

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

Направление подготовки/специальность: 13.03.03 Энергетическое машиностроение

Наименование образовательной программы: Производство энергетического оборудования

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СВАРКИ

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.08
Трудоемкость в зачетных единицах:	7 семестр - 4;
Часов (всего) по учебному плану:	144 часа
Лекции	7 семестр - 32 часа;
Практические занятия	7 семестр - 16 часов;
Лабораторные работы	7 семестр - 16 часов;
Консультации	7 семестр - 2 часа;
Самостоятельная работа	7 семестр - 77,5 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая: Тестирование Коллоквиум Лабораторная работа	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	7 семестр - 0,50 часа;

Москва 2022

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

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

(подпись)

В.К. Драгунов

(расшифровка подписи)

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Овечников С.А.
	Идентификатор	R8f25bf1e-OvechnikovSA-a943abe

(подпись)

С.А. Овечников

(расшифровка подписи)

Заведующий выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

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

(подпись)

В.К. Драгунов

(расшифровка подписи)

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: Изучение теоретических основ сварки для научно обоснованного построения технологических процессов изготовления сварных конструкций энергетического оборудования

Задачи дисциплины

- Изучение совокупности явлений (тепловые, физико-химические, металлургические, термомеханические и др.), которые составляют сущность процесса сварки плавлением;
- Формирование навыков прогнозирования химического состава, структуры и свойств сварного соединения при сварке сталей и сплавов, применяемых при производстве элементов энергетического оборудования;
- Освоение методов обеспечения технологической прочности, стабилизации структуры, формы и размеров сварных 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-1 Способен участвовать в производственно-технологической деятельности в сфере энергетического машиностроения	ИД-3ПК-1 Демонстрирует понимание физических процессов при контроле и обработке материалов	<p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none">- Закономерности термомеханических процессов, происходящих при сварке плавлением;- Закономерности физико-химических и металлургических процессов, происходящих при различных способах сварки плавлением;- Основные закономерности формирования сварных соединений и методы исследования их свойств;- Закономерности структурно-фазовых превращений в материалах, применяемых при создании сварных конструкций в энергомашиностроении. <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none">- Определять остаточные напряжения и деформации, возникающие при сварке конструкций из сталей и сплавов различных структурных классов;- Прогнозировать химический состав сварных соединений, полученных различными способами сварки;- Выбирать основные и сварочные материалы для изготовления сварных конструкций, а также режимы сварки обеспечивающие повышение сопротивляемости сварных соединений образованию горячих трещин;- Применять способы повышения сопротивляемости сварных соединений образованию холодных трещин, а также стабилизации структуры, формы и

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
		размеров сварных конструкций.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Производство энергетического оборудования (далее – ОПОП), направления подготовки 13.03.03 Энергетическое машиностроение, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать Методики расчета тепловых полей при действии различных источников тепла (неподвижных, движущихся, быстродвижущихся) при сварке плавлением, в том числе и для особых случаев
- знать Существующие виды схематизации нагреваемых тел и источников тепла при сварке плавлением
- уметь рассчитывать основные характеристики термического цикла при сварке плавлением (приращение температуры в точке; длину расплавленной ванны; максимальную температуру, достигаемую в различных точках тела; мгновенную скорость охлаждения; ширину зоны, нагретой выше заданной температуры; длительность пребывания металла выше заданной температуры), в том числе и для особых случаев

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 4 зачетных единицы, 144 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	Термодеформационные процессы при сварке	19	7	4	-	4	-	-	-	-	-	11	-	<p><u>Подготовка расчетно-графического задания:</u> Расчет остаточных напряжений и деформаций, возникающих при сварке конструкций из сталей и сплавов различных структурных классов</p> <p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Изучение теоретического материала по термодеформационным процессам при сварке и подготовка к тесту № 1</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 406 - 431</p>
1.1	Термодеформационные процессы при сварке	19		4	-	4	-	-	-	-	-	11	-	
2	Физико-химические и металлургические процессы при сварке	47		14	8	10	-	-	-	-	-	-	15	
2.1	Физико-химические и металлургические процессы при сварке	47	14	8	10	-	-	-	-	-	-	15	-	

