



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Дальневосточный федеральный университет»  
(ДФУ)

**ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА**

«СОГЛАСОВАНО»

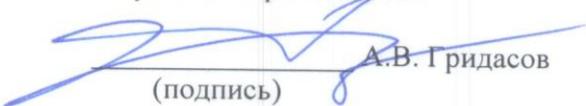
Руководитель ОП

  
\_\_\_\_\_ В.Н. Стаценко  
(подпись)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2015 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Заведующий кафедрой  
сварочного производства

  
\_\_\_\_\_ А.В. Гридасов  
(подпись)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2015 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ  
ТЕОРИЯ СВАРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ  
Направление подготовки 15.03.01 «Машиностроение»  
Профиль «Оборудование и технология сварочного производства»  
Форма подготовки очная/заочная**

курс 2, 3 семестр 4, 5, 6 / 2, 3, 4

лекции 68/30 час.

практические занятия 54/20 час.

лабораторные работы 16/12 час

в том числе с использованием МАО лек. 18/6 пр.16/6 лаб.10/0 час.

всего часов аудиторной нагрузки 138 /62 час.

в том числе с использованием МАО 44/12 час

самостоятельная работа 132/276 час.

реферативные работы (количество) не предусмотрено

курсовая работа 6 семестр

зачет 4 сем/2 курс

экзамен 5,6 сем (54 час)

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования, утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ от 03.09.2015 № 957.

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры сварочного производства протокол № 3 от «15» октября 2015 г.

Заведующий кафедрой к.т.н., доцент, Гридасов А.В.

Составители: профессор Е.Н. Негода, доцент Н.А. Максимец

**I. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**II. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

## АННОТАЦИЯ

Дисциплина «Теория сварочных процессов» относится к обязательным дисциплинам вариативной части учебного плана направления 15.03.01 «Машиностроение» профиль подготовки «Оборудование и технология сварочного производства».

Общая трудоёмкость освоения дисциплины составляет 10 зач. ед. / 360 час. и включает в себя: лекционные занятия 68/30 часов, практические занятия 54/20 часа, лабораторные работы 16/12 часов, самостоятельная работа студентов 159/276 часов, контроль 63/22 часа. Формы контроля: зачет, экзамен. Дисциплина «Теория сварочных процессов» реализуется на 2 и 3 курсах, в 4, 5 и 6 семестрах.

Дисциплина «Теория сварочных процессов» логически и содержательно связана с такими курсами, как «Математический анализ», «Линейная алгебра и аналитическая геометрия», «Физика», «Химия», «Основы информационных технологий в машиностроении», «Проектирование сварных конструкций», «Технологические основы сварки плавлением и давлением», «Технические измерения в сварочном производстве» и др.

Дисциплина «Теория сварочных процессов» имеет как самостоятельное, так и базовое значение при подготовке специалистов сварочного производства. Разработка новых технологических процессов сварки, сварочных материалов и процессов термической обработки сварных соединений требует основательной теоретической подготовки в области сварочных процессов. Теория сварочных процессов – теоретический фундамент науки о сварке в части формирования свойств сварных соединений. Знание теории сварочных процессов дает инженеру и исследователю ключ к пониманию механизма процесса сварки и, следовательно, к его сознательному регулированию. В этом состоит ее самостоятельное значение. Теория сварочных процессов – один из первых курсов, который закладывает необходимую теоретическую базу для

последующего изучения других специальных дисциплин. В этом состоит ее базовое значение.

**Цель** преподавания дисциплины «Теория сварочных процессов» подготовка широко эрудированного специалиста в области сварочного производства, владеющего основами теоретических знаний о получении неразъемных сварных и паяных соединений; о физике сварочных источников энергии; о процессах перераспределения вводимой в изделие тепловой и других видов энергии; о протекающих при этом физико-химических и металлургических процессах, фазовых и структурных превращениях в металлах; о формировании свойств сварных соединений и повышении эффективности и качества сварных работ.

**Задачи:** формирование у студентов научных представлений:

- об условиях образования неразъемных монолитных сварных соединений, эффективности использования сварочных источников энергии, классификации сварочных процессов;
- о протекании тепловых процессов в различных телах при сварке и методах их расчетного и экспериментального определений;
- об основных физико-химических и металлургических процессах, происходящих при сварке;
- о фазовых и структурных превращениях в металлах в условиях сварочного термомеханического воздействия;
- о факторах, определяющих технологическую прочность сварных соединений.

Для успешного изучения дисциплины «Теория сварочных процессов» у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

- ОПК-3 владением основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации
- ОПК-5 способностью решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической

культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности

способностью обеспечивать техническое оснащение рабочих мест

ПК-13 с размещением технологического оборудования; умением осваивать вводимое оборудование

умением проводить мероприятия по профилактике производствен-

ПК-16 ного травматизма и профессиональных заболеваний, контролировать соблюдение экологической безопасности проводимых работ

В результате изучения данной дисциплины у обучающихся формируются следующие общепрофессиональные и профессиональные компетенции.

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
ОПК-1 – умение использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования	Знает	основные законы естественнонаучных дисциплин
	Умеет	применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования
	Владеет	технологическими методами регулирования химсостава и первичной структуры металла шва
ПК-17 – умение выбирать основные и вспомогательные материалы и способы реализации основных технологических процессов и применять прогрессивные методы эксплуатации технологического оборудования при изготовлении изделий машиностроения	Знает	основные принципы выбора основных и сварочных материалов
	Умеет	выбирать основные и вспомогательные материалы и способы реализации основных технологических процессов
	Владеет	прогрессивными методами эксплуатации технологического оборудования при изготовлении изделий машиностроения
ПК-18 – умение применять методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей используемых материалов и готовых изделий	Знает	косвенные методы оценки свариваемости конструкционных материалов
	Умеет	применять методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей используемых материалов и готовых изделий

		изделий
	Владеет	методиками испытаний при оценке свариваемости конструкционных материалов

Для формирования вышеуказанных компетенций в рамках дисциплины «Теория сварочных процессов» применяются следующие методы активного/ интерактивного обучения: круглый стол, дискуссия, дебаты, case-study (анализ конкретных ситуаций, ситуационный анализ), мастер класс.

## **I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА**

### **МОДУЛЬ I. Физические и технологические основы сварочных процессов (18/6 час.)**

#### **Раздел 1. Физические основы и классификация процессов сварки (4/1 час.)**

##### **Тема 1. Физические основы процессов сварки (2/0.5 час).**

Термодинамические основы получения сварных, паяных и клеевых соединений. Элементарные связи в твердых телах и монолитных соединениях. Понятие о свариваемости материалов. Использование энергии для соединения и разъединения материалов. Преобразование и баланс энергии при сварке. Термодинамическое определение сварки.

##### **Тема 2. Классификация процессов сварки по источникам энергии (2/0.5 час).**

Термические, термопрессовые прессово-механические источники. Внешние и внутренние источники. Оценка энергетической эффективности и требования к источникам энергии для сварки. Удельная погонная энергия, расходуемая при сварке как критерий эффективности источников.

#### **Раздел 2. Дуговые источники энергии (6/3 час).**

##### **Тема 1. Физико-химические процессы в дуговом разряде (2/1 час).**

Особенности электрического разряда в газах. Проводимость металлов и газов. Элементарные процессы в плазме дуги. Потенциал ионизации. Изучение плазмы. Понятие о термодинамике плазмы. Электронная и ионная температуры. Термическое равновесие. Квазинейтральность. Уравнение Саха. Эффективный потенциал ионизации. Баланс энергии и температуры в столбе дуги. Приэлектродные области сварочных дуг. Эмиссионные процессы. Катодная зона. Анодная зона. Общий баланс энергии в дуге.

### **Тема 2. Магнитогидродинамика дуги (2/1 час).**

Магнитное поле столба дуги и контура дуги. Магнитное дутье. Внешнее магнитное поле и дуга. Перенос металла в дуге. Виды переноса. Силы в дуге. Импульсное управление переносом.

### **Тема 3. Виды сварочных дуг (2/1 час).**

Классификация и применение. Дуга постоянного и переменного токов. Дуги с плавящимся и неплавящимся электродами. Дуги под флюсом, в газах и в вакууме. Плазменно-дуговые процессы.

## **Раздел 3. Термомеханические и механические методы сварочных процессов (8/2 час.)**

### **Тема 1. Недуговые термические источники энергии (2/0.5 час).**

Электронно-лучевые источники. Физические основы. Баланс энергии при сварке. Фотоннолучевые источники. Физические основы.

### **Тема 2. Термические источники энергии (2/0.5 час).**

Электрошлаковые, газопламенные, печные и прочие термические источники. Краткие характеристики физики источников. Особенности термических источников для разделения материалов.

### **Тема 3. Термопрессовые источники энергии(2/0.5 час).**

Классификация и элементы теории термопрессовых источников. Электрический контакт, электрическая индукция и другие источники.

### **Тема 4. Прессово-механические источники энергии(2/0.5 час).**

Классификация и элементы теории прессово-механических источников. Прессово-механический контакт (холодная сварка), трущийся контакт, вибрирующий и ударные контакты.

## **МОДУЛЬ II. Тепловые процессы при сварке (18/12 час.)**

### **Раздел 1. Уравнения теории теплопроводности (10/6 час.)**

#### **Тема 1. Физические основы передачи теплоты при сварке (2/1.2 час.)**

Основные понятия и определения. Температурное поле. Теплообмен в сварочных процессах. Конвекция, радиация, теплопроводность. Закон Фурье. Теплофизические коэффициенты. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Линейность дифференциального уравнения теплопроводности. Краевые условия. Граница с теплообменом. Адиабатическая и изотермическая границы.

#### **Тема 2. Фундаментальное решение уравнения теплопроводности. (2/1.2час.)**

Методы расчета теплопроводности при сварке. Тепловые схемы и классификация источников нагрева. Метод источников при решении задач теплопроводности. Фундаментальное решение дифференциального уравнения теплопроводности. Температурное поле мгновенных сосредоточенных источников нагрева. Распределенные источники нагрева.

#### **Тема 3. Температурное поле предельного состояния. (2/1.2час.)**

Расчет температурного поля движущихся источников нагрева. Теплонасыщение и предельное состояние процесса нагрева. Температурное поле в предельном состоянии. Моделирование адиабатических границ плоского слоя.

#### **Тема 4. Мощные быстродвижущиеся источники нагрева (2/1.2 час).**

Температурное поле мощных быстродвижущихся источников. Точечный источник. Линейный источник. Моделирование температурных полей мощных источников нагрева. Особенности температурных полей мощных быстродвижущихся источников нагрева.

## **Тема 5. Тела вращения (2/1.2 час).**

Температурное поле при сварочном нагреве тел вращения. Трубы малого диаметра. Цилиндры большого диаметра. Температурное поле при сварке сферических конструкций. Расчет температурного поля непосредственным интегрированием.

## **Раздел 2. Нагрев и плавление металла при сварке (8/6 час.)**

### **Тема 1. Термический цикл при сварке (2/1.5 час.)**

Термический цикл при односторонней сварке и его основные характеристики. Максимальные температуры. Мгновенная скорость охлаждения при данной температуре. Длительность нагрева выше заданной температуры. Термический цикл и его регулирование при многослойной сварке. Многослойная сварка длинными участками. Многослойная сварка короткими участками.

### **Тема 2. Плавление основного металла (2/1.5 час).**

Расчет геометрических размеров сварочной ванны. Тепловая эффективность процесса проплавления металла. Нагрев и плавление электродного металла. Тепловая эффективность и производительность процесса сварки. Размеры сварочной ванны. Глубина проплавления.

### **Тема 3. Применение методов теплопроводности при решении сварочных задач (2/1.5 час.)**

Применение методов теплопроводности для определения температурного поля при электрошлаковой, контактной, электронно-лучевой сварке. Интегральное представление метода источников. Движущийся нормально-круговой источник нагрева с произвольным распределением по толщине. Особенности численного расчета интегрального представления.

### **Тема 4. Расчет фазового состава ЗТВ (2/1.5 час).**

Основные инженерные задачи, решаемые методами тепловых процессов при сварке. Определение тепловой схемы сварочного нагрева. Расчет на ЭВМ геометрии заданных изотерм. Термокинетические диаграммы

распада аустенита. Зона термического влияния. Фазовый состав сварного соединения. Определение фазового состава ЗТВ.

### **МОДУЛЬ III. Металлургические и термомеханические процессы при сварке (32/12 час.)**

#### **Раздел 1. Физико-химические и металлургические процессы при сварке (14/5 час.)**

**Тема 1.** Основные стадии процесса сварки и условия протекания на них реакций. Температурные характеристики взаимодействия металла с газами и шлаками. Кинетические характеристики процессов взаимодействия (2/0.5 час).

**Тема 2.** Оценка состава газовой фазы при дуговой сварке без защиты от воздуха. Окисление и азотирование при сварке голым плавящимся электродом. Электродные покрытия. Газовая фаза при сварке электродами с покрытием и ее взаимодействие с металлом (2/0.5 час).

**Тема 3.** Сварочные шлаки. Их классификация и основные характеристики. Взаимодействие шлаков с металлом. Окислительно-восстановительные процессы. Активные и пассивные шлаки. Десульфация и удаление фосфора из металла шлаками (2/0.5 час).

**Тема 4.** Процессы окисления металла при сварке. Окисление чистых металлов. Сродство элементов к кислороду, упругость диссоциации окислов. Окисление сплавов, упругость диссоциации окисла металла в растворе. Зависимость диссоциации окислов от концентрации или активности металлов (2/0.5 час).

**Тема 5.** Раскисление металла сварочной ванны, необходимые условия и способы раскисления. Раскисляющая способность элемента. Применяемые при сварке раскислители. Раскисление шлаками, факторы влияющие на диффузионное раскисление. Продукты раскисления. Образование шлаковых включений в металле шва и их удаление (2/1 час).

**Тема 6.** Легирование и рафинирование металла при сварке. Механизм легирования через электродную проволоку, покрытие, флюсы, шихту порошковых проволок. Коэффициенты перехода элементов в наплавленный металл и факторы, влияющие на их величину. Влияние режима сварки на процесс легирования. Процессы рафинирования металла сварочной ванны (2/1 час).

**Тема 7.** Особенности металлургических процессов при различных способах сварки плавлением: при ручной дуговой сварке покрытыми электродами; при сварке под плавными и керамическими флюсами; при электрошлаковой сварке и переплаве металлов; при сварке сталей в  $\text{CO}_2$ . (2/1 час).

## **Раздел 2. Термодеформационные процессы и превращения в металлах при сварке ( 12/5 час.)**

**Тема 1.** Общий характер термодеформационного воздействия на металл при сварке. Параметры термодеформационных циклов сварки. Уругопластическое деформирование металла в процессе нагрева и охлаждения. Основные закономерности процесса кристаллизации металлов и их особенности в условиях сварки. Распределение средних скоростей роста кристаллитов в слитках и в сварочной обстановке (2/0,5 час).

**Тема 2.** Основные закономерности поглощения газов металлическим расплавом. Особенности поглощения газов в условиях дугового разряда. Выделение газов из расплавов. Образование пор в металле шва и пути их предупреждения (2/0,5 час).

**Тема 3.** Общие закономерности распределения ликвидирующих примесей в сварных швах. Зональная, слоистая и дендритная химическая неоднородность состава металла шва (2/1 час).

**Тема 4.** Горячие трещины при сварке – кристаллизационные и подсолидусные. Изменение пластичности металла при высоких температурах. Схема деформирования при температурах кристаллизации

при сварке. Горячие трещины в швах и околошовной зоне. Общие принципы борьбы с горячими трещинами (2/1 час).

**Тема 5.** Макроструктура сварных соединений: общая характеристика, основные зоны, особенности структуры при различных способах сварки. Структура зоны сплавления и ее влияние на свойства сварных соединений. Общая характеристика строения ЗТВ (2/1 час).

**Тема 6.** Холодные трещины при сварке. Закалочная и водородные гипотезы, замедленное разрушение свежезакаленной стали. Методы определения склонности сварных соединений к образованию холодных трещин. Мероприятия по предупреждению холодных трещин (2/1 час).

### **Раздел 3. Свариваемость металлов (6/2 час.)**

**Тема 1.** Представления о технологической свариваемости металлов. Технологические пробы и методики по оценке свариваемости (2/0,5 час).

**Тема 2.** Свариваемость низколегированных и микролегированных сталей (2/0,5 час).

**Тема 3.** Свариваемость высоколегированных хромистых, никелевых и хромоникелевых сталей (2/1 час).

## **II. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА**

### **Модуль I. Практические занятия (18/8 час.)**

**Занятие 1. Определить наличие или отсутствие в дуговом разряде локального термического равновесия(6/3час.)**

- Изучение инструментов MATLAB для построения 3D-области.
- Изучение алгоритма расчета локального термического равновесия плазмы.
- Создание скрипта MATLAB для оценки локального термического равновесия по своему варианту задания.
- Создание скрипта MATLAB для моделирования 3D-области локального термического равновесия плазмы.

- Создание отчета (генерация) по результатам работы средствами MATLAB.

### **Занятие 2. Оценка квазинейтральности дугового разряда (6/2 час.)**

- Изучение математической модели для описания квазинейтральности дугового разряда.
- Изучение программы расчета квазинейтральности дугового разряда в MATLAB.
- Расчет в MATLAB квазинейтральности дугового разряда по данным своего варианта задания.
- Создание отчета (генерация) по результатам работы средствами MATLAB.

### **Занятие 3. Изучение ионизирующего действия компонентов электродных покрытий. (6/3 час.)**

- Изучение математической модели оценки ионизирующего действия компонентов покрытия.
- Реализация математической расчетной модели оценки ионизирующего действия компонентов покрытия
- Расчет в MATLAB характеристик покрытий ионизирующего действия по данным своего варианта.
- Создание отчета (генерация) по результатам работы средствами MATLAB.

## **Модуль II. Практические занятия (36/12 час.)**

### **Занятие 1. Основы алгоритмизации расчета температурного поля при сварке (9/3 час.)**

- Изучение пакета MatLab.
- Работа в пакете MatLab при решении элементарных задач.
- Основы программирования в MatLab.

