МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета_____ Ряжских В.И.

«21» февраля 2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины

«Теория сварочных процессов»

Направление подготовки 15.03.01 МАШИНОСТРОЕНИЕ

Профиль Технологии и оборудование сварочного производства

Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года / 4 года и 11 м.

Форма обучения очная / заочная

Год начала подготовки 2024

Автор программы _____ / Булков А.Б./

Заведующий кафедрой
Технологии сварочного
производства и диагностики _____ / Селиванов В.Ф./

Руководитель ОПОП _____ / Селиванов В.Ф./

Воронеж 2024

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины

формирование специалиста владеющего основами теоретических знаний о физических и физико-химических процессах, протекающих в зоне шва и прилежащих участках в процессе сварки.

1.2. Задачи освоения дисциплины

- формирование современных представлений о совокупности явлений, составляющих сущность сварки;
- формирование способности к получению новой информации, качественного и количественного анализа явлений, происходящих в процессе сварки;
- получение навыков расчета процессов, происходящих при формировании сварного соединения.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Теория сварочных процессов» относится к дисциплинам вариативной части блока Б1.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Теория сварочных процессов» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-3 – способен участвовать в работах по доводке и освоению технологических процессов сварки и родственных процессов в ходе подготовки производства новой продукции

ПК-5 – способен к метрологическому обеспечению технологических процессов, к использованию типовых методов контроля качества выпускаемой продукции в сварочном производстве

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-3	**Знать** методы теоретического и экспериментального исследования сварочных процессов
	Уметь применять методы математического анализа и моделирования при исследовании сварочных процессов; использовать базовые методы исследовательской работы
	Владеть навыками эксплуатации приборов и оборудования, используемых при исследовании сварочных процессов; навыками обработки результатов исследований
ПК-5	**Знать** физические основы образования сварных, паяных и клеевых соединений; характеристики и возможности источников энергии, используемых при сварке, пайке и термической резке; основы процессов перераспределения вводимой при сварке и термической резке теплоты; природу и специфику фазовых и структурных превращений в металлах и термодеформационных процессов.

	Уметь классифицировать способы сварки по видам источника энергии, определять энергетические характеристики источников энергии; правильно выбрать элементарное тело, эквивалентное рассматриваемому нагреваемому изделию; схематизировать источники теплоты; сформулировать граничные условия; рассчитать температурное поле; вычислить необходимые параметры термического цикла; описать сущность и природу физико-химических процессов, протекающих при определенном способе сварки в характерных зонах соединения, и ориентировочно прогнозировать химический состав металла сварного шва; с использованием справочных материалов и на основе расчетных данных по параметрам сварочных термодеформационных циклов прогнозировать, а затем экспериментально подтвердить наличие характерных участков со структурами определенного типа в сварных соединениях в зависимости от природы свариваемого материала и особенностей технологии сварки
	Владеть основами выбора способа сварки и сварочных материалов для определенного конструкционного материала; основами расчетов свариваемости металлов и сплавов, распределения теплового поля в металле при сварке, основами расчетов возможности фазовых и структурных превращений при тепловом воздействии источников энергии при сварке

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Теория сварочных процессов» составляет 8 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры	
		5	6
Аудиторные занятия (всего)	128	64	64
В том числе:			
Лекции	72	36	36
Практические занятия (ПЗ)	36	18	18
Лабораторные работы (ЛР)	20	10	10
Самостоятельная работа	106	89	17
Курсовая работа	+		+
Часы на контроль	54	27	27
Виды промежуточной аттестации - экзамен	+	+	+
Общая трудоемкость: академические часы зач.ед.	 288 8	 180 5	 108 3

заочная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		5
Аудиторные занятия (всего)	18	18
В том числе:		
Лекции	6	6
Практические занятия (ПЗ)	6	6
Лабораторные работы (ЛР)	6	6
Самостоятельная работа	261	261
Курсовая работа	+	+
Часы на контроль	9	9
Виды промежуточной аттестации - экзамен	+	+
Общая трудоемкость: академические часы зач.ед.	 288 8	 288 8

