?
3. Какие компоненты электродных покрытий влияют на устойчивое горение дуги?
4. Что такое разрывная длина дуги?

Практическое занятие 2. Изучение строения сварного соединения.

Вопросы для контроля:

1. Какие виды кристаллизации различают в зоне сварного шва?
2. Что такое первичная кристаллизация?
3. Что такое вторичная кристаллизация?
4. Назовите виды ликвации в сварном шве. Приведите примеры.
5. Как влияет содержание углерода на степень ликвации?

Курс 4.

Практическое занятие 1. Расчёт эффективной мощности, погонной энергии, эффективного и термического к.п.д. при различных способах сварки.

Вопросы для контроля:

1. Как оценить тепловую эффективность процесса проплавления?
2. Какими способами возможна передача тепловой энергии?
3. Перечислите основные теплофизические свойства материалов.
4. Что такое эффективный, термический и полный к.п.д. проплавления?
5. Что такое полная и эффективная тепловая мощность дуги?
6. Что такое погонная энергия дуги?

Практическое занятие 2. Расчёт ширины зон сварных соединений: перекристаллизации, перегрева, рекристаллизации, межкристаллитной коррозии.

Вопросы для контроля:

1. Какие основные участки можно выделить в сварном соединении?
2. Какие процессы происходят в участке перегрева? Влияние роста зерна в околошовной зоне на свойства металла.
3. Какие процессы происходят в участке рекристаллизации? Влияние наклёпа металла в зоне сварных соединений на его свойства.
4. Что такое межкристаллитная коррозия? Назовите причины её возникновения. Чем устраняется склонность сварных соединений к МКК?
5. Как изменяются свойства в участке старения?
6. Что такое мартенсит?

Практическое занятие 3. Расчёт скорости охлаждения при сварке.

Вопросы для контроля:

1. К какому виду трещин приводит высокая скорость охлаждения?
2. К изменению каких свойств стали приводит повышение содержания углерода и легирующих элементов?
3. Какие схемы нагреваемых тел вы знаете?
4. Укажите технологические пути снижения склонности сталей к холодным трещинам.

Практическое занятие 4. Расчёт длительности пребывания металла выше заданной температуры.

Вопросы для контроля:

1. Что такое термический цикл?
2. Почему для расчёта параметров термического цикла при сварке используют модели быстро движущихся источников теплоты?
3. Как влияет длительность пребывания металла выше температуры перегрева на структуру и свойства околошовной зоны сварных соединений?
4. От чего зависит длительность пребывания металла выше заданной температуры?
5. Как определить длительность пребывания металла при температурах разупрочнения?

Практическое занятие 5. Расчёт эквивалентного содержания углерода для различных марок стали.

Вопросы для контроля:

1. Что такое эквивалентное содержание углерода?
2. От каких факторов зависит структура металла шва из перлитной стали?
3. Назовите три основных фактора трещинообразования при сварке.
4. В чём недостаток «закалочной» гипотезы образования холодных трещин?
5. Назовите общие для всех сталей пути борьбы с холодными трещинами.

Критерии оценивания.

При защите студент должен уметь объяснить ход решения задачи, ответить на контрольные вопросы, пояснить все приведенные расчеты и выводы. При выполнении этих требований практическое занятие считается зачтённым.

Практическое занятие считается незачтённым, если оно не выполнено, неправильно решены задачи, не пройдена процедура защиты или не даны ответы на контрольные вопросы.

6.1.4 учебный год 4 | Отчет по лабораторной работе

Описание процедуры.

Каждый студент должен выполнить предусмотренные программой лабораторные работы. При подготовке к лабораторной работе следует изучить по лекциям и учебникам теоретический материал по теме работы, ознакомиться с методическими указаниями и сформулировать ответы на контрольные вопросы. По выполненной работе составить отчет, который должен содержать титульный лист с указанием названия работы, фамилии, имени и отчества студента и группы; цель работы; схемы, рисунки, графики и иные материалы; ответы на содержащиеся в задании контрольные вопросы. Отчёт оформляется в соответствии с требованиями, приведёнными в методических указаниях к лабораторной работе, и загружается в систему электронного обучения <https://el.istu.edu>. Работа считается зачтённой при получении положительной оценки преподавателя.