- Изучение программы mti расчета температурного поля мгновенного точечного источника.
- Изучение программы mli расчета температурного поля мгновенного линейного источника.
- Выполнение расчета и построение температурного поля в соответствии с заданным преподавателем вариантом /7/.

### **Занятие 2. Расчет температурного поля движущегося по поверхности плоского слоя точечного источника (9/3 час.)**

- Изучение программы Sloypg расчета температурного поля плоского слоя.
- Коррекция программы для расчета в случае полубесконечного тела.
- Выполнение расчета и построение температурного поля в трех плоскостях в соответствии с заданным вариантом КР по двум тепловым схемам.
- Оформление графических результатов.

### **Занятие 3. Расчет термических циклов движущегося по поверхности плоского слоя точечного источника (9/3 час.)**

- Термический цикл точек сварного соединения и его характеристики.
- Вывод формул определения максимальных температуры и скорости охлаждения.
- Изучение программы Sloytc расчета термических циклов.
- Выполнение расчета и построение термических циклов и ветвей охлаждения в соответствии с заданным вариантом КР.
- Оформление графических результатов.

### **Занятие 4. Определение зоны нагрева при сварке (9/3 час.)**

- Выполнение сварочного шва на предоставленных в лаборатории сварки оборудовании и образце с фиксацией геометрии изделия, режима сварки, параметров шва и сварочной ванны.
- Расчет температурного поля по программе Sloypг с определением ширины и длины изотермы плавления (сварочный шов).
- Вывод формул и расчет размеров сварочной ванны по схеме мощного быстродвижущегося источника.
- Сравнение полученных результатов и их анализ.
- Оформление отчета.

### **Модуль III. Лабораторные работы (16/12 час.)**

#### **Лабораторная работа 1 (4/3 час.)**

Исследование процесса легирования металла шва при автоматической сварке под флюсом.

#### **Лабораторная работа 2 (4/3 час.)**

Поры в сварных швах.

#### **Лабораторная работа 3 (4/3 час.)**

Определение технологической прочности металлов и сплавов в процессе кристаллизации при сварке.

#### **Лабораторная работа 4 (4/3 час.)**

Оценка технологической прочности стали в процессе распада аустенита при сварке.

## **III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Теория сварочных процессов» представлено в Приложении 1 и включает в себя:

план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;

характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению;

требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;

критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

#### IV. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций		Оценочные средства	
				текущий контроль	номера вопросов к промежуточной аттестации (УО-1, УО-2)
1	Модуль I Раздел 1, 2, 3	ОПК-1	Знает	УО-1, ПР-2, ПР-7	1-25, 27-44, 49-53, 57
			Умеет	УО-1, ПР-2, ПР-7	9, 11-13, 20-22, 31, 39, 47-48
			Владеет	УО-1, ПР-2, ПР-7	35-38, 46, 55-56
		ПК-17	Знает	УО-1, ПР-2, ПР-7	26, 31, 41-43, 49, 54
			Умеет	УО-1, ПР-2, ПР-7	26, 41-43, 49, 54
			Владеет	УО-1, ПР-2, ПР-7	35-37, 41-46, 51, 53, 56, 58
		ПК-18	Знает	УО-1, ПР-2, ПР-7	31, 34, 46, 49, 50
			Умеет	УО-1, ПР-2, ПР-7	26, 46, 49, 53, 56, 58
			Владеет	УО-1, ПР-2, ПР-7	26, 46, 49, 56, 58
2	Модуль II Раздел 1, 2	ОПК-1	Знает	УО-1, ПР-2, ПР-7	1, 4, 18, 20
			Умеет	УО-1, ПР-2, ПР-7	8, 13, 27, 31
			Владеет	УО-1, ПР-2, ПР-7	26, 31, 35, 36
		ПК-17	Знает	УО-1, ПР-2, ПР-7	2, 5, 7, 10
			Умеет	УО-1, ПР-2, ПР-7	11, 14, 19, 23
			Владеет	УО-1, ПР-2, ПР-7	23, 27, 33, 36
		ПК-18	Знает	УО-1, ПР-2, ПР-7	29, 32, 34, 37
			Умеет	УО-1, ПР-2, ПР-7	9, 12, 18, 28
			Владеет	УО-1, ПР-2, ПР-7	4, 17, 23, 24
3	Модуль III Раздел 1, 2, 3	ОПК-1	Знает	УО-1, ПР-2, ПР-7	2, 4, 15, 24
			Умеет	УО-1, ПР-2, ПР-7	3, 8, 13, 26
			Владеет	УО-1, ПР-2, ПР-7	19, 27, 29, 31
		ПК-17	Знает	УО-1, ПР-2, ПР-7	32, 35, 36, 39
			Умеет	УО-1, ПР-2, ПР-7	14, 21, 24, 31
			Владеет	УО-1, ПР-2, ПР-7	6, 11, 13, 23
		ПК-18	Знает	УО-1, ПР-2, ПР-7	29, 30, 35, 38
			Умеет	УО-1, ПР-2, ПР-7	11, 14, 18, 22
			Владеет	УО-1, ПР-2, ПР-7	12, 23, 25, 40

Расшифровка кодировок оценочных средств (ОС)				
№ п/п	Код ОС	Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
1	УО-1	Собеседование	Средство контроля, организованное как специальная беседа преподавателя с обучающимися на темы, связанные с изучаемой дисциплиной, и рассчитанное на выяснение объёма знаний обучающегося по определённому разделу, теме, проблеме и т.п.	Вопросы по разделам дисциплины
2	УО-2	Коллоквиум	Средство контроля усвоения учебного материала темы, раздела или разделов дисциплины, организованное как учебное занятие в виде собеседования преподавателя с обучающимися.	Вопросы по темам/разделам дисциплины
3	ПР-2	Контрольная работа	Средство проверки умений применять полученные знания для решения задач определённого типа по теме или разделу	Комплект контрольных заданий по вариантам
4	ПР-7	Конспект	Продукт самостоятельной работы обучающегося, отражающий основные идеи заслушанной лекции, сообщения и т.д.	Темы/разделы дисциплины

Типовые контрольные задания, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, а также критерии и показатели, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, представлены в Приложении 2.

## V. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Основная литература

*(электронные и печатные издания)*

1. Дедюх Р. И. Теория сварочных процессов. Превращения в металлах при сварке : Учебное пособие / Р. И. Дедюх. – Томск : ТПУ, 2012. – 155 с.  
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=IPRbooks:IPRbooks-55210&theme=FEFU>
2. Чернышов Г. Г. Оборудование и основы технологии сварки металлов плавлением и давлением / Г. Г. Чернышов, Шашин Д. М. – 1-е изд. –

СПб. : Лань, 2013. – 464 с.

<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=Lan:Lan-12938&theme=FEFU>

3. Гаспарян В. Х. Электродуговая и газовая сварка : Учебное пособие / В. Х. Гаспарян, Л. С. Денисов. – Минск :Вышэйшая школа, 2013. – 302 с.

<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=IPRbooks:IPRbooks-24088&theme=FEFU>

### **Дополнительная литература**

*(печатные и электронные издания)*

1. Лупачев В. Г. Общая технология сварочного производства : Учебное пособие / В. Г. Лупачев. – 2-е изд. – М. : Форум, ИНФРА-М, 2015. – 287 с.

<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:791492&theme=FEFU>

2. Фролов В. А. Технология сварки плавлением и резки металлов : Учебное пособие / В. А. Фролов, В. Р. Петренко, В. В. Пешков, А. Б. Коломенский. – Под ред. В. А. Фролова. – М. : Альфа-М, ИНФРА-М, 2011. – 448 с.

### **Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети**

#### **«Интернет»**

- <http://websvarka.ru>
- <http://www.svarka.com>
- <http://autoweld.ru/statyai.php>
- <http://www.shtorm-its.ru>
- <http://www.osvarke.com>
- <http://www.autowelding.ru>
- <http://www.drevniymir.ru>
- <http://www.weldportal.ru>
- <http://www.esab.ru>
- <http://www.spetsselektrode.ru>

### **Перечень информационных технологий и программного обеспечения**

Электронный учебный курс в интегрированной платформе электронного обучения Blackboard ДВФУ. Идентификатор курса:

[FU50218-150700.62-twp-01: Теория сварочных процессов](#)

## **VI. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Время, отведённое на реализацию дисциплины**

Теоретическая часть курса, проводимая в аудиториях/лабораториях ДВФУ (с преподавателем / руководителем) – 68/18 час., в том числе с использованием интерактивных методов (МАО) – 28/6 часа.

Практическая часть курса, проводимая в аудиториях/лабораториях ДВФУ (с преподавателем/руководителем) – 36/10 час., в том числе с использованием интерактивных методов (МАО) – 16/8 часа.

Лабораторные работы, проводимые в аудиториях/ лабораториях ДВФУ (с преподавателем/руководителем) – 52/14 час., в том числе с использованием интерактивных методов (МАО) – 30/4 часов.

Всего часов аудиторной нагрузки (с преподавателем/руководителем) – 156 часов, в том числе с использованием интерактивных методов (МАО) – 74/18 часов.

Время на самостоятельную работу (без преподавателя/руководителя) как теоретической, так и практической частей курса – 132/246 часа, в т.ч. 27/13 час. – подготовка к экзамену.

### **Рекомендации по планированию и организации времени, на изучение дисциплины**

Время, отведённое на изучение дисциплины, должно быть использовано обучающимся планомерно. Время на изучение дисциплины указывается на титульном листе рабочей программы учебной дисциплины; в учебном плане, по конкретному направлению и форме обучения,

ознакомится с ним вы можете на своей кафедре или в учебно-методическом управлении.

Планирование времени – эффективный вариант организация учебной деятельности. Общие рекомендации составления планирования:

1. Своевременный и полный учет задач, вытекающих из содержания профессиональной деятельности (например, по написанию курсовой работы).
2. Регулярное распределение рабочего времени в соответствии с приоритетностью и сложностью задач, выделение части времени в резерв.
3. Документирование результатов планирования и организации рабочего времени (составление текущих и перспективных планов работы).
4. Делегирование полномочий, связанных с выполнением менее срочных и менее важных задач, своим коллегам.
5. Учет работоспособности в течение периода, отведенного для работы (в течение дня, недели, месяца, года).
6. Концентрация усилий на первоочередном решении задач, от которых, в свою очередь, зависит решение задач второго уровня значимости (срочности, важности).
7. Умелое использование информации в процессе планирования и организации рабочего времени.
8. Способность к самоограничению (умение говорить «нет», когда значимость той или иной задачи и, следовательно, необходимость ее выполнения не являются очевидными).
9. Самоконтроль расходования времени в ходе выполнения задач профессиональной деятельности.
10. Стремление к постоянному совершенствованию системы планирования и организации рабочего времени.

**Описание последовательности действий обучающихся при изучении дисциплины**

В соответствии с целями и задачами дисциплины студент изучает и готовится к теоретическим/практическим/лабораторным/семинарным занятиям, проходит контрольные точки текущей и промежуточной аттестации, включающие разные формы проверки усвоения материала (конспекты, отчёты, тесты, рефераты, зачёт, экзамен, контрольные мероприятия).

Освоение дисциплины включает несколько составных элементов учебной деятельности:

1. Ознакомление с рабочей программой учебной дисциплины.
2. Выполнение требований, установленных преподавателем (руководителем) в рамках профессиональной деятельности сотрудника ДВФУ.
3. Регулярная подготовка к занятиям и активная работа на них, включающая следующее общее планирование:

№ п/п	Наименование этапа	Содержание задач этапа
1	Обработка информации	Сбор, учет, систематизация, анализ информации, необходимой для надлежащего планирования и организации профессиональной деятельности, а также актуализация и оперативный обмен информацией с руководителем, коллегами и деловыми партнерами.
2	Постановка целей и задач	Предварительное, а затем окончательное формулирование целей и задач, доклад соответствующих предложений руководителю.
3	Планирование	Разработка (участие в разработке) документов планирования (планов, программ, графиков и т. п.) по направлениям и периодам профессиональной деятельности, их согласование по срокам и методам реализации, определение состава привлекаемых к их реализации сил и средств.
4	Подготовка решения	Представление проектов документов планирования, а также предложений, направленных на выработку оптимального решения, уточнение проектов и доведение принятых решений (утвержденных планов работы по направлениям и периодам) до сведения лиц, ответственных за руководство.

5	Реализация решения	Непосредственная реализация решений, участие в их реализации, делегирование полномочий, координация работы ответственных за реализацию, обработка информации о ходе реализации решений, ее передача руководителю.
6	Контроль реализации решения	Планирование и организация контрольных мероприятий, учет и сравнение результатов контроля с планируемыми показателями, доклады руководителю.
7	Корректировка решений	Сбор, учет, систематизация, анализ информации, выработка и представление руководителю предложений по корректировке решений (отдельных действий в рамках реализации таких решений)
8	Оценка и анализ результатов	Сбор, учет, систематизация, анализ информации, отражающей результаты реализации решений, подведение итогов профессиональной деятельности (за период или по направлению – текущая/промежуточная аттестация)

### **Рекомендации по работе с информационными источниками**

Работа с информацией – процесс нахождения знаний (информации) о причинах возникновения проблем, применённых инженерных решений/идей, современного состояния объекта исследования.

Поиск информации по дисциплине и её дальнейшей обработки следует начинать с:

- проработки тематического плана – теоретическая и практическая части курса;
- классификации информационного материала;
- составления логической схемы основных понятий, категорий, связей между рассматриваемыми темами;
- составления новой библиографии, при неудовлетворении предложенной.
- реферирования – краткое, основное содержание одной и более работ по теме.
- конспектирования – детальное изложение главных положений и концептуальных идей.

- аннотирования (аннотация) – краткое, предельно сжатое изложение основного содержания литературных источников.

- цитирования - дословная запись высказываний, выражений автора, а также приведение в тексте работы фактических и статистических данных, содержащихся в литературных источниках.

Для реализации информации в письменном/машинно-печатном виде необходимо выполнять общепринятые требования по оформлению - ГОСТ 2.105-95 Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам; ПРИКАЗ № от ФГАОУ ВО ДВФУ,

### **Рекомендации по подготовке к текущей/промежуточной аттестации**

Успешное освоение программы курса предполагает:

- усвоение теоретической части курса;
- выполнение требований преподавателя (руководителя), установленных преподавателем (руководителем) в рамках профессиональной деятельности сотрудника ДВФУ;

- выполнение практической части курса (практические задания/лабораторные работы/тесты/контрольные мероприятия/курсовые работы/курсовые проекты и др.).

## **VII. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Мультимедийная аудитория. Персональные компьютеры с доступом в сеть Интернет? , ауд. Е825, L345.

Сварочная лаборатория, оснащенная оборудованием для механизированной и автоматической сварки под флюсом и в среде защитных газов.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение

высшего профессионального образования

«Дальневосточный федеральный университет»

(ДВФУ)

---

---

**ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ  
РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

**по дисциплине «ТЕОРИЯ СВАРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ»**

**Направление подготовки 15.03.01 «Машиностроение»**

**Профиль «Оборудование и технология сварочного производства»**

**Форма подготовки очная/заочная**

**Владивосток**

**2015**

## План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине

№ п/п	Дата/сроки выполнения	Вид самостоятельной работы	Примерные нормы времени на выполнение, час.	Форма контроля
1	2 – 17 неделя 4 семестра	Освоение теоретического учебного материала. Подготовка к практическим занятиям	<b>18/27</b>	Тесты. Контрольные работы (три)
2	2 – 17 неделя 4 семестра	Выполнение индивидуального задания по СРС	<b>18/27</b>	Проверка результатов выполнения индивидуального задания
3	18 неделя 4 семестра	Подготовка и сдача зачета	<b>/4</b>	Зачет
4	2 – 17 неделя 5 семестра	Освоение теоретического учебного материала. Подготовка к практическим занятиям	<b>18/18</b>	Тесты. Контрольные работы (три)
5	2 – 17 неделя 5 семестра	Выполнение индивидуального задания (курсовая работа)	<b>72/129</b>	Проверка результатов выполнения индивидуального задания
6	экзаменационная сессия	Подготовка к экзамену, сдача его (в период экзаменационной сессии)	<b>36/9</b>	Экзамен
7	2 – 16 неделя 6 семестра	Освоение теоретического учебного материала. Подготовка к лабораторным занятиям	<b>16/16</b>	Тесты. Контрольные работы (три)
8	2 – 16 неделя 6 семестра	Выполнение индивидуального задания	<b>17/59</b>	Проверка результатов выполнения индивидуального задания

9	экзаменационная сессия	Подготовка к экзамену, сдача его (в период экзаменационной сессии)	27/9	Экзамен
Итого			159/276	

### Текущая самостоятельная работа

Текущая самостоятельная работа по дисциплине «Теория сварочных процессов», направленная на углубление и закрепление знаний студента, на развитие его практических умений и навыков, включает в себя следующие виды работ:

- работа с лекционным материалом, поиск и обзор литературы и электронных источников информации по индивидуально заданной проблеме курса;
- выполнение домашних заданий
- изучение тем, вынесенных на самостоятельную проработку;
- подготовка к практическим и лабораторным занятиям;
- подготовка к зачету и экзамену.
- **Творческая проблемно-ориентированная самостоятельная работа**

Творческая проблемно-ориентированная самостоятельная работа, направленная на развитие интеллектуальных способностей, комплекса универсальных и профессиональных компетенций, повышения творческого потенциала студентов включает:

- Поиск, анализ и структурирование информации. *Контроль – литературный обзор по теме КР.*
- Анализ тепловых процессов при сварке и определение тепловой схемы варианта курсовой работы. *Контроль – формулировка тепловой схемы.*
- Изучение процессов кинетики формирования фазового состава ЗТВ. *Контроль – результат КР*

Курсовая работа по дисциплине «Теория сварочных процессов» направлена на приобретение студентами навыков анализа температурных полей при сварке и применения полученных умений при решении задач сварочного производства. Конкретным содержанием курсовой работы является расчет температурного поля, представление его в трех плоскостях, анализ тепловой схемы, расчет термических циклов и определение фазового состава ЗТВ. Выполнение КР основано на применении пакета MatLab с использованием оригинальных программ авторов. Цель, варианты задания, теоретические основы, последовательность выполнения и оформление результатов КР приведены в методическом пособии в приложение 3.