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лек	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Физические основы и классификация процессов сварки	Виды элементарных связей в твердых телах и монолитных соединениях. Физико-химические особенности получения сварных, паяных и клеевых соединений. Сварка в жидкой и твердой фазах. Пайка и склеивание. Термодинамика и баланс энергии процесса сварки. КПД сварочных процессов. Классификация процессов сварки. Термические процессы. Термомеханические процессы. Прессовые и механические процессы. Оценка энергетической эффективности процессов сварки. Требования к источникам энергии сварочных процессов.	8	4	-	10	22
2	Физико-химические процессы в дуговом разряде	Проводимость твердых тел, жидкостей и газов. Электрический разряд в газах. Определение дугового разряда. Возбуждение дуги и ее основные зоны. Вольтамперная характеристика дуги. Элементарные процессы в столбе дуги. Явление ионизации, потенциал ионизации. Механизмы ионизации. Термическая ионизация газа. Уравнение Саха. Эффективный потенциал ионизации. Явление переноса в столбе дуги (электро- и теплопроводность), их значение. Саморегулирование процессов в столбе дуги. Баланс энергии в столбе дуги. Средняя температура, напряженность и средняя плотность в столбе дуги. Уравнения К.К.Хренова для расчета температуры дуги. Приэлектродные области дугового разряда. Эмиссионные процессы на поверхности твердых тел. Магнитогидродинамика сварочной дуги. Магнитное поле сварочного контура. Внешнее магнитное поле и дуга. Перенос металла в сварочных дугах. Импульсное управление переносом металла в дуге. Разновидности дуговых разрядов, применяемых в сварочной технике. Особенности дуги переменного тока. Вентильный эффект и постоянная составляющая тока. Сварка на переменном токе. Сварочные дуги с плавящимся электродом. Особенности дуги в защитных газах и вакууме. Сварочные дуги с неплавящимся электродом. Плазменные сварочные дуги. Виды и особенности плазменных дуг.	18	10	8	22	58
3	Термические	Электронно-лучевые источники. Основные физические характе-	6	-	-	8	14

	недуговые источники энергии	ристики. Взаимодействие электронного луча с веществом. Применение электронно-лучевых процессов. Фотонно-лучевые источники. Полихроматический свет. Когерентное излучение лазеров и его основные свойства. Взаимодействия излучения с веществом. Применение фотонно-лучевых источников. Газопламенные источники энергии сварки и резки металлов. Газовое пламя: параметры и строение. Физико-химические основы газопламенной резки металлов. Термический и термохимический виды резки.					
4	Термопрессовые и прессомеханические сварочные процессы	Термопрессовые процессы. Способы термопрессовой сварки. Контактная сварка. Кузнечная сварка. Классификация прессомеханических источников. Прессовомеханический контакт и холодная сварка. Трущийся контакт и сварка трением. Ударный контакт и сварка взрывом.	4	4	4	6	18
5	Основные понятия и законы в расчетах тепловых процессов при сварке	Основные понятия и определения. Схемы нагреваемого тела. Теплофизические величины и понятия. Закон теплопроводности Фурье. Поверхностная теплоотдача и краевые условия. Конвективный теплообмен. Лучистый теплообмен. Краевые условия. Дифференциальные уравнения теплопроводности. Классификация источников теплоты. Схематизация сварочных источников теплоты.	6	4	-	10	20
6	Тепловые процессы при нагреве тел источниками теплоты	Распределение теплоты от неподвижных источников. Мгновенный точечный источник. Мгновенный линейный источник. Мгновенный плоский источник. Непрерывно действующие неподвижные источники. Движущиеся источники теплоты. Точечный источник на поверхности полубесконечного тела. Линейный источник в бесконечной пластине. Плоский источник в бесконечном стержне. Периоды теплонасыщения и выравнивания температуры. Быстродвижущиеся источники теплоты. Влияние ограниченности размеров тела на процессы распространения теплоты. Быстродвижущийся точечный источник на поверхности пластины. Распределение источника теплоты. Мгновенный нормально круговой источник. Движущийся нормально круговой источник. Расчет температур при сварке разнородных металлов. Использование ЭВМ для расчетов полей температур. Экспериментальное определение температуры при сварке.	8	8	-	8	24
7	Нагрев и плавление металла при сварке	Влияние режима сварки и теплофизических свойств металла на поле температур. Размер зоны нагрева. Термический цикл при однопроходной сварке; максимальные температуры. Мгновенная скорость охлаждения при данной температуре. Длительность пребывания металла выше данной температуры. Нагрев и плавление присадочного металла. Плавление электрода. Плавление основного металла. Формы сварочной ванны при различных способах сварки. Температура сварочной ванны. Тепловая эффективность процесса сварки.	4	4	-	10	18
8	Термодеформационные процессы и превращения в металлах при сварке	Термодеформационные процессы при сварке. Понятие о сварочных деформациях и напряжениях. Виды сварочных напряжений и деформаций. Свойства металлов при температурах сварочного термического цикла. Типичные дилатометрические кривые металлов при сварке. Понятие о термодеформационном цикле при сварке. Образование сварных соединений и формирование первичной структуры металла шва. Понятие о свариваемости. Критерии свариваемости. Общие положения теории кристаллизации. Понятие о термическом и концентрационном переохлаждении. Гомогенная и гетерогенная кристаллизация, скорость кристаллизации. Особенности кристаллизации чистых металлов. Кристаллизация сплавов. Типы первичной структуры при кристаллизации. Особенности кристаллизации и формирования первичной структуры металла шва. Схема кристаллизации шва. Факторы, влияющие на первичную структуру сварного шва. Способы изменения структуры шва при сварке.	6	-	4	12	22
9	Химическая неоднородность сварного соединения.	Химическая неоднородность сварного соединения. Виды химической неоднородности шва. Влияние режима сварки на степень химической неоднородности сварного шва. Дефекты кристаллической решетки в металлах при сварке. Понятие	6	-	-	12	18

