

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
 «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ
 Директор ИИИ НКБ
 _____ Д.А. Седнев
 «30» июня 2020 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
ПРИЕМ 2017 г.
ФОРМА ОБУЧЕНИЯ заочная

ТЕОРИЯ СВАРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ

Направление подготовки/ специальность	15.03.01 Машиностроение		
Образовательная программа (направленность (профиль))	Оборудование и технология сварочного производства		
Специализация			
Уровень образования	высшее образование - бакалавриат		
Курс	5	семестр	9
Трудоемкость в кредитах (зачетных единицах)	5		
Виды учебной деятельности	Временной ресурс		
Контактная (аудиторная) работа, ч	Лекции		12
	Практические занятия		8
	Лабораторные занятия		8
	ВСЕГО		28
	Самостоятельная работа, ч		152
	в т.ч. отдельные виды самостоятельной работы с выделенной промежуточной аттестацией (курсовая работа)		Курсовой проект
	ИТОГО, ч		180

Вид промежуточной
аттестации

Экзамен, диф. зачет КП	Обеспечивающее подразделение	Отделение Электронной инженерии
------------------------------	---------------------------------	---------------------------------------

Заведующий кафедрой -
руководитель Отделения
Руководитель ООП
Преподаватель

	П.Ф. Баранов
	А.А. Першина
	Д.П. Ильященко

2020 г

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины является формирование у обучающихся определенного ООП (п. 5. Общей характеристики ООП) состава компетенций для подготовки к профессиональной деятельности.

Код компетенции	Наименование компетенции	Результат по ООП	Составляющие результатов освоения (дескрипторы компетенций)	
			Код	Наименование
ПК(У)-18	способен принимать участие в работах по составлению научных отчетов по выполненному заданию и во внедрении результатов исследований и разработок в области машиностроения	Р2, Р3	ПК(У)-18.В2	Владеет навыками формирования свойств сварных соединений на основе анализа превращений, происходящих в металлах под воздействием термомеханического цикла сварки
			ПК(У)-18.У2	Умеет использовать термодинамические методы анализа и прогнозирования металлургических процессов при сварке
			ПК(У)-18.З2	Знает физико-химические особенности металлургических процессов при сварке
ПК(У)-19	способен участвовать в работе над инновационными проектами, используя базовые методы исследовательской деятельности	Р4, Р6	ПК(У)-19.З2	Знает физические особенности формирования первичной и вторичной структуры металла сварного соединения, образования горячих и холодных трещин
			ПК(У)-19.У2	Умеет выбирать методы оценки сопротивляемости металла сварных соединений образованию горячих и холодных трещин при сварке
			ПК(У)-19.В2	Владеет навыком применения способов повышения сопротивляемости сварных соединений образованию горячих и холодных трещин

2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Теория сварочных процессов» относится к Вариативному междисциплинарному профессиональному модулю Вариативной части «Оборудование и технология сварочного производства» учебного плана образовательной программы «Машиностроение».

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

После успешного освоения дисциплины будут сформированы результаты обучения:

Планируемые результаты обучения по дисциплине		Компетенция
Код	Наименование	
РД-1	Иметь глубокие знания и современные представления о физических и технологических свойствах источников энергии для сварки, их тепловом и силовом воздействии на свариваемый металл и способах управления ими.	ПК(У)-18
РД-2	Ставить и решать инновационные задачи по формированию свойств сварных соединений на основе системного анализа металлургических процессов, структурных и фазовых превращений, происходящих в металлах под воздействием термомеханического цикла сварки.	ПК(У)-19
РД-3	На основе установления новых физических свойств источников энергии для сварки проектировать сварочные процессы с принципиально новыми технологическими свойствами,	ПК(У)-19

	конкурентоспособных на мировом рынке машиностроительного производства	
--	---	--

Оценочные мероприятия текущего контроля и промежуточной аттестации представлены в календарном рейтинг-плане дисциплины.