### **Характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению**

#### **Требования к представлению и оформлению результатов курсовой работы**

Оформление курсовой работы и индивидуального задания производится в соответствии с правилами оформления курсовых и выпускных квалификационных работ ДВФУ

**Критерии оценки выполнения курсовой работы** устанавливаются руководителем работы на основании полноты освещения заданных вопросов и решения поставленных задач.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Дальневосточный федеральный университет»  
(ДВФУ)

---

**ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

по дисциплине «ТЕОРИЯ СВАРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ»

Направление подготовки 15.03.01 «Машиностроение»

Профиль «Оборудование и технология сварочного производства»

Форма подготовки очная/заочная

Владивосток  
2015

**Паспорт**  
**фонда оценочных средств**  
**по дисциплине «Теория сварочных процессов»**

<b>Код и формулировка компетенции</b>	<b>Этапы формирования компетенции</b>	
ОПК-1 – умение использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования	Знает	основные законы естественнонаучных дисциплин
	Умеет	применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования
	Владеет	технологическими методами регулирования химсостава и первичной структуры металла шва
ПК-17 – умение выбирать основные и вспомогательные материалы и способы реализации основных технологических процессов и применять прогрессивные методы эксплуатации технологического оборудования при изготовлении изделий машиностроения	Знает	основные принципы выбора основных и сварочных материалов
	Умеет	выбирать основные и вспомогательные материалы и способы реализации основных технологических процессов
	Владеет	прогрессивными методами эксплуатации технологического оборудования при изготовлении изделий машиностроения
ПК-18 – умение применять методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей используемых материалов и готовых изделий	Знает	косвенные методы оценки свариваемости конструкционных материалов
	Умеет	применять методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей используемых материалов и готовых изделий
	Владеет	методиками испытаний при оценке свариваемости конструкционных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций	Оценочные средства		
			текущий контроль	номера вопросов к промежуточной аттестации (УО-1, УО-2)	
1	Модуль I Раздел 1, 2, 3	ОПК-1	Знает	УО-1, ПР-2, ПР-7	1-25, 27-44, 49-53, 57
			Умеет	УО-1, ПР-2, ПР-7	9, 11-13, 20-22, 31, 39, 47-48
			Владеет	УО-1, ПР-2, ПР-7	35-38, 46, 55-56
		ПК-17	Знает	УО-1, ПР-2, ПР-7	26, 31, 41-43, 49, 54
			Умеет	УО-1, ПР-2, ПР-7	26, 41-43, 49, 54
			Владеет	УО-1, ПР-2, ПР-7	35-37, 41-46, 51, 53, 56, 58
		ПК-18	Знает	УО-1, ПР-2, ПР-7	31, 34, 46, 49, 50
			Умеет	УО-1, ПР-2, ПР-7	26, 46, 49, 53, 56, 58
			Владеет	УО-1, ПР-2, ПР-7	26, 46, 49, 56, 58
2	Модуль II Раздел 1, 2	ОПК-1	Знает	УО-1, ПР-2, ПР-7	1, 4, 18, 20
			Умеет	УО-1, ПР-2, ПР-7	8, 13, 27, 31
			Владеет	УО-1, ПР-2, ПР-7	26, 31, 35, 36
		ПК-17	Знает	УО-1, ПР-2, ПР-7	2, 5, 7, 10
			Умеет	УО-1, ПР-2, ПР-7	11, 14, 19, 23
			Владеет	УО-1, ПР-2, ПР-7	23, 27, 33, 36
		ПК-18	Знает	УО-1, ПР-2, ПР-7	29, 32, 34, 37
			Умеет	УО-1, ПР-2, ПР-7	9, 12, 18, 28
			Владеет	УО-1, ПР-2, ПР-7	4, 17, 23, 24
3	Модуль III Раздел 1, 2, 3	ОПК-1	Знает	УО-1, ПР-2, ПР-7	2, 4, 15, 24
			Умеет	УО-1, ПР-2, ПР-7	3, 8, 13, 26
			Владеет	УО-1, ПР-2, ПР-7	19, 27, 29, 31
		ПК-17	Знает	УО-1, ПР-2, ПР-7	32, 35, 36, 39
			Умеет	УО-1, ПР-2, ПР-7	14, 21, 24, 31
			Владеет	УО-1, ПР-2, ПР-7	6, 11, 13, 23
		ПК-18	Знает	УО-1, ПР-2, ПР-7	29, 30, 35, 38
			Умеет	УО-1, ПР-2, ПР-7	11, 14, 18, 22
			Владеет	УО-1, ПР-2, ПР-7	12, 23, 25, 40

<b>Расшифровка кодировок оценочных средств (ОС)</b>				
<b>№ п/п</b>	<b>Код ОС</b>	<b>Наименование оценочного средства</b>	<b>Краткая характеристика оценочного средства</b>	<b>Представление оценочного средства в фонде</b>
1	УО-1	Собеседование	Средство контроля, организованное как специальная беседа преподавателя с обучающимся на темы, связанные с изучаемой дисциплиной, и рассчитанное на выяснение объёма знаний обучающегося по определённому разделу, теме, проблеме и т.п.	Вопросы по разделам дисциплины
2	УО-2	Коллоквиум	Средство контроля усвоения учебного материала темы, раздела или разделов дисциплины, организованное как учебное занятие в виде собеседования преподавателя с обучающимися.	Вопросы по темам/разделам дисциплины
3	ПР-2	Контрольная работа	Средство проверки умений применять полученные знания для решения задач определённого типа по теме или разделу	Комплект контрольных заданий по вариантам
4	ПР-7	Конспект	Продукт самостоятельной работы обучающегося, отражающий основные идеи заслушанной лекции, сообщения и т.д.	Темы/разделы дисциплины

Оценочные средства для текущей аттестации по дисциплине (задания для тестирования, контрольных работ) и итоговой аттестации по дисциплине (экзаменационные вопросы) приведены ниже.

### **Тестовые вопросы по дисциплине**

Нижеперечисленные вопросы использованы при составлении тестов «Металлургические процессы при сварке», «МС под флюсом и в ЗГ», «Поведение металлов при сварке», «Дефекты сварного соединения», которые размещены в электронном учебном курсе в интегрированной платформе электронного обучения Blackboard ДВФУ (см. раздел V).

- По каким признакам существующий ГОСТ 19521 устанавливает классификацию сварки металлов?
  - 1 техническим;
  - 2 технологическим;
  - 3 физическим, техническим, технологическим.
- Какие используются способы защиты зоны плавления при сварке?
  - 1 газами;
  - 2 шлаками;
  - 3 газами, шлаками, комбинированным способом.
- За счет какого процесса образуется сварное соединение при холодной сварке?
  - 1 явления "схватывания";
  - 2 взаимной рекристаллизации;
  - 3 взаимной кристаллизации.
- За счет какого процесса образуется сварное соединение при термических видах сварки?
  - 1 явления "схватывания";
  - 2 взаимной рекристаллизации;
  - 3 взаимной кристаллизации.
- За счет какого процесса образуется сварное соединение при сварке трением?
  - 1 явления "схватывания";
  - 2 взаимной рекристаллизации;
  - 3 взаимной кристаллизации.

6. За счет какого процесса образуется сварное соединение при точечной сварке?  
1 явления "схватывания"; 2 взаимной рекристаллизации;  
3 взаимной кристаллизации.
7. За счет какого процесса образуется сварное соединение при стыковой сварке оплавлением?  
1 явления "схватывания"; 2 взаимной рекристаллизации;  
3 взаимной кристаллизации.
8. За счет какого процесса образуется сварное соединение при стыковой сварке сопротивлением?  
1 явления "схватывания"; 2) взаимной рекристаллизации;  
3 взаимной кристаллизации.
9. Когда металл шва имеет зернистую структуру?  
1 при точечной контактной сварке; 2 при шовной контактной сварке;  
3 при стыковой контактной сварке сопротивлением.
10. Когда металл шва имеет кристаллитную (дендритную) структуру?  
1 при точечной контактной сварке; 2 при шовной контактной сварке;  
3 при контактной стыковой сварке оплавлением.
11. При разработке технологии сварки разнородных металлов, прежде всего, какую свариваемость анализируют?  
1 тепловую; 2 металлургическую; 3 физическую (принципиальную).
12. Количество тепла, получаемого нагреваемым изделием в единицу времени, называют:  
1 полной тепловой мощностью источника нагрева;  
2 эффективной тепловой мощностью нагрева изделия;  
3 удельным тепловым потоком.
13. Количество тепла, получаемого нагреваемым изделием в единицу времени на единицу площади, называют:  
1 полной тепловой мощностью источника нагрева;  
2 эффективной тепловой мощностью нагрева изделия;  
3 удельным тепловым потоком.
14. Плотность тока при ручной дуговой сварке (РДС) составляет:  
1 (10-15) А/мм<sup>2</sup>; 2 (40-200) А/мм<sup>2</sup>; 3 (100-400) А/мм<sup>2</sup>.
15. Плотность тока при сварке под флюсом составляет:  
1 (10-15) А/мм<sup>2</sup>; 2 (40-200) А/мм<sup>2</sup>; 3 (100-400) А/мм<sup>2</sup>.
16. Плотность тока при сварке в защитных газах составляет:  
1 (10-15) А/мм<sup>2</sup>; 2 (40-200) А/мм<sup>2</sup>; 3 (100-400) А/мм<sup>2</sup>.
17. При сварке неплавящимся вольфрамовым электродом сталей используют:  
1 постоянный ток прямой полярности;  
2 постоянный ток обратной полярности;  
3 переменный ток.
18. При сварке алюминиевых сплавов неплавящимся вольфрамовым электродом используют:  
1 постоянный ток прямой полярности;  
2 постоянный ток обратной полярности;  
3 переменный ток.
19. При сварке дугой прямого действия нагрев свариваемых деталей осуществляется в основном за счет:  
1 вынужденного конвективного теплообмена со столбом дуги;  
2 лучистого теплообмена со столбом дуги;  
3 энергии заряженных частиц, достигающих поверхности активных пятен.
20. При сварке дугой косвенного действия нагрев свариваемых деталей осуществляется в основном за счет:  
1 вынужденного конвективного теплообмена со столбом дуги;

- 2 лучистого теплообмена со столбом дуги;  
3 энергии заряженных частиц, достигающих поверхности активных пятен.
21. Как влияет увеличение величины катодного и анодного падения напряжения на производительность расплавления катода и анода?  
1 производительность возрастает;  
2 производительность уменьшается;  
3 производительность не изменяется.
22. Какую температуру при сварке сталей имеет столб дуги?  
1 не ниже 5000К; 2 около 3000К; 3 3300-3600К;
23. В какой области дуги ток проводится только электронами?  
1 в катодной; 2 в анодной; 3 в столбе дуги.
24. При одинаковой величине тока производительность расплавления электрода выше при сварке:  
1 на прямой полярности; 2 на обратной полярности;  
3 на переменном токе.
25. При токах менее 50 А статическая вольт - амперная характеристика (ВАХ) дуги:  
1 падающая; 2 возрастающая; 3 жесткая.
26. При РДС на токах более 70 А статическая ВАХ дуги:  
1 падающая; 2 возрастающая; 3 жесткая.
27. При сварке под флюсом электродом  $d_э > 3$  мм статическая ВАХ дуги:  
1 падающая; 2 возрастающая; 3 жесткая.
28. При сварке на повышенных режимах в  $CO_2$  статическая ВАХ дуги:  
1 падающая; 2 возрастающая; 3 жесткая.
29. Процесс возбуждения дуги разрывом электрической цепи используется при:  
1 РДС; 2 сварка плавящимся электродом в защитных газах;  
3 сварка неплавящимся вольфрамовым электродом.
30. Процесс возбуждения дуги расплавлением (электрическим взрывом) электродной проволоки в момент короткого замыкания ее с изделием используется при:  
1 РДС; 2 сварка плавящимся электродом в защитных газах;  
3 сварка неплавящимся вольфрамовым электродом.
31. Процесс возбуждения дуги пробоем межэлектродного промежутка, как правило, используется при:  
1 РДС; 2 сварка плавящимся электродом в защитных газах;  
3 сварка неплавящимся вольфрамовым электродом.
32. Каким понятием именуется следующие свойства процесса дуговой сварки: пространственная устойчивость процесса; разбрызгивание металла; формирование шва?  
1 технологические свойства дуги; 2 технологическая свариваемость;  
3 стабилизирующие свойства дуги.
33. Сварка с периодическими замыканиями дугового промежутка каплей расплавленного электродного металла характерна для:  
1 сварки короткой дугой; 2 сварки длинной дугой;  
3 сварки с обрывами дуги.
34. При сварке короткой дугой длина дуги равна:  
1 диаметру электрода ( $l_д \leq d_э$ ); 2  $l_д \geq (1,5-2) d_э$ ; 3  $l_д = 10 d_э$ .
35. При сварке длинной дугой длина дуги равна:  
1 диаметру электрода ( $l_д \leq d_э$ ); 2  $l_д \geq (1,5-2) d_э$ ; 3  $l_д = 10 d_э$ .
36. При сварке короткой дугой в нижнем положении капля на конце электрода удерживается:  
1 силами поверхностного натяжения; 2 силами пинч-эффекта;  
3 силами Ван-дер-Ваальса.
37. При сварке короткой дугой в нижнем положении капля на конце электрода отрывается:

- 1 силами поверхностного натяжения;    2 силами пинч-эффекта;  
3 силами Ван-дер-Ваальса.
38. Когда в естественных условиях наблюдается струйный перенос металла?  
1 при сварке короткой дугой в  $\text{CO}_2$ ;  
2 при сварке длинной дугой в  $\text{CO}_2$ ;  
3 при сварке длинной дугой в  $\text{Ar}$  на обратной полярности.
39. Почему при сварке плавящимся электродом эффективный к.п.д. нагрева изделия больше, чем при сварке неплавящимся электродом?  
1 больше излучения от столба дуги;  
2 тепло, полученное электродом, вместе с каплями расплавленного металла поступает в сварочную ванну;  
3 меньше излучение дуги в окружающую среду.
40. Что такое эффективная погонная энергия?  
1 эффективная тепловая мощность нагрева изделия, деленная на скорость сварки;  
2 эффективная тепловая мощность нагрева изделия, умноженная на скорость сварки;  
3 удельная тепловая мощность нагрева изделия, деленная на скорость сварки.
41. Как влияет величина удельного электросопротивления металла на нагрев электрода при РДС?  
1 выделяемая тепловая мощность прямо пропорциональна удельному электросопротивлению металла;  
2 выделяемая тепловая мощность обратно пропорциональна удельному электросопротивлению металла;  
3 выделяемая тепловая мощность не зависит от удельного электросопротивления металла.
42. Почему электроды для сварки высоколегированных (ВЛ) сталей имеют меньшую длину (при одинаковом их диаметре), чем электроды для сварки углеродистых сталей?  
1 ВЛ стали имеют значительно большую величину удельного электросопротивления;  
2 ВЛ стали намного дороже углеродистых;  
3 для улучшения возбуждения дуги.
43. Что выражает уравнение  $I = (20+6d_s) d_s$ ?  
1 величину тока при сварке короткой дугой в  $\text{CO}_2$ ;  
2 максимально допустимый ток при сварке вольфрамовым электродом в  $\text{Ar}$ .  
3 номинальную величину тока при РДС.
44. По какому уравнению рассчитывается напряжение дуги при сварке под флюсом?  
1  $U_d = 14 + 0,05I_d$ ;    2  $U_d = 20 + 0,04I_d$ ;    3  $U_d = 20 + 5 \cdot 10^{-2} d_s^{-0,5} I_d$ .
45. Как называется следующая величина:  $\gamma = F_{\text{пр}} / F_{\text{шв}}$ ?  
1 доля участия основного металла в металле шва;  
2 коэффициент площадей;  
3 коэффициент излучения дуги.
46. Что такое термический цикл сварки?  
1 характер изменений температуры какой-либо точки сварного соединения во время сварки;  
2 характер изменения температуры металла сварочной ванны в процессе сварки;  
3 характер изменения температуры электродной проволоки в вылете в процессе сварки.
47. Какая из углеродистых сталей склонна к закалке с содержанием  $C$ ?  
1  $C > 0,08\%$ ;    2  $C > 0,15\%$ ;    3  $C > 0,20\%$ .
48. Какая из углеродистых сталей склонна к закалке с содержанием  $C_{\text{ЭКВ}}$ ?  
1  $C_{\text{ЭКВ}} > 0,10\%$ ;    2  $C_{\text{ЭКВ}} > 0,15\%$ ;    3  $C_{\text{ЭКВ}} > 0,25\%$ .
49. Что начинается в сталях при нагреве выше температуры  $0,45T_{\text{пл}}(K)$ ?  
1 отжиг;    2 закалка;    3 рекристаллизация.

