

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Шамсутдинов Расим Адегамович

Должность: Директор ЛФ КНИТУ-КАИ

Дата подписания: 23.09.2022 14:56:47

Уникальный программный ключ:

d31c25eab5d6fbb0cc50e03a64dfdc00329a085e5a995ad1080665082c961114

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ»
Лениногорский филиал**

УТВЕРЖДАЮ

Директор ЛФ КНИТУ-КАИ

Шамсутдинов
Р.А. Шамсутдинов

«*23*» *09* 2022 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины (модуля)

Б1.О.31 Расчет и проектирование сварных соединений

(индекс и наименование дисциплины по учебному плану)

Квалификация: бакалавр

Форма обучения: очная, заочная

Направление подготовки: 15.03.01 Машиностроение

Направленность (профиль): Оборудование и технология сварочного

производства

Лениногорск 2022

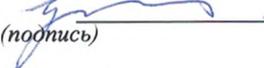
Рабочая программа дисциплины (модуля) разработана в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 15.03.01 Машиностроение, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 09 августа 2021г. № 727.

Разработчики:

Павлов О.Ю., к.т.н., доцент
(ФИО, ученая степень, ученое звание)

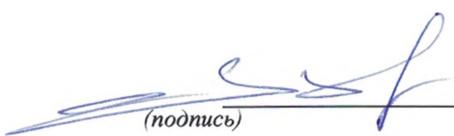

(подпись)

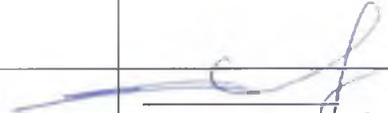
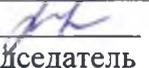
Лустин А.Д.
(ФИО, ученая степень, ученое звание)


(подпись)

Рабочая программа утверждена на заседании кафедры МиИТ от 22.03.2022г., протокол № 7.

/Заведующий кафедрой МиИТ
Думлер Елена Борисовна, канд.техн.наук
(ФИО, ученая степень, ученое звание)


(подпись)

Рабочая программа дисциплины (модуля):	Наименование Подразделения	Дата	№ протокола	Подпись
ОДОБРЕНА	на заседании кафедры МиИТ	22.03.2022	7	 Руководитель ОП Е.Б. Думлер
ОДОБРЕНА	Учебно-методическая комиссия ЛФ КНИТУ-КАИ	24.03.2022	7	 Председатель УМК З.И. Аскарова
СОГЛАСОВАНА	Научно-техническая библиотека	-	-	 Библиотекарь А.Г. Страшнова

1 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И КОНЕЧНЫЙ РЕЗУЛЬТАТ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

1.1 Цель изучения дисциплины (модуля)

Сформировать у выпускников необходимые компетенции для участия в проектировании сварных конструкций в качестве экспертов, способных дать оценку технологических возможностей изготовления конструкции и обеспечения требуемых характеристик прочности и надежности сварных соединений.

1.2 Задачи дисциплины (модуля)

Основными задачами дисциплины являются:

1. Изучить основы проектирования сварных соединений с учетом условий их эксплуатации.
2. Дать представления о принципах обеспечения на стадии проектирования прочности, надежности и технологичности сварных конструкций; об основных факторах, влияющие на конструкционную прочность сварных соединений.
3. Выработать подход к проектированию, основанный на изучении возможностей технологического процесса и требований к эксплуатационным свойствам конструкции.

1.3 Место дисциплины (модуля) в структуре ОП ВО

Дисциплина относится к обязательной части Блока 1. Дисциплины (модули) образовательной программы.

1.4 Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы

Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся представлены в таблице 1.1

Таблица 1.1а

Объем дисциплины (модуля) для очной формы обучения

Семестр	Общая трудоемкость дисциплины (модуля), в ЗЕ/час	Виды учебной работы, в т.ч., проводимые с использованием ЭО и ДОТ											
		Контактная работа обучающихся с преподавателем по видам учебной работы (аудиторная работа)							Самостоятельная работа обучающегося (внеаудиторная работа)				
		Лекции/ в т.ч. в форме практической подготовки	Лабораторные работы/ в т.ч. в форме практической подготовки	Практические занятия/ в т.ч. в форме практической подготовки	Курсовая работа (консультация, защита)	Курсовой проект (консультация, защита)	Консультации перед экзаменом	Контактная работа на промежуточной аттестации	Курсовая работа (подготовка)/ в т.ч. в форме практической	Курсовой проект (подготовка)/ в т.ч. в форме практической	Проработка учебного материала (самоподготовка)/ в т.ч. в форме практической подготовки	Подготовка к промежуточной аттестации	Форма промежуточной аттестации
7	5 ЗЕ/180	16/0	16/0	16/0	-	-	-	0,3	-	-	131,7/0	-	зачет
8	5 ЗЕ/180	16/0	16/0	16/0	-	2	2	0,3	-	70	24/0	33,7	экзамен, курсовой проект
Итого	10 ЗЕ/360	32/0	32/0	32/0	-	2	2	0,6	-	70	155,7/0	33,7	