Курс 3.

Лабораторная работа 1. Изучение методики определения содержания диффузионного водорода в наплавленном металле.

Вопросы для контроля:

1. В какой форме может существовать водород в металле?
2. Назовите источники водорода при различных способах сварки.
3. Какие методики определения водорода вы знаете?
4. Изложите сущность метода «карандашных проб».

Лабораторная работа 2. Определение содержания водорода в наплавленном металле в зависимости от вида электродного покрытия.

Вопросы для контроля:

1. Назовите типы электродных покрытий.
2. Что является основанием для контроля диффузионного водорода в металле сварного шва?
3. Как влияет водород на качество сварного шва?
4. Перечислите меры по предупреждению образования холодных трещин.

Лабораторная работа 3. Исследование влияния загрязнений свариваемых кромок и влаги на порообразование при автоматической сварке низкоуглеродистых сталей.

Вопросы для контроля:

1. Какова основная причина пористости металла шва?
2. Какие газы оказывают наибольшее влияние на образование пор в сварных соединениях из низкоуглеродистой стали?
3. Перечислите источники водорода в шве при РДС, сварке под флюсом, в среде защитных газов.
4. В чем заключается металлургический путь борьбы с пористостью? Приведите типичные химические реакции.
5. Как влияет скорость сварки на порообразование?

Курс 4.

Лабораторная работа 1. Определение эффективной тепловой мощности и эффективного к.п.д. сварочной дуги.

Вопросы для контроля:

1. Дайте определение полной и эффективной тепловой мощности дуги и эффективному к.п.д. дуги.
2. Назовите величины эффективного к.п.д. для наиболее распространённых способов сварки.
3. Что понимается под термином «водяной эквивалент калориметра»?
4. Что такое погонная энергия дуги?

Лабораторная работа 2. Изучение структуры стали 45 в зоне термического влияния в зависимости от скорости ее охлаждения при температуре наименьшей устойчивости аустенита.

Вопросы для контроля:

1. Охарактеризуйте свариваемость стали 45.
2. Как влияет скорость охлаждения на структуру и свойства стали 45?
3. Понятие и расчёт эквивалентного содержания углерода.
4. Назначение подогрева при сварке.

5. Строение зоны термического влияния при сварке закаливающих сталей.
6. Какие тепловые режимы используют при сварке закаливающих сталей?

Критерии оценивания.

Отчёт считается зачтённым, если студент объяснил в нём цели работы, раскрыл тему и ответил на контрольные вопросы. Работа считается незачтённой, если она не выполнена, неправильно решены задачи или не даны ответы на контрольные вопросы.

6.1.5 учебный год 4 | Контрольная работа

Описание процедуры.

Для лучшего усвоения теоретического материала и приобретения навыков его практического применения учебным планом предусмотрено выполнение контрольной работы. Контрольная работа оформляется в Microsoft Word и должна получить положительную оценку преподавателя, что является необходимым условием для допуска к зачёту.

Контрольная работа состоит из двух вопросов.

Пример контрольной работы:

1. Пути легирования металла шва при сварке покрытыми электродами.
2. Металлургия сварки под флюсом.

Критерии оценивания.

В контрольной работе студент должен показать знание теоретического материала, умение применять его при решении профессиональных задач; умение находить требуемую информацию в различных бумажных и электронных источниках и анализировать её. Контрольная работа считается зачтённой, если студент дал правильные и полные ответы на вопросы контрольной работы.

6.1.6 учебный год 4 | Отчет

Описание процедуры.

Каждый студент должен выполнить предусмотренные программой практические занятия. При подготовке к практическому занятию студент должен изучить материал по теме работы, ознакомиться с методическими указаниями и сформулировать ответы на контрольные вопросы. Отчёт оформляется в соответствии с требованиями, приведёнными в методических указаниях, и загружается в систему электронного обучения <https://el.istu.edu>. Работа считается зачтённой при получении положительной оценки преподавателя.