50. При каком содержании углерода в сталях имеется вероятность образования холодных трещин?  
1 более 0,12%;            2 более 0,20%;            3 более 0,30%;
51. При каком содержании эквивалента углерода в сталях имеется вероятность образования холодных трещин?  
1 более 0,15%;            2 более 0,30%;            3 более 0,45%;
52. Когда возникают холодные трещины при сварке сталей?  
1 при кристаллизации сварочной ванны;    2 при температурах ниже 700°C;  
3 при температурах ниже 200 °C.
53. Какой характер имеет газовая фаза при РДС электродами с основным покрытием?  
1 окислительный;            2 восстановительный;    3 нейтральный.
54. Какой характер имеет газовая фаза при РДС электродом с целлюлозным покрытием?  
1 окислительный;            2 восстановительный;    3 нейтральный.
55. Какие защитные газы используются при дуговой сварке алюминия?  
1 окислительные;            2 восстановительные;    3 нейтральные.
56. В каком виде находится абсолютное большинство кислорода и азота в твердом металле при комнатной температуре?  
1 в виде твердого раствора;  
2 в виде химических соединений (окислов, нитридов);  
3 в виде отдельных газовых включений (пор).
57. Как влияет кислород, находящийся в сталях, на их механические свойства:  
1 все показатели механических свойств ухудшаются;  
2 прочностные свойства увеличиваются, пластические уменьшаются;  
3 прочностные свойства уменьшаются, пластические увеличиваются.
58. Кислород и азот, выделяющиеся из твердого металла при его охлаждении в результате снижения их растворимости, приводят к образованию:  
1 газовых включений (пор);  
2 неметаллических включений (окислов, нитридов);  
3 горячих трещин.
59. Какое предельно допустимое содержание кислорода в низкоуглеродистых сталях, превышение которого приводит к красноломкости и хладноломкости металла?  
1 0,05%;            2 0,08%;            3 0,015%;
60. Почему при дуговой сварке низкоуглеродистых кипящих сталей даже в аргоне проволокой Св-08, Св-08А металл шва пористый?  
1 из-за выгорания серы с образованием SO<sub>2</sub>?;  
2 из-за выгорания углерода с образованием СО;  
3 из-за дегазации сварочной ванны.
61. Почему при сварке в СО<sub>2</sub> низкоуглеродистых сталей используют низколегированную Si-Mn проволоку?  
1 чтобы не допустить пористости металла шва в связи с выгоранием углерода с образованием СО;  
2 чтобы повысить пластичность металла шва;  
3 чтобы повысить прочностные свойства металла шва.
62. Как влияет азот на пластичность низкоуглеродистых сталей?  
1 пластические свойства металла ухудшаются;  
2 пластические свойства металла улучшаются;  
3 азот не влияет на пластические свойства сталей.
63. Как влияет азот на прочностные свойства низкоуглеродистых сталей?  
1 прочностные свойства металла увеличиваются;  
2 прочностные свойства металла уменьшаются;  
3 азот не влияет на прочностные свойства малоуглеродистых сталей.



- 1 ниже температуры плавления раскисляемого металла;
  - 2 выше температуры плавления раскисляемого металла;
  - 3 равна температуре плавления раскисляемого металла.
80. Увеличение содержания углерода в сталях:
- 1 увеличивает вероятность пористости металла шва;
  - 2 уменьшает вероятность пористости металла шва;
  - 3 не влияет на вероятность пористости металла шва.
81. Увеличение содержания углерода в сталях:
- 1 увеличивает склонность металла к появлению холодных трещин;
  - 2 уменьшает склонность металла к появлению горячих трещин;
  - 3 не влияет на склонность металла к появлению горячих трещин.
82. Увеличение содержания углерода в нержавеющей сталях:
- 1 увеличивает их склонность к ММК;
  - 2 уменьшает их склонность к ММК;
  - 3 не влияет на склонность к ММК.
83. Увеличение содержания углерода в сталях:
- 1 повышает температуру хладноломкости металла;
  - 2 уменьшает температуру хладноломкости металла;
  - 3 не влияет на температуру хладноломкости металла.
84. Увеличение содержания углерода в электродной проволоке:
- 1 способствует крупнокапельному переносу электродного металла;
  - 2 способствует мелкокапельному переносу электродного металла;
  - 3 не влияет на размер переносимых электродных капель.
85. Обычно при сварке сталей содержание углерода в присадочной проволоке:
- 1 не превышает 0,12%;
  - 2 не менее 0,12%;
  - 3 не более 0,25%.
86. Какие из электродных проволок относятся к низкоуглеродистым?
- 1 Св-08, Св-08А, Св-08АА;
  - 2 Св-10ГС, Св-08ГСА, Св-08Г2С;
  - 3 Св-08Х18Н8Т, Св-08Х18Н12Б.
87. Какие марки проволок используют для сварки низкоуглеродистых сталей в  $\text{CO}_2$ ?
- 1 Св-08А, Св-08АА;
  - 2 Св-08ГСА, Св-08Г2С;
  - 3 Св-08Х18Н9Т, Св-08Х18Н12Б.
88. Флюс, содержащий не менее (35-38)%  $\text{MnO}$ , называют:
- 1 низкомарганцовистым;
  - 2 среднемарганцовистым;
  - 3 высокомарганцовистым.
89. Флюс, содержащий не менее (40-45)%  $\text{SiO}_2$ , называют:
- 1 низкокремнистым;
  - 2 бескремнистым;
  - 3 высококремнистым.
90. Какой флюс называют легирующим?
- 1 плавный;
  - 2 агломерированный (спеченный);
  - 3 керамический.
91. Какой основной путь легирования металла сварочной ванны при РДС?
- 1 из проволоки;
  - 2 из покрытия;
  - 3 одинаковые.
92. Как влияет увеличение тока дуги на степень легирования сварочной ванны при использовании керамического флюса?
- 1 легирование увеличится;
  - 2 легирование уменьшается;
  - 3 степень легирования не изменяется.
93. Как влияет увеличение напряжения дуги на степень легирования сварочной ванны при использовании керамического флюса?
- 1 легирование увеличится;
  - 2 легирование уменьшается;
  - 3 степень легирования не изменяется.
94. Почему не используется сварка в  $\text{CO}_2$  высоколегированных хромоникелевых сталей, противостоящих ММК?
- 1 из-за чрезмерного проплавления металла;
  - 2 из-за большого усиления шва;

- 3 из-за науглероживания металла шва защитным газом.
95. Какая опасная концентрация серы в углеродистых сталях?  
1 более 0,05%; 2 более 0,08%; 3 более 0,02%.
96. Какая опасная концентрация фосфора в углеродистых сталях?  
1 более 0,05%; 2 более 0,08%; 3 более 0,02%.
97. При какой сварке нет необходимости в рафинировании металла сварочной ванны?  
1 РДС; 2 под флюсом; 3 в защитных газах.
98. Почему при сварке стали марки 20Л всегда более вероятно образование горячих трещин, чем при сварке стали 20?  
1 отливка содержит большее количество S, P и Si, чем прокат;  
2 сталь 20Л содержит больше водорода;  
3 при сварке стали 20Л больше темп нарастания сварочных напряжений.
99. Что нужно сделать с флюсом перед сваркой, чтобы уменьшить вероятность образования пор в металле шва?  
1 просеять флюс; 2 прокалить флюс;  
3 смешать с железным порошком.
100. Что нужно сделать с электродами перед сваркой, чтобы уменьшить вероятность образования пор в металле шва?  
1 удалить поверхностный налет на покрытии;  
2 прокалить (просушить) электроды;  
3 выдержать на открытом воздухе в течение суток.
101. Какие химические элементы способствуют образованию горячих трещин?  
1 углерод; 2 азот; 3 марганец.
102. Какие химические элементы способствуют образованию горячих трещин?  
1 сера; 2 азот; 3 марганец.
103. Какое должно быть соотношение содержания Si и Mn в металле шва при сварке углеродистых сталей для наилучшего удаления продуктов раскисления в шлак и обеспечения наибольшего значения ударной вязкости?  
1  $Mn/Si=2.4-3.1$ ; 2  $Mn/Si=0.8-1.2$ ; 3  $Mn/Si=3.0-4.0$ .
104. Что не влияет на образование горячих трещин в сталях?  
1 химический состав металла шва;  
2 содержание водорода в сварочной ванне;  
3 температура окружающей среды.
105. Что не влияет на образование горячих трещин в сталях?  
1 содержание водорода в сварочной ванне;  
2 сварочные напряжения от неравномерности нагрева свариваемых деталей;  
3 температура окружающей среды.
106. В каких углеродистых сталях более вероятно образование горячих трещин:  
1 однофазных; 2 двухфазных;  
3 количество фаз не играет роли.
107. При какой минимальной величине  $C_{э\text{кв}}$  в углеродистых сталях возможно появление горячих трещин:  
1 более 0,40%; 2 более 0,25%; 3 более 0,60%;
108. Какая максимально допустимая температура предварительного подогрева сталей?  
1 250° С; 2 450° С; 3 650° С.
109. Укажите косвенный метод оценки склонности сталей к появлению холодных трещин:  
1 эквивалент фосфора; 2 эквивалент углерода;  
3 суммарное содержание серы и фосфора.
110. Укажите косвенный метод оценки склонности сталей к появлению холодных трещин:  
1 эквивалент фосфора; 2 содержание углерода;  
3 суммарное содержание серы и фосфора.
111. Что такое ТИХ?

- 1 температурный интервал хрупкости металла;  
2 температурный интервал хладноломкости металла;  
3 температурный интервал хладнотойкости металла.
112. В какой из сталей более вероятно образование горячих трещин?  
1 сталь марки 30;      2 сталь марки 30А;      3 сталь марки 30Л.
113. Какие химические элементы способствуют образованию горячих трещин?  
1 фосфор;      2 азот;      3 марганец.
114. Какие химические элементы способствуют образованию горячих трещин?  
1 кремний;      2 азот;      3 марганец.
115. В какой из сталей более вероятно образование холодных трещин?  
1 сталь ВСтЗсп;      2 сталь марки 30;      3 сталь марки 09Г2.
116. В какой из сталей более вероятно образование холодных трещин?  
1 сталь ВСтЗсп;      2 сталь марки 20ХГСА;      3 сталь марки 14Г2.
117. В какой из сталей более вероятно образование холодных трещин?  
1 сталь СтЗкп;      2 сталь марки 18К;      3 сталь марки 15ХСНД.
118. В каких металлургических процессах не участвует СаО при сварке сталей плавлением?  
1 в удалении серы из сварочной ванны;      2 в связывании водорода;  
3 в удалении фосфора из сварочной ванны.
119. В каких металлургических процессах не участвует МпО при сварке сталей плавлением?  
1 в удалении серы из сварочной ванны;      2 в связывании водорода;  
3 в удалении фосфора из сварочной ванны.
120. В каких металлургических процессах при сварке сталей плавлением не участвует  $TiO_2$ ?  
1 в физическом (диффузионном) раскислении;      2 в рафинировании;  
3 в связывании водорода.
121. В каких процессах при сварке сталей плавлением не участвует  $CaF_2$ ?  
1 в регулировании вязкости шлака;      2 в раскислении;  
3 в связывании водорода.
122. В каких процессах при сварке сталей плавлением не участвует  $CaF_2$ ?  
1 в связывании водорода;      2 в легировании;  
3 в регулировании вязкости шлака.
123. Технологическую свариваемость каких металлов можно оценить по эквиваленту углерода?  
1 высоколегированных сталей аустенитного класса;  
2 углеродистых сталей перлитного класса;  
3 железо-никелевых сплавов.
124. Что относится к тепловой свариваемости?  
1 анализ возможности роста зерна;  
2 анализ возможности пористости металла шва;  
3 анализ возможности выгорания легирующих элементов.
125. Что относится к металлургической свариваемости?  
1 анализ возможности роста зерна;  
2 анализ возможной пористости металла шва;  
3 анализ возможности образования холодных трещин.

## Перечень вопросов для самопроверки и промежуточного контроля

### МОДУЛЬ I. Физические и технологические основы сварочных процессов

1. Какие основные источники тепла применяются в сварочной технике?
2. Виды проводимости.
3. Виды электрических разрядов в газах.
4. В чем внешние отличия тлеющего разряда в газах от дугового разряда?
5. Возбуждение дуги и ее зоны.
6. Что называется сварочной дугой; процессы, протекающие на отдельных ее участках?
7. Какова особенность дугового разряда как проводника электрического тока по сравнению с проводимостью в металлическом проводнике и электролите?
8. В чем сущность ионизации?
9. Чем оценивается степень ионизации?
10. Какими причинами вызывается ионизация?
11. Эффективное сечение взаимодействия.
12. Эффект Рамзауэра.
13. Потенциал ионизации.
14. Излучение плазмы.
15. Квазинейтральность.
16. Назовите основные области дугового разряда и отметьте их характерные особенности.
17. Опишите процессы, протекающие в столбе дуги.
18. Дайте характеристику сварочной дуге как источнику тепла?
19. Какие факторы, влияют на устойчивость горения дугового разряда?
20. Уравнение Саха (физический смысл).
21. Эффективный потенциал ионизации газовой смеси?
22. Температура дуги.
23. Опишите основные процессы в прикатодной области дугового разряда
24. Опишите основные процессы в прианодной области дугового разряда
25. Какие процессы протекают в различных зонах дугового разряда?
26. Что является основным ионизирующим компонентом в составе электродов для ручной дуговой сварки МРЗ и УОНИ 13/45?
27. Виды эмиссии.
28. Термоэлектронная эмиссия.
29. Автоэлектронная эмиссия.
30. Фотоэлектронная эмиссия.
31. Потенциал ионизации, влияние на условия горения дуги?
32. Плазменные струи в дуге.
33. Пинч-эффект.
34. Как влияют ферромагнитные массы на дуговой разряд?
35. Магнитное дутье.
36. Вращающаяся конусная дуга.
37. Вращающаяся бегущая дуга.
38. Виды переноса металла в дуге.
39. Силы, действующие на расплавленный металл в дуге.
40. Виды сварочных дуг.
41. Дуга под флюсом.
42. Металлические дуги в защитных газах и вакууме.
43. Сварочные дуге с неплавящимися электродами.
44. Плазменные сварочные дуги.

45. Применение плазменной дуги.
46. Каким образом можно объяснить резкое возрастание твердости стали при проплавлении ее дугой на токе обратной полярности?
47. Что такое тепловая мощность, в каких единицах она измеряется?
48. Что такое статическая вольт-амперная характеристика дуги?
49. Как влияет на сварочную дугу род тока, материал электродов и состав газов?
50. Как влияет сжатие сварочной дуги на ее свойства?
51. В чем различие тепловых характеристик сварочной дуги и плазменной струи?
52. Почему при протекании тока через проводник в нем выделяется тепло?
53. Как оказывает влияние собственное магнитное поле и наклон электрода на сварочную дугу?
54. Какие типы химических реакций могут быть использованы в качестве источника тепла при сварке?
55. Что такое тепловой баланс дуги и величина к.п.д. для основных способов электрической сварки плавлением?
56. Как влияют на дугу посторонние поперечное и продольное магнитные поля?
57. Почему дуга притягивается к ферромагнитной массе?
58. Каким образом можно повысить устойчивость дугового разряда на переменном токе?

## **Модуль II. Тепловые процессы при сварке**

1. Что такое температура?
2. Если два одинаковых по размерам тела с разной теплоемкостью приведены в соприкосновение, в каком случае между ними будет идти теплообмен: а) когда тела имеют равное количество теплоты; б) когда тела нагреты до одинаковой температуры?
3. Проведите соответствие между тепловой схемой и схемой источника нагрева
4. Что такое краевые, граничные и начальные условия уравнения теплопроводности?
5. Как смоделировать две параллельные адиабатические границы в задаче теплопроводности (плоский слой)?
6. Действие неподвижного постоянного источника нагрева в теле приведет к стационарному температурному полю или нет?
7. Как можно смоделировать выделение (поглощение) тепла при фазовом переходе в металле?
8. Как вывести уравнение движущегося источника из уравнения неподвижного?
9. На каком свойстве дифференциального уравнения основан метод источников?
10. Что такое период теплонасыщения?
11. Сравните уравнение быстродвижущегося линейного источника в пластине с другими изученными уравнениями температурных полей. Какому случаю эквивалентна эта схема?
12. Сварной шов под прямым углом пересекает не заваренный стык двух пластин. Изменится ли в месте пересечения ширина шва, если режим сварки остается постоянным?
13. Тот же вопрос (12), только источник нагрева считаем быстродвижущимся
14. Как смоделировать границу диска, если сварка идет в его центре?
15. Каковы основные схемы расчета нагрева тел вращения?
16. Чем схема расчета теплопроводности в толстостенном цилиндре отличается от других случаев?
17. Что такое коэффициент сосредоточенности источника и что он характеризует
18. Выведите уравнение температурного поля нормального кругового источника на основе интеграла Дюамеля (интеграл свертки)

- 19 Как будет выглядеть температурное поле, если у свариваемых деталей различные: а) коэффициенты теплопроводности; б) коэффициенты теплоемкости
- 20 В чем состоит основной алгоритм расчета на ЭВМ температурных полей по методу источников?
- 21 Какие существуют датчики температур. Сравните их.
- 22 Какие процессы в сварном соединении вызывает его нагрев?
- 23 Какая информация о температурном поле при сварке нужна для описания этих процессов?
- 24 Как получить эту информацию?
- 25 Просмотрите все параметры, входящие в формулы расчета температурного поля и оцените влияние каждого из них на положение и форму изотермы
- 26 Какие возможны способы определения максимальной температуры точки?
- 26 На какие характеристики металла влияет скорость охлаждения?
- 27 Как рассчитывается скорость охлаждения?
- 28 Какие выражения верны, а какие нет и в каком случае: а) скорость охлаждения шва; б) скорость охлаждения основного металла; в) скорость охлаждения на линии сплавления; г) скорость охлаждения ЗТВ; скорость охлаждения точки сварного соединения.
- 29 Почему скорость охлаждения при сварке называют «мгновенной»?
- 30 Что такое длительность пребывания выше заданной температуры и почему это важно?
- 31 Как рассчитывают участки ЗТВ?
- 32 Как определить форму и размеры сварочной ванны?
- 33 Опишите нагрев электрода при ручной дуговой сварке.
- 34 Что нужно сделать, чтобы повысить (понижить) производительность расплавления электродной проволоки при автоматической сварке?
- 35 Какова модель нагрева при стыковой сварке?
- 36 В чем особенность моделирования лучевых источников нагрева?
- 37 В чем суть численных методов расчета температурных полей при сварке?