Таблица 1.1б

Объем дисциплины (модуля) для заочной формы обучения

Семестр	Общая трудоемкость дисциплины (модуля), в ЗЕ/час	Виды учебной работы, в т.ч., проводимые с использованием ЭО и ДОТ											
		Контактная работа обучающихся с преподавателем по видам учебной работы (аудиторная работа)							Самостоятельная работа обучающегося (внеаудиторная работа)				
		Лекции/ в т.ч. в форме практической подготовки	Лабораторные работы/ в т.ч. в форме практической подготовки	Практические занятия/ в т.ч. в форме практической подготовки	Курсовая работа (консультация, защита)	Курсовой проект (консультация, защита)	Консультации перед экзаменом	Контактная работа на промежуточной аттестации	Курсовая работа (подготовка)/ в т.ч. в форме практической	Курсовой проект (подготовка)/ в т.ч. в форме практической	Проработка учебного материала (самоподготовка)/ в т.ч. в форме практической подготовки	Подготовка к промежуточной аттестации	Форма промежуточной аттестации
9	5 ЗЕ/180	8/0	8/0	8/0	-	-	-	0,3	-	-	152/0	3,7	зачет
10	5 ЗЕ/180	8/0	8/0	12/0	-	2	2	0,3	-	70	71/0	6,7	экзамен, курсовой проект
Итого	10 ЗЕ/360	16/0	16/0	20/0	-	2	2	0,6	-	70	223/0	10,4	

1.5 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование компетенций, представленных в таблице 1.2.

Таблица 1.2

Формируемые компетенции

Код компетенции	Наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенций	Планируемые результаты обучения
ОПК-12	Способен обеспечивать технологичность изделий и процессов их изготовления, уметь контролировать соблюдение технологической дисциплины при изготовлении изделий машиностроения	ИД-1 ОПК-12 Анализирует возможности обеспечения технологичности изделий и процессов их изготовления ИД-2 ОПК-12 Реализует мероприятия по контролю соблюдения технологической дисциплины при изготовлении изделий машиностроения ИД-3 ОПК-12 Разрабатывает технологические процессы изготовления изделий с учётом технологичности	Знает методы оформления законченных проектно-конструкторских работ в соответствии с нормативной документацией Умеет оформлять законченные проектно-конструкторские работы в соответствии с нормативной документацией Владеет навыками оформления законченных проектно-конструкторских работ в соответствии с нормативной документацией
ОПК-13	Способен применять стандартные методы расчета при проектировании деталей и узлов изделий машиностроения	ИД-1 ОПК-13 Собирает и анализирует исходные информационные данные для расчёта и проектирования деталей и узлов изделий машиностроения ИД-2 ОПК-13 Применяет стандартные методы расчета при проектировании деталей и узлов изделий машиностроения ИД-3 ОПК-13 Владеет навыками проектирования деталей и узлов изделий машиностроения с применением стандартных методов расчета	Знает технические и эксплуатационные параметры сварных конструкций и изделий при проектировании Умеет рассчитывать технические и эксплуатационные параметры сварных конструкций и изделий при проектировании Владеет навыками расчёта и сопоставления технических и эксплуатационных параметров сварных конструкций и изделий при проектировании

2 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

2.1 Структура дисциплины (модуля)

Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам), с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебной работы приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Разделы дисциплины (модуля) и виды учебной работы

Наименование тем (разделов) дисциплины (модуля)	Всего (час)	Контактная работа обучающихся с преподавателем по видам учебных занятий (в час)				Самостоятельная работа (проработка учебного материала), выполнение курсовой работы /проекта, подготовка к ПА, самоподготовка.
		Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия	КР, КП, ПА, консультация	
7 семестр						
Раздел 1. Общие принципы проектирования сварных конструкций						
Тема 1.1. Особенности сварных конструкций	12	1		1		10
Тема 1.2. Материалы, применяемые для сварных конструкций	12	1		1		10
Тема 1.3. Типы сварных соединений	12	1		1		10
Тема 1.4. Механические характеристики сварных соединений	12	1		1		10
Тема 1.5. Методы анализа напряженно-деформированного состояния	12	1		1		10
Раздел 2. Проектирование сварных конструкций						
Тема 2.1. Основы проектирования сварных соединений	12	1		1		10
Тема 2.2. Проектный расчет сварных соединений при статических нагрузках	18	1	4	1		12
Тема 2.3. Расчет и проектирование сварных соединений, работающих при переменных нагрузках	16	2		2		12
Раздел 3. Напряжение и деформация. Разрушение сварных соединений						
Тема 3.1. Напряжения и деформации, возникающие при сварке	28,7	1	12	1		14,7
Тема 3.2. Хрупкое разрушение сварных соединений	15	2		2		11
Тема 3.3. Особенности условий работы сварных соединений при высоких температурах	15	2		2		11
Тема 3.4. Проработка вопросов технологичности на стадии проектирования конструкции	15	2		2		11
Промежуточная аттестация (зачет)	0,3				0,3	
Итого за семестр	180	16	16	16	0,3	131,7

8 семестр						
Раздел 4. Примеры проектирования сварных конструкций и сооружений						
Тема 4.1. Сварные строительные конструкции	26	8	4	8		6
Раздел 5. Сварные соединения оболочковых конструкций						
Тема 5.1. Расчет и проектирование сварных соединений оболочковых конструкций	18	4	4	4		6
Раздел 6. Сварные детали и конструкции смешанного типа						
Тема 6.1. Сварные детали машин	14	2	4	2		6
Тема 6.2. Конструкции и сооружения смешанного типа	14	2	4	2		6
Курсовой проект	72				2	70
Промежуточная аттестация (экзамен)	36				2,3	33,7
Итого за семестр	180	16	16	16	4,3	127,7
Итого	360	32	32	32	4,6	259,4