Курс 3.

Практическое занятие 1. Расчёт эффективного потенциала ионизации смеси газов и паров в дуге.

Вопросы для контроля:

1. Что такое ионизация газов?
2. Понятия потенциала ионизации и работы выхода?
3. Какие компоненты электродных покрытий влияют на устойчивое горение дуги?
4. Что такое разрывная длина дуги?

Практическое занятие 2. Изучение строения сварного соединения.

Вопросы для контроля:

1. Какие виды кристаллизации различают в зоне сварного шва?
2. Что такое первичная кристаллизация?
3. Что такое вторичная кристаллизация?
4. Назовите виды ликвации в сварном шве. Приведите примеры.
5. Как влияет содержание углерода на степень ликвации?

Курс 4.

Практическое занятие 1. Расчёт эффективной мощности, погонной энергии, эффективного и термического к.п.д. при различных способах сварки.

Вопросы для контроля:

1. Как оценить тепловую эффективность процесса проплавления?
2. Какими способами возможна передача тепловой энергии?
3. Перечислите основные теплофизические свойства материалов.
4. Что такое эффективный, термический и полный к.п.д. проплавления?
5. Что такое полная и эффективная тепловая мощность дуги?
6. Что такое погонная энергия дуги?

Практическое занятие 2. Расчёт ширины зон сварных соединений: перекристаллизации, перегрева, рекристаллизации, межкристаллитной коррозии.

Вопросы для контроля:

1. Какие основные участки можно выделить в сварном соединении?
2. Какие процессы происходят в участке перегрева? Влияние роста зерна в околошовной зоне на свойства металла.
3. Какие процессы происходят в участке рекристаллизации? Влияние наклёпа металла в зоне сварных соединений на его свойства.
4. Что такое межкристаллитная коррозия? Назовите причины её возникновения. Чем устраняется склонность сварных соединений к МКК?
5. Как изменяются свойства в участке старения?
6. Что такое мартенсит?

Практическое занятие 3. Расчёт скорости охлаждения при сварке.

Вопросы для контроля:

1. К какому виду трещин приводит высокая скорость охлаждения?
2. К изменению каких свойств стали приводит повышение содержания углерода и легирующих элементов?
3. Какие схемы нагреваемых тел вы знаете?
4. Укажите технологические пути снижения склонности сталей к холодным трещинам.

Практическое занятие 4. Расчёт длительности пребывания металла выше заданной температуры.

Вопросы для контроля:

1. Что такое термический цикл?
2. Почему для расчёта параметров термического цикла при сварке используют модели быстродвижущихся источников теплоты?
3. Как влияет длительность пребывания металла выше температуры перегрева на структуру и свойства околошовной зоны сварных соединений?
4. От чего зависит длительность пребывания металла выше заданной температуры?
5. Как определить длительность пребывания металла при температурах разупрочнения?

Практическое занятие 5. Расчёт эквивалентного содержания углерода для различных марок стали.

Вопросы для контроля:

1. Что такое эквивалентное содержание углерода?
2. От каких факторов зависит структура металла шва из перлитной стали?
3. Назовите три основных фактора трещинообразования при сварке.
4. В чём недостаток «закалочной» гипотезы образования холодных трещин?
5. Назовите общие для всех сталей пути борьбы с холодными трещинами.

Критерии оценивания.

При защите студент должен уметь объяснить ход решения задачи, ответить на контрольные вопросы, пояснить все приведенные расчеты и выводы. При выполнении этих требований практическое занятие считается зачтённым.

Практическое занятие считается незачтённым, если оно не выполнено, неправильно решены задачи, не пройдена процедура защиты или не даны ответы на контрольные вопросы.

