

**Министерство науки и высшего образования РФ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

---

Направление подготовки/специальность: 13.04.03 Энергетическое машиностроение

Наименование образовательной программы: Производство энергетического оборудования

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**СВАРНЫЕ КОМБИНИРОВАННЫЕ КОНСТРУКЦИИ**

<b>Блок:</b>	<b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>
<b>Часть образовательной программы:</b>	<b>Часть, формируемая участниками образовательных отношений</b>
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	<b>Б1.Ч.05</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>2 семестр - 8;</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>288 часа</b>
<b>Лекции</b>	<b>2 семестр - 32 часа;</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>2 семестр - 16 часов;</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>2 семестр - 16 часов;</b>
<b>Консультации</b>	<b>2 семестр - 18 часов;</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>2 семестр - 201,2 часа;</b>
<b>в том числе на КП/КР</b>	<b>2 семестр - 15,7 часов;</b>
<b>Иная контактная работа</b>	<b>2 семестр - 4 часа;</b>
<b>включая:</b> <b>Тестирование</b> <b>Лабораторная работа</b> <b>Коллоквиум</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Защита курсовой работы</b>	<b>2 семестр - 0,3 часа;</b>
<b>Экзамен</b>	<b>2 семестр - 0,5 часа;</b>
	<b>всего - 0,8 часа</b>

**Москва 2024**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Драгунов В.К.
	Идентификатор	R75d71719-DragunovVK-00c02b9f

В.К. Драгунов

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Волков П.В.
	Идентификатор	Rae5921e8-VolkovPV-971cc7f4

П.В. Волков

Заведующий выпускающей  
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Гончаров А.Л.
	Идентификатор	R1e4b7e3c-GoncharovAL-b043abe

А.Л. Гончаров

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** изучение теоретических основ сварки разнородных металлов и сплавов для научно обоснованного построения технологических процессов изготовления сварных комбинированных конструкций энергетического оборудования.

### Задачи дисциплины

- изучение совокупности явлений (тепловые, диффузионные, металлургические, термомеханические, электромагнитные и др.), которые составляют сущность процесса сварки разнородных металлов и сплавов;
- освоение методов прогнозирования химического состава, структуры и свойств сварного соединения при сварке разнородных сталей и сплавов, применяемых при производстве комбинированных конструкций энергетического оборудования;
- формирование навыков обоснования конкретных технических решений при разработке технологических процессов изготовления комбинированных конструкций.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-2 Способен участвовать в разработке технологий производства, ремонта и контроля энергетического оборудования	ИД-1 <sub>ПК-2</sub> Принимает обоснованные технические решения при разработке технологий производства, ремонта и контроля энергетического оборудования	знать: - основы сварки комбинированных конструкций из сталей и цветных металлов и сплавов на их основе, а также биметаллов; - критерии выбора основных и сварочных материалов, методов сварки и термической обработки, позволяющих снизить степень химической, структурной и механической неоднородности сварных соединений комбинированных конструкций из разнородных сталей в энергетике.  уметь: - анализировать взаимосвязь режимов термообработки сварных соединений разнородных сталей со структурой и свойствами сварных соединений; - разрабатывать технологические процессы производства сварных комбинированных конструкций в энергомашиностроении на основе определения и анализа параметров термических циклов сварки.
РПК-7 Способен участвовать в проведении научных исследований в области производства объектов профессиональной деятельности, а также	ИД-3 <sub>РПК-7</sub> Демонстрирует понимание влияния особенностей структуры на свойства конструкционных материалов энергетического оборудования	знать: - закономерности физико-химических и металлургических процессов, которые в процессе сварки разнородных металлов и сплавов определяют формирование химического состава и структуры сварных соединений; - особенности изменения свойств

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
контроля и диагностики свойств и структуры материалов этих объектов		<p>сварных соединений разнородных металлов и сплавов в зависимости от их структуры.</p> <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- анализировать изменение основных параметров сварки разнородных металлов при наличии магнитных полей и определять степень проплавления основных материалов;</li> <li>- анализировать термоэлектрические свойства сталей различных структурных классов и их влияние на параметры сварки.</li> </ul>