3	Сварочная ванна, кристаллизация металла при сварке и формирование первичной структуры металла шва	26	8	4	2	-	-	-	-	-	12	-	<u>Подготовка к лабораторной работе:</u> Изучение методов исследования свойств сварных соединений и определения режимов сварки, обеспечивающих повышение сопротивляемости сварных соединений образованию горячих трещин, для проведения лабораторной работы № 3
3.1	Сварочная ванна, кристаллизация металла при сварке и формирование первичной структуры металла шва	26	8	4	2	-	-	-	-	-	12	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Изучение основных закономерностей формирования сварных соединений исследования их свойств и подготовка к тесту № 3 <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], 11-18 [3], 264 - 303, 344 - 358 [4], 267 - 286, 304 - 327
4	Фазовые и структурные превращения в металлах при сварке. Стабильность размеров и формы сварных конструкций	16	6	4	-	-	-	-	-	-	6	-	<u>Подготовка к лабораторной работе:</u> Изучение методов исследования макроструктуры металла сварного шва для проведения лабораторной работы № 4
4.1	Фазовые и структурные превращения в металлах при сварке. Стабильность размеров и формы сварных конструкций	16	6	4	-	-	-	-	-	-	6	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Изучение основных закономерностей структурно-фазовых превращений в материалах, применяемых при создании сварных конструкций в энергомашиностроении и подготовка к тесту № 4 <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 537 - 548 [2], 19-24 [3], 360 - 382
	Экзамен	36.00	-	-	-	-	2	-	-	0.50	-	33.50	
	Всего за семестр	144.00	32	16	16	-	2	-	-	0.50	44	33.50	
	Итого за семестр	144.00	32	16	16	2	-	-	-	0.50	77.50		

Примечание: Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПП – 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. Термодиформационные процессы при сварке

1.1. Термодиформационные процессы при сварке

Понятие о термодиформационном цикле. Термодиформационные процессы в металлах, возникающие при воздействии на них сварочных источников теплоты. Изменение прочности материалов в области высоких температур. Распределение временных напряжений и деформаций при сварке пластин. Остаточные напряжения, возникающие при сварке материалов, не испытывающих полиморфных превращений. Остаточные напряжения, возникающие при сварке закаливающихся сталей. Остаточные напряжения при сварке закаливающихся сталей аустенитным швом. Порядок расчета деформаций и напряжений по методу Трочуна И.П..

2. Физико-химические и металлургические процессы при сварке

2.1. Физико-химические и металлургические процессы при сварке

Взаимодействие обрабатываемого материала с окружающей средой. Обозначения, основные определения и законы. Кипение расплавов при сварке. Испарение. Равновесие при фазовых превращениях чистых веществ. Уравнение Клапейрона – Клаузиуса. Равновесие между конденсированным раствором и паром. Уравнение Рауля. Испарение элементов из бинарных сплавов. Активность и летучесть. Состав пара над раствором. 1-й закон Коновалова Д.П. Испарение элементов из многокомпонентных сплавов. Порядок расчета состава пара над жидким сплавом. Диффузионные процессы в зоне обработки и их влияние на свойства сварных соединений. Закон распределения вещества в несмешивающихся жидкостях (закон Нернста). Шлаковая фаза. Свойства и состав шлаков. Взаимодействие материала с кислородом, азотом, водородом, сложными газами в процессе сварки.

3. Сварочная ванна, кристаллизация металла при сварке и формирование первичной структуры металла шва

3.1. Сварочная ванна, кристаллизация металла при сварке и формирование первичной структуры металла шва

Особенности кристаллизации металла сварочной ванны. Схемы кристаллизации сварочной ванны. Влияние режимов сварки и условий кристаллизации на формирование первичной структуры и образование химической неоднородности металла шва. Изменению пластичности и прочности металлов и сплавов при высоких температурах. Закономерности образования горячих трещин. Методы испытаний на сопротивляемость сплавов образованию горячих трещин. Способы повышения сопротивляемости сварных соединений образованию горячих трещин.

4. Фазовые и структурные превращения в металлах при сварке. Стабильность размеров и формы сварных конструкций

4.1. Фазовые и структурные превращения в металлах при сварке. Стабильность размеров и формы сварных конструкций

Особенности фазовых и структурных превращений в металле сварных соединений. Причины образования трещин на этапе структурных и фазовых превращений (холодные трещины, трещины повторного нагрева и др). Методы испытаний на сопротивляемость образованию холодных трещин при сварке. Способы повышения сопротивляемости сварных соединений образованию холодных трещин. Размерная нестабильность сварных

конструкций. Факторы, определяющие размерную нестабильность. Методы стабилизации структуры, формы и размеров сварных конструкций.