	Горячие трещины	о дефектах кристаллической решетки. Особенности распределения и плотность несовершенств кристаллического строения в металле сварного соединения. Природа образования горячих трещин при сварке. Характер изменения прочности и пластичности металлов и сплавов в области высоких температур. Виды горячих трещин. Способы оценки сопротивляемости сплавов образованию горячих трещин при сварке. Методы повышения сопротивляемости сварных соединений образованию горячих трещин.					
10	Фазовые и структурные превращения в металлах. Холодные трещины	Фазовые и структурные превращения в металлах в твердом состоянии при сварке. Характерные зоны сварных соединений. Виды превращений в металле сварных соединений. Природа и механизм образования холодных трещин в сварных соединениях. Виды холодных трещин. Замедленный характер разрушения металла. Способы повышения сопротивляемости сварных соединений холодным трещинам. Явление охрупчивания и хрупкое разрушение металла сварных соединений. Механизм и природа образования трещин повторного нагрева. Оценка сопротивляемости сталей трещинам повторного нагрева. Способы предотвращения трещин.	6	2	4	8	20
		Итого	**72**	**36**	**20**	**106**	**234**

заочная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лек	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Физические основы и классификация процессов сварки	Виды элементарных связей в твердых телах и монолитных соединениях. Физико-химические особенности получения сварных, паяных и клеевых соединений. Сварка в жидкой и твердой фазах. Пайка и склеивание. Термодинамика и баланс энергии процесса сварки. КПД сварочных процессов. Классификация процессов сварки. Термические процессы. Термомеханические процессы. Прессовые и механические процессы. Оценка энергетической эффективности процессов сварки. Требования к источникам энергии сварочных процессов.	2	-	-	24	26
2	Физико-химические процессы в дуговом разряде	Проводимость твердых тел, жидкостей и газов. Электрический разряд в газах. Определение дугового разряда. Возбуждение дуги и ее основные зоны. Вольтамперная характеристика дуги. Элементарные процессы в столбе дуги. Явление ионизации, потенциал ионизации. Механизмы ионизации. Термическая ионизация газа. Уравнение Саха. Эффективный потенциал ионизации. Явление переноса в столбе дуги (электро- и теплопроводность), их значение. Саморегулирование процессов в столбе дуги. Баланс энергии в столбе дуги. Средняя температура, напряженность и средняя плотность в столбе дуги. Уравнения К.К.Хренова для расчета температуры дуги. Приэлектродные области дугового разряда. Эмиссионные процессы на поверхности твердых тел. Магнитогидродинамика сварочной дуги. Магнитное поле сварочного контура. Внешнее магнитное поле и дуга. Перенос металла в сварочных дугах. Импульсное управление переносом металла в дуге. Разновидности дуговых разрядов, применяемых в сварочной технике. Особенности дуги переменного тока. Вентильный эффект и постоянная составляющая тока. Сварка на переменном токе. Сварочные дуги с плавящимся электродом. Особенности дуги в защитных газах и вакууме. Сварочные дуги с неплавящимся электродом. Плазменные сварочные дуги. Виды и особенности плазменных дуг.	2	-	2	36	40
3	Термические недуговые источники энергии	Электронно-лучевые источники. Основные физические характеристики. Взаимодействие электронного луча с веществом. Применение электронно-лучевых процессов. Фотонно-лучевые источники. Полихроматический свет. Когерентное излучение лазеров и его основные свойства. Взаимодействия излучения с веществом. Применение фотонно-лучевых источников. Газопламенные источники энергии сварки и резки металлов. Газовое пламя: параметры и строение. Физико-химические основы газопламенной резки металлов. Термический и термохимический виды резки.	-	-	-	26	26