6.2 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

6.2.1 Критерии и средства (методы) оценивания индикаторов достижения компетенции в рамках промежуточной аттестации

Индикатор достижения компетенции	Критерии оценивания	Средства (методы) оценивания промежуточной аттестации
ПКС-8.1	Знает металлургические процессы при сварке, особенности кристаллизации сварочной ванны, принципы регулирования газосодержания в сварочной ванне. Свободно владеет теоретическим материалом и практическими навыками в полном объёме, правильно обосновывает принятые решения.	Фонд оценочных средств по дисциплине «Теория сварочных процессов». Вид промежуточной аттестации – зачёт.
ПКС-8.2	Оценивает свариваемость используемых материалов и влияние термического цикла сварки на формирование структуры и свойств сварных соединений. Владеет навыками выбора основных и вспомогательных материалов для сварки. Выполняет различные виды заданий, правильно обосновывает принятые решения.	Фонд оценочных средств по дисциплине «Теория сварочных процессов». Вид промежуточной аттестации – экзамен, курсовая работа.

6.2.2 Типовые оценочные средства промежуточной аттестации

6.2.2.1 Учебный год 3, Типовые оценочные средства для проведения зачета по дисциплине

6.2.2.1.1 Описание процедуры

1. Формой итогового контроля по дисциплине на курсе 3 является зачёт в контактном виде, предполагающем устные ответы на вопросы билета, или тестирования.
2. Условием допуска студента к зачёту является выполнение всех лабораторных работ, представление отчётов по ним и выполнение контрольной работы.
3. Для оценки знаний студентов на зачёте используются вопросы из приведённого списка, который выдаётся студентам заблаговременно. Студент получает зачёт в случае удовлетворительных ответов на большинство предложенных вопросов.

Вопросы к зачёту на курсе 3:

1. Перечислите требования, предъявляемые к шлаку.
2. Какие элементы применяются в качестве раскислителей сварочной ванны?
3. Какая кристаллизация называется первичной кристаллизацией?
4. Назовите виды ликвации и причины возникновения ликвации.
5. В чем заключается явление «пинч-эффекта»?
6. Охарактеризуйте виды переноса электродного металла через дугу.
7. С какой целью проводят рафинирование?
8. Сварочная ванна. Отличия сварочной ванны от металлургической.
9. Легирование шва. Цель легирования. От чего зависит степень усвоения вводимых легирующих элементов.
10. Пути легирования металла шва при сварке покрытыми электродами.
11. Раскисление. Элементы-раскислители. Химическое сродство элементов электродного покрытия к кислороду.
12. Кислород. Взаимодействие кислорода с металлом жидкой ванны.
13. Влияние кислорода на свойства металла шва.
14. Азот. Влияние азота на свойства сварного шва.
15. Водород. Влияние водорода на свойства сварного шва.
16. Роль шлаков при сварке.
17. Требования, предъявляемые к шлаку.
18. Рафинирование металла сварного шва.
19. Металлургия сварки покрытыми электродами.
20. Металлургия сварки под флюсом.
21. Металлургические процессы при сварке в среде защитных газов.
22. Металлургия сварки порошковой проволокой.
23. Металлургические процессы при электрошлаковой сварке

6.2.2.1.2 Критерии оценивания

Зачтено	Не зачтено
Знает физико-химические и металлургические процессы при сварке, особенности кристаллизации сварочной ванны, принципы регулирования газосодержания в сварочной ванне, умеет анализировать химические реакции в зоне сварки.	Не знает основных положений курса либо не знает или не понимает значительной части материала, допускает существенные ошибки при ответах, не выполняет предложенные задания.

6.2.2.2 Учебный год 4, Типовые оценочные средства для курсовой работы/курсового проектирования по дисциплине

6.2.2.2.1 Описание процедуры

При выполнении курсовой работы требуется выполнить расчет температурных полей и термических циклов при а) наплавке валика на массивное изделие, б) при односторонней сварке листов встык. Оценить влияние тепловых режимов сварки (погонной энергии, скорости охлаждения, длительности пребывания выше температуры перегрева) на свариваемость сталей.