3.3. Темы практических занятий

1. Расчет напряжений и деформаций при нагреве стержня, свободного или ограниченного в перемещениях. Расчет деформаций и напряжений по методу Трочуна И.П. при сварке пластин встык (4 часа);
2. Расчет давления насыщенного пара в пузыре при кипении расплавов. Определение упругости пара чистых металлов с использованием уравнения Клапейрона – Клаузиуса (2 часа);
3. Расчет температуры кипения чистых металлов и их оксидов. Расчет состава пара над жидким сплавом. Определение вариантности системы с использованием правила фаз Гиббса (4 часа);
4. Определение теплового эффекта реакции. Определение состояние реакции при различных температурах (4 часа);
5. Расчет констант равновесия реакций. Расчет упругости диссоциации химических соединений (2 часа).

3.4. Темы лабораторных работ

1. Определение состава металла шва при дуговой сварке (4 часа);
2. Определение состава пара при сварке сталей и сплавов на основе алюминия (4 часа);
3. Определение нижней границы температурного интервала хрупкости (4 часа);
4. Исследование макроструктуры металла сварного шва (4 часа).

3.5 Консультации

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Краткий обзор раздела и ответы на вопросы
2. Краткий обзор раздела и ответы на вопросы
3. Краткий обзор раздела и ответы на вопросы
4. Краткий обзор раздела и ответы на вопросы

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

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	
Знать:						
Закономерности структурно-фазовых превращений в материалах, применяемых при создании сварных конструкций в энергомашиностроении	ИД-3ПК-1				+	Тестирование/Тест № 4 "Дефекты сварных соединений"
Основные закономерности формирования сварных соединений и методы исследования их свойств	ИД-3ПК-1			+		Тестирование/Тест № 3 «Сварочная ванна, кристаллизация металла при сварке»
Закономерности физико-химических и металлургических процессов, происходящих при различных способах сварки плавлением	ИД-3ПК-1		+			Тестирование/Тест № 2 "Физико-химические и металлургические процессы при сварке"
Закономерности термомеханических процессов, происходящих при сварке плавлением	ИД-3ПК-1	+				Тестирование/Тест № 1 "Термомеханические процессы при сварке"
Уметь:						
Применять способы повышения сопротивляемости сварных соединений образованию холодных трещин, а также стабилизации структуры, формы и размеров сварных конструкций	ИД-3ПК-1				+	Лабораторная работа/Защита лабораторной работы № 4 «Исследование макроструктуры металла сварного шва »
Выбирать основные и сварочные материалы для изготовления сварных конструкций, а также режимы сварки обеспечивающие повышение сопротивляемости сварных соединений образованию горячих трещин	ИД-3ПК-1			+		Лабораторная работа/Защита лабораторной работы № 3 «Определение нижней границы температурного интервала хрупкости »
Прогнозировать химический состав сварных соединений, полученных различными способами сварки	ИД-3ПК-1		+			Лабораторная работа/Защита лабораторных работ № 1 "Определение состава металла шва при дуговой сварке" и № 2 «Определение состава пара при сварке сталей и сплавов на основе алюминия »
Определять остаточные напряжения и деформации,	ИД-3ПК-1	+				Коллоквиум/Расчетно-графическая работа «Расчет

<p>возникающие при сварке конструкций из сталей и сплавов различных структурных классов</p>					<p>основных характеристик термического цикла, деформаций и напряжений при сварке пластин мощным быстродвижущимся источником теплоты»</p>
---	--	--	--	--	--

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

4.1. Текущий контроль успеваемости

7 семестр

Форма реализации: Защита задания

1. Расчетно-графическая работа «Расчет основных характеристик термического цикла, деформаций и напряжений при сварке пластин мощным быстродвижущимся источником теплоты» (Коллоквиум)

Форма реализации: Письменная работа

1. Тест № 1 "Термодеформационные процессы при сварке" (Тестирование)
2. Тест № 2 "Физико-химические и металлургические процессы при сварке" (Тестирование)
3. Тест № 3 «Сварочная ванна, кристаллизация металла при сварке» (Тестирование)
4. Тест № 4 "Дефекты сварных соединений" (Тестирование)

Форма реализации: Устная форма

1. Защита лабораторной работы № 3 «Определение нижней границы температурного интервала хрупкости » (Лабораторная работа)
2. Защита лабораторной работы № 4 «Исследование макроструктуры металла сварного шва » (Лабораторная работа)
3. Защита лабораторных работ № 1 "Определение состава металла шва при дуговой сварке" и № 2 «Определение состава пара при сварке сталей и сплавов на основе алюминия » (Лабораторная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №7)

В диплом выставляется оценка за 7 семестр.