2.2 Содержание разделов дисциплины (модуля)

Раздел 1. Общие принципы проектирования сварных конструкций

Тема 1.1. Особенности сварных конструкций

Области применения неразъемных соединений. Композитные детали и конструкции (создание деталей с заданными свойствами на отдельных участках, наплавка, нанесение покрытий). Повышение технологичности за счет применения сварки (сварно-литые, сварно-кованные, сварно-штампованные детали и др.). Классификация сварных конструкций. Влияние неоднородности металла сварного соединения на условие его работы. Конструкционная и технологическая прочность сварных соединений.

Тема 1.2. Материалы, применяемые для сварных конструкций

Критерии выбора материалов из условий эксплуатации конструкции и технологии изготовления. Механические характеристики конструкционных материалов. Понятие удельная прочность, область рационального применения материалов с высокой удельной прочностью. Общая характеристика сталей, применяемых для сварных конструкций в различных отраслях промышленности и строительства (низкоуглеродистые, низколегированные, легированные стали, стали и сплавы со специальными свойствами). Примеры марок сталей, применяемых для сварных конструкций в России и за рубежом. Отечественные и зарубежные стандарты на материалы для сварных конструкций. Особенности и перспективы применения в сварных конструкциях цветных металлов и сплавов на основе алюминия, титана, меди и др. Коррозионная стойкость сталей и цветных сплавов. Сверхпластичные сплавы.

Полимеры и композитные материалы, перспективы их применения в сварных конструкциях.

Характеристика листового и профильного проката, а также других видов исходных заготовок, используемых при проектировании сварных конструкций. Широкополочные двутавры и тавры с параллельными гранями полок,

биметаллический прокат, гнутые, штампованные, прессованные профили, замкнутые коробчатые профили.

Тема 1.3. Типы сварных соединений

Классификация сварных швов и соединений. Геометрические параметры сварных стыковых соединений при дуговой сварке плавлением. Рациональная разделка кромок для сварки деталей большой толщины (узкая, щелевая и др.). Геометрические параметры сварных соединений с угловыми швами. Дуговые соединения алюминиевых сплавов. Соединения, полученные электрической контактной сваркой и их конструктивные элементы. Соединения, выполненные электрошлаковой, электронно-лучевой, лазерной и др. специальными методами сварки. Соединения, полученные сваркой в твердой фазе, характеристика, область их применения. Соединения разнородных материалов и биметаллов, паяные соединения. Соединения при сварке пластмасс: сварка горячим воздухом; сварка нагревательным элементом; сварка токами высокой частоты; сварка трением; сварка ультразвуком. Болтовые соединения. Клеесварные соединения. Условное обозначение сварных и паяных соединений на чертежах в России и за рубежом.

Тема 1.4. Механические характеристики сварных соединений

Изменение свойств металла под влиянием сварки. Химическая, структурная, механическая неоднородность. НДС механически неоднородных сварных соединений. Влияние мягких и твердых прослоек, а также их геометрии на НДС соединения. Критерии оценки прочности механически неоднородных соединений. Механическая неоднородность как источник концентрации напряжений. Макро- и микронеоднородность механических свойств сварного соединения.

Стандартные методы механических испытаний сварных соединений. Методы определения прочности и пластичности отдельных зон сварного соединения. Испытания на растяжение и статический изгиб. Испытания на ударную вязкость при динамическом нагружении.

Влияние технологии сварки (режима сварки, скорости охлаждения и др.) на механические характеристики сварного соединения. Особенности влияния сварки на сопротивление разрушению низколегированных, углеродистых и высоколегированных сталей, цветных металлов и сплавов.

Паяные соединения, методы испытания, факторы, определяющие механические свойства.

Тема 1.5. Методы анализа напряженно-деформированного состояния

Аналитические методы. Общие представления о методах строительной механики, сопротивления материалов, теории упругости, пластичности и ползучести. Области рационального использования их для расчета прочности сварных соединений. Примеры применения этих методов.

Численные методы, их достоинства и недостатки. Принципы моделирования напряженно-деформированного состояния (НДС) сварных соединений с использованием метода конечных элементов.

Явление концентрации напряжений в сварных соединениях. Усложнение схемы напряженного состояния вблизи концентраторов. Методы оценки концентрации напряжений и деформаций. Концентрация напряжений в соединениях, полученных сваркой плавлением. Влияние геометрии сварных швов и соединения в целом на концентрацию напряжений. Влияние упругой податливости соединяемых деталей на концентрацию напряжений. Распределение напряжений в сварных стыковых, угловых, тавровых соединениях. Распределение напряжений в нахлесточных соединениях с лобовыми швами, фланговыми и комбинированными швами. Распределение напряжений в соединениях, выполненных контактной (точечной, шовной) сваркой, клеесварных соединениях и соединениях с прерывистыми швами, а также в паяных соединениях.