4. Структура и содержание дисциплины

Основные виды учебной деятельности

Разделы дисциплины	Формируемый результат обучения по дисциплине	Виды учебной деятельности	Объем времени, ч.
Раздел (модуль) 1. <i>Классификация процессов сварки по физическим и технологическим признакам</i>	РД-1	Лекции	4
	РД-2	Лабораторные занятия	2
	РД-3	Практические занятия	2
		Самостоятельная работа	50
Раздел (модуль) 2. <i>Термодеформационные процессы и кристаллизация металла при сварке</i>	РД-1	Лекции	4
	РД-2	Практические занятия	4
	РД-3	Лабораторные занятия	4
		Самостоятельная работа	50
Раздел (модуль) 3. <i>Химическая и механическая неоднородность сварных соединений</i>	РД-1	Лекции	4
	РД-2	Лабораторные занятия	2
	РД-3	Практические занятия	2
		Самостоятельная работа	52

Содержание разделов дисциплины:

Раздел 1. Классификация процессов сварки по физическим и технологическим признакам

Рассматриваются классификация сварочных процессов, требования к источникам энергии для сварки и оценка их эффективности. Исследуются дуговые способы сварки. Изучаются недуговые источники энергии для сварки

Темы лекций:

1. Основные понятия и законы в расчетах тепловых процессов.
2. Математическое описание процессов теплообмена.
3. Расчет тепловых процессов при нагреве различными источниками теплоты.
4. Подвижные сосредоточенные источники теплоты постоянной мощности.
5. Учет распределения источника теплоты в расчетах полей температур.

Лабораторные занятия:

1. Исследование энергетической структуры сварочной дуги.
2. Исследование ионизирующего действия различных веществ, покрытий электродов.
3. Исследование дугового разряда между угольными электродами.
4. Схематизация формы нагреваемых тел и источников теплоты.
5. Методы расчета тепловых процессов.

Практические занятия:

1. Определение параметров переносимых капель электродного металла при РДС от различных типов источников питания.
2. Определение геометрических параметров и теплосодержания переносимых капель электродного металла при дуговой сварке плавлением.
3. Распространение теплоты мгновенных сосредоточенных источников в

неограниченном теле.

4. Распространение теплоты мгновенных сосредоточенных источников в различных схемах нагреваемого тела.

5. Мощные быстродвижущиеся источники теплоты.

Раздел 2. Термодеформационные процессы и кристаллизация металла при сварке

Рассматриваются: Особенности кристаллизации и формирования первичной структуры металла сварного шва. Химическая и физическая неоднородность металла сварного шва. Горячие трещины при сварке. Фазовые и структурные превращения в свариваемых металлах в твердом состоянии. Сварочные деформации и напряжения: основные понятия и термины. Исследуется схема образования деформаций и перемещений при сварке пластин встык. Изучаются типичные поля сварочных напряжений.

Темы лекций:

1. Термический цикл при однопроходной сварке.
2. Термический цикл при многослойной сварке.
3. Плавление основного металла.
4. Нагрев и плавление электродного металла.
5. Тепловая эффективность и производительность процесса сварки.

Лабораторные занятия:

1. Технология пайки металлов и сплавов.
3. Исследование производительности процесса РДС.
3. Исследование ионизирующего действия компонентов электродных покрытий.
4. Исследование производительности процесса МП.
5. Исследование ионизирующего действия сварочных газов

Практические занятия:

1. Определение геометрических размеров и площади сварного шва и ЗТВ.
2. Оценка влияния параметров режима сварки и наличия порошков модификатора в защитном газе на параметры переносимых капель электродного металла.
3. Распределение температурных полей по поверхности свариваемого изделия при дуговой сварке плавлением.
4. Влияние напряжения на дуге на каплеперенос электродного металла.
5. Особенности кристаллизации и формирования первичной структуры металла шва.

Раздел 3. Химическая и механическая неоднородность сварных соединений

Рассматривается химическая неоднородность сварных соединений. Исследуются технологическая прочность металлов при сварке. Изучаются образование и строение границ зерен в металле сварных соединений.