### **МОДУЛЬ III. Металлургические и термометаллургические процессы при сварке**

- 1 Основные стадии процесса сварки и условия протекания на них реакций
- 2 Скорость химической реакции и ее зависимость от концентрации
- 3 Диффузионная и кинетическая области протекания процессов
- 4 Условия окисления металла газовой фазой, содержащей кислород
- 5 Окисление металла при сварке поверхностными окислами и окислами шлаков, растворимыми в металле
- 6 Рассмотрите вопросы раскисления металла сварочной ванны
- 7 Образование шлаковых включений в металле шва и их удаление
- 8 Рассмотрите пути введения легирующих элементов в металл шва при сварке плавлением
- 9 В чем заключается метод учета легирования металла шва при автоматической сварке под керамическим флюсом
- 10 Как производится легирование наплавленного металла при сварке штучными электродами? Метод расчета необходимого количества легирующих элементов в электроде.
- 11 Рассмотрите легирование металла шва посредством обменных реакций со шлакообразующими компонентами
- 12 Каково влияние серы на свойства некоторых металлов и сплавов? Процессы десульфации металла шва при сварке

- 13 Рассмотрите процессы удаления фосфора из металла сварочной ванны
- 14 Рассмотрите основные закономерности поглощения газов металлическими расплавами и особенности поглощения газов в условиях дугового разряда
- 15 Азот и его взаимодействие с металлом при сварке
- 16 Рассмотрите общий характер взаимодействия водорода с различными металлами
- 17 Рассмотрите защитные газовые среды, применяемые при сварке и дайте оценку влияния газовой среды на металл шва
- 18 Что представляют собой сварочные шлаки?
- 19 Как оценивается кислотность и основность сварочных шлаков
- 20 Рассмотрите общие требования к физическим свойствам сварочных шлаков
- 21 Каково влияние состава флюса на изменение состава металла шва при сварке. Флюсы, применяемые для сварки различных металлов и сплавов
- 22 Рассмотрите виды современных электродных покрытий и их основные характеристики
- 23 Какие шлаки получают и применяют при дуговой сварке плавящимся электродом
- 24 Как осуществляется газовая защита при сварке покрытыми электродами
- 25 Рассмотрите особенности металлургических процессов при различных способах дуговой сварки
- 26 Перечислите основные характеристики геометрических размеров сварочной ванны
- 27 Рассмотрите основные положения, определяющие затвердевание исходного металла. Чем определяется скорость затвердевания металла в изложницах и формах, в сварочной ванне?
- 28 В чем заключаются ликвационные процессы при кристаллизации. Какие виды химической неоднородности вызывает кристаллизация.
- 29 В чем заключаются основные особенности, влияющие на кристаллизацию шва в условиях сварки?
- 30 Дайте характеристику роста кристаллов в сварочной ванне, охарактеризуйте строение и размеры кристаллов в сварных швах
- 31 Какими методами можно воздействовать на первичную кристаллизацию при сварке.
- 32 Рассмотрите ликвационное распределение примесей в металле однослойных швов
- 33 Чем вызывается дендритная неоднородность при кристаллизации? Особенности дендритной неоднородности в сварных швах
- 34 Рассмотрите причины, вызывающие горячие трещины при сварке
- 35 Какие существуют меры борьбы с горячими трещинами при сварке
- 36 Рассмотрите характерные зоны в сварных соединениях, выполненных способами сварки плавлением и давлением
- 37 Рассмотрите причины, вызывающие холодные трещины при сварке
- 38 Какие существуют меры борьбы с холодными трещинами при сварке
- 39 Рассмотрите основные принципы выбора сварочных материалов для различных способов сварки
- 40 Рассмотрите основные принципы выбора режима сварки



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение

высшего профессионального образования

«Дальневосточный федеральный университет»

(ДФУ)

---

---

**ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

по дисциплине «ТЕОРИЯ СВАРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ»

Направление подготовки 15.03.01 «Машиностроение»

Профиль «Оборудование и технология сварочного производства»

**Форма подготовки очная/заочная**

**Владивосток**

**2015**

Методические указания по выполнению практических заданий  
для студентов специальности 150202 «Оборудование и технология сварочного  
производства»

Методические указания содержат материалы для выполнения практических занятий по дисциплине «Теория сварочных процессов» для студентов специальности 150202 «Оборудование и технология сварочного производства». Приведены основные теоретические сведения, задания, порядок выполнения и программы расчета заданий на ПК.

Составили: профессор кафедры сварочного производства, кандидат технических наук Е.Н.Негода; доцент, кандидат технических наук Н.А. Максимец.

**ISBN 978-5-7596-0889-9**

© Дальневосточный государственный  
технический университет, 2011

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №1

### ОСНОВЫ АЛГОРИТМИЗАЦИИ РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ПРИ СВАРКЕ

1. ЦЕЛЬ ЗАНЯТИЯ - изучение основ разработки и использования программ для расчета температурного поля при сварке на ПК, и представление результатов в наглядной графической форме.

#### 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Выполнение практических заданий основано на применении пакета программ MatLab.

Пакет MatLab был создан компанией MathWorks. Работа сотен ученых и программистов направлена на постоянное расширение его возможностей и совершенствование заложенных алгоритмов. В настоящее время MatLab является мощным и универсальным средством решения задач, возникающих в различных областях человеческой деятельности. Спектр проблем, исследование которых может быть осуществлено при помощи MatLab, охватывает: матричный анализ, обработку сигналов и изображений, задачи математической физики, оптимизационные задачи, обработку и визуализацию данных, работу с картографическими изображениями, нейронные сети, нечеткую логику и многие другие. Специализированные средства, собранные в пакеты, называемые ToolBox, и могут быть выборочно установлены вместе с MatLab по желанию пользователя. В состав многих ToolBox входят приложения с графическим интерфейсом пользователя, которые обеспечивают быстрый и наглядный доступ к основным функциям. Пакет Simulink, поставляемый вместе с MatLab, предназначен для интерактивного моделирования нелинейных динамических систем, состоящих из стандартных блоков. Обширная и удобная справочная система MatLab способна удовлетворить потребности как начинающего, так и достаточно опытного пользователя. Полная гипертекстовая информационная система (на английском языке) содержит описание встроенных функций и достаточно большое число примеров их использования. Ссылки позволяют переходить к разделам, имеющим отношение к изучаемому вопросу, что облегчает самостоятельный поиск интересующей информации и увеличивает объем знаний начинающего пользователя. Доступ из командной строки к кратким сведениям о встроенных функциях обеспечивает возможность выбора нужного варианта обращения к функциям. Инженерам и научным работникам, проводящим самостоятельные исследования, оказываются полезными прилагаемые к пакету электронные книги в формате PDF.

Электронный учебник предоставляется преподавателем в файле Matlab.chm. Более подробное описание пакета можно найти в книге: Ануфриев И.А. «Самоучитель MatLab 5.3/6.x.».

Далее представлены примеры решения задач теплопроводности.

2.1. Расчет температурного поля мгновенного точечного источника на поверхности полубесконечного тела.

Расчетная формула:

$$T(x, y, z, t) = \frac{2Q}{c\rho(4\pi at)^{3/2}} \exp\left(-\frac{R^2}{4at}\right) \quad (2.6)$$

**function T=mti(x,y,z,t,Q);**

% Расчет температурного поля

% мгновенного точечного источника

% на поверхности полубесконечного тела.

```

%
% ФОРМАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ
% x - вектор координаты x (см);
% y - вектор координаты y (см);
% z - вектор координаты z (см);
% t - время анализа температурного поля (с);
% Q - тепловая энергия мгновенного точечного источника (Дж).
%
%
% Пример задания исходных данных (в командном окне):
%>> x=[3:-0.1:-3]; (см)
% >>y=[3:-0.1:-3]; (см)
% >>z=0; (см)
% >>t=2; (с)
% >>Q=5000; (Дж)
%
%
lam=0.38; % Коэффициент теплопроводности, Вт/(см К).
a=0.1; % Коэффициент температуропроводности, см2/с.
cro=lam/a; % Коэффициент удельной объемной теплоемкости.

nx=length(x);
ny=length(y); % Определение длины векторов координат
nz=length(z);

for m=1:1:nz; % Организация циклического вычисления
for n=1:1:ny; % температуры в точках координатной сетки.
for k=1:1:nx;

    R2=x(k)^2+y(n)^2+z(m)^2; % Вычисление радиуса-вектора.
ee=exp(-R2/(4*a*t)); % Вычисление температуры
Tc=Q*ee/(cro*(4*pi*a*t)^1.5); % (формула 2.4)

ifTc>1500; %Ограничение расчетного значения
Tc=1500; % температурой плавления стали.
end %if

    T(n,k,m)=Tc; % Для построения графики в плоскости x,y
    %T(m,n,k)=Tc; % Для y,z Формирование массива
    %T(m,k,n)=Tc; % Для x,результата расчета.

end %x
end %y
end %z

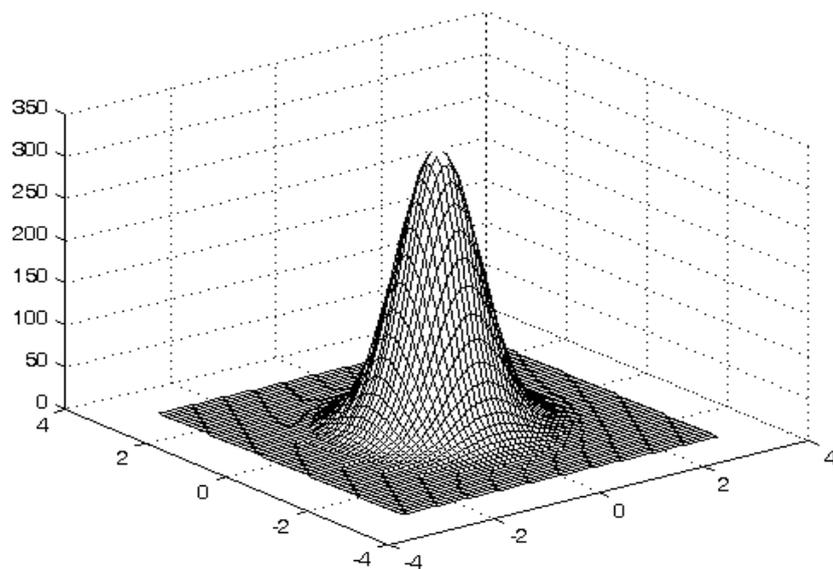
```

Команды формирования исходных данных и запуска расчета (Commandwindow).

```

>> x=[3:-0.1:-3]; %Задание сетки координат по x
>> y=x; %Задание сетки координат по y
>> T=mti(x,y,0,2,5000); %Запуск функции расчета с фактическими параметрами
>> mesh(x,y,T) % Построение поверхности температуры в виде сетки

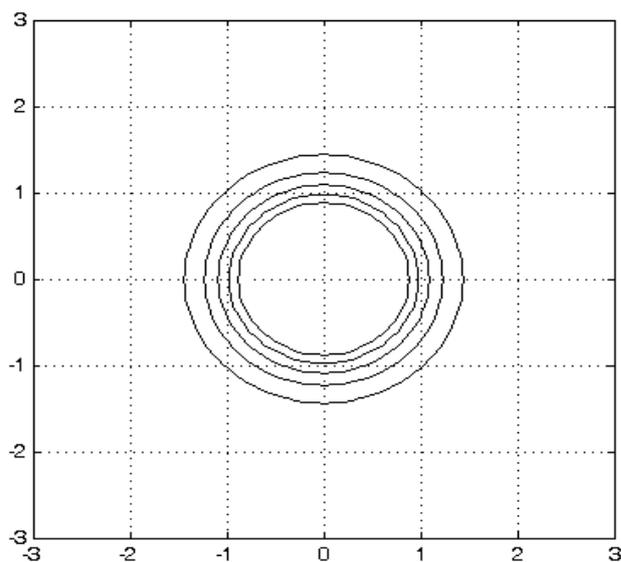
```



```

>>vp=[300 250 200 150 100 50]; % Задание значений температуры изолиний
>>contour(x,y,T,vp)           % Построение изолиний температурного поля в плоскости
xy
>>grid                        % Нанесение координатной сетки

```



2.2. Расчет температурного поля мгновенного линейного источника в пластине без теплоотдачи.

Расчетная формула:

$$T(x, y, t) = \frac{Q}{c\rho s(4\pi at)} \exp\left(-\frac{r^2}{4at}\right) \quad (2.10)$$

**function T=mli(x,y,t,Q,del);**

% Расчет температуры мгновенного линейного источника

% x - вектор координаты x (см);

% y - вектор координаты y (см);

% t - время анализа температурного поля (с);

```

% Q - тепловая энергия мгновенного точечного источника (Дж);
% del-толщина пластины s (см).
%
% _____
% Пример задания исходных данных
% x=[2:-0.1:-2];      (см)
% y=[-2:0.1:2];      (см)
% Q=10000              (Дж)
% del=1.2              (см)
%
% _____
lam=0.38;      % Коэффициент теплопроводности, Вт/(см К).
a=0.1;         % Коэффициент температуропроводности, см2/с.
cro=lam/a;     % Коэффициент удельной объемной теплоемкости.

```

```

nx=length(x);
ny=length(y);

for n=1:1:ny;
    for k=1:1:nx;

        r2=x(k)^2+y(n)^2;
        ee=exp(-r2/(4*a*t));
        Tc=Q*ee/(cro*del*4*pi*a*t); % Формула (2.10).

        if Tc>1500
            Tc=1500;
            end % if

        T(n,k)=Tc; % Для плоскостей, y
    end % x
end % y

```

Данный пример отличается от предыдущего только формулой температурного поля. Построение распределения температуры осуществляется аналогичными командами.

- ЗАДАНИЕ

Построить распределение температурного поля в соответствии с вариантом задания. Варианты представлены в таблице 1.1. Конкретное задание назначает преподаватель.

Таблица 1.1

Варианты заданий

№	Тепловая схема	Энергия источника, Дж	Основной материал
1	МТИ	5000	Низкоуглеродистая сталь
2	МЛИ	6000	Хромоникелевая сталь
3	МТИ	8000	Алюминий
4	МЛИ	10000	Медь

Теплофизические свойства основных материалов даны в таблице 1.2.

Таблица 1.2

Теплофизические свойства материалов

Материал	Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , В/(А·К)	Удельная теплоемкость ср, $\text{б}/(\text{А}^3 \cdot \text{К})$
Низкоуглеродистая сталь	0.38	4.8
Хромоникелевая аустенитная сталь	0.25	4.7
Алюминий	2.7	2.7
Медь	4.0	4.2

#### 4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ

##### Под руководством преподавателя:

4.1. Изучить приведенные выше программы и запустить их в пакете MatLab.

4.2. Произвести коррекцию программы в соответствии с заданным вариантом.

4.3. Запустить программу и построить поверхность температурного поля и изотермические линии. Результат распечатать в формате А4 с подрисуночными подписями и значениями изотерм.

#### 5. ФОРМА ОТЧЕТА

Отчет представить отпечатанным в формате А4 со следующим содержанием.

- Титульный лист.
- Содержание.
- Автореферат.
- Описание тепловой схемы с выводом расчетной формулы и расшифровкой всех входящих параметров.
- Текст программы.
- Результаты расчета температурного поля.
- Заключение.

#### 6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Объяснить физическую суть процесса, описываемого каждой из приведенных формул, смысл и размерность всех теплофизических параметров. Выявить *специально сделанные* в формулах опечатки.

$$1. \quad q = q_m e^{-kr^2} \quad 2) \quad q = -\lambda(\text{grad})T$$

$$3) \quad q_n = \alpha_n (T - T_0) \quad 4) \quad T = \frac{q_n}{2\pi\lambda t} e^{-\left(y^2 + f^2\right)/4at}$$

$$5) \quad T = \frac{Q}{c\rho(4\pi at)^{3/2}} e^{-R^2/4at}$$

$$6) \quad T = \frac{2Q}{c\rho(4\pi at)^{3/2}} e^{-R^2/4at}$$

$$7) \quad T = \frac{Q}{c\rho\delta 4\pi at} e^{-r^2/4at - bt}$$

$$8) \quad T = \frac{Q}{F c \rho (4n a t)^{1/2}} e^{-x^2/4at - bt}$$

$$9) \quad T_{np} = \frac{q}{2n\lambda R} e^{-\frac{v}{2a}(R+X)} \quad 10) \quad T_{np} = \frac{q}{2n\lambda\delta} e^{-vx/2a} K_0\left(\frac{vr}{2a} \sqrt{1 + \frac{4ba}{v^2}}\right)$$

$$11) \quad T = \frac{q}{2n\lambda x} e^{-r^2 v / 4ax} \quad 12) \quad T = \frac{q_n}{\delta \sqrt{4n\lambda c \rho t}} e^{-y^2/4at - bt}$$

$$13) \quad \frac{\partial \dot{O}}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 \dot{O}}{\partial x^2}$$

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №2

### РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В ПРЕДЕЛЬНОМ СОСТОЯНИИ ДВИЖУЩЕГОСЯ ПО ПОВЕРХНОСТИ ПЛОСКОГО СЛОЯ ТОЧЕЧНОГО ИСТОЧНИКА.

- ЦЕЛЬ ЗАНЯТИЯ - сравнение результатов расчета температурного поля по схемам полубесконечного тела и плоского слоя.

#### 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Температурное поле при действии сосредоточенных источников нагрева определяется процессом нестационарной теплопроводности. Для трехмерного полубесконечного тела теплоотвод от источника наиболее интенсивен. В случае нагрева пластины (плоское температурное поле) теплоотвод меньше, и точки тела нагреваются до более высоких температур при одинаковом вложении тепла. Схема плоского слоя является промежуточной и отличается наличием двух адиабатических границ. Однако эта схема – наиболее общая и позволяет рассчитать температурное поле для всех тепловых схем.