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Производство энергетического оборудования (далее – ОПОП), направления подготовки 13.04.03 Энергетическое машиностроение, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать основные типы кристаллических решеток, обозначения кристаллографических плоскостей, дефекты кристаллического строения и их характеристики
- знать строение, свойства твердых фаз, механизмы формирования структуры в металлических системах
- знать назначение, принципы легирования, строение, свойства легированных сталей и сплавов, применяемых в энергетике
- знать микроструктуру, свойства и основные принципы легирования никелевых и титановых сплавов, применяемых для производства энергетического оборудования
- уметь проводить анализ диаграмм фазового и структурно-фазового равновесия, а также термокинетических диаграмм распада аустенита для сплавов, применяемых в энергетике
- уметь определять объемную долю фазы и размер зерна и анализировать механизмы упрочнения сталей перлитного класса
- уметь анализировать взаимосвязи структур сталей перлитного класса, параметров и вида термообработки и свойств, а также причины изменения структуры и свойств в зависимости от термообработки
- уметь обосновывать назначение термообработки для легированных сталей и стареющих сплавов, анализировать влияние термообработки на свойства этих материалов

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 8 зачетных единиц, 288 часа.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания
				Контактная работа							СР			
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль	
КПР	ГК	ИККП	ТК											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Физико-химические процессы при сварке разнородных металлов	64	2	10	4	8	-	-	-	-	-	42	-	<p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Подготовка к защите лабораторной работы №1</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Подготовка к тестам №№1 и 2</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр. 46 – 85, 102 – 167 [3], стр. 4 – 96 [5], стр. 3 – 8</p>
1.1	Физико-химические процессы при сварке разнородных металлов	64		10	4	8	-	-	-	-	-	42	-	
2	Формирование сварных соединений при сварке разнородных материалов	48		6	4	2	-	-	-	-	-	36	-	
2.1	Формирование сварных соединений при сварке разнородных материалов	48		6	4	2	-	-	-	-	-	36	-	
3	Сварные комбинированные конструкции из сталей разных структурных классов	56		10	4	4	-	-	-	-	-	38	-	
3.1	Сварные комбинированные	56	10	4	4	-	-	-	-	-	38	-	<p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Подготовка к защите лабораторной работы №3</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Подготовка к тесту №3</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных</u></b></p>	

	конструкции из сталей разных структурных классов												<b>источников:</b> [2], стр. 309 – 317, 395 – 414 [5], стр. 14 – 19
4	Сварные комбинированные конструкции из сталей и цветных металлов и сплавов на их основе	48	6	4	2	-	-	-	-	-	36	-	<b>Подготовка расчетных заданий:</b> Выполнение расчетного задания <b>Самостоятельное изучение теоретического материала:</b> Подготовка к защите лабораторной работы №4 <b>Самостоятельное изучение теоретического материала:</b> Подготовка к защите расчетного задания <b>Изучение материалов литературных источников:</b> [2], стр. 375 – 387 [5], стр. 20 – 22
4.1	Сварные комбинированные конструкции из сталей и цветных металлов и сплавов на их основе	48	6	4	2	-	-	-	-	-	36	-	
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Курсовая работа (КР)	36.0	-	-	-	16	-	4	-	0.3	15.7	-	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>288.0</b>	<b>32</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>-</b>	<b>0.8</b>	<b>167.7</b>	<b>33.5</b>	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>288.0</b>	<b>32</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>18</b>		<b>4</b>		<b>0.8</b>	<b>201.2</b>		