Темы лекций:

1. Дефекты кристаллического строения металлов.
2. Механические свойства сварных соединений.
3. Ликвационная неоднородность в металле сварного шва.
4. Фазовые и структурные превращения в свариваемых металлах в твердом состоянии.
5. Свариваемость сталей отдельных групп.

Лабораторные занятия:

1. Исследование влияния защитных покрытий на процесс РДС.
2. Превращения в сталях при нагреве.
3. Превращение в сталях при охлаждении.
4. Физическая неоднородность металла шва.
5. Горячие трещины при сварке.

Практические занятия:

1. Расчеты нагрева плавящегося электрода при ручной и механизированной сварке.
2. Определение свариваемости сталей.
3. Определение параметров переносимых капель электродного металла при РДС от покрытых электродов с различным типом материала стержня.
4. Свариваемость низколегированных сталей.
5. Свариваемость высоколегированных сталей.

Вариант курсового проекта:

«Анализ термомеханических и структурных процессов при сварке сталей (марки сталей параметры изделий).

Провести анализ структурных и термомеханических процессов при сварке «Стали №2» (таблица) выбранным способом и режиме сварки. Разработать устройство для оценки термомеханических процессов при сварке.

Таблица - Варианты заданий

Вариант	Сталь №1	Сталь №2	Толщина свариваемых деталей, мм	Номер варианта	Сталь №1	Сталь №2	Толщина свариваемых деталей, мм
1	10	15X12ВНМФ	5	22	20Г	ХВГ	30
2	20	08X17Г	100	23	30ХМ	10X13	20
3	30	15X25	60	24	15X12ВНМФ	12ХМФ	30
4	09Г2С	12X17	25	25	08X17Г	10	8
5	10ХГС	09X16Н4Б	80	26	15X25	20	20
6	15ХСНД	40X13	20	27	12X17	30	10
7	17ГС	30X13	10	28	09X16Н4Б	09Г2С	5
8	40	14X17Н2	80	29	40X13	10ХГС	25
9	40Х	15ХНМФ	8	30	30X13	15ХСНД	50
10	45	12X13	40	31	14X17Н2	17ГС	80
11	35	20X13	15	32	15ХНМФ	40	5
12	10ХСНД	0X13	8	33	12X13	40Х	10
13	08кп	X17	90	32	20X13	45	15
14	Ст3	X5ВФ	10	35	0X13	35	5
15	Ст2	X8ВФ	25	36	X17	10ХСНД	30
16	Ст1	12К	60	37	X5ВФ	08кп	20
17	Ст4	15К	30	38	X8ВФ	Ст3	8
18	30ХН	20К	8	39	12К	Ст2	10
19	30ХГС	12ХМФ	50	40	15К	Ст1	6
20	12ХН2	15Х5МФ	20	41	20К	Ст4	20
21	25ХГСА	X	10	42	12ХМФ	30ХН	30

5. Организация самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа студентов при изучении дисциплины предусмотрена в следующих видах и формах:

- Работа с лекционным материалом, поиск и обзор литературы и электронных источников информации по индивидуально заданной проблеме курса;
- Изучение тем, вынесенных на самостоятельную проработку.
- Подготовка к лабораторным работам;
- Расчетные задачи, выносимые на самостоятельную проработку;
- Подготовка к оценивающим мероприятиям.

5.1. Содержание курсового проекта

5.1.1. Общие сведения

Курсовой проект (КП) – учебный проект, содержащий результаты решения

поставленной задачи по дисциплине: «Теория сварочных процессов», оформленная в виде конструкторских, технологических, программных и других проектных документов.

Курсовой проект является самостоятельной работой студента, выполняемой в процессе обучения для решения следующих общих задач:

закрепление и более глубокое усвоение теоретических знаний и практических навыков в применении методов для решения конкретных задач;

приобретение навыков и освоение методов анализа и синтеза, выбора и обоснования при проектировании заданных объектов;

развитие самостоятельности при выборе методов достижения цели и творческой инициативы при решении поставленной задачи.