4	Термопрессовые и прессомеханические сварочные процессы	Термопрессовые процессы. Способы термопрессовой сварки. Контактная сварка. Кузнечная сварка. Классификация прессомеханических источников. Прессовомеханический контакт и холодная сварка. Трущийся контакт и сварка трением. Ударный контакт и сварка взрывом.	-	-	-	26	26
5	Основные понятия и законы в расчетах тепловых процессов при сварке	Основные понятия и определения. Схемы нагреваемого тела. Теплофизические величины и понятия. Закон теплопроводности Фурье. Поверхностная теплоотдача и краевые условия. Конвективный теплообмен. Лучистый теплообмен. Краевые условия. Дифференциальные уравнения теплопроводности. Классификация источников теплоты. Схематизация сварочных источников теплоты.	-	2	-	26	28
6	Тепловые процессы при нагреве тел источниками теплоты	Распределение теплоты от неподвижных источников. Мгновенный точечный источник. Мгновенный линейный источник. Мгновенный плоский источник. Непрерывно действующие неподвижные источники. Движущиеся источники теплоты. Точечный источник на поверхности полубесконечного тела. Линейный источник в бесконечной пластине. Плоский источник в бесконечном стержне. Периоды теплонасыщения и выравнивания температуры. Быстродвижущиеся источники теплоты. Влияние ограниченности размеров тела на процессы распространения теплоты. Быстродвижущийся точечный источник на поверхности пластины. Распределение источника теплоты. Мгновенный нормально круговой источник. Движущийся нормально круговой источник. Расчет температур при сварке разнородных металлов. Использование ЭВМ для расчетов полей температур. Экспериментальное определение температуры при сварке.	-	2	2	26	30
7	Нагрев и плавление металла при сварке	Влияние режима сварки и теплофизических свойств металла на поле температур. Размер зоны нагрева. Термический цикл при однопроходной сварке; максимальные температуры. Мгновенная скорость охлаждения при данной температуре. Длительность пребывания металла выше данной температуры. Нагрев и плавление присадочного металла. Плавление электрода. Плавление основного металла. Формы сварочной ванны при различных способах сварки. Температура сварочной ванны. Тепловая эффективность процесса сварки.	-	1	2	24	27
8	Термодеформационные процессы и превращения в металлах при сварке	Термодеформационные процессы при сварке. Понятие о сварочных деформациях и напряжениях. Виды сварочных напряжений и деформаций. Свойства металлов при температурах сварочного термического цикла. Типичные дилатометрические кривые металлов при сварке. Понятие о термодеформационном цикле при сварке. Образование сварных соединений и формирование первичной структуры металла шва. Понятие о свариваемости. Критерии свариваемости. Общие положения теории кристаллизации. Понятие о термическом и концентрационном переохлаждении. Гомогенная и гетерогенная кристаллизация, скорость кристаллизации. Особенности кристаллизации чистых металлов. Кристаллизация сплавов. Типы первичной структуры при кристаллизации. Особенности кристаллизации и формирования первичной структуры металла шва. Схема кристаллизации шва. Факторы, влияющие на первичную структуру сварного шва. Способы изменения структуры шва при сварке.	2	-	-	26	28
9	Химическая неоднородность сварного соединения. Горячие трещины	Химическая неоднородность сварного соединения. Виды химической неоднородности шва. Влияние режима сварки на степень химической неоднородности сварного шва. Дефекты кристаллической решетки в металлах при сварке. Понятие о дефектах кристаллической решетки. Особенности распределения и плотность несовершенств кристаллического строения в металле сварного соединения. Природа образования горячих трещин при сварке. Характер изменения прочности и пластичности металлов и сплавов в области высоких температур. Виды горячих трещин. Способы оценки сопротивляемости сплавов образованию горячих трещин при сварке. Методы повышения сопротивляемости сварных соединений образованию горячих трещин.	-	-	-	26	26
10	Фазовые и	Фазовые и структурные превращения в металлах в твердом со-	-	1	-	21	22

	структурные превращения в металлах. Холодные трещины	стоянии при сварке. Характерные зоны сварных соединений. Виды превращений в металле сварных соединений. Природа и механизм образования холодных трещин в сварных соединениях. Виды холодных трещин. Замедленный характер разрушения металла. Способы повышения сопротивляемости сварных соединений холодным трещинам. Явление охрупчивания и хрупкое разрушение металла сварных соединений. Механизм и природа образования трещин повторного нагрева. Оценка сопротивляемости сталей трещинам повторного нагрева. Способы предотвращения трещин.					
		Итого	**6**	**6**	**6**	**261**	**279**

5.2 Перечень лабораторных работ

1. Исследование дугового разряда между угольными электродами
2. Исследования ионизирующего действия компонентов электродного покрытия
3. Исследование влияния очертания ванны на траекторию роста кристаллов в шве. Расчет формы изотермы на поверхности тела при сварке мощным быстродвижущимся источником теплоты
4. Микроструктура металла шва при сварке малоуглеродистой стали

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины предусматривает выполнение курсовой работы в 6 семестре для очной формы обучения, в 5 семестре для заочной формы обучения.

Примерная тематика курсовой работы: «Расчет температурного поля при сварке»

Задачи, решаемые при выполнении курсовой работы:

• расчет температурного поля в конструкции на стадии установившегося режима сварки;

• расчет температур контрольных точек на стадии выравнивания температур;

• расчет температурного поля для быстродвижущегося источника теплоты при сварке.