Этапы выполнения курсовой работы:

1. Построение кривых распределения температур поперёк шва в зависимости от расстояния от оси шва для различных моментов времени
2. Построение кривой распределения максимальных температур
3. Определение ширины заданной зоны сварного соединения
4. Построение изотерм температурного поля на поверхности изделия для заданных температур
5. Построение термических циклов точек с заданными максимальными температурами
6. Определение скорости охлаждения при температуре наименьшей устойчивости аустенита графическим и аналитическим способами
7. Определение длительности пребывания металла выше температуры перегрева графическим и аналитическим путём
8. Оценка влияния тепловых режимов на свариваемость заданной стали
9. Защита

Защита проходит в форме собеседования. При собеседовании студент должен показать знание тепловых процессов при сварке и умение объяснить выполненные расчёты. В зависимости от ответа студента ему могут быть заданы дополнительные вопросы.

Пример задания:

Выполнить расчет температурных полей и термических циклов для предложенной расчётной схемы. Оценить влияние тепловых режимов сварки (погонной энергии, скорости охлаждения, длительности пребывания выше температуры перегрева) на свариваемость сталей.

Вопросы для контроля:

1. Что такое коэффициент теплопроводности?
2. Что такое коэффициент температуропроводности?
3. Какие упрощённые схемы нагреваемого тела и источников тепла применяют при тепловых расчётах?
4. Что такое термический цикл данной точки тела при сварке?
5. Как изменяются термические циклы точек тела в зависимости от их расстояния от шва?
6. Что такое эффективная тепловая мощность и эффективный к.п.д. источника тепла?
7. Каково строение зоны термического влияния (ЗТВ) сварного соединения?
8. Какие процессы происходят в участке перегрева ЗТВ?
9. В какой области температур находится участок старения?
10. Какие процессы происходят в участке рекристаллизации?
11. Назовите основные параметры термического цикла сварки.
12. Какое влияние на структуру и свойства сварного соединения оказывает скорость охлаждения?
13. Что такое эквивалентное содержание углерода?

14. Охарактеризуйте свариваемость среднеуглеродистых и среднелегированных сталей.
15. Почему в среднеуглеродистых и среднелегированных сталях могут возникать холодные трещины?
16. Укажите технологические пути снижения склонности сталей к холодным трещинам.
17. Почему сварочные материалы обязательно прокаливаются и просушиваются перед сваркой?
18. Что такое межкристаллитная коррозия?
19. Что достигается высоким отпуском сварных соединений?
20. Что такое нормализация?
21. Как влияет на свойства металла увеличение длительности нагрева выше температуры перегрева?
22. Какие закалочные структуры вы знаете?
23. Какие тепловые режимы используются при сварке перлитных закаливающихся сталей?
24. Какие тепловые режимы применяют при сварке аустенитных сталей?

6.2.2.2 Критерии оценивания

Отлично	Хорошо	Удовлетворительно	Неудовлетворительно
Правильно и полностью выполнил тепловые расчёты, построил графики, сформулировал выводы по работе. Владеет материалом курса глубоко и прочно. Правильно отвечает на вопросы.	В основном, удовлетворяет требованиям на оценку «отлично», однако допустил в работе или при ответах несущественные неточности, погрешности в изложении, небрежности в оформлении записей и графиков.	В основном, выполнил работу, но при собеседовании не проявляет должную глубину в понимании существа вопросов. Допускает существенные неточности, поверхностные формулировки.	Неправильно выполнил расчёты, не знает основных положений курса либо не понимает значительной части материала, допускает существенные ошибки при ответах.

6.2.2.3 Учебный год 4, Типовые оценочные средства для проведения экзамена по дисциплине

6.2.2.3.1 Описание процедуры

1. Формой итогового контроля по дисциплине является экзамен в контактном виде, предполагающем устные ответы на вопросы билета, или тестирования. Для подготовки к экзамену студентам выдаётся список вопросов по всему курсу.
2. Для допуска к экзамену студенты должны выполнить и защитить лабораторные работы и отчёты по практическим занятиям.
3. Для оценки знаний на экзамене студенту предлагается билет, содержащий два вопроса и задачу. В зависимости от ответа студента экзаменатор может задать дополнительные вопросы как связанные с темами вопросов, содержащихся в билете, так и не связанные с ними.