Изменение НДС при переходе в упруго-пластическую стадию работы сварного соединения. Влияние остаточных напряжений на распределение напряжений в зонах концентрации. Методы регулирования НДС на стадиях проектирования и изготовления сварной конструкции.

Появление трещин в концентраторе. Начало движения имеющейся трещины. Энергетические, силовые и деформационные методы механики разрушения. Основные понятия и критерии, характеризующие поле напряжений в вершине трещиноподобных дефектов. Локальный коэффициент концентрации напряжений (по В.А. Винокурову).

Влияние локального НДС на работоспособность сварного соединения. Влияние на НДС шва его геометрических параметров (ширины и высоты усиления, размеров катетов, геометрии зоны перехода от шва к основному металлу). Влияние на НДС искажений геометрии сварного соединения (смещения и угловатости кромок).

Локальное НДС в зонах с резким изменением геометрии сечения; в зонах расположения несплошностей и включений в сварных соединениях (типа пор, подрезов, несплавлений, непроваров, неметаллических включений и др.); в зонах перехода от шва к основному металлу. Сравнительный анализ влияния на прочность внутренних дефектов и дефектов, выходящих на поверхность сварного соединения.

Раздел 2. Проектирование сварных конструкций.

Тема 2.1. Основы проектирования сварных соединений

Общие принципы проектирования сварных соединений (нагрузки, передаваемые через сварное соединение - их классификация; расчетная толщина и длина стыковых и угловых швов). Составление расчетной схемы для отдельных элементов сварных конструкций. Технологические и конструктивные ограничения на расчетные размеры швов.

Задачи, решаемые при проектировании сварных соединений. Понятие прочность, надежность, технологичность сварных конструкций; проблемы одновременного удовлетворения требованиям прочности, надежности и технологичности. Проектный расчет и его задачи. Проверочный расчет и его задачи. Объяснение влияния сварки на запас прочности и надежность конструкции с вероятностных позиций. Общие представления о

конструктивных и технологических факторах, влияющих на надежность (роль дефектности, достоверности контроля качества и др.). Возможности управления технологичностью сварных соединений на стадии проектирования. Принципы конструктивно-технологического проектирования. Влияние технологичности на надежность.

Тема 2.2. Проектный расчет сварных соединений при статических нагрузках

Виды сварных соединений. Стыковые соединения, выполненные сваркой плавлением. Соединения с угловыми швами. Нахлесточные соединения со сварными точками и проплавными швами. Исходные предпосылки расчета соединений при статических нагрузках. Предельные состояния конструкций и их характеристика. Условие равнопрочности сварных соединений и меры его обеспечения. Принципы расчета соединений по допускаемым напряжениям и предельному состоянию. Нормы предельных сопротивлений и допускаемых напряжений. Коэффициенты безопасности.

Возможные зоны разрушения сварных стыковых соединений и расчет их прочности при растяжении и изгибе.

Возможные зоны и характер разрушения угловых швов в зависимости от направления действующей силы, глубины проплавления, механических свойств основного и наплавленного металла. Расчет нахлесточных соединений, нагруженных сосредоточенной силой и изгибающим моментом в плоскости соединения. Методы осевого и полярного моментов инерции, расчленения соединения и нагрузки на составляющие. Расчет тавровых соединений, передающих изгибающий и крутящий момент. Расчеты сварных соединений при скручивании. Расчет поясных сварных швов в балках.

Расчет соединений, выполненных контактной сваркой (точечной, шовной, рельефной, сваркой сопротивлением и оплавлением). Конструктивные элементы сварных соединений. Допускаемые напряжения и расчетные сопротивления при расчете соединений. Особенности расчета соединений, работающих на отрыв; на срез; под действием момента в плоскости соединения.

Особенности расчета клеесварных и паяных соединений.

Компьютеризация прочностных расчетов. Методы уменьшения объема наплавленного металла и трудоемкости сварки при проектировании сварных соединений. Пути снижения металлоемкости сварных конструкций. Оптимизация сварных соединений с позиции обеспечения равнопрочности различных зон сварного соединения, в том числе основного металла.

Технологические рекомендации по проектированию соединений.

Тема 2.3. Расчет и проектирование сварных соединений, работающих при переменных нагрузках

Основные понятия и определения. Прочность основного металла при переменных (циклических) нагрузках. Диаграмма выносливости. Методика расчета на выносливость. Характеристики вибрационной прочности сварных соединений. Работа сварных соединений при действии ударной нагрузки.

Малоцикловая усталость сварных соединений. Расчет длительности периода зарождения разрушения. Закономерности развития разрушения. Влияние характеристики цикла r на прочность при переменных нагрузках. Влияние концентрации напряжений, остаточных напряжений и механических свойств отдельных зон на малоцикловую усталость сварного соединения. Работа сварных соединений из разнородных материалов.

Методы повышения усталостной прочности. Примеры проектирования сварных конструкций, работающих при переменных нагрузках (грузоподъемные машины, мосты и др.).

Основные закономерности усталостного разрушения. Факторы, влияющие на усталостную прочность сварных соединений. Методы расчета усталостной прочности. Метод, рекомендуемый СНиП П-23-81* . Метод S - N кривых (IIW, классы FAT). Метод «горячей точки». Особенности развития разрушения сварных конструкций.

Многоцикловая усталость сварных соединений. Предел усталости. Влияние на выносливость конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов.