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

## 3.2 Краткое содержание разделов

### 1. Физико-химические процессы при сварке разнородных металлов

#### 1.1. Физико-химические процессы при сварке разнородных металлов

Эффективность использования сварных соединений разнородных металлов и сплавов. Классификация комбинированных конструкций. Примеры применения конструкций из разнородных металлов и сплавов. Особенности формирования сварных соединений разнородных металлов. Физико-химические основы сварки металлов. Сварка давлением, сварка плавлением (наплавка и сварко-пайка), пайка разнородных металлов. Физическая и технологическая свариваемость металлов. Особенности формирования сварных соединений разнородных металлов. Тепловые процессы при сварке разнородных материалов КПЭ. Особенности распространения теплоты и распределения температуры при сварке разнородных металлов. Основные расчетные схемы нагрева сварочными источниками теплоты. Распределение температур при сварке стержней из разнородных металлов. Распределение температур при сварке пластин со сквозным проплавлением. Распределение температур при сварке массивных деталей поверхностным источником. Оценка размеров зоны термического влияния при сварке разнородных толстых пластин. Экспериментальное определение температурных полей. Взаимная растворимость металлов в твердом и жидком состояниях. Общие правила относительной предельной растворимости первичных твердых растворов. Электроотрицательность атома. Размерный фактор и фактор электроотрицательности для предсказания характера растворимости. Анализ структурно-фазового состояния и прогнозирование свойств сварных соединений разнородных металлов с помощью диаграмм состояния. Сварные соединения металлов, образующих непрерывный ряд твердых растворов. Сварные соединения металлов, имеющих ограниченную растворимость в твердом состоянии и образующих эвтектические смеси. Сварные соединения металлов, не растворимых в твердом состоянии и образующих механические смеси. Сварные соединения металлов, образующих химические соединения. Прогноз возможности сварки разнородных металлов по диаграммам состояния. Основные понятия, определения и закономерности диффузии. 1-ый и 2-ой законы Фика. Решение дифференциальных уравнений концентрационной диффузии. Диффузия в бесконечном стержне из разнородных материалов. Диффузия от непостоянного плоского источника в бесконечном стержне. Диффузия от цилиндрического линейного источника в бесконечной пластине. Диффузия от непостоянного шарового точечного источника. Энергия активации. Коэффициент диффузии. Диффузия в железе элементов, образующих твердые растворы внедрения. Диффузия углерода, азота, бора, водорода и кислорода в железе. Диффузия в железе элементов, образующих твердые растворы замещения. Эффект Киркендалла. Параметры диффузии легирующих элементов в аустените многокомпонентных сплавов железа. Диффузия при взаимодействии твердой и жидкой фаз в процессе сварки. Равновесные коэффициенты ликвации элементов в железе. Коэффициенты диффузии некоторых элементов в жидком железе. Растворение при взаимодействии твердой и жидкой фаз в процессе сварки. Скорость переноса массы твердого вещества через поверхность контакта твердого и жидкого металла. Параметры диффузии некоторых элементов в жидком металле. Поверхностные явления при сварке различных пар материалов. Межфазная поверхность. Поверхностное натяжение. Адгезия. Адсорбция. Капиллярные явления. Растекаемость жидкости. Краевой угол смачивания. Уравнение Юнга. Процессы смачивания для различных пар металлов (примеры). Электромагнитные и термоэлектрические эффекты при сварке разнородных материалов. Источники магнитных полей при сварке разнородных металлов и их влияние на параметры источника теплоты. Изменение пространственных параметров электронного пучка при сварке разнородных материалов. Способы, снижающие степень воздействия магнитных полей на источник теплоты. Размагничивание деталей перед сваркой. Использование экранов из магнитомягких материалов с высокой магнитной проницаемостью для транспортировки пучка от анода пушки до поверхности изделия.

Компенсация тока в зоне сварки. Введение в зону сварки дополнительных материалов. Ориентация пучка в направлении, противоположном отклонению.