**Основная формула:**

$$T(x, y, z, \infty) = \frac{q}{4\pi\lambda} \exp\left(-\frac{vx}{2a}\right) \sum_{i=-\infty}^{\infty} \frac{1}{R_i} \exp\left(-\frac{vR_i}{2a}\right), \quad (2.26)$$

**Исходная программа:**

`function T=sloypr(x,y,z,q,v,delta);`

```

% Расчет температуры плоского слоя в предельном состоянии.
%
% ФОРМАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ
% x - вектор координаты x (см);
% y - вектор координаты y (см);
% z - вектор координаты z (см);
% q - тепловая мощность точечного источника (Вт=Дж/с);
% v – скорость сварки (см/с);
% del-толщина слоя (см).
%
% Пример задания исходных данных (в командном окне):
%>>x=[1:-0.01:-5]; (см)
%>>y=[-3:0.01:3]; (см)
%>>z=[0:0.01:1]; (см)
%>>q=10000; (Вт=Дж/с)
%>>v=1; (см/с);
%>>del=1; (см).
%
lam=0.38;
a=0.1;
cro=lam/a;

nx=length(x);
ny=length(y);
nz=length(z);

qr=q/(4*pi*lam);
va=v/(2*a);

for m=1:1:nz;
    for n=1:1:ny;
        for k=1:1:nx;

Tc=0; % Обнуление суммы

for nf1=1:1:21; %Организация циклического суммирования
    nf=nf1-10; % фиктивных источников номером 21

R=sqrt(x(k)^2+y(n)^2+(z(m)-2*nf*del)^2); % Радиус-вектор источника nf

if R<del/1000 % Контроль деления на 0
    R=del/1000;
end% if

dT=qr/R*exp(-va*(R+x(k))); % Формула 2.26
Tc=Tc+dT; % Суммирование температур действительного и
% фиктивных источников

end%nf1

ifTc>1500
Tc=1500;
end %if

```

```

    % T(n,k,m)=Tc; % Для x,y
    % T(m,n,k)=Tc; % Для y,z
    T(m,k,n)=Tc; % Для x,z
    end % x
end % y
end % z

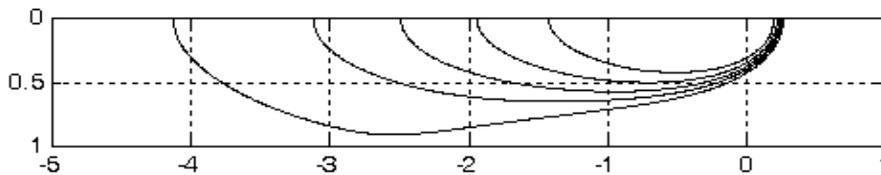
```

Команды формирования исходных данных и запуска расчета (Commandwindow).

```

>> x=[1:-0.01:-5]; % Задание координатной сетки
>> y=[-3:0.01:3];
>> z=[0:0.01:1];
>> T=sloypr(x,0,z,10000,1,1); % Вызов функции с фактическими параметрами
>> vp=[1500 1100 865 760 600]; % Задание значений температур изолиний
>> contour(x,z,T,vp) % Построение изолиний в плоскости xz
>> grid % Нанесение координатной сетки

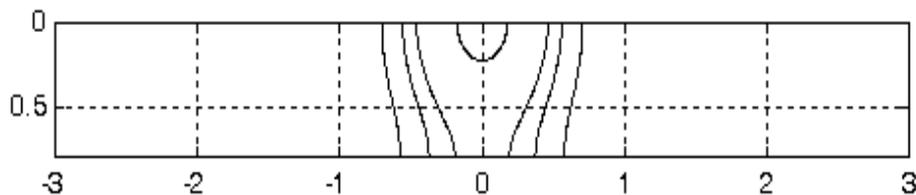
```



```

>> T=sloypr(-2,y,z,10000,1,0.8); % Вызов функции с фактическими параметрами
>> contour(y,z,T,vp) % Построение изолиний в плоскости yz
>> grid

```



### 3. ЗАДАНИЕ

Вариант задания соответствует предыдущему (см. ПЗ №1, таб. 1.1, 1.2).

При этом считать значение мощности источника равной величине энергии.

### 4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ

- 4.1. Изучить приведенную выше программу и запустить в пакете MatLab.
- 4.2. Рассчитать температурное поле в соответствии с заданным вариантом с построением изотерм в плоскости YZ.
- 4.3. Определить тепловую схему.
- 4.4. Изменить мощность источника для получения другой тепловой схемы.
- 4.5. Повторить расчет с новыми данными.
- 4.6. Провести анализ результатов и оформить отчет.

### 5. ФОРМА ОТЧЕТА

Отчет представить в отпечатанном в формате A4 со следующим содержанием.

- Титульный лист.
- Содержание.
- Автореферат.

- Описание тепловой схемы с выводом расчетной формулы и расшифровкой всех входящих параметров.
- Результаты расчета.
- Сравнительный анализ температурных полей.
- Выводы.

### ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №3

#### РАСЧЕТ ТЕРМИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ ДВИЖУЩЕГОСЯ ПО ПОВЕРХНОСТИ ПЛОСКОГО СЛОЯ ТОЧЕЧНОГО ИСТОЧНИКА.

1. ЦЕЛЬ ЗАНЯТИЯ – приобретение навыков расчета и анализа термических циклов точек сварного соединения

#### 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

В нестационарном температурном поле  $T=T(x,y,z,t)$  температура точек рассматриваемого тела изменяется со временем. При сварочных процессах она сначала увеличивается, достигает *максимальной температуры*  $T_m$  и далее уменьшается, стремясь к температуре окружающей среды. Зависимость температуры от времени в данной точке тела называется *термическим циклом*, пример которого приведен на рис.1.2. Производная от температуры по времени, очевидно, называется скоростью изменения температуры

$$w(x, y, z, t) = \frac{\partial}{\partial t} T(x, y, z, t) \cdot w(x, y, z, t) = \frac{\partial}{\partial t} T(x, y, z, t).$$

$$w(x, y, z, t) = \frac{\partial}{\partial r} T(x, y, z, t) \quad (1.1)$$

В сварочном производстве принято делить скорость изменения температуры на *скорость нагрева*  $w_{наг}$  ( на участке увеличения температуры со временем,  $w > 0$ ) и *скорость охлаждения*  $w_{охл}$  (на участке уменьшения температуры со временем,  $w < 0$ ).

Параметры термического цикла сварки являются необходимыми при проектировании сварочных процессов. На их основе принимаются решения по применению предварительного подогрева, последующей термической обработке и др.

В данном задании расчет основан на схеме движущегося по поверхности плоского слоя точечного источника.

#### Основная формула:

$$T(x, y, z, \infty) = \frac{q}{4\pi\lambda} \exp\left(-\frac{vx}{2a}\right) \sum_{i=-\infty}^{\infty} \frac{1}{R_i} \exp\left(-\frac{vR_i}{2a}\right), \quad (2.26)$$

где  $R_i = \sqrt{x^2 + y^2 + (z - 2is)^2}$ ;  $i$  – номер фиктивного источника в системе отражений тепла от адиабатических границ. Для построения термических циклов переход от подвижной системы координат в формуле (2.26) к физической (неподвижной) осуществляется подстановкой  $x = -vt$ .

В программе предусмотрена возможность построения ветви охлаждения термического цикла, начиная с максимальной температуры. Преобразование оси времени в логарифмический масштаб позволяет получить кривые охлаждения, готовые к

нанесению на диаграмму термокинетического превращения выбранной стали для определения фазового состава зоны термического влияния.

### Исходная программа.

```
function T=sloytc(tim,y,z,q,v,del);
% Расчет термических циклов точек плоского слоя
% в предельном состоянии.
%
% _____
% ФОРМАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ
% tim - вектор значений времени;
% y - вектор координаты y;
% z - вектор координаты z;
% q - мощность источника нагрева;
% v - скорость сварки;
% del - толщина слоя
%
% _____
% Пример задания исходных данных (в командном окне):
%>>tim=[0:0.1:100]; % (с)
%>>y=[1 1.5 2 2.5 3]; % (см)
%>>z=0; % (см)
%>>q=7500; % (Вт)
%>>v=0.5; % (см/с)
%>>del=1; % (см)
%
% _____
lam=0.38; % Коэффициент теплопроводности, Вт/(см К)
a=0.1; % Коэффициент температуропроводности, см2/с.
cro=lam/a; % Коэффициент удельной объемной теплоемкости.

nt=length(tim); % Определение длины вектора времени
ny=length(y); % Определение длины векторов координат
nz=length(z);

qr=q/(2*pi*lam); % Промежуточные вычисления (см. формулу)
va=v/(2*a);

for m=1:1:nz; % Организация циклического вычисления
zc=z(m); % - по координате z;
for n=1:1:ny; % - по координате y;
yc=y(n);
for k=1:1:nt; % - по времени.
x=-v*tim(k);

Tc=0; % Обнуление суммы
for nf1=1:1:21; % Организация циклического суммирования
nf=nf1-10; % фиктивных источников, ограниченных номером 21

R=sqrt(x^2+yc^2+(zc-2*nf*del)^2); % Радиус-вектор источника nf

if R<del/1000
R=del/1000; % Контроль деления на ноль
end % if
```

```

dT=qr/R*exp(-va*(R+x)); % Формула 2.26
Tc=Tc+dT; % Суммирование температур действительного и
          % фиктивных источников
end %nf1
ifTc>1500 %Ограничение расчетного значения
Tc=1500; % температурой плавления стали.
end %if
T(k)=Tc; % Формирование термического цикла точки уз
end %tim

[Tm,kmax]=max(T); % Расчет максимальной температуры
T1=T(kmax:nt); %Формирование ветви охлаждения
tim1=tim(kmax:nt)-tim(kmax); % термического цикла
      %plot(tim1, T1) % Построение ветви охлаждения
plot(tim-tim(1),T) % Построение всего ТЦ.
holdon% Наложение ТЦ заданных (у или z) точек на один график.
end %y
end %z
grid % Нанесение координатной сетки
plot(tim1, T1) % Построение ветви охлаждения
      %plot(tim-tim(1),T) % Построение всего ТЦ.

```

### 3. ЗАДАНИЕ

Рассчитать и построить термические циклы точек сварного соединения по программе Sloytc. Исходные данные принять соответствующими ПЗ №2.

### 4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ

4.1. Изучить приведенную выше программу и запустить в пакете MatLab.

4.2. Рассчитать температурное поле программе Sloyrg в соответствии с заданным вариантом с построением изотерм в плоскости XY. При этом обратить внимание на появляющийся в командном окне массив координат um, где максимальные температуры равны заданным (vp). Для этих точек будут рассчитываться термические циклы.

4.3. Запустить программу Sloytc, с активным оператором **plot(tim-tim(1),T)**, в которой вместо формального параметра «у» вставить «um».

4.4. Сохранить полученные графики термических циклов.

4.5. Повторить расчет с активным оператором **plot(tim1, T1)** и, воспользовавшись редактором графики, преобразовать ось абсцисс в логарифмический масштаб.

4.6. Провести анализ результатов и оформить отчет.

### 5. ФОРМА ОТЧЕТА.

Отчет представить в отпечатанном в формате A4 со следующим содержанием.

- Титульный лист.
- Содержание.
- Автореферат.
- Описание тепловой схемы с выводом расчетной формулы и расшифровкой всех входящих параметров.
- Результаты расчета.
- Выводы.

- КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.
- Каковы основные параметры термического цикла сварки?
- Как рассчитывается максимальная температура?
- Как рассчитывается скорость охлаждения?
- Для каких технологических целей определяется термический цикл при сварке?

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №4

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОНЫ НАГРЕВА ПРИ СВАРКЕ.

1.ЦЕЛЬ ЗАНЯТИЯ –сравнение результатов определения геометрических параметров сварочного нагрева, рассчитанных по схемам предельного состояния (см. ПЗ №2), и измерений размеров шва сварного соединения.

### 2.ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

При сварке плавлением источник тепла - сварочная дуга - должна проплавить основной металл изделия на определенную глубину. Теоретически необходимая глубина проплавления основного металла, обеспечивающая получение прочного сварного соединения, может быть весьма незначительной. Практически среднюю глубину проплавления при дуговой сварке поддерживают в пределах не менее 1—1,5 мм, так как вследствие случайных отклонений режима дуги от стационарных условий при меньшей средней глубине проплавления возникает опасность непровара. Слишком большой прогрев основного металла может привести к подрезам у краев шва и к сквозному проплаву свариваемых кромок, связанному с вытеканием жидкого металла. Избыточная глубина проплавления может изменять свойства наплавленного металла вследствие увеличения доли основного металла в шве, а также увеличивает удельный расход электрической энергии.

*Сварочная ванна.* Сварочная дуга вследствие высокой концентрации тепла в пятне мгновенно оплавляет поверхностный слой металла и перегревает его до температуры кипения. В процессе горения дуги слой расплавленного металла увеличивается и образует на поверхности основного металла сварочную ванну (рис.1).

Поток газа, быстро расширяющегося в дуговом промежутке вследствие высокой температуры дугового разряда, давит на поверхность ванны расплавленного металла и оттесняет жидкий металл из-под основания дуги. При этом дуга углубляется вобразующийся под ее основанием кратер. Помимо заданных перемещений вдоль шва и поперек шва (вследствие колебательных движений электрода), сварочная дуга способна погружаться в глубь ванны.

Способность дуги углубляться в ванну зависит не только от дутья дуги, но и от многих других условий, в том числе от состава дуговой атмосферы, состава металла и шлаков, размеров ванны, положения шва и др. На практике наблюдаются весьма разнообразные типы погружения дуги. В дальнейшем рассмотрим следующие крайние типы — поверхностную дугу и погруженную дугу.

При поверхностной дуге кратер неглубок, пятно дуги мало углубляется относительно поверхности металла; под пятном остается слой жидкого металла (рис.1,а). При сварке поверхностной дугой глубина проплавления сравнительно невелика.

Способность дуги углубляться в ванну зависит не только от дутья дуги, но и от многих других условий, в том числе от состава дуговой атмосферы, состава металла и шлаков, размеров ванны, положения шва и др. На практике наблюдаются весьма

разнообразные типы погружения дуги. В дальнейшем рассмотрим следующие крайние типы — поверхностную дугу и погруженную дугу.

При поверхностной дуге кратер неглубок, пятно дуги мало углубляется относительно поверхности металла; под пятном остается слой жидкого металла (рис.1,а). При сварке поверхностной дугой глубина проплавления сравнительно невелика.

При погруженной дуге жидкая ванна оттесняется к застывающему концу; пятно и столб дуги полностью или частично погружаются в кратер и более эффективно оплавляют дно ванны и ее переднюю кромку. Под дугой остается лишь весьма тонкий слой жидкого металла (рис.1,б). Такая погруженная дуга наблюдается обычно при сварке на больших силах тока. Образующийся иногда на конце электрода козырек из тугоплавкого покрытия может способствовать погружению дуги.

При сварке под флюсом большая глубина проплавления достигается также за счет погружения дуги. Пятно и столб дуги оплавляют непосредственно переднюю кромку ванны (рис.1,в).

Геометрические размеры ванны и валика характеризуются следующими параметрами (рис.1,в):  $L$  — длина ванны;  $B$  — ее ширина;  $H$  — глубина проплавления;  $A$  — высота наплавки;  $H_k$  — глубина кратера. Все измерители за исключением  $L$  и  $H_k$  определяют обычно по шлифам поперечных сечений валика. Длину ванны  $L$  определяют по застывшему кратеру в конце валика. Глубину  $H_k$  по застывшему кратеру определить трудно, так как после обрыва дуги и прекращения дутья жидкий металл ванны стремится заполнить кратер. Поэтому застывший кратер имеет меньшую глубину, чем кратер в жидкой ванне при горении дуги. Глубину  $H_k$  иногда определяют просвечиванием рентгеновскими лучами.

Поперечное сечение переплавленного дугой металла условно делят на зону наплавки  $F_n$ , находящуюся вне первоначальной кромки основного металла, и зону проплавления  $F_{np}$ , расположенную внутри этой кромки (рис.1,в). Площадь зоны наплавки зависит от количества присадочного металла, которое электрод подает в сварочную ванну. Избыточный металл располагается вне первоначальной кромки основного металла и образует валик.

Ванна расплавленного металла — эта область, нагретая в данный момент выше температуры плавления. Ванна ограничена мгновенной изотермической поверхностью температуры плавления. Зона проплавления — это область основного металла, которая при перемещении дуги нагревается выше температуры плавления. Зона проплавления представляет собой след перемещения ванны.

В зависимости от режима сварки и от способа ведения дуги зона проплавления принимает различные очертания. Очертание зоны проплавления характеризуют следующие измерители: относительная глубина проплавления  $H/B$  и коэффициент

полноты 
$$\mu = F_{np} / HB$$

Сварка под флюсом характеризуется значительной глубиной проплавления. Ручная сварка отличается большим разбросом значений  $H/B$ , так как очертание зоны проплавления в этом случае зависит как от технологических свойств электрода, так и от его поперечных колебаний.

Коэффициент полноты  $\mu$  обычно меньше единицы, так как очертание зоны проплавления вписывается в прямоугольник с основанием  $B$  и высотой  $H$ . При ручной дуговой наплавке валиков стальными электродами разных типов без поперечных колебаний при токе 140—300 А коэффициент полноты обычно колеблется в узких пределах от 0,6 до 0,7. При наплавке валиков стальным электродом с поперечными колебаниями при силах тока 250—1100 А коэффициент полноты обычно не выходит из пределов 0,6—0,8. Таким образом, коэффициент полноты достаточно устойчив, и его удобно использовать при расчетах.

**Расчетная схема.** Размеры ванны и зоны проплавления будем рассчитывать, предполагая, что тепло сосредоточенного источника — сварочной дуги — распространяется по металлу вследствие теплопроводности и прогревает прилегающую к источнику зону металла выше температуры его плавления  $T_{пл}$ .

Теория процессов распространения тепла при дуговой сварке позволяет установить количественную зависимость размеров и очертания зон, прогреваемых выше заданной температуры, от условий режима сварки, т. е. от тепловой мощности сварочной дуги и скорости ее перемещения, от распределения ее тепла по поверхности изделия, от формы и размеров изделия и от теплофизических свойств основного металла. Расчетное очертание ванны расплавленного металла должно соответствовать мгновенному очертанию изотермы температуры плавления  $T_{пл}$ . Теоретическое очертание ванны не совпадает с действительным, потому что действительное очертание ванны зависит от параметров, которые не учтены при выводе уравнений распространения тепла по свариваемому изделию.

При выводе уравнений, описывающих процессы распространения тепла сварочной дуги, предполагалось, что тепло дуги сосредоточено в точке или по линии, тогда как в действительности тепло дуги неравномерно распределено по поверхности пятна, углубленного в кратер. Расчетные схемы учитывают только распространение тепла вследствие теплопроводности, тогда как в действительности в ванне расплавленного металла тепло переносится конвективными потоками жидкого металла, вызванными дутьем дуги и неравномерностью распределения температуры в ванне. Расчет не учитывает также скрытой теплоты плавления, поглощаемой на передней границе ванны и выделяемой на задней границе. Наконец, расчет по средним значениям параметров режима — току, скорости сварки, напряжению дуги — не принимает во внимание случайных отклонений этих параметров от расчетного режима, остающегося в среднем постоянным за время горения дуги. Эти отклонения могут существенно исказить размеры и очертание ванны и зоны проплавления.