Методы расчета прочности сварных соединений в области многоциклового усталости (основанные на учете эффективных значений коэффициентов концентрации напряжений и на анализе локального распределения напряжений).

Коэффициенты концентрации и их влияние на усталостную прочность. Влияние частоты циклов нагружения на усталостную прочность. Усталостная прочность разных видов сварных соединений. Влияние на усталостную прочность термообработки сварных соединений. Влияние на усталостную прочность обертонных.

Принципы проектирования конструкций, предназначенных для работы при переменных нагрузках. Анализ случаев усталостного разрушения сварных конструкций. Примеры удачных и неудачных конструктивных решений. Конструктивные и технологические приемы повышения сопротивления усталости (сглаживание геометрии профиля шва, искусственное наведение благоприятных остаточных напряжений, послесварочная обработка соединения для повышения сопротивления усталости.).

Компьютерные методы расчета сварных соединений на усталость. Методы моделирования процесса разрушения.

Раздел 3. Напряжение и деформация. Разрушение сварных соединений

Тема 3.1. Напряжения и деформации, возникающие при сварке

Собственные напряжения сварных соединений

Собственные напряжения. Расчетное определение собственных напряжений. Механизм образования временных и остаточных сварочных напряжений, деформаций и перемещений.

Основные понятия и классификация. Изменение свойств металлов при повышении температуры. Образование напряжений и деформаций при нагреве и остывании. Образование и определение напряжений и деформаций при

сварке. Временные и остаточные напряжения. Механизмы возникновения собственных напряжений в продольном и поперечном направлении. Краткие сведения о механизмах продольной и поперечной усадки. Собственные напряжения в толстостенных конструкциях.

Определение остаточных напряжений экспериментальным путем. Численные методы исследования полей собственных напряжений, возникающих при сварке. Примеры распределения остаточных сварочных напряжений в сварных пластинах, таврах, двутаврах, оболочках, многослойных швах и элементах конструкций. Остаточные напряжения в районе сварной точки. Особенности образования остаточных напряжений в сварных соединениях титановых и алюминиевых сплавов; при сварке сталей мартенситного класса. Влияние неоднородности теплофизических и механических свойств сварного соединения на распределение остаточных напряжений. Остаточные напряжения при сварке разнородных материалов.

Сварочные деформации и перемещения

Классификация деформаций и перемещений, вызванных сваркой (продольные, поперечные, угловые, деформации грибовидности, деформации потери устойчивости, изгиб продольной оси конструкций). Деформации и перемещения, вызванные продольным укорочением шва и околошовной зоны. Расчетные методы определения перемещений при симметричном расположении шва. Метод фиктивных усадочных сил. Механизм образования деформаций и перемещений, в результате поперечного укорочения шва. Угловые деформации при одно и многопроходной сварке встык и в конструкциях с угловыми швами.

Влияние сварочных напряжений и деформаций на прочность, работоспособность конструкций и технологию производства: влияние собственных напряжений и пластических деформаций; влияние перемещений, вызываемых сваркой. Изменение остаточных напряжений, деформаций и перемещений при механической обработке, при первом нагружении и в процессе эксплуатации. Методы обеспечения точности сварных узлов и конструкций на стадии проектирования путем регулирования остаточных деформаций.

Различные виды деформаций элементов сварных конструкций

Перемещение конструкций балочного типа. Перемещение в оболочках. Потеря устойчивости листовых элементов от сварки. Методы уменьшения сварочных напряжений, деформаций и перемещений в конструкциях.

Тема 3.2. Хрупкое разрушение сварных соединений

Краткие сведения о хрупком и вязком разрушении сварных соединений. Виды хрупкого разрушения (ХР). Факторы, предопределяющие возможность ХР. Примеры хрупких разрушений сварных конструкций. Методы качественной оценки склонности отдельных зон сварного соединения к хрупкому разрушению (по волокнистости излома, по энергии разрушения образца с трещиной и др.). Элементы механики разрушения. Факторы, определяющие сопротивление хрупкому разрушению. Механические свойства зон сварного соединения и их изменение под влиянием термомодеформационного

цикла сварки. Жесткость напряженно - деформированного состояния металла в вершине трещины (понятие плосконапряженного состояния и плоской деформации, влияние толщины металла). Температура эксплуатации и скорость нагружения. Влияние остаточных сварочных напряжений на сопротивление хрупкому разрушению.

Расчетные методы обоснования безопасности сварных соединений с позиции предотвращения хрупких разрушений. Влияние низких температур на свойства сварных соединений. Особенности проектирования сварных конструкций для работы при низких и криогенных температурах; требования к применяемым материалам.

Горячие трещины. Холодные трещины. Повышение сопротивляемости образованию горячих и холодных трещин.

Тема 3.3. Особенности условий работы сварных соединений при высоких температурах

Общие представления о прочности и несущей способности сварных соединений при эксплуатации конструкций в высокотемпературной области. Длительная прочность. Ползучесть. Критерии оценки. Применяемые материалы. Влияние технологии сварки. Примеры практического использования сварных конструкций при высоких температурах эксплуатации. Анализ причин разрушения. Методы повышения длительной прочности соединений на стадии проектирования.