Вопросы к экзамену на курсе 4:

1. Источники тепла и их схематизация.
2. Закон теплопроводности Фурье.
3. Дифференциальное уравнение теплопроводности.
4. Быстродвижущийся линейный источник в бесконечной пластине.
5. Быстродвижущийся точечный источник на поверхности полубесконечного тела.
6. Максимальные температуры при наплавке валика на массивное изделие.
7. Максимальные температуры при однопроводной сварке листов встык.
8. Мгновенная скорость охлаждения при наплавке валика на массивное изделие.
9. Мгновенная скорость охлаждения при однопроводной сварке листов встык.
10. Мгновенная скорость охлаждения при сварке плоского слоя.
11. Распределение удельного теплового потока в дуге и газосварочном пламени.
12. Эффективный к.п.д. проплавления при сварке.
13. Термический к.п.д. проплавления основного металла.
14. Полный к.п.д. проплавления основного металла.
15. Свариваемость и её основные критерии.
16. Деформационная способность металла шва в процессе охлаждения.
17. Факторы склонности к горячим трещинам.
18. Механизм образования горячих трещин при сварке.
19. Причины образования горячих кристаллизационных трещин.
20. Причины образования подсолидусных горячих трещин.
21. Меры по предотвращению горячих трещин.
22. Механизм образования холодных трещин при сварке.
23. Закалочная теория возникновения холодных трещин.
24. Водородная теория возникновения холодных трещин.
25. Предотвращение возникновения холодных трещин.
26. Расчётные методы оценки склонности к холодным трещинам.
27. Оценка свариваемости сталей по валиковой пробе МВТУ.
28. Оценка свариваемости сталей по методике ИМЕТ-1.
29. Использование эквивалентного содержания углерода для оценки свариваемости сталей.
30. Термический цикл при однопроводной сварке.
31. Термический цикл при многослойной сварке длинными участками.
32. Термический цикл при многослойной сварке короткими участками.
33. Применение диаграммы изотермического распада аустенита для условий сварки.
34. Назначение и виды подогрева при сварке.
35. Межкристаллитная коррозия и меры борьбы с ней.
36. Структурные изменения в ЗТВ низкоуглеродистой стали при медленном нагреве и охлаждении.
37. Тепловые режимы сварки перлитных закаливающихся сталей.
38. Тепловые режимы сварки аустенитных сталей.

Пример задания:

1. Водородная теория возникновения холодных трещин
2. Термический цикл при однопроводной сварке
3. Задача

6.2.2.3.2 Критерии оценивания

Отлично	Хорошо	Удовлетворительно	Неудовлетворительно
Усвоил материал курса глубоко и прочно, излагает его логически стройно, с полным пониманием существа вопроса. Правильно отвечает при видоизменении вопроса (задания), свободно выполняет задания, предлагаемые экзаменатором, правильно обосновывает принятые решения. Знает рекомендованную литературы.	Знает материал курса и умеет практически использовать его. В основном, удовлетворяет требованиям на оценку «отлично», однако допускает при ответе несущественные неточности, погрешности в изложении, небрежности в оформлении записей и рисунков.	Знает основные положения курса, но не проявляет должную глубину в понимании существа вопросов. Допускает существенные неточности, поверхностные формулировки. Излагает материал нелогично, испытывает затруднения в практическом применении знаний.	Не знает основных положений курса либо не знает или не понимает значительной части материала, допускает существенные ошибки при ответах, не выполняет предложенные задания.

7 Основная учебная литература

1. Балановский А. Е. Теория сварочных процессов : электронный курс / А. Е. Балановский, Е. П. Николаева, М. В. Гречнева, 2022

[Сайт] – URL: <https://el.istu.edu/course/view.php?id=3999>

2. Гречнева М. В. Теория сварочных процессов. Тепловые процессы и технологическая прочность металлов при сварке : учебное пособие / М. В. Гречнева, А. Е. Балановский, 2018. - 116.