Курсовая работа включат в себя графическую часть и расчетно-пояснительную записку.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ПК-3	**Знать** методы теоретического и экспериментального исследования сварочных процессов	Полнота, обобщенность и системность знаний	Знает методы теоретического и экспериментального исследования сварочных процессов	отсутствуют знания
	Уметь применять методы математического анализа и моделирования при исследовании сварочных процессов; использовать базовые методы исследовательской работы	Степень самостоятельности при теоретическом и экспериментальном исследовании сварочных процессов	Умеет применять методы математического анализа и моделирования при исследовании сварочных процессов; использовать базовые методы исследовательской работы	отсутствуют умения
	Владеть навыками эксплуатации приборов и оборудования, используемых при исследовании сварочных процессов; навыками обработки результатов исследований	Самостоятельное применение знаний и умений, осуществление в различных ситуациях деятельности, относящейся к данной компетенции	Владеет навыками эксплуатации приборов и оборудования, используемых при исследовании сварочных процессов; навыками обработки результатов исследований	отсутствуют навыки
ПК-5	**Знать** физические основы образования сварных, паяных и клеевых соединений; характеристики и возможности источников энергии, используемых при сварке, пайке и термической резке; основы процессов перераспределения вводимой при сварке и термической резке теплоты; природу и специфику фазовых и структурных превращений в металлах и термодеформационных процессов.	Полнота, обобщенность и системность знаний	**Знает** физические основы образования сварных, паяных и клеевых соединений; характеристики и возможности источников энергии, используемых при сварке, пайке и термической резке; основы процессов перераспределения вводимой при сварке и термической резке теплоты; природу и специфику фазовых и структурных превращений в металлах и термодеформационных процессов.	отсутствуют знания
	Уметь классифицировать способы сварки по видам источника энергии, определять энергетические характеристики источников энергии; правильно выбрать элементарное тело, эквивалентное рассматриваемому нагреваемому изделию; схематизировать источники теплоты; сформулировать граничные условия; рассчитать температурное поле; вычислить необходимые параметры термического цикла; описать сущность и природу физико-химических процессов, протекающих при определенном способе сварки в характерных зонах соединения, и ориентировочно прогнозировать химический состав металла сварного шва; с использованием справочных материалов и на основе расчетных данных по параметрам сварочных термодеформационных циклов прогнозировать, а затем экспериментально подтвердить наличие характерных участков со структурами определенного типа в сварных соединениях в зависимости от природы свариваемого материала и особенностей технологии сварки	Степень самостоятельности при теоретическом и экспериментальном исследовании сварочных процессов	**Умеет** классифицировать способы сварки по видам источника энергии, определять энергетические характеристики источников энергии; правильно выбрать элементарное тело, эквивалентное рассматриваемому нагреваемому изделию; схематизировать источники теплоты; сформулировать граничные условия; рассчитать температурное поле; вычислить необходимые параметры термического цикла; описать сущность и природу физико-химических процессов, протекающих при определенном способе сварки в характерных зонах соединения, и ориентировочно прогнозировать химический состав металла сварного шва; с использованием справочных материалов и на основе расчетных данных по пара-	отсутствуют умения

			метрам сварочных термодеформационных циклов прогнозировать, а затем экспериментально подтвердить наличие характерных участков со структурами определенного типа в сварных соединениях в зависимости от природы свариваемого материала и особенностей технологии сварки	
	Владеть основами выбора способа сварки и сварочных материалов для определенного конструкционного материала; основами расчетов свариваемости металлов и сплавов, распределения теплового поля в металле при сварке, основами расчетов возможности фазовых и структурных превращений при тепловом воздействии источников энергии при сварке	Самостоятельное применение знаний и умений, осуществление в различных ситуациях деятельности, относящейся к данной компетенции	**Владеет** основами выбора способа сварки и сварочных материалов для определенного конструкционного материала; основами расчетов свариваемости металлов и сплавов, распределения теплового поля в металле при сварке, основами расчетов возможности фазовых и структурных превращений при тепловом воздействии источников энергии при сварке	отсутствуют навыки

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 5, 6 семестре для очной формы обучения, 5 семестре для заочной формы обучения по четырехбалльной системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
ПК-3	**Знать** методы теоретического и экспериментального исследования сварочных процессов	Полнота, обобщенность и системность знаний	Полный ответ на теоретические вопросы	Неполный ответ на теоретические вопросы	Частичный ответ на теоретические вопросы	Отсутствие ответа на теоретические вопросы
	Уметь применять методы математического анализа и моделирования при исследовании сварочных процессов; использовать базовые методы исследовательской работы	Степень самостоятельности при теоретическом и экспериментальном исследовании сварочных процессов	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения задач, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	Владеть навыками эксплуатации приборов и оборудования, используемых при исследовании сварочных процессов; навыками обработки результатов исследований	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения задач, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПК-5	**Знать** физические основы образования сварных, паяных	Полнота, обобщенность	Полный ответ на	Неполный ответ на теоре-	Частичный ответ на	Отсутствие

	и клеевых соединений; характеристики и возможности источников энергии, используемых при сварке, пайке и термической резке; основы процессов перераспределения вводимой при сварке и термической резке теплоты; природу и специфику фазовых и структурных превращений в металлах и термодеформационных процессов.	и системность знаний	теоретические вопросы	тические вопросы	теоретические вопросы	ответа на теоретические вопросы
	Уметь классифицировать способы сварки по видам источника энергии, определять энергетические характеристики источников энергии; правильно выбрать элементарное тело, эквивалентное рассматриваемому нагреваемому изделию; схематизировать источники теплоты; сформулировать граничные условия; рассчитать температурное поле; вычислить необходимые параметры термического цикла; описать сущность и природу физико-химических процессов, протекающих при определенном способе сварки в характерных зонах соединения, и ориентировочно прогнозировать химический состав металла сварного шва; с использованием справочных материалов и на основе расчетных данных по параметрам сварочных термодеформационных циклов прогнозировать, а затем экспериментально подтвердить наличие характерных участков со структурами определенного типа в сварных соединениях в зависимости от природы свариваемого материала и особенностей технологии сварки	Степень самостоятельности при теоретическом и экспериментальном исследовании сварочных процессов	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения задач, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	Владеть основами выбора способа сварки и сварочных материалов для определенного конструкционного материала; основами расчетов свариваемости металлов и сплавов, распределения теплового поля в металле при сварке, основами расчетов возможности фазовых и структурных превращений при тепловом воздействии источников энергии при сварке	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения задач, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

Вопрос 1. Силы межатомных связей действуют на расстоянии:

1. Несколько микрон.
2. Несколько ангстрем.
3. Несколько миллиметров.