Тема 3.4.. Проработка вопросов технологичности на стадии проектирования конструкции

Учет требований технологичности при выборе конструкционного материала (с позиции свариваемости, условий эксплуатации, снижения трудоемкости заготовительных операций и др.). Обеспечение требуемой точности изделия, доступности соединения для выполнения сварки заданным способом и возможности применения неразрушающих методов контроля. Примеры рациональных и нерациональных решений. Особенности проектирования соединений для роботизированной сварки. Проектирование соединений, отличающихся по толщине кромок, из материалов со специальными свойствами (алюминиевые, титановые сплавы и др.), разнородных соединений. Паяные соединения.

Раздел 4. Примеры проектирования сварных конструкций и сооружений

Тема 3.1. Сварные строительные конструкции

Примеры сварных строительных конструкций. Условия эксплуатации сварных строительных конструкций. Обоснование выбора конструкционного материала.

Сварные балки. Типы сварных балок. Определение расчетных усилий в балках методом линий влияния. Использование линий влияния для определения усилий от системы сосредоточенных сил P и равномерно распределенной нагрузки q .

Подбор сечения балок с учетом обеспечения прочности, жесткости, экономичности. Общая и местная устойчивость балок. Ребра жесткости. Расчет балок с учетом пластических деформаций. Работа балок на кручение. Сварные соединения. Стыки. Опорные части. Конструирование и расчет узлов пересекающихся балок.

Балочные клетки перекрытий и рабочих площадок. Рамы вагонов и локомотивов. Проезжая часть пролетного строения моста. Мостовой кран. Сопряжения балок различных профилей с другими элементами конструкций. Сопряжения между собой балок одинаковой и разных высот. Сопряжения балок со стойками.

Проектирование сварных конструкций из алюминия и алюминиевых сплавов. Влияние сварки на свойства соединения. Особенности расчета усталостной прочности. Проектирование сварных соединений.

Фермы. Понятие о фермах. Классификация ферм. Типы сварных ферм. Геометрическая неизменяемость и статическая определимость ферм. Соединения ферм в геометрически пространственную неизменяемую систему. Линии влияния усилий стержневых ферм. Определение усилий стержней ферм при нахождении груза на поясе. Определение усилий стержней фермы аналитическим методом. Деформации ферм. Примеры расчета. Схема расчета сварных ферм. Дополнительные напряжения от жесткости узлов. Типы сечений элементов сварных форм и их расчет. Конструирование и расчет узлов сварных ферм. Концентрация напряжений в узлах и меры ее снижения. Сварные безраскосные фермы и рамы. Облегченные решетчатые фермы. Элементы несущих арматурных каркасов железобетонных конструкций.

Подбор сечения стержней. Проектирование узлов ферм и расчет сварных соединений.

Оптимизация конструкции ферм. Стыки поясов. Фермы из алюминиевых сплавов.

Сварные стойки. Типы поперечных сечений. Прочность и устойчивость стоек со сплошным и составным поперечным сечением при центральном приложении усилий. Прочность и устойчивость стоек при эксцентрично приложенной силе. Расчет устойчивости стойки, имеющей поперечное сечение со свободной осью. Соединительные элементы. Проектирование соединительных элементов, баз и оголовков стоек. Сварные соединения.

Типы сопряжений балок с колоннами.

Схемы опирания колонн и их расчетные схемы. Особенности работы сварных стоек и колонн. Конструкция и расчет колонн, воспринимающих центральное и внецентральное сжатие. Сплошные и сквозные колонны.

Сварные соединения арматуры железобетонных конструкций.

Раздел 5. Сварные соединения оболочковых конструкций

Тема 5.1. Расчет и проектирование сварных соединений оболочковых конструкций.

Примеры тонко- и толстостенных сосудов. Назначение и условия работы. Выбор конструкционного материала. Отраслевая нормативная документация, регламентирующая проектирование конструкций.

Вертикальные цилиндрические резервуары с плоскими днищами. Расчет оболочек по методу Лапласа. Цистерны. Газгольдеры, каплевидные и сферические резервуары. Метод рулонирования. Применение специальных сплавов для изготовления резервуаров и цистерн.

Конструктивное оформление и схема расчета тонкостенных сосудов. Конструкция и расчет соединений, прикрепляющих днища, горловины, штуцеры, патрубки и другие элементы сосудов.

Конструктивное оформление и схема расчета толстостенных сосудов и барабанов котлов. Требования Ростехнадзора к сосудам, работающим под давлением, котлам. Проверка опасности хрупкого разрушения и малоциклового усталости.

Сварные трубы и трубопроводы. Методы расчета. Выбор материала с позиции вязкого и хрупкого разрушения. Методы повышения сопротивления разрушению трубопроводов на стадии проектирования.

Раздел 6. Сварные детали и конструкции смешанного типа.

Тема 6.1. Сварные детали машин

Особенности конструирования и изготовления сварных деталей в машиностроении. Преимущества комбинированных сварных конструкций из литых, кованных, штампованных деталей и из проката. Комбинированные конструкции из разнородных материалов.

Учет усталостной прочности сварных соединений при проектировании деталей машин. Сварные рамы и станины, корпуса редукторов, шестерни, шкивы, барабаны и др. Сварные валы, подшипники, детали автомобилей, детали турбин. Композитные конструкции со специальными свойствами.