В процессе выполнения настоящего курсовой работы наряду с общими студентам должны научиться решать следующие частные задачи:

1. По предложенным условиям сварки (наплавки) выбрать и обосновать расчетную схему определения температурного поля.

2. Рассчитать распределение температур вдоль оси шва и на некотором удалении от неё. Для рассчитанных точек построить на одном графике кривые распределения температур в координатах $T, \text{оС}; x, \text{см}$.

3. По полученным кривым распределения температур вдоль оси шва графическим построением получить изотермы 200, 500, 800, 1100, 1400 °С.

4. В соответствии с выбранной схемой расчета рассчитать и построить термический цикл в точке, отстоящей от оси шва на расстоянии 1 см, при $x_0 = 3 \text{ см}$.

5. Рассчитать распределение температур на поверхности изделия по прямым, перпендикулярным оси шва, т.е. параллельным оси y , при различных значениях координаты x . Построить кривые распределения.

6. Рассчитать и построить графики распределения температур на поверхности изделия в поперечных сечениях тела в периоды теплонасыщения и выравнивания температуры. Сопоставить их с распределением температур в предельном состоянии. При этом расчеты на стадии теплонасыщения провести для сечения, проходящего через начало шва, в момент удаления от него дуги на расстояние 50 мм, а на стадии периода выравнивания температуры – для сечения, проходящего через конец шва, спустя 20 с после окончания сварки (наплавки).

7. Принимая для заданий с обычными подвижными источниками для упрощения источник нагрева быстро движущимся (соответственно точечным или линейным), рассчитать распределение максимальных температур в поперечном сечении зоны термического влияния (ЗТВ) сварного соединения.

8. Используя информацию о распределении максимальных температур в ЗТВ, диаграмму состояния железо – углерод и химический состав свариваемого металла определить протяженность отдельных участков ЗТВ в данных условиях (см.): неполного расплавления, перегрева, нормализации, неполной перекристаллизации, рекристаллизации, старения.

9. Определить конечную структуру участков ЗТВ, нагреваемых выше температуры критической точки АС3, используя термический цикл точки и термокинетическую диаграмму для заданной стали.

10. Рассчитать для участков ЗТВ мгновенную скорость охлаждения ω при температуре $T = 500 \text{ оС}$ и сравнить ее с допустимой скоростью охлаждения $\omega_{кр}$ для данной марки стали, сделать вывод о возможном трещинообразовании.

11. Определить минимальную температуру предварительного подогрева, позволяющую избежать закалочных структур.

12. Определить основные геометрические размеры зоны проплавления и наплавки.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

6.1. Учебно-методическое обеспечение

Основная литература

1. Теория сварочных процессов: учебное пособие / В.М. Неровный, А.В. Коновалов, Б.Ф. Якушин [и др.]; под редакцией В.М. Неровного. – 2-е изд. – Москва: МГТУ им. Баумана, 2016. – 702 с. – ISBN 978-5-7038-4543-1. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/106410>.
2. Дедюх, Р.И. Теория сварочных процессов. Физические и технологические свойства электросварочной дуги: учебное пособие / Р.И. Дедюх. – 2-е изд. – Томск: ТПУ, 2013. – 118 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/45134>.
3. Дедюх, Ростислав Иванович. Теория сварочных процессов. Превращения в металлах при сварке [Электронный ресурс]: учебное пособие / Р.И. Дедюх; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Институт неразрушающего контроля (ИНК), Кафедра оборудования и технологии сварочного производства (ОТСП). – 1 компьютерный файл (pdf; 2.3 МВ). – Томск: Изд-во ТПУ, 2012. – Заглавие с титульного экрана. – Электронная версия печатной публикации. – Доступ из корпоративной сети ТПУ. — Системные требования: Adobe Reader. Режим доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2013/m132.pdf>

Дополнительная литература

1. Теория сварочных процессов : учебное пособие / В. М. Неровный, А. В. Коновалов, Б. Ф. Якушин [и др.] ; под редакцией В. М. Неровного. — 2-е изд. — Москва : МГТУ им. Баумана, 2016. — 702 с. — ISBN 978-5-7038-4543-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/106410> (дата обращения: 24.12.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Теория сварочных процессов: практикум /Ильященко Д.П. и др./, ТПУ: ИПЛ ТПУ, 2020. – 98 с.
3. Теория сварочных процессов. Металлургические основы сварки: учебное пособие / Р. И. Дедюх; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2019. – 166 с.