Действительное очертание свариваемого изделия также не всегда совпадает с принятыми нами расчетными схемами (полубесконечным телом, пластиной, стержнем). Так, например, в листах, ограниченных по толщине, действительный теплоотвод будет меньше расчетного теплоотвода в неограниченном теле, а у края изделия — меньше, чем в середине.

Отступления при расчете от действительных условий сварки и приводят к тому, что очертания ванны и зоны проплавления не соответствуют очертанию изотермы  $T=T_{пл}$ , теоретически рассчитанному по схеме сосредоточенного источника в твердом теле. На больших расстояниях от дуги вследствие выравнивающего влияния процесса теплопроводности поперечные колебания дуги и ее погружение в глубь ванны мало сказываются на очертаниях изотерм  $T < T_{пл}$ . При расчете размеров сварочной ванны и зоны проплавления необходимо считаться с этими особенностями процесса.

Расчет позволяет оценить длину ванны. Для расчета ширины и глубины зоны проплавления нет достаточных данных о распределении тепла дуги и углублении дуги в ванну. Отдельно от основного металла параметры сварочной ванны можно рассчитать по обобщенным формулам работы [9].

На основе приведенных выше схем тепловых процессов при сварке размеры зон нагрева можно определить следующим образом.

Значения координаты  $r$ , при которой кривые максимальных температур пересекают уровень температуры плавления металла (1500 К) определяет размер сварочной ванны, т.е. ширину шва и глубину проплавления металла, если сварочный нагрев соответствует схеме *мощного быстродвижущегося точечного источника*.

Приравняв в выражении (3.3) максимальную температуру  $T_m(r_L)$  температуре плавления  $T_L$ ,  $T_m(r_L) = T_L$ , можно найти ширину  $B=2r_L$  и глубину  $H=r_L$  жидкой ванны:

$$B = 2H = \frac{2q_n}{c\rho sT_L\sqrt{2\pi e}} \quad 3.14$$

Подстановка в приведенную формулу значения любой другой температуры позволяет вычислить ширину и глубину соответствующей изотермы.

В случае *мощного быстродвижущегося линейного источника*, приравняв в выражении (3.9) максимальную температуру  $T_m$  температуре плавления  $T_L$ ,  $T_m = T_L$ , можно найти ширину  $B = 2y_L$  жидкой ванны:

$$B = 2y_L = \frac{2q_n}{\sqrt{2\pi e}c\rho sT_L} \quad 3.15$$

Подстановка в приведенную формулу значения любой другой температуры позволяет вычислить ширину соответствующей изотермы для указанной тепловой схемы.

Третьим геометрическим параметром, представляющим интерес при анализе температурного поля при сварке, является длина заданной изотермы  $L_T$  (рис.2).

*Мощный быстродвижущийся точечный источник.* Для вывода формулы длины изотермы в данном случае воспользуемся выражением для температурного поля (2.35). Длина изотермы на поверхности полубесконечного тела будет равна абсолютному значению координаты  $x$  при  $z=0$ ,  $y=0$ . Подстановка этих условий в (2.35) дает:

$$T = -\frac{q}{2\pi\lambda x},$$

и при  $L_T = -x$

$$L_T = \frac{q}{2\pi\lambda T_L}, \quad 3.16$$

где  $T_L$  – значение температуры изотермы, длина которой рассчитывается.

*Мощный быстродвижущийся линейный источник в пластине.* Вывод формулы для определения длины изотермы в данном случае аналогичен предыдущей схеме мощного быстродвижущегося источника. В выражение (2.36), соответствующее мощному линейному источнику, подставим  $y=0$ , и решим относительно  $t$  при отсутствии теплоотдачи ( $b=0$ ):

$$t = \left(\frac{q_n}{c\rho sT}\right)^2 \frac{1}{4\pi a}.$$

Учитывая, что  $x = -vt$  и длина изотермы  $L_T = -x$ ,

$$L_T = \frac{v}{4\pi a} \left(\frac{q_n}{c\rho sT_L}\right)^2 \quad 3.17$$

Выполнение реального сварного соединения производится на оборудовании и образцах лаборатории сварки.

### 3. ЗАДАНИЕ

Сравнить результаты расчета ширины шва и длины сварочной ванны с экспериментальным результатом.

### 4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ

Перед выполнением задания преподавателем предоставляются сваренные образцы с указанием параметров режима сварки и марки основного материала.

- Измерить геометрические характеристики сварного соединения и сфотографировать образец.
- Измерить длину сварочной ванны по кратеру.
- В равномерно расположенных по длине шва пяти точках измерить ширину шва и рассчитать среднее значение.
- По программе Sloypг построить температурное поле и определить ширину и длину изотермы плавления (1480 К).
- Рассчитать параметры сварочной ванны по формулам 3.15, 3.16.
- Сравнить расчетные данные и измеренные на сварных образцах.
- Оформить отчет.

### 5. ФОРМА ОТЧЕТА

Отчет представить отпечатанным в формате А4 со следующим содержанием.

- Титульный лист.
- Содержание.
- Автореферат.
- Основные теоретические сведения.
- Фотография сварного образца с нанесением размеров сварочной ванны.
- Результаты расчета.
- Выводы.

### 6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- Как влияет режим сварки на геометрические размеры шва?
- Как выводятся формулы расчета ширины и длины сварочной ванны?
- В чем причина расхождения расчетных и экспериментальных данных?

### Список литературы

1. Негода Е.Н. Тепловые процессы при сварке: Учебное пособие.-Издательство ДВГТУ, 2008.-108с.
- 2 Кархин В.А. Тепловые процессы при сварке: Учебное пособие. – Л.: Ленингр. гос. техн. ун-т., 1990.-100с.
- 3 Рыкалин Н.Н. Расчеты тепловых процессов при сварке. - М.: Маш-гиз, 1951.-296 с.
- 4 Теория сварочных процессов /В.В Фролов [и др.] под ред. В. В. Фролова.-М.: Высшая школа, 1988. - 559 с.
- 5 Ануфриев И.Е. Самоучитель MatLab 5.3/6.x. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 736 с.

Методические указания по выполнению курсовой работы для студентов специальности  
150202 «Оборудование и технология сварочного производства».

Методические указания содержат материалы для выполнения курсовой работы по дисциплине «Теория сварочных процессов» для студентов специальности 150202 «Оборудование и технология сварочного производства». Приведены основные теоретические сведения, задание, порядок выполнения и программы расчета элементов КР на ПК.

Составили: профессор кафедры сварочного производства, кандидат технических наук Е.Н.Негода; доцент, кандидат технических наук Н.А. Максимец.

**ISBN 978-5-7596-0889-9**

© Дальневосточный государственный  
технический университет, 2011

**Цель** курсовой работы – приобретение навыков анализа тепловых процессов и определения структурных составляющих зоны термического влияния при сварке с использованием ЭВМ.

Одной из существенных задач при проектировании сварочных процессов является определение структуры металла шва и зоны термического влияния. Фазовый состав и размер зерна сварного соединения обуславливают работоспособность сварной конструкции. Инженер сварщик должен уметь оценивать влияние термического цикла сварки на формирование этих характеристик. Для решения указанной задачи нужно разработать расчетную схему теплопроводности, достаточно адекватно моделирующую реальный сварочный процесс (определить тепловую схему); рассчитать термические циклы точек сварного соединения и нанести их на диаграмму анизотермического распада аустенита; определить фазовый состав ЗТВ.

### **Теоретические сведения**

Геометрическая форма свариваемых изделий в реальных условиях является сложной. Учет действительной формы может значительно усложнить решение температурных задач сварочных процессов. Поэтому реальную форму в тепловых расчетах идеализируют, сводя ее к одной из следующих *тепловых схем*, для которых решение уравнения теплопроводности можно получить в аналитическом виде.

*Бесконечное тело* – это такой объект, в котором теплопроводность происходит во всех пространственных направлениях  $T=T(x,y,z,t)$ . При этом реальные его границы в условиях локального сварочного нагрева не оказывают существенного влияния на величину температуры. Эта схема предполагает действие источников нагрева внутри рассматриваемого объема -  $q_3$ .

*Полубесконечное тело* занимает область по одну сторону плоскости в бесконечном теле (рис. 1, а). В данном случае температурное поле также трехмерное  $T=T(x,y,z,t)$ . Подобная схема реализуется, например, при сварке листов значительной толщины, когда температура на обратной относительно сварки поверхности повышается незначительно.

*Пластина* характеризуется двумерным (плоским) температурным полем  $T=T(x,y,t)$ . Геометрически это пространство, ограниченное двумя параллельными плоскостями, в направлении нормали к которым внутри тела теплопроводность отсутствует, то есть температуры точек по толщине пластины одинаковы (рис. 1, в).

*Плоский слой* представляет собой промежуточный между полубесконечным телом и пластиной случай. В этой схеме также тело ограничено двумя параллельными плоскостями, но температура в направлении толщины значительно изменяется  $T=T(x,y,z,t)$  (рис. 1, б).

*Стержень* есть тело, в котором теплопроводность происходит только в одном направлении  $T=T(x,t)$  (рис. 1, г).

Приведенная схематизация нагреваемых тел условна. Например, полубесконечное тело можно рассматривать как плоский слой бесконечной толщины, пластину - как плоский слой малой толщины, когда можно пренебречь перепадом температуры по толщине, стержень - как цилиндр без перепада температуры по сечению. Более того, одному и тому же толстостенному свариваемому изделию могут соответствовать различные схемы тел: бесконечное тело - при выполнении корневых проходов при многопроходной сварке в узкий зазор (тепловые потоки существуют во все стороны); полубесконечное тело - при выполнении на поверхности последнего прохода сварного шва (тепловые потоки направлены вглубь металла); плоский слой - при электронно-лучевой сварке с несквозным проплавлением, но со сквозным прогревом изделия (оказывает влияние тепловая изоляция нижней поверхности изделия) и пластина – при плазменной резке толстых листов (тепловые

потоки направлены практически только поперек оси плазмы). Только понимание физической модели может позволить грамотно выбрать соответствующую тепловую схему.

Решения дифференциального уравнения теплопроводности в постановке его линейности для различных тепловых схем приведены ниже. При этом номера формул и рисунков соответствуют приведенным в учебном пособии [1]. Расчет температурного поля в курсовой работе может быть выполнен по выбранной Вами тепловой схеме. Однако рекомендуется использовать схему плоского слоя как наиболее общую с последующей констатацией получившейся тепловой схемы.

Уравнение предельного состояния процесса распространения тепла точечного источника постоянной мощности, движущегося с постоянной скоростью  $v$  по поверхности полубесконечного тела, отнесенное к подвижным координатам  $xuz$ :

$$T(x, R, \infty) = \frac{q}{2\pi\lambda R} \exp\left(-\frac{vx}{2a} - \frac{vR}{2a}\right), \quad (2.24)$$

здесь  $R$ - пространственный радиус-вектор в подвижной системе координат, т. е. расстояние рассматриваемой точки  $A(x,y,z)$  от начала  $o$  подвижной системы;  $x$  - абсцисса точки  $A(x,y,z)$ .

Температурное поле линейного источника, движущего в пластине со скоростью  $v$  при наличии теплообмена с окружающей средой с коэффициентом теплоотдачи  $b$

$$T(x, r) = \frac{q}{2\pi\lambda s} \exp\left(-\frac{vx}{2a}\right) K_0\left(\frac{vr}{2a} \sqrt{1 + \frac{4ab}{v^2}}\right), \quad (2.25)$$

где  $K_0$ – функция Бесселя первого рода нулевого порядка.

Температурное поле движущегося по поверхности плоского слоя толщиной  $s$  точечного источника выводится с использованием формулы для движущегося точечного источника на поверхности полубесконечного тела (2.24). Считая поверхности плоского слоя адиабатическими, с помощью метода отражения получается следующее выражение для искомого температурного поля в предельном состоянии:

$$T(x, y, z, \infty) = \frac{q}{4\pi\lambda} \exp\left(-\frac{vx}{2a}\right) \sum_{i=-\infty}^{\infty} \frac{1}{R_i} \exp\left(-\frac{vR_i}{2a}\right), \quad (2.26)$$

где  $R_i = \sqrt{x^2 + y^2 + (z - 2is)^2}$ ;  $i$  – номер фиктивного источника в системе отражений от адиабатических границ. Пример результатов расчета температурного поля по программе Sloypг (см. Приложение) приведен на рисунке 2.

Сварочный термический цикл вызывает целый ряд физических процессов в свариваемом изделии. Это плавление и кристаллизация материала, возникновение внутренних механических напряжений и деформаций, структурные превращения и другие явления.

Одним из наиболее существенных процессов является изменение структуры основного материалов в сварочных технологиях. Рассмотрим структурные превращения при сварке углеродистой стали с применением теории теплопроводности.

Структурные превращения в сталях связаны с фазовым переходом  $Fe\alpha \leftrightarrow Fe\gamma$  и химической реакцией образования и распада цементита  $Fe_3C$ . Диаграмма состояния «железо – углерод (цементит)» представлена на рис. 3. В курсе «Материаловедение» эта диаграмма изучается достаточно подробно, и здесь приводится без объяснений как напоминание о ее конкретном виде.

Большинство конструкционных сталей являются низкоуглеродистыми и низколегированными феррито – перлитного класса. Выделим на диаграмме «железо – углерод» эту область концентрации углерода. При этом упростим высокотемпературную зону, убрав фазовый переход  $\gamma \leftrightarrow \delta$  (рис. 4). Определим на диаграмме сталь конкретного состава  $C$ , проведя соответствующую вертикальную прямую. На этой прямой отмечены характерные температуры (сверху вниз) при нагреве: температура плавления  $T_{пл}=1500$  К, температура границы нормализации 1100 К, температура окончания перекристаллизации  $A_{c3}$ , температура начала фазового превращения  $A_{c1}$  и температурную границу рекристаллизации ( $600^{\circ}C$ ).

Совместим кривую *максимальных температур*  $T_m(y)$  с диаграммой «железо – углерод» и схемой свариваемого стального листа (рис.5). Чем дальше исследуемая точка (координата  $y$ ) находится от оси нагрева ( $y=0$ ), тем ниже ее максимальная температура. Точки, максимальная температура которых превышает температуру плавления данной стали  $T_{пл}$  (1500К), находятся в области *сварочного шва*. Диапазон максимальной температуры 1500 – 1100К соответствует координатам точек основного металла, в которых за счет перегрева происходит интенсивный рост зерна аустенита (*участок перегрева*). Если максимальная температура точек выше  $A_{c3}$  (температура окончания превращения феррит – аустенит, зависящая от марки стали) и ниже  $1100^{\circ}C$ , то они находятся на *участке нормализации*, где происходит измельчение зерна исходного основного материала. Диапазон координат  $y$ , для которых максимальная температура больше  $A_{c3}$  и ниже  $T_{пл}$ , является зоной полной перекристаллизации (*участок перегрева + участок нормализации*).

Участок, соответствующий максимальным температурам  $A_{c1} – A_{c3}$  представляет собой точки, в которых при нагреве произошло частичное превращение феррит – аустенит и называется *участком не полной перекристаллизации*. Максимальный нагрев ниже температуры  $A_{c1}$  не изменяет исходный фазовый состав стали, однако при температуре выше  $600^{\circ}C$  (температура рекристаллизации) приводит к исчезновению наследственной прокатной структуры основного материала и сферитизации формы зерна (*участок рекристаллизации*).

Зона *основного металла*, заключенная в пределах координат  $y$ , соответствующих максимальным температурам плавления и рекристаллизации, называется *зоной термического влияния (ЗТВ)*.

Сварочный шов вместе с зоной термического влияния называется **сварным соединением**.

Приведенная выше диаграмма (рис.3) построена в условиях изотермического температурного цикла, т. е. когда температура изменяется очень медленно ( $dT/dt \rightarrow 0$ ). Сварочный термический цикл характерен нестационарностью теплопроводности при скоростях изменения температуры до тысяч  $K/c$  при нагреве и десятков  $K/c$  при охлаждении. Полиморфные превращения в металлах и сплавах есть процесс диффузионный и при конечных скоростях изменения температуры приводит к переохлаждению и смещению точек диаграммы «железо-углерод»  $A_{r3}$ ,  $A_{r1}$  «вниз» по шкале температур. Чем больше скорость охлаждения, тем значительно степень переохлаждения  $(A_c - A_r)/A_c$ . Поэтому конечная структура зоны термического влияния (ЗТВ) зависит от скорости охлаждения точек, имеющих разные координаты  $y$ . Это явление отражено в диаграмме анизотермического распада аустенита (термокинетическая диаграммой), представленной на рис.5. Совмещение термокинетической диаграммы и

ветвей охлаждения точек ЗТВ, построенных в логарифмической по времени шкале позволяет определить конечную структуру зоны термического влияния.

Выше приведена схема оценки структуры ЗТВ в рамках дисциплины «Тепловые процессы при сварке». Инженерный анализ структуры ЗТВ и принятие конкретного технологического решения требует уверенного владения навыками качественного и количественного расчета фазового и структурного состояния сварного соединения при сварке.

**Задание** на курсовую работу

Исходным для работы является эскиз свариваемого изделия, выдаваемый преподавателем. Этот эскиз определяет геометрические параметры, необходимые для расчета. Остальные данные определяются по коду задания для каждого студента в соответствии с табл. 1.