Надежность деталей машин. Централизованное изготовление элементов сварных конструкций.

Тема 6.2. Конструкции и сооружения смешанного типа

Кузов цельнометаллического вагона. Корпус судна. Стыки обшивки, узлы набора, переборок, надстроек.

Сварные каркасы производственных и многоэтажных зданий. Поперечные рамы и арки. Системы покрытий. Связи каркасных сооружений.

2.3 Курсовой проект

Основной целью курсового проекта является формирование у студентов навыков самостоятельного решения задач при проектировании сварных конструкций на базе знаний, полученных при изучении дисциплины «Расчёт и проектирование сварных соединений», а также общетехнических и специальных дисциплин, технической литературы, нормативных документов, ГОСТов и других справочных материалов.

Проект выполнять в соответствии с методическими указаниями на проектирование сварных конструкций.

Типовые темы проектов «Рассчитать и спроектировать сварную

металлоконструкцию
преподавателем.

(название

металлоконструкции)»

выдаются

3 ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Текущий контроль успеваемости обеспечивает оценивание хода освоения дисциплины (модуля).

Промежуточная аттестация обеспечивает оценивание промежуточных результатов обучения по дисциплине (модулю).

Комплект оценочных материалов представляет собой совокупность оценочных средств (комплекс заданий различного типа с ключами правильных ответов, включая критерии оценки), используемых при проведении оценочных процедур (текущего контроля, промежуточной аттестации) с целью оценивания достижения обучающимися результатов обучения по дисциплине (модулю).

Комплект оценочных материалов (текущего контроля и промежуточной аттестации), необходимых для оценивания результатов освоения дисциплины (модуля) представлен в виде отдельного документа по дисциплине (модулю) и хранится на кафедре-разработчике в бумажном или электронном виде.

3.1 Оценка успеваемости обучающихся

Текущий контроль успеваемости и промежуточная аттестация по дисциплине (модулю) осуществляется в соответствии с балльно-рейтинговой системой по 100-балльной шкале. Пересчет суммы баллов в традиционную оценку представлен в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Шкала оценки на промежуточной аттестации

Выражение в баллах	Словесное выражение при форме промежуточной аттестации - зачет	Словесное выражение при форме промежуточной аттестации – экзамен, зачет с оценкой
от 86 до 100	Зачтено	Отлично
от 71 до 85	Зачтено	Хорошо
от 51 до 70	Зачтено	Удовлетворительно
до 51	Не зачтено	Не удовлетворительно

4 ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

4.1 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

4.1.1 Основная литература

1. Чернышов Г.Г., Шашин Д.М. Оборудование и основы технологии сварки металлов плавлением и давлением [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - СПб: Лань, 2013. 464 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/reader/book/12938/#1>

4.1.2 Дополнительная литература

1. Проектирование заготовок в машиностроении. Практикум: учебное пособие / С.С. Клименков. - М.: НИЦ ИНФРА-М; Мн.: Нов. знание, 2013. - 269 с. - (Высшее образование: Бакалавриат).

2. Козловский С.Н. Введение в сварочные технологии. [Электронный ресурс]: учебное пособие. - СПб: Лань Пресс, 2011. - 416 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/reader/book/700/#414>

3. Климов А.С., Смирнов И.В., Кудинов А. К., Кудинова Г. Э. Основы технологии и построения оборудования для контактной сварки. [Электронный ресурс]: учебное пособие. - СПб: Лань, 2011. - 336 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/reader/book/1551/#1>

4. Юрьева, Валентина Леонидовна. Проектирование сварных и литых рам для установки приводов. [Электронный ресурс]: пособие / В. Л. Юрьева, В. В. Рошин, 2012. – 32 с. – Режим доступа: <http://e-library.kai.ru/reader/hu/flipping/Resource-1686/812216.pdf/index.html>

4.1.3 Методические материалы

1. Юрьева, Валентина Леонидовна. Проектирование сварных и литых рам для установки приводов. [Электронный ресурс]: пособие / В. Л. Юрьева, В. В. Рошин, 2012. – 32 с. – Режим доступа: <http://e-library.kai.ru/reader/hu/flipping/Resource-1686/812216.pdf/index.html>

2. Проектирование заготовок в машиностроении. Практикум: учебное пособие / С.С. Клименков. - М.: НИЦ ИНФРА-М; Мн.: Нов. знание, 2013. - 269 с. - (Высшее образование: Бакалавриат).

3. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Расчет и проектирование сварных соединений / разработ. В.К. Максимов.- Казань: РИЦ Школа, 2016. - 53 с. Рек. УМК ЛФ КНИТУ-КАИ

4. Методические указания к курсовому проектированию по дисциплине «Расчет и проектирование сварных соединений. Тема «Расчет и

проектирование металлоконструкций мостовых кранов / разраб. ВК Максимов.- Казань: РИЦ Школа, 2016. - 44 с. Рек. УМК ЛФ КНИТУ-КАИ

5. Электронный курс «Расчёт и проектирование сварных соединений» в структуре электронного университета (Black Board)

Режим доступа:
https://bb.kai.ru:8443/webapps/blackboard/execute/content/blankPage?cmd=view&content_id=_295113_1&course_id=_14208_1

4.1.4 Перечень информационных технологий и электронных ресурсов, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Организовано взаимодействие обучающегося и преподавателя с использованием электронной информационно-образовательной среды КНИТУ-КАИ.