Вопрос 2. Основной особенностью металлической связи является:

1. Обобщение всех электронных орбит.
2. Высокая удельная энергия связи.
3. Насыщаемость химических сил сродства.

Вопрос 3. Какой технологический процесс позволяет получать монолитное (сплошное) соединение.

1. Сварка.
2. Клепка.
3. Пайка.
4. Сварка и пайка.

Вопрос 4. Элементарные связи в твердых телах обусловлены:

1. Гравитационным взаимодействием.
2. Электромагнитным взаимодействием.
3. Ядерным взаимодействием.

Вопрос 5. Сварку можно отнести к классу топохимических реакций с числом стадий:

1. Одна.
2. Две.
3. Три.

Вопрос 6. Какие стадии образования соединения различают в процессе сварки.

1. Зачистка, плавление металла, отбивка шлака.
2. Нагрев, плавление, остывание.
3. Образование физического контакта, активация.

Вопрос 7. Какой из источников теплоты обеспечивает наименьшую площадь пятна нагрева при сварке.

1. Электрическая дуга в газах.
2. Электронный луч.
3. Микроплазменная дуга.

Вопрос 8. Какой из источников теплоты обеспечивает наибольшую плотность мощности в пятне нагрева.

1. Микроплазменная дуга.
2. Электрическая дуга в парах металлов.
3. Лазерный луч.

Вопрос 9. Наименьшую энергоемкость при сварке обеспечивают.

1. Термические процессы.
2. Механические процессы.
3. Термомеханические процессы.

Вопрос 10. Отношение количества теплоты, аккумулированной в зоне стыка, к количеству теплоты, введенному в изделие, называется:

1. Термодинамическим КПД.

2. Эффективным КПД.

3. Термическим КПД.

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Для заданной конструкции выбрать схемы тела и источника теплоты и рассчитать температурное поле предельного состояния. Параметры режима сварки и теплофизические свойства материала задаются преподавателем.

2. Рассчитать температурное поле предельного состояния в пластине. Параметры режима сварки и теплофизические свойства материала задаются преподавателем.

3. Рассчитать температурное поле предельного состояния в пластине для схемы быстродвижущегося источника. Параметры режима сварки и теплофизические свойства материала задаются преподавателем.

4. Рассчитать параметры термического цикла при однопроходной сварке. Параметры режима сварки и теплофизические свойства материала задаются преподавателем

5. Рассчитать показатели склонности заданного сплава к образованию горячих трещин.

6. Рассчитать показатели склонности заданного сплава к образованию холодных трещин.

7. Определить величину эквивалента углерода для заданной стали.

8. Рассчитать температуру предварительного подогрева сварного соединения. Марка стали и толщина листов задается преподавателем.

9. Определить структурный состав металла шва при ручной дуговой сварке стыкового соединения С17. Марка стали и присадочной проволоки задается преподавателем.

10. Определить структурный состав металла шва при автоматической сварке стыкового соединения без разделки кромок. Марка стали и присадочной проволоки задается преподавателем.

7.2.3 Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Виды связей в твердых телах.

2. Физико-хмические особенности получения сварных, паяных и клееных соединений

3. Классификация процессов сварки.

4. Баланс энергии сварки. Эффективный и термический КПД.

5. Оценка энергетической эффективности процессов сварки.

6. Требования к источникам энергии. Проводимость твердых тел, жидкостей и газов. Энергетическая температура.

7. Классификация сварочных источников теплоты.

8. Электрический разряд в газах.

9. Приэлектродные области сварочной дуги.

10. Способы возбуждения дуги. Зоны дуги. Вольт-амперная характеристика дуги.

11. Элементарные процессы в плазме дуги. Потенциал ионизации. Возможность термической ионизации, ионизации соударением, облучением.

12. Эффективный потенциал ионизации.

13. Уравнение Саха.

14. Эмиссионные процессы в приэлектродных областях дуги. Уравнение Ричардсона-Дэшмена. Эффект Шоттки.

15. Излучение плазмы. Электронная и ионная температура в столбе дуги при различных давлениях.

16. Саморегулирование столба дуги. Баланс энергии и температуры в столбе дуги при РДС, ДФ и газоэлектрической сварке.

17. Перенос металла в дуге. Силы, действующие на расплав в дуге.

18. Импульсное управление переносом металла в дуге.

19. Дуга переменного тока. Вентильный эффект.

20. Внешнее магнитное поле и дуга.

21. Тепловые процессы при сварке. Схемы тел.

22. Упрощения в расчетах тепловых процессов.