Таблица 1

Информация для расчета

I		II				III		IV	
Способ сварки		Режим				Толщина металла		Материал	
№		№	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	№	мм	№	Марка стали
1	РД	1	100	27	5	1	3	1	12Х2МФБ
2	АФ	2	150	28	7	2	5	2	15М
3	МП	3	180	30	10	3	10	3	15ГС
		4	200	35	15	4	12	4	12Х1МФ
4	ААД	5	450	34	38	5	16	5	10Х17
		6	500	36	36	6	20	6	08Г2С
		7	700	38	30	7	30	7	10Г2С
		8	800	36	28	8	32	8	20кп
		9	1000	43	22	9	35	9	15Г2С

Каждому студенту преподаватель называет код его варианта. Код представляет собой набор из 4 цифр. На первом месте кода - цифра из столбца I - способ сварки. На втором - из столбца II - режим сварки. На третьем месте кода - цифра из столбца III - толщина металла, и на четвертом - из столбца IV - марка стали. Например, код **1437** означает: **1** - ручная дуговая сварка; **4** - сила тока 200 А, напряжение 35 В, скорость сварки 15 м/ч; **3** - толщина металла 10 мм; **7** - марка стали 10Г2С.

**Порядок выполнения** курсовой работы

- Изучить теоретические сведения и осознать цель работы
- В соответствии с заданием провести коррекцию программы Sloypг и сформировать исходные данные для расчета (см. Приложение).
- Рассчитать температурное поле и представить результаты согласно рис. 2.
- Определить тепловую схему
- Определить координаты у точек, максимальные температуры которых равны  $T_{пл}$ , 1100, 1000,  $T_{Ac3}$ ,  $T_{Ac1}$ , 600 К. (Термокинетические диаграммы приведены в приложении).
- Для указанных точек по программе Sloytc рассчитать термические циклы, в том числе ветви охлаждения в логарифмическом масштабе.
- Совместить на рисунке диаграмму анизотермического распада аустенита и ветви охлаждения (рис. 5).
- Провести анализ структуры ЗТВ
- Оформить пояснительную записку в соответствии с *формой отчета*.

### **Форма отчета.**

Отчет представить в отпечатанном в формате А4 виде со следующим содержанием.

- Титульный лист.
- Содержание.
- Автореферат.
- Поэтапное описание работы в соответствии *порядком выполнения*
- Тексты использованных программ.
- Выводы
- Список использованной литературы

### **Приложение 2.1**

**Программа расчета температурного поля плоского слоя в предельном состоянии**  
**function T=sloypr(x,y,z,q,v,del);**

% Расчет температуры плоского слоя в предельном состоянии.

%

% ФОРМАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ

% x - вектор координаты x (см);

% y - вектор координаты y (см);

% z - вектор координаты z (см);

% q - тепловая мощность точечного источника (Вт=Дж/с);

% v – скорость сварки (см/с);

% del-толщина пластины s (см).

%

% Пример задания исходных данных (в командном окне):

%>>x=[1:-0.01:-5]; (см)

%>>y=[-3:0.01:3]; (см)

%>>z=[0:0.01:1]; (см)

%>>q=10000; (Вт=Дж/с)

%>>v=1; (см/с);

%>>del=1; (см).

%

**lam=0.38;**

**a=0.1;**

**cro=lam/a;**

**nx=length(x);**

**ny=length(y);**

**nz=length(z);**

**qr=q/(4\*pi\*lam);**

**va=v/(2\*a);**

**for m=1:1:nz;**

**for n=1:1:ny;**

**for k=1:1:nx;**

**Tc=0;**

% Обнуление суммы

**for nf1=1:1:21;**

% Организация циклического суммирования

**nf=nf1-10;**

% фиктивных источников, ограниченных номером 21

```

R=sqrt(x(k)^2+y(n)^2+(z(m)-2*nf*del)^2); % Радиус-вектор источника nf

if R<del/1000 % Контроль деления на 0
R=del/1000;
end% if

dT=qr/R*exp(-va*(R+x(k))); % Формула 2.26
Tc=Tc+dT; % Суммирование температур действительного и
% фиктивных источников

end%nf1

ifTc>1500
Tc=1500;
end %if

% T(n,k,m)=Tc; % Дляx,y
% T(m,n,k)=Tc; % Дляy,z
T(m,k,n)=Tc; % Дляx,z
end %x
end%y
end%z

```

Команды формирования исходных данных и запуска расчета (Commandwindow).

```

>> x=[1:-0.01:-5]; % Задание координатной сетки
>> y=[-3:0.01:3];
>> z=[0:0.01:1];
>> T=sloypr(x,0,z,10000,1,1); % Вызов функции с фактическими параметрами
>>vp=[1500 1100 865 760 600]; % Задание значений температур изолиний
>>contour(x,z,T,vp) % Построение изолиний в плоскости xz
>>grid% Нанесение координатной сетки

```

### Программа расчета термических циклов указанных точек для плоского слоя

```

function T=sloytc(tim,y,z,q,v,del);
% Расчет термических циклов точек плоского слоя
% в предельном состоянии.
%
% _____
% ФОРМАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ
% tim - вектор значений времени;
% y - вектор координаты y;
% z - вектор координаты z;
% q - мощность источника нагрева;
% v - скорость сварки;
% del - толщина слоя
%
% _____
% Пример задания исходных данных (в командном окне):
%>>tim=[0:0.1:100]; % (с)
%>>y=[1 1.5 2 2.5 3]; % (см)
%>>z=0; % (см)

```

```

%>>q=7500;          %(Вт)
%>>v=0.5;           %(см/с)
%>>del=1;           %(см)
%
lam=0.38;           % Коэффициент теплопроводности, Вт/(см К)
a=0.1;              % Коэффициент температуропроводности, см2/с.
cro=lam/a;          % Коэффициент удельной объемной теплоемкости.

nt=length(tim);     % Определение длины вектора времени
ny=length(y);       % Определение длины векторов координат
nz=length(z);

qr=q/(2*pi*lam);    % Промежуточные вычисления (см. формулу)
va=v/(2*a);

for m=1:1:nz;        % Организация циклического вычисления
zc=z(m);            % - по координате z;
for n=1:1:ny;        % - по координате y;
yc=y(n);
for k=1:1:nt;        % - по времени.
x=-v*tim(k);

Tc=0;                % Обнуление суммы
for nf1=1:1:21;      % Организация циклического суммирования
nf=nf1-10;           % фиктивных источников, ограниченных номером 21

R=sqrt(x^2+yc^2+(zc-2*nf*del)^2); % Радиус-вектор источника nf

if R<del/1000
    R=del/1000; % Контроль деления на ноль
end% if

dT=qr/R*exp(-va*(R+x)); % Формула 2.26
Tc=Tc+dT;           % Суммирование температур действительного и
                    % фиктивных источников

end %nf1
ifTc>1500           %Ограничение расчетного значения
Tc=1500;            % температурой плавления стали.
end %if
T(k)=Tc;            % Формирование термического цикла точки уз
end %tim
[Tm,kmax]=max(T);  % Расчет максимальной температуры
T1=T(kmax:nt);     %Формирование ветви охлаждения
tim1=tim(kmax:nt)-tim(kmax); % термического цикла
                    %plot(tim1, T1)           % Построение ветви охлаждения
plot(tim-tim(1),T) % Построение всего ТЦ.
holdon% Наложение ТЦ заданных (y или z) точек на один график.
end %y
end %z
grid                % Нанесение координатной сетки
plot(tim1, T1)      % Построение ветви охлаждения
                    %plot(tim-tim(1),T)      % Построение всего ТЦ.

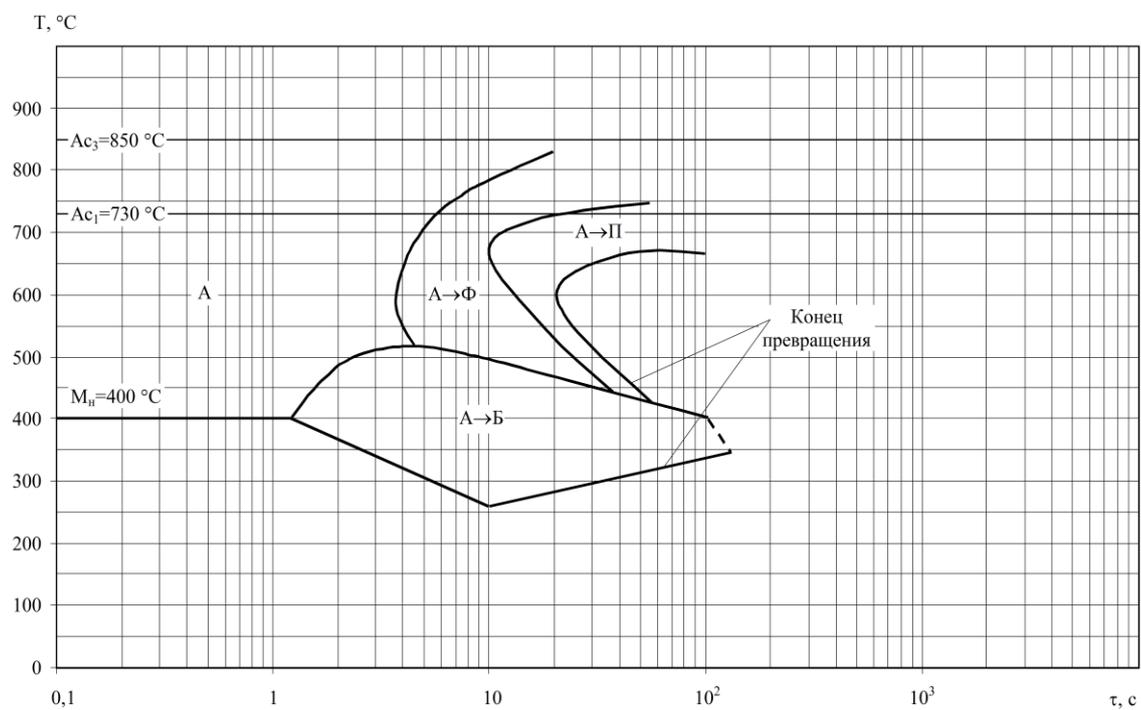
```

## Термокинетические диаграммы распада аустенита

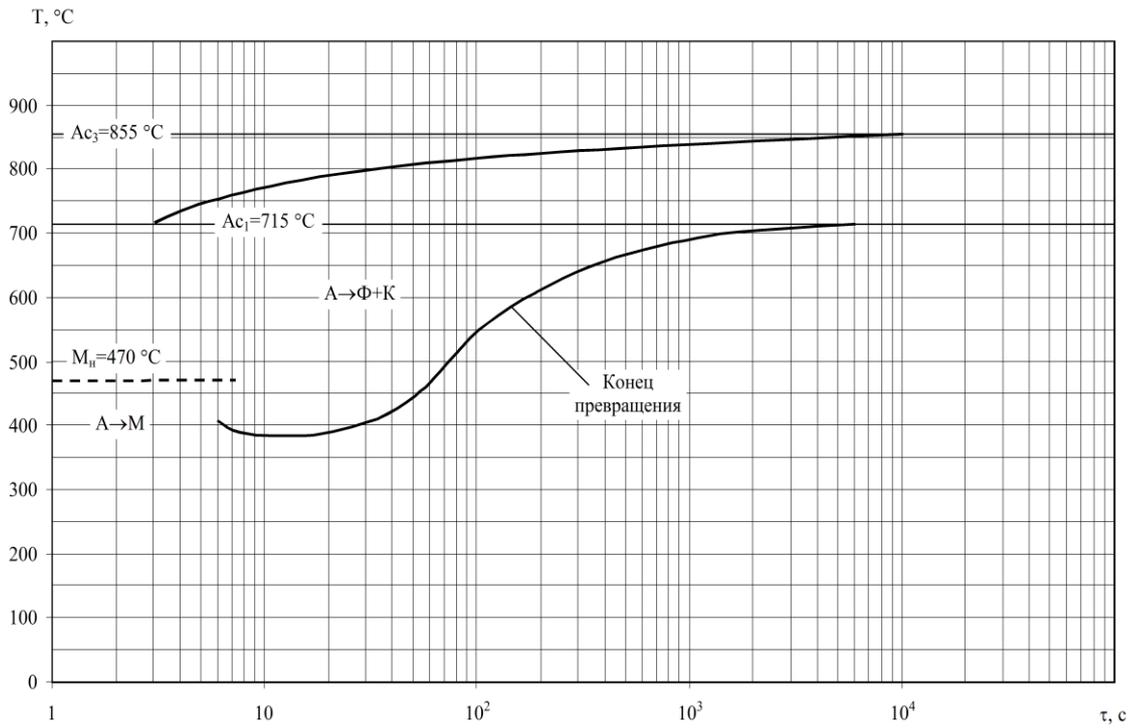


Рис. 19

## Термокинетическая диаграмма стали 15Г2С



Термокинетическая диаграмма стали 20кп



Термокинетическая диаграмма стали 08Г2С

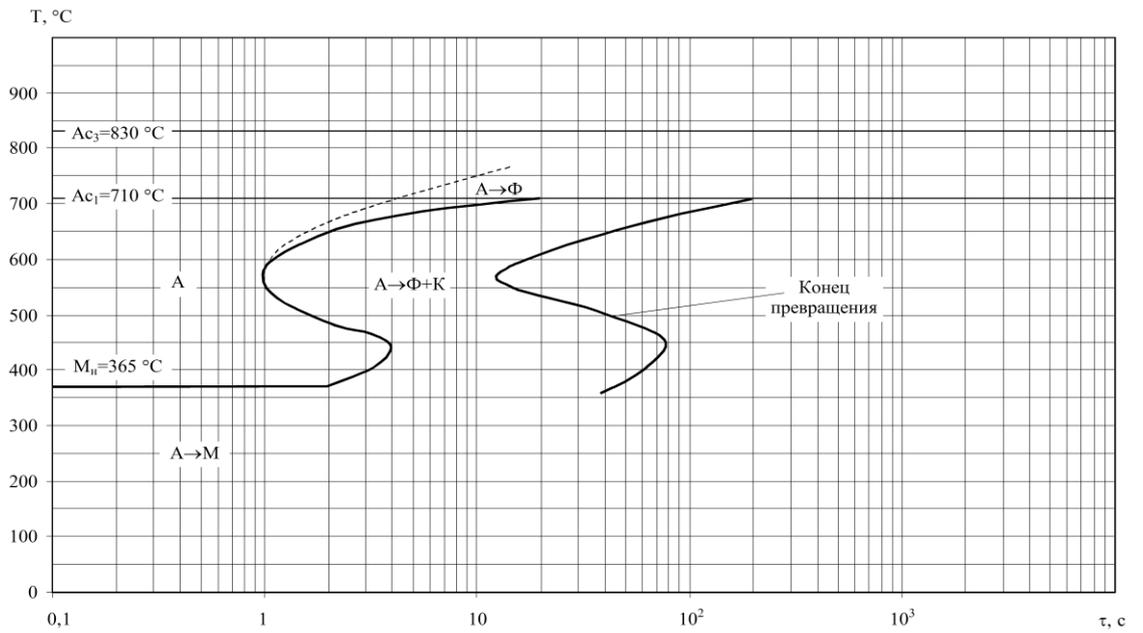
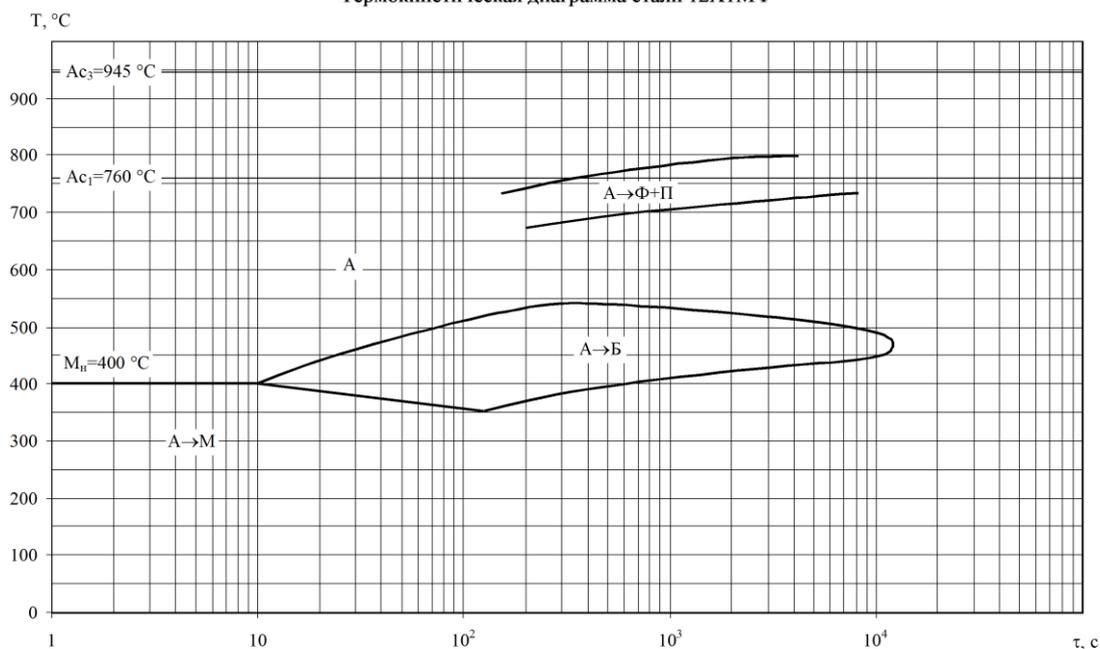


Рис. 10

Термокинетическая диаграмма стали 12Х1МФ



### Список литературы

1. Негода Е.Н. Тепловые процессы при сварке.- Учебное пособие. – Владивосток.: Издательство ДВГТУ, 2008.-109с.
2. Лыков А.В. Теория теплопроводности. - М.: Высшая школа, 1964. - 599 с.
3. Недосека А.Я. Основы расчета сварных конструкций. – К.: Выщ. Шк.: Головное изд., 1988.-263с.
4. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. - М.: Мир, 1979. - 392 с.
5. Кархин В.А. Тепловые процессы при сварке: Учебное пособие. – Л.: Ленингр. гос. техн. ун-т., 1990.-100с.
6. Рыкалин Н.Н. Расчеты тепловых процессов при сварке. - М.: Машгиз, 1951.-296 с.
7. Ануфриев И.Е. Самоучитель MatLab 5.3/6.x. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 736 с.
8. Дьяконов В.П. MATLAB 6.0/6.5/6.5+SPI Simulink 4/5: Обработка сигналов и изображений. - М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 592 с.