1. Электронный курс «Расчёт и проектирование сварных соединений» в структуре электронного университета (Black Board)

Режим доступа:
https://bb.kai.ru:8443/webapps/blackboard/execute/content/blankPage?cmd=view&content_id=_295113_1&course_id=_14208_1

4.1.5 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», профессиональных баз данных, информационно-справочных систем, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю)

1. Электронно-библиотечная система учебной и научной литературы «Лань». URL: <https://e.lanbook.com/>

2. Электронно-библиотечная система учебной и научной литературы «Znanium.com». URL: <https://znanium.com/>

3. Электронно-библиотечная система учебной и научной литературы «Юрайт». URL: <https://urait.ru>

4. Научно-техническая библиотека КНИТУ-КАИ им. Н.Г. Четаева. URL: <http://elibs.kai.ru/>

4.2 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля) и требуемое программное обеспечение

Описание материально-технической базы и программного обеспечения, необходимого для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю) приведено соответственно в таблицах 4.1 и 4.2.

Таблица 4.1

Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Наименование вида учебных занятий	Наименование учебной аудитории, специализированной лаборатории	Перечень необходимого оборудования и технических средств обучения
Лекционные занятия	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа (Л. 308)	- мультимедийный проектор; - ноутбук; - настенный экран; - акустические колонки; - учебные столы, стулья; - доска; - стол преподавателя, - учебно – наглядные пособия.
Лабораторные/ практические занятия	Компьютерная аудитория (Лаборатория проектирования и моделирования) (Л: 301)	- персональный компьютер (графические станции), включенные в локальную сеть с выходом в Internet; - ЖК монитор 22”; - мультимедиа-проектор; - проекционный экран; - локальная вычислительная сеть; - столы компьютерные; - столы учебные, стулья; - доска; - стол преподавателя; - учебно – наглядные пособия.
	Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (Л. 103)	- учебные столы, стулья; - доска; - стол преподавателя; - учебно – наглядные пособия.
Самостоятельная работа	Учебная аудитория для курсового проектирования (выполнения курсовых работ) (Л. 208)	- набор чертежных измерительных инструментов; - учебные столы, стулья; - доска; - учебно – наглядные пособия.
	Помещение для самостоятельной работы студента (Л. 112)	- персональный компьютер; - ЖК монитор 19”; - столы компьютерные; - учебные столы, стулья.

Таблица 4.2

Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю)

№ п/п	Наименование программного обеспечения	Производитель	Способ распространения (лицензионное или
-------	---------------------------------------	---------------	--

			свободно распространяемое)
1.	Microsoft Windows 7 Professional Russian	Microsoft, США	Лицензионное
2.	Microsoft Office Professional Plus 2010 Russian	Microsoft, США	Лицензионное
3.	Антивирусная программа Kaspersky Endpoint Security 8 for Windows	Лаборатория Касперского, Россия	Лицензионное
4.	Техэксперт	Кодекс, Россия	Лицензионное
5.	Интегрированная CAD/CAM/CAPP система сквозного проектирования ADEM 8.1	ADEM, Россия	Лицензионное
6.	Система автоматизированного проектирования Siemens NX	Siemens PLM Software, Германия	Лицензионное

5 ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) ДЛЯ ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ И ИНВАЛИДОВ

Обучение по дисциплине (модулю) обучающихся с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов осуществляется с учетом особенностей психофизического развития, индивидуальных возможностей и состояния здоровья таких обучающихся.

Обучение лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов организуется как совместно с другими обучающимися, так и в отдельных группах.

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусмотрены дополнительные оценочные материалы, перечень которых указан в таблице 5.1.

Таблица 5.1

Дополнительные материалы оценивания для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Категории обучающихся	Виды дополнительных оценочных материалов	Формы контроля и оценки результатов обучения
С нарушениями слуха	Тесты, контрольные работы, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету (экзамену)	Преимущественно письменная проверка
С нарушениями зрения	Устный опрос по терминам, собеседование по вопросам к зачету (экзамену)	Преимущественно устная проверка (индивидуально)
С нарушениями опорно-двигательного аппарата	Решение дистанционных тестов, контрольные работы, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету (экзамену)	Преимущественно дистанционными методами

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусматривается доступная форма предоставления заданий оценочных средств, например:

- в печатной форме;
- в печатной форме с увеличенным шрифтом;
- в форме электронного документа;
- методом чтения ассистентом задания вслух.

Лицам с ограниченными возможностями здоровья и инвалидам увеличивается время на подготовку ответов на контрольные вопросы. Для таких обучающихся предусматривается доступная форма предоставления ответов на задания, а именно:

- письменно на бумаге;
- набор ответов на компьютере;
- набор ответов с использованием услуг ассистента;
- представление ответов устно.

При необходимости для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.

Учебно-методические материалы для самостоятельной и аудиторной работы обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

Освоение дисциплины (модуля) лицами с ограниченными возможностями здоровья и инвалидами осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения.

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

Изменения, вносимые в рабочую программу дисциплины (модуля)

№ п/п	№ раздела внесения изменений	Дата внесения изменений	Содержание изменений	«Согласовано» заведующий кафедрой, реализующей дисциплину