6.2. Информационное и программное обеспечение

Internet-ресурсы (в т.ч. в среде LMS MOODLE и др. образовательные и библиотечные ресурсы):

1. Дисциплина ТСП реализована в авторском курсе <https://stud.lms.tpu.ru/course/view.php?id=2551>.
2. www.svarkainfo.ru – описание методов неразрушающего контроля.
3. www.autowelding.ru – дефекты сварных соединений.
4. www.ntcexpert.ru – неразрушающие методы контроля.
5. <https://www.lincolnelectric.com> – официальный сайт производителя сварочного оборудования Линкольн Электрик.
6. <https://www.esab.ru> - официальный сайт производителя сварочного оборудования Эсаб.
7. www.shtorm-its.ru - официальный сайт производителя сварочного оборудования Шторм.
8. <https://www.fronius.com/ru-ru/russia> - официальный сайт производителя сварочного оборудования Fronius .
9. <https://www.lib.tpu.ru/html/irs-and-pdb> - информационно-справочные системы и профессиональные базы данных НТБ.

Лицензионное программное обеспечение (в соответствии с **Перечнем лицензионного программного обеспечения ТПУ**):

1. Microsoft Office 2007 Standard Russian Academic;
2. Document Foundation LibreOffice;
3. Zoom Zoom

№	Наименование специальных помещений	Наименование оборудования
1.	Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации 634028, Томская область, г. Томск, Тимакова улица, 12, 301	Комплект учебной мебели на 42 посадочных мест; Компьютер - 1 шт.
2.	Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (учебная лаборатория) 634028, Томская область, г. Томск, Тимакова улица, 12 221Б	Машина сварочная - 1 шт.; Автомат АДС-35 - 1 шт.; Сварочная машина РОВЕЛД 160 САНИЛАЙН - 1 шт.; Автомат сварочный ТС - 1 шт.; Установка УПН-303 - 1 шт.; Твердомер ТК-2 - 1 шт.; Установка УДГУ-301 - 1 шт.; Кабинет газосварщика - 1 шт.; Сварочный аппарат МАХИ 505 (с подающим механизмом WV4) - 1 шт.; Установка А 123 ТУ - 1 шт.; Универсальный рабочий и сварочный стол 1000*1000*100мм - 1 шт.; Комплект учебной мебели на 12 посадочных мест; Компьютер - 2 шт.; Принтер - 1 шт.

Рабочая программа составлена на основе общей характеристики образовательной программы для направления подготовки 15.03.01 Машиностроение / Оборудование и технология сварочного производства бакалавриата (приема 2017 г., заочная форма обучения).

Разработчик(и):

Должность	ФИО
Доцент	Ильященко Д.П.
Ассистент	Скрипко С.И.

Программа одобрена на заседании кафедры оборудования и технологии сварочного производства (протокол от «29» июня 2017 г. №36).

Заведующий кафедрой – руководитель Отделения
Электронной инженерии, к.т.н., доцент  /П.Ф. Баранов/

Лист изменений рабочей программы дисциплины

Учебный год	Содержание /изменение	Обсуждено на заседании Отделения электронной инженерии (протокол)
2020/2021 учебный год	1. Обновлено программное обеспечение 2. Обновлен состав профессиональных баз данных и информационно-справочных систем 3. Обновлено содержание разделов дисциплины 4. Обновлен список литературы, в том числе ссылок ЭБС	От 01.09.2020 г. №37