23. Температурное поле, изотермические поверхности, градиент температур.

24. Закон теплопроводности Фурье.

25. Поверхностная теплоотдача.

26. Краевые условия. Условия 1-го, 2-го, 3-го рода.

27. Дифференциальное уравнение теплопроводности.

28. Типы источников тепла

29. Мгновенный точечный источник тепла в бесконечном и полубесконечном теле.

30. Мгновенный линейный источник теплоты.

31. Мгновенный плоский источник теплоты.

32. Сварочные источники теплоты. Электрическая дуга и газовое пламя. Коэффициент сосредоточенности источника. Наибольший тепловой поток.

33. Схематизация источников тепла электрошлаковой сварки, электронно-лучевого и лазерного процессов.

34. Распределение энергии в простейших случаях. Мгновенный точеный источник на поверхности полубесконечного тела.

35. Распределение теплоты для случая мгновенного линейного источника в пластине и плоского источника в стержне с учетом теплоотдачи с поверхности.

36. Непрерывнодействующий неподвижный источник (точечный, линейный, плоский).

37. Подвижный точечный источник теплоты на поверхности твердого тела.

38. Подвижный линейный источник теплоты в бесконечной пластине.

39. Период теплонасыщения при нагреве тел движущимися источниками теплоты.

40. Мощные быстродвижущиеся источники теплоты (точечный, линейный).

41. Влияние ограниченности размеров тела на процесс распространения теплоты. Нагрев при движении источника вблизи края.

42. Нагрев двух узких пластин.

43. Нагрев плоского слоя.

44. Кристаллизация чистых металлов. Кристаллизация сплавов. Концентрационное переохлаждение.

45. Особенности затвердевания металла сварного шва.

46. Особенности кристаллизации и формирования первичной структуры металла шва.

47. Схема кристаллизации. Ось кристаллита.

48. Распределение градиента температуры, скорости кристаллизации, критерия концентрационного переохлаждения вдоль межфазной границы.

49. Слоистость сварных швов. Вторичная кристаллизация.

50. Химическая неоднородность сварного шва. Внутрикристаллитная, межкристаллитная, зональная, слоистая ликвации.

51. Методы уменьшения химической неоднородности.

52. Растворимость газов в металле.

53. Физическая неоднородность металла шва. Методы уменьшения плотности дислокаций и подавления процессов полигонизации.

54. Технологическая и эксплуатационная прочность сварных соединений.

55. Свариваемость металлов. Физическая и технологическая свариваемость. Ее критерии.

56. Горячие трещины при сварке.

57. Деформационная способность металла шва при повышенных температурах. Температурный интервал хрупкости.

58. Влияние темпа деформации, минимальной пластичности, температурного интервала хрупкости на процесс образования горячих трещин.

59. Факторы, влияющие на технологическую прочность металла шва и методы ее повышения.

60. Влияние химического состава металла шва на стойкость против образования горячих трещин.

61. Образование горячих трещин в сплавах алюминия, меди, никеля.

62. Холодные трещины при сварке.

63. Способы повышения сопротивляемости сплавов образованию холодных трещин.

64. Влияние содержания водорода и эквивалента углерода на образование холодных трещин.

65. Предварительный подогрев, схема расчета. Расчет температуры подогрева по формуле Сефериана.

66. Холодные трещины в высокопрочных сталях, чугунах, титановых и алюминиевых сплавах.

7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация проводится на основе аттестационного задания по вопросам экзамена с учетом оценки текущего контроля за тестовые задания, практические и лабораторные занятия.

Оценка за вопрос выставляется по соответствию ответа критериям оценивания изложенным в разделе 7.1.2. Итоговый балл (средний балл) учитывает балл выполнения аттестационного задания и балл контроля за практические и лабораторные занятия.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется в случае отсутствия твердых знаний, или не соответствия критериям оценки «удовлетворительно» при ответе на вопрос зачета

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Физические основы и классификация процессов сварки	ПК-3, ПК-5	Тест, отчет по практическим занятиям, экзамен
2	Физико-химические процессы в дуговом разряде	ПК-3, ПК-5	Тест, отчет по практическим и лабораторным занятиям, экзамен
3	Термические недуговые источники энергии	ПК-3, ПК-5	Тест, экзамен
4	Термопрессовые и прессомеханические сварочные процессы	ПК-3, ПК-5	Тест, отчет по практическим и лабораторным занятиям, экзамен
5	Основные понятия и законы в расчетах тепловых процессов при сварке	ПК-3, ПК-5	Тест, отчет по практическим занятиям, курсовая работа, экзамен
6	Тепловые процессы при нагреве тел источниками теплоты	ПК-3, ПК-5	Тест, отчет по практическим занятиям, курсовая работа, экзамен
7	Нагрев и плавление металла при сварке	ПК-3, ПК-5	Отчет по практическим занятиям, курсовая работа, экзамен
8	Термодеформационные процессы и превращения в металлах при сварке	ПК-3, ПК-5	Тест, отчет по лабораторным занятиям, экзамен
9	Химическая неоднородность сварного соединения. Горячие трещины	ПК-3, ПК-5	Тест, экзамен
10	Фазовые и структурные превращения в металлах. Холодные трещины	ПК-3, ПК-5	Тест, отчет по практическим и лабораторным занятиям, экзамен

7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется

проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Защита курсовой работы, курсового проекта или отчета по всем видам практик осуществляется согласно требованиям, предъявляемым к работе, описанным в методических материалах. Примерное время защиты на одного студента составляет 20 мин.