## 2. Формирование сварных соединений при сварке разнородных материалов

### 2.1. Формирование сварных соединений при сварке разнородных материалов

Строение зоны сплавления сварных соединений разнородных металлов. Определение степени проплавления и состава металла шва при наплавке, однопроходной сварке с и без присадочных материалов. Структурная неоднородность металла сварных соединений разнородных сталей. Диаграмма Шеффлера. Диффузионные процессы в зоне сплавления разнородных металлов и сплавов. Диффузионные прослойки. Механизм и кинетика образования и роста карбидных и интерметаллических фаз. Образование диффузионных прослоек в зоне сплавления разнородных сталей и определение их размеров. Образование и рост интерметаллических прослоек в сварных соединениях разнородных металлов. Температурно-временная зависимость появления интерметаллидов. Изменение толщины общей интерметаллической прослойки в сварных соединениях разнородных металлов в зависимости от температуры и времени нагрева. Условие получения качественных соединений разнородных металлов сваркой давлением. Кристаллизационные прослойки. Образование мартенситных прослоек в металле шва при сварке разнородных сталей. Влияние состава аустенитного шва на ширину прослоек. Влияние режимов сварки и технологических факторов на формирование мартенситных прослоек. Остаточные напряжения в типовых комбинированных конструкциях. Понятие о сварочных деформациях и напряжениях. Закономерности развития остаточных напряжений в комбинированных конструкциях. Эпюры остаточных напряжений после сварки «однородных» пластин, разнородных пластин аустенитным швом, разнородных пластин с образованием в шве закалочных структур. Перераспределение остаточных напряжений после термической обработки.

## 3. Сварные комбинированные конструкции из сталей разных структурных классов

### 3.1. Сварные комбинированные конструкции из сталей разных структурных классов

Способы сварки разнородных металлов. Соединение разнородных металлов в твердом состоянии. Основные виды сварки давлением. Соединение разнородных металлов сваркой плавлением и наплавкой. Источники для сварки: зависимые (типа дуги прямого действия) и независимые (типа косвенной дуги, электронного пучка и т.п.). Технологические приемы сварки разнородных материалов. Расплавление соединяемых кромок. Расплавление более легкоплавкого из соединяемых металлов (сварка – пайка). Расплавление более легкоплавкого металла и нанесение покрытий на поверхность более тугоплавкого. Применение металлических вставок. Переходные соединения (переходники). Наплавка на свариваемые кромки промежуточного металла (облицовка кромок). Сварка разнородных сталей. Выбор материалов и технологии изготовления комбинированных сварных конструкций из разнородных сталей. Сварные соединения сталей одного структурного класса. Соединения перлитных сталей. Соединение высокохромистых сталей. Соединения высокохромистых ферритных сталей с феррито-аустенитными. Соединения аустенитных и феррито-аустенитных сталей. Сварные соединения сталей разных структурных классов. Сварка перлитных сталей с мартенситными и мартенсито-ферритными сталями. Сварка аустенитных и аустенито-ферритных сталей с перлитными, мартенситными и мартенсито-ферритными сталями. Оптимальный состав металла шва сварных соединений. Наплавка аустенитных сталей на стали перлитного класса. Технология плазменной наплавки. Выбор режимов наплавки. Состав и структура наплавки. Химическая и структурная неоднородности в зоне сплавления разнородных сталей.



#### 4. Сварные комбинированные конструкции из сталей и цветных металлов и сплавов на их основе

##### 4.1. Сварные комбинированные конструкции из сталей и цветных металлов и сплавов на их основе

Технология сварки сталей с медью. Особенности взаимодействия меди и стали при сварке. Особенности технологии сварки. Сварка сталей с алюминием и его сплавами. Сварка с нанесением покрытия на сталь. Сварка с использованием биметаллических переходников. Сварка сталей с титаном и его сплавами. Сварка сталей с ниобием. Технология сварки алюминия с медью. Пути повышения прочности сварных соединений дополнительное механическое упрочнение медно-алюминиевого сварного соединения, содержащего значительный процент меди. Ограничение или исключение перехода меди в медно-алюминиевое соединение. Введение в шов при его формировании легирующих присадок и модификаторов с целью активного воздействия на процесс кристаллизации. Влияние различных факторов на содержание меди в металле шва и свойства соединений. Технология сварки биметаллов. Рекомендации по сварке биметалла. Соединения, в которых отсутствует металлическая связь между швом основного и плакирующего слоя. Соединение с разделительным слоем из специального сплава. Соединения, выполненные сваркой и наплавкой, отличающиеся наличием металлической связи между швом и наплавкой. Соединения, в которых отсутствует металлическая связь между швом основного и плакирующего слоя. Комбинации металлов, соединение электронно-лучевой и лазерной сваркой.

### **3.3. Темы практических занятий**

1. Определение ширины интерметаллических прослоек в сварных соединениях разнородных металлов (2 часа);
2. Определение температур при сварке пластин из разнородных металлов со сквозным проплавлением (2 часа);
3. Решение задач диффузии при взаимодействии твердой и жидкой фаз в процессе сварки (2 часа);
4. Определение металлургической совместимости материалов на основе размерного фактора и фактора электроотрицательности (2 часа);
5. Определение степени проплавления и состава металла шва при наплавке, однопроходной сварке с и без присадочных материалов (2 часа);
6. Анализ структурно-фазового состояния и прогнозирование свойств сварных соединений разнородных металлов с помощью диаграмм состояния (2 часа);
7. Определение оптимальных условий создания сварных комбинированных конструкций из сталей разных структурных классов (2 часа);
8. Решение дифференциальных уравнений концентрационной диффузии в твердой фазе (2 часа).

### **3.4. Темы лабораторных работ**

1. Определение отклонения электронного пучка в магнитном поле остаточной намагниченности (4 часа).;
2. Определение термоэлектрических свойств сталей различных структурных классов (4 часа).;
3. Определение температур на поверхности пластин при сварке разнородных материалов (4 часа).;
4. Определение ширины диффузионных прослоек в зоне сплавления разнородных сталей (4 часа)..

### 3.5 Консультации

#### Аудиторные консультации по курсовому проекту/работе (КПР)

1. Консультации по разделу "Физико-химические процессы при сварке разнородных металлов" проводятся согласно графику выполнения курсовой работы
2. Консультации по разделу "Физико-химические процессы при сварке разнородных металлов" проводятся согласно графику выполнения курсовой работы
3. Консультации по разделу "Физико-химические процессы при сварке разнородных металлов" проводятся согласно графику выполнения курсовой работы
4. Консультации по разделу "Физико-химические процессы при сварке разнородных металлов" проводятся согласно графику выполнения курсовой работы

#### Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Консультация по разделу "Физико-химические процессы при сварке разнородных металлов" проводится перед экзаменом
2. Консультация по разделу "Физико-химические процессы при сварке разнородных металлов" проводится перед экзаменом
3. Консультация по разделу "Физико-химические процессы при сварке разнородных металлов" проводится перед экзаменом
4. Консультация по разделу "Физико-химические процессы при сварке разнородных металлов" проводится перед экзаменом

### 3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ

#### 2 Семестр

Курсовая работа (КР)

Темы:

- Разработка технологических рекомендаций по сварке комбинированных конструкций на основе определения состава и структуры металла зоны сплавления разнородных сталей

#### **График выполнения курсового проекта**

Неделя	1 - 5	6 - 8	9 - 11	12 - 13	14 - 16	Зачетная
Раздел курсового проекта	1	2	3	4	5	Защита курсового проекта
Объем раздела, %	20	30	10	10	30	-
Выполненный объем нарастающим итогом, %	20	50	60	70	100	-

Номер раздела	Раздел курсового проекта
1	Выбор схемы тела и источника теплоты для расчета температурных полей при электронно-лучевой сварке листов из разнородных сталей за один проход
2	Определение состава и структуры металла шва разнородных сталей
3	Расчет ширины мартенситной прослойки в металле шва после сварки
4	Расчет размеров диффузионных прослоек в зоне сплавления в зависимости от условий термической обработки комбинированных конструкций
5	Обоснование мер по регулированию состава металла шва с целью повышения ресурса сварных соединений данной пары свариваемых сталей



### 3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)				Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	4	
<b>Знать:</b>						
критерии выбора основных и сварочных материалов, методов сварки и термической обработки, позволяющих снизить степень химической, структурной и механической неоднородности сварных соединений комбинированных конструкций из разнородных сталей в энергетике	ИД-1ПК-2			+		Тестирование/Тест № 3 «Сварные комбинированные конструкции из сталей разных структурных классов»
основы сварки комбинированных конструкций из сталей и цветных металлов и сплавов на их основе, а также биметаллов	ИД-1ПК-2				+	Коллоквиум/Защита РГР «Определение основных параметров тепловых и диффузионных процессов при сварке разнородных металлов»
особенности изменения свойств сварных соединений разнородных металлов и сплавов в зависимости от их структуры	ИД-3РПК-7		+			Тестирование/Тест № 2 «Формирование сварных соединений при сварке разнородных материалов»
закономерности физико-химических и металлургических процессов, которые в процессе сварки разнородных металлов и сплавов определяют формирование химического состава и структуры сварных соединений	ИД-3РПК-7	+				Тестирование/Тест № 1 «Физико-химические процессы при сварке разнородных металлов»
<b>Уметь:</b>						
разрабатывать технологические процессы производства сварных комбинированных конструкций в энергомашиностроении на основе определения и анализа параметров термических циклов сварки	ИД-1ПК-2				+	Лабораторная работа/Защита лабораторной работы № 4 «Определение температур на поверхности пластин при сварке разнородных материалов»
анализировать взаимосвязь режимов термообработки сварных соединений разнородных сталей со структурой и свойствами сварных соединений	ИД-1ПК-2			+		Лабораторная работа/Защита лабораторной работы № 3 «Определение ширины диффузионных прослоек в зоне сплавления разнородных сталей»

анализировать термоэлектрические свойства сталей различных структурных классов и их влияние на параметры сварки	ИД-ЗРПК-7	+			Лабораторная работа/Защита лабораторной работы № 1 «Определение термоэлектрических свойств сталей различных структурных классов»
анализировать изменение основных параметров сварки разнородных металлов при наличии магнитных полей и определять степень проплавления основных материалов	ИД-ЗРПК-7		+		Лабораторная работа/Защита лабораторной работы № 2 «Определение отклонения электронного пучка в магнитном поле остаточной намагниченности»

#### **4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)**

##### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

###### **2 семестр**

Форма реализации: Защита задания

1. Защита РГР «Определение основных параметров тепловых и диффузионных процессов при сварке разнородных металлов» (Коллоквиум)

Форма реализации: Письменная работа

1. Тест № 1 «Физико-химические процессы при сварке разнородных металлов» (Тестирование)
2. Тест № 2 «Формирование сварных соединений при сварке разнородных материалов» (Тестирование)
3. Тест № 3 «Сварные комбинированные конструкции из сталей разных структурных классов» (Тестирование)

Форма реализации: Устная форма

1. Защита лабораторной работы № 1 «Определение термоэлектрических свойств сталей различных структурных классов» (Лабораторная работа)
2. Защита лабораторной работы № 2 «Определение отклонения электронного пучка в магнитном поле остаточной намагниченности» (Лабораторная работа)
3. Защита лабораторной работы № 3 «Определение ширины диффузионных прослоек в зоне сплавления разнородных сталей» (Лабораторная работа)
4. Защита лабораторной работы № 4 «Определение температур на поверхности пластин при сварке разнородных материалов» (Лабораторная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

Балльно-рейтинговая структура курсовой работы является приложением Б.

##### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

###### Экзамен (Семестр №2)

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и экзаменационной составляющих

###### Курсовая работа (КР) (Семестр №2)

Оценка за курсовую работу определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ».

В диплом выставляется оценка за 2 семестр.

**Примечание:** Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

#### **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

##### **5.1 Печатные и электронные издания:**

1. Создание сварных комбинированных конструкций в энергетике. Часть 1. Физические процессы при сварке разнородных металлов : учебное пособие по курсам "Физико-

химические и металлургические процессы при обработке материалов КПЭ", "Сварные комбинированные конструкции" и др. / В. К. Драгунов, и др., Нац. исслед. ун-т "МЭИ" ; ред. В. К. Драгунов. – М. : Вече, 2015. – 176 с. – ISBN 978-5-4444-4096-4.;

2. А. И. Акулов, Г. А. Бельчук, В. П. Демянцевич- "Технология и оборудование сварки плавлением", Издательство: "Машиностроение", Москва, 1977 - (432 с.)

<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=601985>;

3. Драгунов, В. К. Термоэлектрические и электромагнитные процессы при сварке разнородных металлов : учебное пособие по курсу "Сварные комбинированные конструкции" по направлению "Энергетическое машиностроение" / В. К. Драгунов, А. Л. Гончаров, А. П. Слива, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ"). – М. : Изд-во МЭИ, 2019. – 104 с. – ISBN 978-5-7046-2227-7.

<http://elib.mpei.ru/elib/view.php?id=10927>;

4. Драгунов, В. К. Особенности строения сварных соединений разнородных сталей : Методические указания к выполнению расчетного задания по курсу "Технология сварки разнородных металлов и сплавов КПЭ", по направлению 651400 "Машиностроительные технологии и оборудование" / В. К. Драгунов, Р. В. Родякина, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ). – М. : Изд-во МЭИ, 2001. – 16 с.;

5. Технология сварки разнородных металлов и сплавов концентрированными потоками энергии. Описание лабораторных работ : методическое пособие по курсу "Технология сварки разнородных металлов и сплавов КПЭ" по направлению 150200 "Машиностроительные технологии и оборудование" / А. Л. Гончаров, В. К. Драгунов, В. В. Новокрещенов, и др., Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ). – М. : Изд-во МЭИ, 2006. – 24 с..

## **5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:**

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Видеоконференции (Майнд, Сберджаз, ВК и др).

## **5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:**

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - [http://biblioclub.ru/index.php?page=main\\_ub\\_red](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
5. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
6. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
7. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
8. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
9. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
10. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
11. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>
12. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>
13. Электронная открытая база данных "Polpred.com Обзор СМИ" - <https://www.polpred.com>

14. Информационно-справочная система «Кодекс/Техэксперт» - [Http://proinfosoft.ru](http://proinfosoft.ru);  
<http://docs.cntd.ru/>
15. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>
16. Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии - <http://protect.gost.ru/>
17. Открытая университетская информационная система «РОССИЯ» - <https://uisrussia.msu.ru>
18. Официальный сайт Министерства науки и высшего образования Российской Федерации - <https://minobrnauki.gov.ru>
19. Официальный сайт Федеральной службы по надзору в сфере образования и науки - <https://obrnadzor>
20. Федеральный портал "Российское образование" - <http://www.edu.ru>

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	Б-103, Учебная аудитория каф. "ТМ"	парта, стол преподавателя, стол компьютерный, стул, шкаф для документов, тумба, доска меловая, мультимедийный проектор, экран, компьютер персональный, кондиционер
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	Б-103, Учебная аудитория каф. "ТМ"	парта, стол преподавателя, стол компьютерный, стул, шкаф для документов, тумба, доска меловая, мультимедийный проектор, экран, компьютер персональный, кондиционер
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	Б-103, Учебная аудитория каф. "ТМ"	парта, стол преподавателя, стол компьютерный, стул, шкаф для документов, тумба, доска меловая, мультимедийный проектор, экран, компьютер персональный, кондиционер
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	Б-103, Учебная аудитория каф. "ТМ"	парта, стол преподавателя, стол компьютерный, стул, шкаф для документов, тумба, доска меловая, мультимедийный проектор, экран, компьютер персональный, кондиционер
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-303, Лекционная аудитория	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для консультирования	Б-104, Кабинет заведующего кафедрой ТМ	кресло рабочее, стол для работы с документами, стул, шкаф для документов, шкаф для одежды, стол для совещаний,



		компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, кондиционер
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Х-202в, Помещение кафедры "Технологии металлов"	стол, стул, шкаф

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Сварные комбинированные конструкции

(название дисциплины)

#### 2 семестр

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

- КМ-1 Тест № 1 «Физико-химические процессы при сварке разнородных металлов»  
(Тестирование)
- КМ-2 Защита лабораторной работы № 1 «Определение термоэлектрических свойств сталей различных структурных классов» (Лабораторная работа)
- КМ-3 Тест № 2 «Формирование сварных соединений при сварке разнородных материалов»  
(Тестирование)
- КМ-4 Защита лабораторной работы № 2 «Определение отклонения электронного пучка в магнитном поле остаточной намагниченности» (Лабораторная работа)
- КМ-5 Тест № 3 «Сварные комбинированные конструкции из сталей разных структурных классов» (Тестирование)
- КМ-6 Защита лабораторной работы № 3 «Определение ширины диффузионных прослоек в зоне сплавления разнородных сталей» (Лабораторная работа)
- КМ-7 Защита РГР «Определение основных параметров тепловых и диффузионных процессов при сварке разнородных металлов» (Коллоквиум)
- КМ-8 Защита лабораторной работы № 4 «Определение температур на поверхности пластин при сварке разнородных материалов» (Лабораторная работа)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6	КМ-7	КМ-8
		Неделя КМ:	5	5	9	9	13	13	16	16
1	Физико-химические процессы при сварке разнородных металлов									
1.1	Физико-химические процессы при сварке разнородных металлов		+	+						
2	Формирование сварных соединений при сварке разнородных материалов									
2.1	Формирование сварных соединений при сварке разнородных материалов				+	+				
3	Сварные комбинированные конструкции из сталей разных структурных классов									
3.1	Сварные комбинированные конструкции из сталей разных структурных классов						+	+		

4	Сварные комбинированные конструкции из сталей и цветных металлов и сплавов на их основе								
4.1	Сварные комбинированные конструкции из сталей и цветных металлов и сплавов на их основе							+	+
Вес КМ, %:		10	10	12	13	12	13	15	15

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА КУРСОВОГО ПРОЕКТА/РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

### Сварные комбинированные конструкции

(название дисциплины)

#### 2 семестр

#### Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по курсовой работе:

- КМ-1 Выбор схемы тела и источника теплоты для расчета температурных полей при электронно-лучевой сварке листов из разнородных сталей за один проход
- КМ-2 Определение состава и структуры металла шва разнородных сталей
- КМ-3 Расчет ширины мартенситной прослойки в металле шва после сварки
- КМ-4 Расчет размеров диффузионных прослоек в зоне сплавления в зависимости от условий термической обработки комбинированных конструкций
- КМ-5 Обоснование мер по регулированию состава металла шва с целью повышения ресурса сварных соединений данной пары свариваемых сталей

#### Вид промежуточной аттестации – защита КР.

Номер раздела	Раздел курсового проекта/курсовой работы	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
		Неделя КМ:	5	8	11	13	16
1	Выбор схемы тела и источника теплоты для расчета температурных полей при электронно-лучевой сварке листов из разнородных сталей за один проход		+				
2	Определение состава и структуры металла шва разнородных сталей			+			
3	Расчет ширины мартенситной прослойки в металле шва после сварки				+		
4	Расчет размеров диффузионных прослоек в зоне сплавления в зависимости от условий термической обработки комбинированных конструкций					+	
5	Обоснование мер по регулированию состава металла шва с целью повышения ресурса сварных соединений данной пары свариваемых сталей						+
Вес КМ, %:			20	30	10	10	30