[Сайт] – URL: <http://elib.istu.edu/viewer/view.php?file=/files3/er-22363.pdf>

3. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине "Теория сварочных процессов" : направление подготовки 15.03.01 "Машиностроение": программа бакалавриата "Оборудование и технология сварочного производства" / Иркут. нац. исслед. техн. ун-т, Ин-т авиамашиностроения и трансп., Каф. машиностроит. технологий и материалов, 2016. - 16.

[Сайт] – URL: <http://elib.istu.edu/viewer/view.php?file=/files/er-13961.pdf>

4. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине "Теория сварочных процессов" : Направление подготовки: 15.03.01 «Машиностроение»: программа бакалавриата: «Оборудование и технология сварочного производства» / Иркут. нац. исслед. техн. ун-т, Ин-т авиамашиностроения и трансп., Каф. машиностроит. технологий и материалов; сост. М. В. Гречнева, А. Е. Балановский. Ч. 1 : Физико-химические и

металлургические процессы при сварке, Ч. 2. Тепловые процессы, свариваемость и технологическая прочность

[Сайт] – URL: <http://elib.istu.edu/viewer/view.php?file=/files/er-13965.pdf>

5. Методические указания к самостоятельной работе по дисциплине "Теория сварочных процессов" : направление подготовки 15.03.01 "Машиностроение": программа бакалавриата "Оборудование и технология сварочного производства": форма обучения очная / Иркут. нац. исслед. техн. ун-т, Ин-т авиамашиностроения и трансп., Каф. машиностроит. технологий и материалов; сост. М. В. Гречнева. Ч. 2 : Тепловые процессы, свариваемость и технологическая прочность металлов при сварке, 2016. - 12.

[Сайт] – URL: <http://elib.istu.edu/viewer/view.php?file=/files/er-13968.pdf>

6. Теория сварочных процессов : учебник для вузов по направлению подготовки дипломированных специалистов "Машиностроительные технологии и оборудование", специальность "Оборудование и технология сварочного производства" / А. В. Коновалов [и др.]; под ред. В. М. Неровного, 2007. - 748.

7. Ефименко Л. А. Металловедение и термическая обработка сварных соединений : учеб. пособие для вузов по специальности "Мор. нефтегазовые сооружения" .. / Л. А. Ефименко, А. К. Прыгаев, О. Ю. Елагина, 2007. - 455.

8. Матханов В. Н. Тепловые режимы электродуговой сварки сталей : учебное пособие / В. Н. Матханов, М. В. Гречнева, 1992. - 92.

[Сайт] – URL: <http://elib.istu.edu/viewer/view.php?file=/files3/er-31938.pdf>

8 Дополнительная учебная литература и справочная

1. Багрянский Константин Владимирович. Теория сварочных процессов : учеб. для свароч. спец. вузов / Константин Владимирович Багрянский, Зинаида Александровна Добротина, Константин Константинович Хренов, 1976. - 423.

2. Теория сварочных процессов : учеб. для вузов по спец. "Оборуд. и технология сварочн. пр-ва / Под ред. Фролова В. В., 1988. - 559.

3. Матханов В. Н. Тепловые режимы электродуговой сварки сталей : учебное пособие / В. Н. Матханов, 1982. - 85.

9 Ресурсы сети Интернет

1. <http://library.istu.edu/>
2. <https://e.lanbook.com/>

10 Профессиональные базы данных

1. <http://new.fips.ru/>
2. <http://www1.fips.ru/>

11 Перечень информационных технологий, лицензионных и свободно распространяемых специализированных программных средств, информационных справочных систем

1. Microsoft Windows Professional 8 Russian
2. Microsoft Office Professional Plus 2013

12 Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. Полуавтомат Кетромат 1701 сварочный
2. 313849 Сварочный трансформатор
3. 310899 Стол сварщика УХП-4
4. 312369 Автомат св. АДФ-1202 с источником ВДУ-1202
5. 5892 Выпрямитель ВДУ-504
6. Печь муфельная ЭКПС 10
7. Установка для приготовления металлографических шлифов ШЛИФ-2М/V
8. Весы аналитические HR-150AZ
9. Твердомер стационарный универсальный HBRV-187.5
10. Микроскоп металлографический ММР-2