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

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Теория сварочных процессов : Учебник для вузов по специальности "Оборудование и технология сварочного производства" / В. Н. Волченко, и др. ; Ред. В. В. Фролов . – М. : Высшая школа, 1988 . – 559 с. : 1.60 .;
2. Физико-химические и металлургические процессы при обработке материалов КПЭ. Сборник лабораторных работ : методическое пособие по курсу "Физико-химические и металлургические процессы при обработке материалов КПЭ" по направлению "Технологические машины и оборудование" / А. Л. Гончаров, В. К. Драгунов, В. В. Новокрещенов, и др., Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) ; Ред. В. М. Качалов . – М. : Издательский дом МЭИ, 2009 . – 24 с.

http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=284;

3. Г. Л. Петров, А. С. Тумарев- "Теория сварочных процессов (с основами физической химии)", (2-е изд., перераб.), Издательство: "Высшая школа", Москва, 1977 - (392 с.)

<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=447955>;

4. К. В. Багрянский, З. А. Добротина, К. К. Хренов- "Теория сварочных процессов", (2-е изд., перераб.), Издательство: "Вища школа", Киев, 1976 - (424 с.)

<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=601986>.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux.

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
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. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>

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	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	А-06а/1, Лаборатория электроннолучевой обработки	рабочее место сотрудника, шкаф, оборудование специализированное
	Б-103, Учебная аудитория каф. "ТМ"	парта, стол преподавателя, стол компьютерный, стул, шкаф для документов, тумба, доска меловая, мультимедийный проектор, экран, компьютер персональный, кондиционер
	А-029, Лаборатория	парта, стол преподавателя, стул, шкаф,

	дуговой и контактной сварки	доска меловая
	Х-201а, Лаборатория материаловедения и термической обработки	стул, шкаф, стол письменный, тумба, оборудование специализированное
	Б-05/3, Лаборатория электроннолучевой обработки	стол, стул
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	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, Компьютерный читальный зал	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для консультирования	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 хранения оборудования и учебного инвентаря	Х-202в, Помещение кафедры "Технологии металлов"	стол, стул, шкаф

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Теоретические основы сварки

(название дисциплины)

7 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Тест № 1 "Термодеформационные процессы при сварке" (Тестирование)
- КМ-2 Расчетно-графическая работа «Расчет основных характеристик термического цикла, деформаций и напряжений при сварке пластин мощным быстро движущимся источником теплоты» (Коллоквиум)
- КМ-3 Тест № 2 "Физико-химические и металлургические процессы при сварке" (Тестирование)
- КМ-4 Защита лабораторных работ № 1 "Определение состава металла шва при дуговой сварке" и № 2 «Определение состава пара при сварке сталей и сплавов на основе алюминия » (Лабораторная работа)
- КМ-5 Тест № 3 «Сварочная ванна, кристаллизация металла при сварке» (Тестирование)
- КМ-6 Защита лабораторной работы № 3 «Определение нижней границы температурного интервала хрупкости » (Лабораторная работа)
- КМ-7 Тест № 4 "Дефекты сварных соединений" (Тестирование)
- КМ-8 Защита лабораторной работы № 4 «Исследование макроструктуры металла сварного шва » (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:	4	6	8	10	12	14	16	17
1	Термодеформационные процессы при сварке									
1.1	Термодеформационные процессы при сварке		+	+						
2	Физико-химические и металлургические процессы при сварке									
2.1	Физико-химические и металлургические процессы при сварке				+	+				
3	Сварочная ванна, кристаллизация металла при сварке и формирование первичной структуры металла шва									
3.1	Сварочная ванна, кристаллизация металла при сварке и формирование первичной структуры металла шва						+	+		

4	Фазовые и структурные превращения в металлах при сварке. Стабильность размеров и формы сварных конструкций								
4.1	Фазовые и структурные превращения в металлах при сварке. Стабильность размеров и формы сварных конструкций							+	+
Вес КМ, %:		5	10	10	25	10	15	10	15