8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

1. Неровный В.М. Теория сварочных процессов: Учебник / под ред. В.М. Неровного. - М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2007. - 752 с.

2. Дедюх Р.И. Теория сварочных процессов. Превращения в металлах при сварке [Электронный ресурс]: учебное пособие - Электрон. текстовые данные. - Томск: Томский политехнический университет, 2012. - 155 с. - Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/55210.html, свободный после авторизации. - Загл. с экрана.

3. Макаров Э.Л., Якушин Б.Ф. Теория свариваемости сталей и сплавов [Электронный ресурс]: учебное пособие - Электрон. текстовые данные. - М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2014. - 487 с. - Режим доступа: https://e.lanbook.com/reader/book/106411, свободный после авторизации. - Загл. с экрана.

4. Булков А.Б., Петренко В.Р.; Чумарный В.П. Тепловые процессы при сварке [Электронный ресурс]: Учеб. пособие. - Электрон. текстовые, граф. дан. (2,02 Мб). - Воронеж: ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет", 2013.

5. Булков А.Б., Петренко В.Р., Чумарный В.П. Методические указания к курсовой работе по дисциплине "Теория сварочных процессов" для студентов специальности 150202 "Оборудование и технология сварочного производства" очной и очно-заочной (вечерней) форм обучения / Каф. оборудования и технологии сварочного производства; Сост.: А.Б. Булков, В.Р. Петренко, В.П. Чумарный. - Воронеж: ВГТУ, 2005. - 34 с.

6. Булков А.Б., Петренко В.Р., Чумарный В.П. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине "Теория сварочных процессов" для студентов специальности 150202 "Оборудование и технология сварочного производства" очной и заочной форм обучения. / ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет»; Сост.: А.Б. Булков, В.Р. Петренко, В.П. Чумарный. - Воронеж: ВГТУ, 2009. - 49 с.

8.2 Перечень информационных технологий, используемых при

осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

Электронная библиотека Научной библиотеки Воронежского государственного технического университета [Электронный ресурс : полнотекстовая база данных электрон. документов]. - Электрон. дан. - Воронеж. 2017 - Режим доступа: http://cchgeu.ru/university/library/. - Загл. с экрана.

Лань [Электронный ресурс : электрон.-библ. система : полнотекстовая база данных электрон. документов по гуманит., естеств., и техн. наукам] / Изд-во «Лань». - Санкт-Петербург: Лань, 2010-. - Режим доступа: http://e.lanbook.com/. - Загл. с экрана.

Научная Электронная Библиотека eLibrary [Электронный ресурс : полнотекстовая база данных: электрон, журн. на рус, англ., нем. яз. : реф. и наукометр. база данных] / Науч. электрон. б-ка. - Москва, 1999- . - Режим доступа: http://elibrary.ru/. - Загл. с экрана.

Электронная Библиотечная Система IPRbookshop [Электронный ресурс : электрон.-библ. система: полнотекстовая база данных электрон. документов по гуманит., естеств., и техн. наукам] / ООО «Ай Пи Эр Медиа», электронное периодическое издание «www.iprbookshop.ru». - Саратов, 2010- . - Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/. - Загл. с экрана

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Специализированная лекционная аудитория, оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций и проекционной аппаратурой.

Учебные лаборатории: Лабораторные занятия проводятся в лабораториях (04/1 и 06/1), оснащенных стендами для исследования дугового разряда и влияния магнитного поля на дугу, стереомикроскопами МБС-10 и МС-2 (3 шт.), металлографическими микроскопами МИМ-8М, ЛВ-34 (2 шт.), системой подготовки образцов.

Дисплейный класс (лаборатория 07/1), оснащенный компьютерной программой ANSYS 10 ED для проведения лабораторного практикума и практических занятий.

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Теория сварочных процессов» читаются лекции, проводятся практические занятия и лабораторные работы, выполняется курсовая работа.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков расчета физико-химических процессов в дуговом разряде, тепловых

процессов, нагрева и плавления металла при сварке, фазовых и структурных превращений в металлах. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Лабораторные работы выполняются на лабораторном оборудовании в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ.

Методика выполнения курсовой работы изложена в учебно-методическом пособии. Выполнять этапы курсовой работы должны своевременно и в установленные сроки.

Контроль усвоения материала дисциплины производится проверкой курсовой работы, защитой курсовой работы.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удается разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практическое занятие	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.
Лабораторная работа	Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных для подготовки к ним необходимо: следует разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомится с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоения учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - выполнение домашних заданий и расчетов; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед экзаменом, экзаменом, экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата внесения изменений	Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП