

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Амурский государственный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Зав. кафедрой энергетики
_____ Ю.В. Мясоедов
« ___ » _____ 2012 г.

МЕТАЛЛЫ В ЭНЕРГЕТИКЕ

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПО ДИСЦИПЛИНЕ

для специальности

140101.65 – «Тепловые электрические станции»

Составитель: В.В.Соловьев

Благовещенск
2012 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Аннотация	2
Рабочая программа дисциплины	3
1. Учебная программа дисциплины	6
2. Конспект лекций по дисциплине Материаловедение	15
3.Лабораторные работы	23

АННОТАЦИЯ

В рамках направления 650800 «Теплоэнергетика» на кафедре Энергетики реализуется подготовка дипломированного специалиста по специальностям 140101.65 «Тепловые электрические станции».

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Государственный образовательный стандарт предусматривает изучение курса "Металлы в энергетике" для специальностей.

Цель преподавания дисциплины - Основными целями изучения дисциплины являются:

- ознакомление с современными конструкционными материалами, используемыми при изготовлении и ремонте основного и вспомогательного энергетического оборудования;
- ознакомление с влиянием эксплуатационных нагрузок и вредных воздействий на долговечность работы металлов элементов оборудования;
- рассмотрение видов разрушения и способов обнаружения неисправностей в элементах энергетического оборудования;
- ознакомление со способами обеспечения требуемой долговечности металлов элементов оборудования при эксплуатации и ремонте.

В состав задач изучения дисциплины входят:

- изучить физико-химические свойства, классификацию и области применения металлов и сплавов, используемых в качестве конструкционных материалов элементов энергетического оборудования;
- освоить методику выбора конструкционного материала для деталей оборудования в зависимости от характеристик эксплуатационного воздействия;
- изучить основные виды разрушения элементов;
- освоить методы оценки технического состояния оборудования;
- освоить способы неразрушающего и разрушающего контроля металлов элементов, используемые на ОАО «Благовещенская тепловая централь».

Дисциплина базируется на курсах физика; химия; материаловедение; техническая механика.

1. ПРИНЦИП ПОСТРОЕНИЯ КУРСА

Курс состоит из лекционной части и лабораторных работ. На лабораторных работах проводятся опыты с металлами применяемыми в теплоэнергетике, закрепляются знания, полученные на лекциях и при самостоятельной работе с литературой.

2. ЛЕКЦИОННЫЙ КУРС

1. Свойства металлов и сплавов.
2. Состав сталей и сплавов
3. Классификация сталей, чугунов, цветных металлов
4. Стали и сплавы, применяемые для оборудования ТЭС
5. Условия работы металла на ТЭС
6. Термическая и термохимическая обработки металлов.
7. Сварка.
8. Виды разрушения металлов.
9. Разрушающий и неразрушающий контроль металлов

3. ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ

№ п/п	Номер раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ	Число часов
1	1	Испытание образца стали на растяжение	4
2	1	Испытание образца стали на ударную вязкость	4
3	1	Испытание на твердость по Бринеллю	2
4	2	Микроанализ углеродистой стали	2
5	8	Анализ разрушенных труб котла и лопаток турбин на ТЭЦ	4
6	9	Проведение контроля УЗК - дефектоскопом	2
ИТОГО:			18

4. ИНДИВИДУАЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТА

Включает изучение лекционного материала при подготовке к защите лабораторных работ, самостоятельную работу с рекомендуемой литературой и журналами научно-технического направления.

Контролирующие материалы (вопросы к зачету)

Примерный перечень вопросов к зачету по дисциплине.

1. Наличие отчетов по лабораторным работам.
2. Физические свойства сталей и сплавов.
3. Химические свойства сталей и сплавов.

4. Механические свойства сталей.
5. Технологические свойства металлов.
6. Основные компоненты сталей и сплавов.
7. Классификация углеродистых и легированных сталей.
8. Чугуны и их использование в энергетике
9. Цветные металлы и сплавы, и их использование в энергетике.
10. Условия работы металла паровых котлов.
11. Условия работы металла водогрейных котлов.
12. Условия работы металла турбин.
13. Условия работы металла арматуры.
14. Условия работы металла вспомогательного оборудования.
15. Виды разрушения металла (классификация).
16. Виды коррозионного разрушения котлов и турбин.
17. Эрозия поверхностей нагрева котлов.
18. Усталость элементов турбин и другого вращающегося оборудования.
19. Классификация способов разрушающего и неразрушающего контроля.
20. Входной контроль.
21. Контроль за металлом элементов оборудования в эксплуатации.
22. Контроль сварки.
23. Способы поддержания долговечности металла в эксплуатации.
24. Виды расчета прочностной долговечности элементов энергооборудования.

5.УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Основная литература:

1. Матюнин, Вячеслав Михайлович. Металловедение в теплоэнергетике [Текст] : учеб. пособие / В. М. Матюнин, 2008. - 328 с.
2. Эшби, Михаэль Ф. Конструкционные материалы. Полный курс [Текст] : [учеб. пособие] : пер. с 3 англ. изд. / М. Ф. Эшби, Д. Р.Х. Джонс ; под ред. С. Л. Баженова, 2010. - 672 с.

Дополнительная литература:

1. Антикайн П.А. Металлы и расчет на прочность котлов и трубопроводов [Текст] : производственно-практическое издание / П.А. Антикайн, 2001. - 440 с.
2. Конструкционные материалы [Текст] : справ. / ред. Б. Н. Арзамасов, 1990.- 688 с.
3. Металловедение и термическая обработка стали [Текст] : справ.: в 3 т. / ред. М. Л. Бернштейн, А. Г. Рахштадт. Т. 1 : Методы испытаний и исследования : в 2 кн., Кн. 1 , 1991

1. УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели и задачи дисциплины

Основными целями изучения дисциплины являются:

- ознакомление с современными конструкционными материалами, используемыми при изготовлении и ремонте основного и вспомогательного энергетического оборудования;
- ознакомление с влиянием эксплуатационных нагрузок и вредных воздействий на долговечность работы металлов элементов оборудования;
- рассмотрение видов разрушения и способов обнаружения неисправностей в элементах энергетического оборудования;
- ознакомление со способами обеспечения требуемой долговечности металлов элементов оборудования при эксплуатации и ремонте.

В состав задач изучения дисциплины входят:

- изучить физико-химические свойства, классификацию и области применения металлов и сплавов, используемых в качестве конструкционных материалов элементов энергетического оборудования;
- освоить методику выбора конструкционного материала для деталей оборудования в зависимости от характеристик эксплуатационного воздействия;
- изучить основные виды разрушения элементов;
- освоить методы оценки технического состояния оборудования;
- освоить способы неразрушающего и разрушающего контроля металлов элементов.

1.2 Требования к уровню освоения содержания дисциплины

В результате изучения дисциплины студенты должны:

1. Знать:

- свойства металлов и сплавов (химические, физические, механические и технологические);
- марки материалов, используемые в конструкциях основного и вспомогательного оборудования ТЭЦ, котельных и тепловых сетей;
- как меняются характеристики материалов в процессе эксплуатации под действием нагрузок и вредных воздействий;
- методы контроля состояния металла при приемке и эксплуатации оборудования.

2. Уметь:

- подобрать металл для того или иного типа элементов энергетического оборудования;
- определить механические свойства металлов и сплавов (пределы прочности, текучести, ударную вязкость, твердость);
- подобрать методы обеспечения необходимой долговечности металлов элементов в эксплуатации;

- оценить причину разрушения элементов энергетического оборудования.

3. Иметь представление:

- о новых способах повышения прочности и долговечности материалов;
- о новейших методах неразрушающего контроля элементов энергетического оборудования.

1.3 Место дисциплины в структурно – логической схеме Учебного плана

Перечень дисциплин Учебного плана, используемых при изучении дисциплины «Металлы в энергетике»:

- Физика;
- Химия;
- Материаловедение;
- Техническая механика.

Перечень дисциплин Учебного плана, в которых будут использоваться результаты изучения данной дисциплины:

- Котельные установки и парогенераторы;
- Паровые и газовые турбины;
- Источники и системы теплоснабжения предприятий;
- Дипломное проектирование.

1.4. Информация о дисциплине из ГОС

Индекс	Наименование дисциплин и их основные разделы	Всего часов
1	2	3
ОПД.3.18.1	<p>Металлы в энергетике: Свойства металлов и сплавов. Состав сталей и сплавов. Углеродистые стали. Легированные стали. Чугуны. Цветные металлы. Термическая и термомеханическая обработка. Сварка. Виды разрушения металлов. Влияние эксплуатации на свойства металлов конструкции. Виды разрушающего и неразрушающего контроля. Специальность 140101.65 «Тепловые электрические станции» Основные материалы, применяемые для основного и вспомогательного оборудования котельного и турбинного цехов ТЭЦ. Температурный режим работы металлов элементов ТЭЦ. Коррозионное и эрозионное воздействие дымовых газов. Специальность 140104.65 «Промышленная теплоэнергетика»</p>	60

	Основные материалы, используемые для оборудования промышленных котельных и тепловых сетей. Влияние водоподготовки на долговечность работы оборудования.	
--	---	--

1.5. Объем дисциплины и виды учебной работы

№п/п	Вид учебной работы	Всего часов	Семестр 6
1	Общая трудоемкость дисциплины	72	72
1.1	Аудиторные занятия	-	-
1.1.1	Лекции	36	36
1.1.4	Лабораторные занятия (ЛБ)	18	18
1.2	Самостоятельная работа студентов	18	18
2	Вид итогового контроля		зачет

1.6 Содержание дисциплины.

Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Лекции	ЛБ
1	2	3	4
	Специальность 140101.65 «Тепловые электрические станции»		
1	Свойства металлов и сплавов	*	*
2	Состав сталей и сплавов	*	*
3	Классификация сталей, чугунов, цветных металлов	*	
4	Стали и сплавы, применяемые для оборудования ТЭС	*	
5	Условия работы металла на ТЭС	*	
6	Термическая и термохимическая обработки металлов	*	
7	Сварка	*	
8	Виды разрушения металлов	*	*
9	Разрушающий и неразрушающий контроль металлов	*	*
	Специальность 140104.65 «Промышленная теплоэнергетика»		
1	Свойства металлов и сплавов	*	*
2	Состав металлов и сплавов	*	*
3	Классификация сталей, чугунов, цветных металлов	*	
4	Стали и сплавы, применяемые для оборудования котельных агрегатов	*	
5	Влияние водоподготовки на работу промышленных котельных	*	

6	Термическая и термохимическая обработка металлов	*	
7	Сварка	*	
8	Виды разрушения металлов	*	
9	Разрушающий и неразрушающий контроль металлов	*	*
10	Заключение	*	*

1.7. Содержание разделов дисциплины

1. Свойства металлов и сплавов

- физические свойства;
- химические свойства;
- механические свойства;
- технологические свойства.

2. Состав сталей и сплавов

- полезные составляющие сталей и сплавов;
- вредные примеси.

3. Классификация сталей, чугунов, цветных металлов

- классификация и маркировка углеродистых и легированных сталей;
- классификация и маркировка чугунов;
- классификация и маркировка медных, алюминиевых и магниевых сплавов.

4. Стали и сплавы, применяемые для оборудования ТЭС

- металлы котельных установок, их состав и основные свойства;
- металлы турбинных установок, их состав и основные свойства;
- металлы вспомогательного оборудования.

5. Условия работы металла на ТЭС

- температурный режим работы;
- нагрузки в основном и вспомогательном оборудовании ТЭС;
- вредные воздействия на металлооборудования в процессе эксплуатации ТЭС.

6. Стали и сплавы, применяемые для оборудования котельных и тепловых сетей

- металлы промышленных котельных установок, их состав и основные свойства;
- металлы тепловых сетей, их состав и основные свойства;

7. Влияние водоподготовки на работу промышленных котельных

- влияние коррозионной среды на металл оборудования;
- основные способы водоподготовки;
- долговечность работы металла как функция качества водоподготовки.

8. Термическая и термохимическая обработка металлов

- виды термической и термохимической обработки;
- исследование приемов термической и термохимической обработки для поддержания долговечности металла оборудования;
- обработка металла давлением.

9. Сварка

- классификация сварки;
- сварочные материалы;
- использование сварки при монтаже и ремонте энергетического оборудования.

10. Виды разрушения металлов

- классификация видов разрушения металлов конструкций;
- виды разрушения, характерные для теплоэнергетического оборудования.

11. Разрушающий и неразрушающий контроль металлов

- классификация способов разрушающего контроля;
- классификация методов неразрушающего контроля;
- виды контроля металлов элементов оборудования

12. Заключение

2. Лабораторный практикум

№ п/п	Номер раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ
1	1	Испытание образца стали на растяжение
2	1	Испытание образца стали на ударную вязкость
3	1	Испытание на твердость по Бринеллю
4	2	Микроанализ углеродистой стали
5	2	Стилоскопирование легированной стали
6	8	Анализ разрушенных труб котла и лопаток турбин на ТЭЦ
7	9	Проведение контроля магнитопорошковым методом
8	9	Проведение контроля УЗК - дефектоскопом

3. Рекомендуемое обеспечение дисциплины

3.1. Методическое обеспечение дисциплины

2. Пособие по курсу лекций;
3. Методическое пособие по выполнению лабораторных работ.

3.2. Информационно- библиотечное обеспечение

а). Основная литература

1. Антикайн П.А. Металлы и расчет на прочность котлов и трубопроводов. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 368с.

2. Туляков Г.А. , Скоробогатов В.Н., Гриневский В.В. Конструкционные материалы для энергомашиностроения. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 421с.

3. Никитина И.К. Справочник по трубопроводам электрических станций – М.: Энергоатомиздат, 1983. -168 с.

б). Дополнительная литература

4. Троянский Е.Д. Металлы котлостроения и расчет на прочность паровых котлов. – М.: Энергия, 1964. – 206с.

5. Свойства сталей и сплавов применяемых в котлотурбостроении. – Л.: ЦКТИ, 1996, Вып. 16.

6. Должанский П.Р. Контроль надежности металла объектов котлонадзора. – М.: Недра, 1983.

7. Гуляев А.П. Металловедение. – М.: Металлургия, 1977. -506 с.

3.3. Средства обеспечения освоения дисциплины

Не предусматриваются.

3.4. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины

Примерный перечень вопросов к зачету по дисциплине.

1. Наличие отчетов по лабораторным работам.

2. Физические свойства сталей и сплавов.

3. Химические свойства сталей и сплавов.

4. Механические свойства сталей.

5. Технологические свойства металлов.

6. Основные компоненты сталей и сплавов.

7. Классификация углеродистых и легированных сталей.

8. Чугуны и их использование в энергетике

9. Цветные металлы и сплавы, и их использование в энергетике.

10. Условия работы металла поровых котлов.

11. Условия работы металла водогрейных котлов.

12. Условия работы металла турбин.

13. Условия работы металла арматуры.

14. Условия работы металла вспомогательного оборудования.

15. Виды разрушения металла (классификация).

16. Виды коррозионного разрушения котлов и турбин.

17. Эрозия поверхностей нагрева котлов.

18. Усталость элементов турбин и другого вращающегося оборудования.

19. Классификация способов разрушающего и неразрушающего контроля.

20. Входной контроль.

21. Контроль за металлом элементов оборудования в эксплуатации.

22. Контроль сварки.
23. Способы поддержания долговечности металла в эксплуатации.
24. Виды расчета прочностной долговечности элементов энергооборудования.

4. Система контроля качества подготовки по дисциплине

Контрольные вопросы:

25. Физические свойства сталей и сплавов.
26. Химические свойства сталей и сплавов.
27. Механические свойства сталей.
28. Технологические свойства металлов.
29. Основные компоненты сталей и сплавов.
30. Классификация углеродистых и легированных сталей.
31. Чугуны и их использование в энергетике
32. Цветные металлы и сплавы, и их использование в энергетике.
33. Условия работы металла поровых котлов.
34. Условия работы металла водогрейных котлов.
35. Условия работы металла турбин.
36. Условия работы металла арматуры.
37. Условия работы металла вспомогательного оборудования.
38. Виды разрушения металла (классификация).
39. Виды коррозионного разрушения котлов и турбин.
40. Эрозия поверхностей нагрева котлов.
41. Усталость элементов турбин и другого вращающегося оборудования.
42. Классификация способов разрушающего и неразрушающего контроля.
43. Входной контроль.
44. Контроль за металлом элементов оборудования в эксплуатации.
45. Контроль сварки.
46. Способы поддержания долговечности металла в эксплуатации.
47. Виды расчета прочностной долговечности элементов энергооборудования.

Критерии оценки результатов

В результате изучения дисциплины студенты должны:

1) Знать:

- свойства металлов и сплавов (химические, физические, механические, термические);
- марки материалов, используемых в конструкциях основного и вспомогательного оборудования ТЭС, котельных и тепловых сетей;
- как меняются характеристики материалов в процессе эксплуатации под действием нагрузок и внешних воздействий;
- виды разрушений материалов элементов энергооборудования;

- методы контроля состояния металла при приемке и эксплуатации оборудования.

2) Иметь представление:

- о новых способах повышения прочности и долговечности материалов;
- о новейших методах неразрушающего контроля элементов энергетического оборудования.

Контрольные задания по проверке умений и навыков

Подобрать металл для того или иного типа элементов энергетического оборудования.

Критерии оценки результатов

1) Умения:

- определить механические свойства металлов и сплавов (пределы прочности и текучести, ударную вязкость, твердость);
- определить стилоскопированием состав стали;
- подобрать методы обеспечения необходимой долговечности металлов элементов в эксплуатации (термическая или термохимическая обработка, обработка давлением).

2) Навыки:

- оценить причину разрушения элемента энергетического оборудования.
- Итоговый результат контроля качества подготовки студента по дисциплине – зачет.

5. Рекомендуемое обеспечение дисциплины

5.1. Методическое обеспечение дисциплины

2. Пособие по курсу лекций;
3. Методическое пособие по выполнению лабораторных работ.

5.2. Информационно- библиотечное обеспечение

а). Основная литература

1. Антикайн П.А. Металлы и расчет на прочность котлов и трубопроводов. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 368с.
2. Туляков Г.А. , Скоробогатов В.Н., Гриневский В.В. Конструкционные материалы для энергомашиностроения. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 421с.
3. Никитина И.К. Справочник по трубопроводам электрических станций – М.: Энергоатомиздат, 1983. -168 с.

б). Дополнительная литература

4. Троянский Е.Д. Металлы котлостроения и расчет на прочность паровых котлов. – М.: Энергия, 1964. – 206с.
5. Свойства сталей и сплавов применяемых в котлотурбостроении. – Л.: ЦКТИ, 1996, Вып. 16.
6. Должанский П.Р. Контроль надежности металла объектов котлонадзора. – М.: Недра, 1983.
7. Гуляев А.П. Металловедение. – М.: Металлургия, 1977. -506 с.

в) Учебные пособия, методические указания и другие методические материалы

- 8) РД 10-262-98; РД 153-34.1-17.421-98. Типовая инструкция по контролю металла и продлению срока службы основных элементов котлов, турбин и трубопроводов тепловых электростанций. – М.: ОРГРЭС, 1999-115с.
- 6. Оценка качества учебной и рабочей программ дисциплины**

2. КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

Элементы энергооборудования в основном выполняют из углеродистой и легированных сталей и чугуна. Используются также цветные металлы и ряд неметаллических материалов, в частности, изоляционных.

Рассматриваются свойства материалов, их состав, маркировка сталей, чугунов и цветных металлов, основы термической и термохимической обработки, виды поверхностного пластического деформирования, основные виды разрушения металлов и повреждения элементов энергооборудования, вызываемые этими разрушениями, а также некоторые методы обнаружения повреждений элементов.

1. СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ

Выбор того или иного материала для элемента конструкции, технологии изготовления этого элемента, способа монтажа узлов и конструкции в целом определяется его свойствами. Основные группы свойств материалов следующие:

- Химические
- Физические
- Механические
- Технологические

Здесь рассматриваются только те свойства материалов, которые интересны с точки зрения работы деталей в энергетических машинах и устройствах.

Химические свойства

В первую очередь, к ним относятся коррозионная стойкость материалов и термостойкость (окалиностойкость). Коррозия является одним из основных видов разрушения металлов в энергетике. Существует не менее двух десятков видов коррозии, и нет материалов, которые не были бы ей подвержены в той или иной степени. С коррозией связано большое число повреждений деталей и узлов энергооборудования. Поэтому для наиболее ответственных деталей выбираются самые коррозионностойкие материалы.

С учетом влияния коррозии выбирается и толщина стенок деталей.

Термостойкость материала определяется толщиной слоя окалины, которая образуется на ряде деталей, например, на котельных трубах, работающих под действием высокотемпературных дымовых газов. Для таких элементов применяются только высококачественные легированные стали, которые могут проработать в таких условиях не менее 30 лет.

Физические свойства

Для энергооборудования наибольшее значение имеют теплопроводность и температуропроводность.

Теплопроводность металлов играет определяющую роль для поверхностей нагрева котлов и элементов теплообменников. Чем выше теплопроводность у этих элементов, тем выше к.п.д. котлов и теплообменников.

Процессу передачи тепла противодействуют отложения на внутренней и наружной поверхности труб. Отложения на внутренней поверхности труб вызываются недостаточно высоким качеством воды. Устраняются отложения периодической промывкой трубной системы, а также обработкой веществами, создающими пленку, препятствующую образованию отложений. Отложения на наружной поверхности – это отложения шлака на части поверхностей. Шлак периодически сбивается с помощью водяной или паровой пушки. В Иркутской области паровые котлы проектировались на использование умеренно шлакующихся углей, поэтому проблемы возникают при использовании непроектных углей.

Для изоляционных материалов важна наименьшая теплопроводность материала. Одним из основных показателей является также и продолжительность сохранения соответствующего свойства.

Учет температуропроводности, т.е. того факта, что скорость прогрева конечна, очень важен для толстостенных элементов энергооборудования. К таковым относятся, например, корпуса турбин, элементы паровпуска, барабаны котлов и т.п. Если не ограничивать скорость прогрева таких элементов, то появляются дополнительные термические напряжения, приводящие к образованию термоусталостных трещин. Самыми повреждающими режимами с этой точки зрения являются пуско-остановочные режимы и перемены нагрузки. Их нужно проводить со скоростью, позволяющей безболезненный прогрев элементов.

Существует еще ряд свойств, таких как морозостойкость, влагонасыщаемость и т.д., которые важны для бетонов, кирпича и других подобных материалов, но здесь не рассматриваются.

Прочностные свойства

Из большого числа прочностных свойств будут рассмотрены следующие:

- прочность,
- упругость,
- пластичность,
- твердость,
- ударная вязкость,
- выносливость,
- длительная прочность.

Прочность – это способность конструкции выдерживать нагрузки на разрушающуюся. Она характеризуется пределом прочности (временной прочностью) σ_B .

Упругость – способность детали после снятия нагрузки возвращаться к исходным геометрическим размерам. Характеризуется пределом упругости σ_y .

Под пластичностью понимают возможность формоизменения металла без разрушения, что позволяет изготавливать детали методами деформирования –ковки, прокатки и т.д., гнуть трубы и т.п.

Твердость – это способность одного твердого тела противостоять проникновению в него другого твердого тела. Проверяется вдавливанием в поверхность металла закаленного шарика или алмазной пирамидки и сравнением величины полученного отпечатка с имеющимися в альбоме значениями.

Ударная вязкость характеризует способность материала противостоять развитию трещины хрупкого разрушения. Проверяют ударную вязкость испытанием образца с надрезом, причем образец нагревают или охлаждают до температуры эксплуатации детали.

Перечисленные характеристики обычно приводятся в сертификатах на поставляемый металл.

Если нагрузка на детали переменна, то при расчетах на прочность производится проверка на выносливость. Для каждого металла с учетом способа изготовления детали существует зависимость числа циклов переменного нагружения до разрушения от амплитуды этого нагружения. Если амплитуда нагрузки велика, то число циклов до разрушения мало. В противном случае, число циклов велико. Наконец, имеется такой размах нагрузок, когда можно считать, что разрушения не произойдет при достаточно большом числе циклов. Наибольший из таких размахов носит наименование предела выносливости.

Для элементов энергооборудования, работающих при температурах 450 °С и выше рабочие напряжения ограничиваются пределом длительной прочности – напряжением, под действием которого размер детали увеличится из-за ползучести на 1% за $2 \cdot 10^5$ часов, (30 лет эксплуатации). Под ползучестью понимается процесс накопления необратимой пластической деформации под действием нагрузки и высокой температуры.

Технологические свойства

К ним относятся: жидкотекучесть – способность металла в расплавленном состоянии заполнять целиком литейную форму; деформируемость – способность подвергаться обработке давлением; обрабатываемость - способность подвергаться обработке на металлообрабатывающих станках и свариваемость – способность металла при сварке не образовывать горячих или холодных трещин.

2. ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫЕ СПЛАВЫ

К ним относятся стали и чугуны. Рассмотрим их состав.

Железо в сплавах существует в основном в двух формах - α -железо, которое существует при температурах до $910\text{ }^{\circ}\text{C}$ и γ -железо, температурная область существования выше $910\text{ }^{\circ}\text{C}$. Это две формы одного и того же железа, которые различаются плотностью кристаллической решетки и способностью растворять углерод, причем γ -железо растворяет значительно большее количество углерода.

Углерода в рассматриваемых сплавах от 0.05% до 6.67%. Последнее число относится к цементиту – химическому соединению железа и углерода Fe_3C . Содержание углерода в сплаве, которое разделяет сталь и чугун – 2.14%. На самом деле в стали углерода от 0.05% до 1.3%, при этом чем больше углерода, тем сталь прочнее и тверже, менее пластична, лучше обрабатывается на станках, но хуже сваривается. По содержанию углерода стали делятся на

- строительные (от 0.05% до 0.25%) – средней прочности, очень пластичные, не закаляются, свариваются любыми способами сварки;
- машиностроительные (от 0.3% до 0.6%) – прочные, прекрасно обрабатываются, закаляются;
- инструментальные (от 0.7% до 1.3%) – очень прочные и твердые.

В чугунах углерода от 2.8% до 3.8%.

Кроме углерода в состав сталей входят кремний Si (до 0.5%) и марганец Mn (до 0.8%) - так называемые раскислители. Появляются они в стали при выплавке ее из чугуна в сталеплавильных печах. Чтобы связать лишний углерод вдувают кислород. Когда углерода остается нужное количество, чтобы остановить процесс и связать оставшийся кислород, добавляют раскислители, часть которых остается в стали. В указанном здесь количестве кремний и марганец на свойства стали не влияют. Если раскислители при варке добавляют непосредственно в печь, то разливают полностью готовую сталь. Ее называют спокойной и обозначают «сп». Т.к. время варки ее самое большое, то она самая дорогая. Если раскислители добавляют в ковш, то сталь называют кипящей, обозначают «кп», такая сталь самая дешевая, т.к. время варки минимальное. Промежуточный вариант носит наименование полуспокойной стали и обозначается «пс». Кипящие стали применяют для неответственных деталей и невысокой нагрузки.

К вредным примесям стали относятся сера (до 0.05%) и фосфор (до 0.05%). Сера и фосфор ухудшают механические характеристики сталей. Кроме того, сера способствует красноломкости (разрушению при обработке при температуре порядка $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$), а фосфор – хладноломкости (хрупкому разрушению при низких температурах). Чем меньше вредных примесей, тем выше качество стали. При указанном количестве серы и фосфора сталь считается обыкновенного качества. Если каждой из примесей меньше

0.035%, сталь называется качественной, если меньше 0.025% - высокого качества (при маркировке указывается в конце буква А).

Кроме этих примесей еще имеются вредные газы, снижающие прочность стали.

3. МАРКИРОВКА СТАЛИ

Углеродистые стали обыкновенного качества обозначают буквами Ст. и условным номером марки от 0 до 6. Чем выше номер, тем больше количество углерода. Если гарантированы механические характеристики, перед буквами ставят А. При этом химический состав не гарантируется. Если гарантируется только химический состав, ставят букву Б, буква В обозначает гарантию и того и другого. Указывается также и способ раскисления.

Например, марка трубопроводной стали: Сталь ВСт.Зпс, применяемой для распределительных трубопроводов тепловых сетей.

Углеродистые стали качественные конструкционные поставляются с гарантированными химическим составом и механическими свойствами. Их маркируют двузначными числами, которые обозначают количество углерода в сотых долях процента. Указывается также способ раскисления. Если сталь спокойная, ничего не указывается.

Например, сталь, из которой изготовляют экранные поверхности, экономайзеры, воздухоподогреватели и другие элементы котлов высокого и среднего давления, работающих при температурах не выше 380 °С: Сталь 20.

Имеются углеродистые стали специального назначения, например, листовые котельные стали для изготовления сосудов под давлением: 18К, 20К, 22К.

Инструментальные стали маркируют буквой У и числом, обозначающим количество углерода в десятых долях процента, например, сталь для напильников У12.

4. ЛЕГИРОВАННЫЕ КОНСТРУКЦИОННЫЕ СТАЛИ

Легирование производится для улучшения физических, химических, прочностных и технологических свойств сталей. Его проводят введением в состав различных легирующих элементов, которые придают им специальные свойства.

По массе добавок, легированные стали подразделяются на низколегированные (до 2.5% добавок), среднелегированные (от 2.5% до 10%) и высоколегированные (свыше 10%).

Марка качественной легированной стали состоит из сочетания букв и цифр, обозначающих ее химический состав. Легирующие элементы имеют следующие обозначения: хром (Х), никель (Н), марганец (Г), кремний (С), молибден (М), вольфрам (В), титан (Т), алюминий (Ю), ванадий (Ф), медь (Д), бор (Р), ниобий (Б), кобальт (К). Первые две цифры марки указывают

содержание углерода в сотых долях процента. Число после буквенного обозначения химического элемента указывают на его содержание в процентах. Если число не указано, то содержание его в составе менее 1%. В качестве примера приводятся сталь для первых ступеней пароперегревателя котлов высокого давления – 12Х1МФ, последней ступени – 12Х18Н12Т или приходящая ей на замену сталь 10Х13Г12БС2Н2Д2 (ДИ-59).

5. ЧУГУНЫ

Чугуны бывают белые и серые

Белый чугун имеет сталистый цвет, углерод в его составе находится в химически связанном состоянии в виде цементита. Большая часть – свыше 95% - этого чугуна идет на переплавку в сталь. Из оставшейся части отливают заготовки. Затем эти заготовки подвергают длительной (свыше двух суток) термообработке, после которой белый чугун превращается в ковкий с выделившимся графитом хлопьевидной формы. Эти чугуны широко применяются в промышленности. В частности из них изготавливают коленвалы, корпуса и т.п. Примеры маркировки: КЧ35-10, КЧ60-3. Буквы обозначают «ковкий чугун», первое число – предел прочности при растяжении в кг/мм², второе – относительное удлинение в %.

В серых чугунах большая часть углерода в свободном состоянии в виде игл или дисков, что придает отливкам серый цвет. Серые чугуны широко используют в энергетике для отливок корпусов, работающих при температурах ниже 250 °С. При маркировке указывается только предел прочности на растяжение, т.к. пластичностью эти чугуны не обладают вовсе: СЧ15, СЧ30, СЧ45. Если серый чугун расплавить и добавить порошок магнезия, углерод приобретает шаровидную форму. При этом чугун становится высокопрочным и приобретает некоторую пластичность. Маркируется он аналогично ковким чугунам: ВЧ42-12, ВЧ80-3, ВЧ120-4. Из такого чугуна изготавливают, например, литой направляющий аппарат паровых турбин.

6. ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ

В теплоэнергетике наиболее используемыми являются сплавы меди и антифрикционные сплавы.

Латуни

Латунями называют сплавы меди с цинком (до 45%). Простые латуни содержат только медь и цинк. Маркировка следующая: Л70, Л96. Буква Л обозначает латунь, число – количество меди в процентах. Простые латуни используются в теплообменниках и маслопроводах. Если по прочностным характеристикам простые латуни не подходят, применяют специальные, например, ЛАЖМц66-6-3-2, в которой содержится 66% меди, 6% алюминия, 3% железа и 2% марганца.

Бронзы

Бронзами называют сплавы меди с оловом, алюминием, кремнием, марганцем, свинцом, бериллием. Бронзы обладают высокой стойкостью против коррозии, хорошими литейными и антифрикционными свойствами. Для повышения прочности их можно легировать. Маркируют их буквами Бр. Например БрОЦС5-5-5 обозначает, что бронза содержит олова, свинца и цинка по 5%, остальное медь (85%).

Баббиты

Используются для заливки опорных и упорных подшипников. Такой материал должен быть достаточно мягким и пластичным, обладать хорошими антифрикционными свойствами (износоустойчивостью, прирабатываемостью к шейке вала, малым коэффициентом трения) и в тоже время достаточно прочным и твердым, чтобы выдержать нагрузку. Поэтому применяют высокооловянистый баббит Б-83 – сплав на основе олова с содержанием 10-12% сурьмы и 5.5-6.5% меди. В менее напряженных подшипниках используют баббит Б-16 на основе свинца с 15% олова, 15% сурьмы и 1.5-2% меди.

7. ОСНОВЫ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Термическая обработка состоит в изменении структуры металла или сплава при нагревании выдержке и охлаждении с соблюдением установленных режимов. При этом существенно изменяются свойства стали при неизменном химическом составе.

Основными видами термической обработки являются отжиг, нормализация, закалка, отпуск.

Отжигом называется нагрев до определенной температуры с последующей выдержкой и медленным охлаждением в печи для получения равновесной, менее твердой структуры, свободной от остаточных напряжений. Существует не менее десятка разных видов отжига, которые различаются температурой нагрева и типом преобразования структуры металла.

Нормализация отличается от отжига тем, что охлаждение проводится на воздухе. В результате такой термообработки нормализуется структура металла и частично снимаются внутренние напряжения.

Закалка предназначена для существенного повышения прочности и твердости материала деталей. Заключается в нагреве до высокой температуры закаливаемой детали, выдержке для прогрева ее на нужную глубину, затем быстром охлаждении в закалочной среде – воде, масле, эмульсии и т.д. Закалка бывает объемной и поверхностной. В теплоэнергетике чаще используется поверхностная, например, для шпонок.

Отпуск всегда проводится после закалки для снятия остаточных напряжений, повышения пластичности при некотором снижении прочности. Осуществляется отпуск также как нормализация.

Химико-термическая обработка стали

Это процесс, сочетающий насыщение поверхностного слоя детали тем или иным элементом при высокой температуре и термическом воздействии, в результате которых происходит изменение химического состава, микроструктуры и свойств поверхностного слоя детали. Основными видами химико-термической обработки являются:

- от 0.5 до 2 мм с цементация – насыщение поверхностного слоя углеродом на глубину науглероживанием до 1%;
- азотирование – насыщение поверхностного слоя азотом для повышения твердости, износо - и коррозионной стойкости поверхности детали. Глубина азотированного слоя 0.3-0.6 мм;
- цианирование – насыщение для тех же целей поверхности детали одновременно углеродом и азотом;
- диффузионная металлизация – процесс диффузионного насыщения поверхностного слоя детали различными металлами – алюминием (повышает коррозионную стойкость), хромом (высокая стойкость при работе в кислотах и морской воде), бором (для придания высокой прочности) и т.д.

3. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ №1

Определение химического состава трубопроводной стали (качественный анализ).

Проводится на универсальном стилоскопе ЛСУ. Принцип действия стилоскопа заключается в следующем: с помощью электрической дуги между электродом стилоскопа и испытуемом металлом элемента или с помощью искры над анализируемой площадкой элемента образуется пар металла. Пропуская через пар свет посредством оптической системы стилоскопа получают спектр со спектральными линиями.

Рисунок 1- Общий вид универсального стилоскопа

1- блок питания; 2- источник света; 3- стилоскоп; 4- крепежное устройство; 5- подсветка; 6- подставка; 7- выдвижной винт; 8- рельс; 9- кабель

Рисунок 2- Оптическая принципиальная схема стилоскопа

1- дуга; 2- сменное защитное стекло; 3- постоянное защитное стекло; 4- призма; 5- линза; 6- пластина с щелью; 7- объектив; 8- неподвижная диспергирующая призма; 9- поворотная диспергирующая призма; 10- призма; 11- окуляр

Порядок работы с универсальным стилоскопом

Качественный анализ проб основан на том, что каждый химический элемент имеет присущий только ему набор спектральных линий с определенными длинами волн. Наличие или отсутствие в спектре линий того или иного элемента указывает на наличие или отсутствие этого элемента в анализируемой пробе.

При частичном качественном анализе нужно определить, присутствуют ли в анализируемой пробе один или несколько заранее заданных элементов, т.е. определить наличие в спектре линий, характерных для искомым элементов. При полном качественном анализе, когда требуется установить состав пробы, необходимо идентифицировать все линии спектра с линиями элементов, наличие которых возможно в данной пробе. Таким образом, в любом случае качественного анализа необходимо определять длины волн линий, имеющих-ся в спектре проб.

После проверки выполняются следующие операции:

- устанавливают блок питания генератора в необходимый режим работы тумблером «дуга - искра», расположенным на блоке питания; во избежание

- поломки генератора не рекомендуется во время работы переключать блок питания с одного режима на другой;
- подключают к стилоскопу блок питания через соответствующие разъемы соединительных приборов и выполняют заземление корпуса блока питания заземленным гибким проводом;
 - подключают блок питания при помощи штапельной розетки к сети;
 - после загорания сигнальной лампочки устанавливают электрод прибора;
 - включают пусковую кнопку выключателя, который находится на ручке стилоскопа и наклоняют прибор к большей площадке до тех пор, пока не загорится дуга (искра);
 - после загорания дуги перемещением электрода по аналитической площадке необходимо добиться устойчивого ее горения, при этом дуга должна гореть спокойно, не давая монотонный звук.

Выполняют спектральный анализ в следующей последовательности:

- наблюдая спектр через окуляр и регулируя поворотной призмой с помощью рукоятки и кольца окуляра устраивают размытость линий и недостаточную яркость спектра;
- после получения спектра с четкими линиями и достаточной яркостью, вращая маховичок барабана, выходя в середину поля зрения требуемую область спектра;
- установкой окуляра добиваются максимальной резкости спектральной линии и приступают к оценке содержания элементов в анализируемом образце.

ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ № 2

Исследование микроструктуры металлов

Проводится с помощью оптического микроскопа с увеличением 150 раз, позволяющим наблюдать объект (шлиф) в отраженном свете. Микрошлифа готовят путем тонкого шлифования образцов исследуемого металла элемента энергооборудования с последующим травлением.

Качественный анализ структуры для выявления неметаллических включений, размера зерна и рекристаллизации, наличия и распределения фаз, их ориентации и видоизменений в зависимости от технологии изготовления и воздействий условий эксплуатации, определяют так же наличие дефектов в виде пор или трещин.

Результаты исследования микроструктуры оцениваются путем сравнения эталонами из атласов ГОСТов и ГТМ.

Дефектоскопия элементов энергооборудования методами неразрушающего контроля.

Общие положения

Все дефекты, как известно, вызывают изменение одной или нескольких физических характеристик металлов и их сплавов - плотности, электропро-

водности, магнитной проницаемости, упругих свойств и т. д. Исследование изменений характеристик металлов и обнаружение дефектов, являющихся причиной этих изменений, составляет физическую основу методов неразрушающего контроля (МНК). Эти методы основаны на использовании проникающих излучений (рентгеновского и гамма-излучений, ультразвуковых и звуковых колебаний, магнитных и электромагнитных полей, оптических спектров, явлений капиллярности и т. д.).

Неразрушающий контроль (НК) классифицируют на виды: акустический, магнитный, оптический, проникающими веществами, радиационный, радио-волновый, тепловой, электрический и электромагнитный. Вид неразрушающего контроля - это условная группировка методов НК, объединенная общностью физических характеристик.

Акустические методы основаны на регистрации упругих колебаний, возбужденных в контролируемом объекте; применяют для обнаружения поверхностных и внутренних дефектов (нарушений сплошности, неоднородности структуры, межкристаллитной коррозии, дефектов склейки, пайки, сварки и т. д.) в заготовках и изделиях, изготовленных из различных материалов. Они позволяют измерять геометрические параметры при одностороннем доступе к изделию, а также физико-механические свойства металлов и металлоизделий без их разрушения.

Магнитные методы основаны на регистрации магнитных полей рассеяния над дефектами или магнитных свойств контролируемого объекта; применяют для обнаружения поверхностных и подповерхностных дефектов в деталях и полуфабрикатах различной формы, изготовленных из ферромагнитных материалов. К ним относят магнитопорошковый, магнитографический, феррозон-довый, магнитоиндуктивный и другие методы.

Оптические методы основаны на взаимодействии светового излучения с контролируемым объектом. По характеру взаимодействия различают методы прошедшего, отраженного, рассеянного и индуцированного излучений. Последним термином определяют оптическое излучение объекта под действием внешнего воздействия, например, люминесценцию. Первичными информативными параметрами этих методов контроля являются амплитуда, фаза, степень поляризации, частота или частотный спектр, время прохождения света через объект, геометрия преломления и отражения излучения. Оптические методы широко применяют из-за большого разнообразия способов получения первичной информации. Возможность обнаружения наружных дефектов не зависит от материала контролируемого объекта.

Самым простым методом является органолептический визуальный контроль, с помощью которого находят наружные дефекты, отклонения от заданных формы, цвета и т. д. Применение луп, микроскопов, эндоскопов для контроля формы изделий, спроектированных в увеличенном виде на экран, значительно расширяет возможности визуально-оптического метода. Использование интерференции позволяет с погрешностью до 0,1 длины волны контролировать сферичность, шероховатость, толщину изделий. Дифракция

применима для контроля диаметров тонких волокон, толщины лент, форм острых кромок.

Оптическими методами широко контролируют и прозрачные объекты. В них обнаруживают макро- и микродефекты, структурные неоднородности, внутренние напряжения. Использование световодов, лазеров, оптической голографии, телевидения значительно расширяет область применения оптических методов.

Капиллярные методы основаны на капиллярном проникновении индикаторных жидкостей в полости поверхностных дефектов. При контроле этими методами на очищенную поверхность детали наносят проникающую жидкость, которая заполняет полости поверхностных дефектов. Затем жидкость удаляют, а оставшуюся в полостях дефектов часть обнаруживают нанесением проявителя, который образует индикаторный рисунок. Эти методы применяют в цеховых, лабораторных и полевых условиях, при положительных и отрицательных температурах. Они позволяют обнаруживать дефекты производственно-технологического и эксплуатационного происхождения, трещины шлифовочные, термические, усталостные; волосовины, закаты и др. Капиллярные методы могут быть применены для обнаружения дефектов в деталях из металлов и неметаллов простой и сложной форм.

Наиболее распространены цветовой, люминесцентный, люминесцентно-цветовой, фильтрующихся частиц, радиоактивных жидкостей и другие капиллярные методы.

Методы течеискания основаны на регистрации индикаторных жидкостей и газов, проникающих в сквозные дефекты контролируемого объекта. Их применяют для контроля герметичности работающих под давлением сварных сосудов, баллонов, трубопроводов гидро-, топливной аппаратуры, масляных систем силовых установок и т. п. К методам течеискания относят гидравлическую оп-рессовку, аммиачно-индикаторный метод, контроль с помощью гелиевого и галоидного течеискателей и т. д. Проведение течеискания с помощью радиоактивных веществ позволяет значительно увеличить чувствительность метода.

Радиационные методы контроля основаны на регистрации и анализе проникающего ионизирующего излучения. Проникающие излучения (рентгеновское, γ - излучение, потоки нейтронов и др.), проходя через толщу изделия, по-разному ослабляются в дефектном и бездефектном сечениях и несут информацию о внутреннем строении вещества и наличии дефектов внутри контролируемых объектов. Радиационные методы применяют для контроля сварных и паяных швов, отливок, проката и т. д.

Радиоволновые методы основаны на регистрации изменения параметров электромагнитных волн радиодиапазона, взаимодействующих с контролируемым объектом. Обычно применяют волны сверхвысокочастотного (СВЧ) диапазона длиной 1-100 мм для контроля изделий из материалов, где радиоволны не очень сильно затухают: диэлектрики (пластмассы, керамика, стекловолокно), магнитодиэлектрики (ферриты), полупроводники, тонко-

стенные металлические объекты. По характеру взаимодействия с объектом контроля различают методы прошедшего, отраженного, рассеянного излучения и резонансный.

Тепловые методы основаны на регистрации изменений тепловых или температурных полей контролируемых объектов. Они применимы к объектам из любых материалов. По характеру взаимодействия поля с контролируемым объектом различают пассивный (на объект не воздействуют внешним источником энергии) и активный (объект нагревают или охлаждают от внешнего источника) методы. Измеряемым информативным параметром является либо температура, либо тепловой поток.

При контроле пассивным методом измеряют тепловые потоки или температурные поля работающих объектов с целью определения неисправностей, проявляющихся в виде мест повышенного нагрева. Таким методом выявляют уменьшение толщины футеровки доменных и мартеновских печей, места утечки теплоты в зданиях, трещины в двигателях и т. д.

При контроле активным методом объект обычно нагревают контактным или бесконтактным способом и измеряют температуру с той же или с другой стороны объекта. Это позволяет обнаруживать несплошности (трещины, пористость, инородные включения) в объектах, изменения в структуре и физико-механических свойствах материалов по изменению теплопроводности, теплоемкости, коэффициенту теплопередачи. Измерения температур или тепловых потоков выполняют контактным или бесконтактным способом. В последнем случае передача теплоты происходит в основном за счет радиации, т. е. излучения электромагнитных волн в инфракрасной или видимой части спектра в зависимости от температуры тела.

Наиболее эффективным средством бесконтактного наблюдения, регистрации температурных полей и тепловых потоков является сканирующий тепловизор. Его применяют для определения дефектов пайки многослойных соединений из металлов и неметаллов, клеевых соединений и т. д.

ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ № 3

Контроль образца магистрального трубопровода тепловой сети с многослойным сварным швом УЗК - дефектоскопом

Назначение дефектоскопа

Дефектоскоп ультразвуковой УД2В-П45, (в дальнейшем дефектоскоп), предназначен для контроля продукции на наличие дефектов (обнаружения дефектов) типа нарушение сплошности и однородности материалов, полуфабрикатов, готовых изделий и сварных соединений, для измерения глубины и координат их залегания, измерения толщины, измерения скорости распространения и затухания ультразвуковых колебаний (УЗК) в материале и соответствует ТУ 7610-001-07504206-98.

Дефектоскоп сохраняет работоспособность для частот УЗК от 0,5 до 1,5 МГц, при контроле материалов и изделий со скоростями распростране-

ния продольных волн УЗК в диапазоне от 1000 до 9999 м/с, при этом допустимое значение затухания продольных волн УЗК в материалах определяется глубиной залегания, размерами и ориентацией дефектов.

Диапазон толщин контролируемого материала по стали (скорость УЗК 5950 м/с) до 2975 мм при теновом и до 1487,5 мм при эхо методе контроля.

Другие параметры контролируемых объектов, ограничивающие область применения дефектоскопа, устанавливаются в нормативно-технической документации на контроль конкретных видов продукции.

Дефектоскоп может быть применен в машиностроении, металлургической промышленности, на железнодорожном и трубопроводном видах транспорта, энергетике для контроля изделий основного производства и технологического оборудования.

Дефектоскоп реализует теневой, эхо и зеркально - теневой методы контроля.

Дефектоскоп эксплуатируется при температуре окружающего воздуха от +5 до +50 °С, верхнее значение относительной влажности 80 % при +35 °С. Хранение и транспортирование дефектоскопа допускается при температурах от минус 25 до плюс 55 °С, с последующей выдержкой в нормальных условиях не менее 24 часов.

Технические характеристики

Амплитуда импульса возбуждения на нагрузке 50 Ом, не менее	150 В
Длительность переднего фронта импульса возбуждения на нагрузке 50 Ом, не более	0,02 мкс
Длительность импульса возбуждения на нагрузке 50 Ом (шаг 0,25 мкс)	от 0,05 до 0,5 мкс
Частота следования зондирующих импульсов	до 800 Гц
Диапазон рабочих частот приемника по уровню - 3дБ	от 1 до 10 МГц
Максимальная чувствительность приемника при соотношении сигнал/шум 6 дБ, не хуже	80мкВ
Диапазон регулировки усиления, с шагом	110 дБ, 0,5, 1, 2 и 6 дБ
Погрешность измерения амплитуд входных сигналов в диапазоне от 10 до 100% высоты экрана, не более	± 1 дБ
Динамический диапазон временной регулировки чувствительности (ВЧР)	до 90 дБ
Погрешность установки усиления в диапазоне от 10 до 100 дБ м ВРЧ, не более	± 2 дБ
Развертка	от 1 до 500 мкс
Задержка развертки	от - 0,5 до 498 мкс

Диапазон измерения временных интервалов	от 0,025 до 500 мкс
Дискретность измерения временных интервалов	0,025 мкс
Отклонение основной опорой частоты 50, не более	0,0001
Предел относительной погрешности измерения временных интервалов (Т), не более	$\pm(50+0,0025/T) \times 100\%$
Толщина протектора преобразователя	от 0 до 100 мкс
Автоматическая сигнализация дефектов (АСД)	двух зонная
Диапазон установки зон АСД	от 0 до 500 мкс
Дискретность установки зон АСД	0,025, 0,05, 0,1 или 0,2 мкс в зависимости от частотного диапазона
Регулировка порогов зон АСД	от 0 до 95 % высоты экрана при детектировании и от -95% до +95% в режиме радиосигнала
Детектирование сигналов	положительная полуволна, отрицательная полуволна, полное, радиосигнал
Габаритные размеры (ШхВхГ) без аккумуляторного отсека	225х170х50 мм
Масса, не более	2 кг (без аккумуляторов)
Питание	внешний источник 7...9 В, 1А или 4 аккумулятора размера С или D
Время непрерывной работы от 4 аккумуляторов емкостью 4,5 А/ч, с подсветкой 30 %	не менее 8 часов
Используемы ультразвуковые преобразователи	любые УЗ пьезопреобразователи для импульсных дефектоскопов, в том числе по ГОСТ 26266-90

Устройство и работа дефектоскопа

В основу работы дефектоскопа положена способность УЗК распространяться в контролируемых изделиях и отражаться от внутренних дефектов и граней изделий. Принятый сигнал усиливается, после чего преобразуется в цифровую форму и обрабатывается микропроцессором и в графическом и цифровом виде отображается на жидкокристаллическом индикаторе.

Подготовка к контролю

Контроль проводят по технологическим картам контроля.

1. Карта контроля должна содержать информацию о конструкции объекта контроля (номер чертежа и перечень конструктивных отклонений, влияющих

на контроледоступность соединения, технологический процесс и особенности выполнения сварных соединений, а также отклонения от установленной технологии сборки и сварки степени контроледоступности, разметке изделия под контроль и т.д.).

3. Разметка сварного соединения под контроль должна быть предусмотрена технологическим процессом изготовления.

Перед проведением контроля дефектоскопист обязан:

1. получить задание (заявку) на контроль с указанием типа и номера сварного соединения и его расположения на контролируемом объекте (узле, трубопроводе), объема контроля, номинальной толщины и диаметра сварных элементов. Заявка должна быть подписана лицами, отвечающими за послеоперационный контроль и внешний контроль сварного соединения;

2. ознакомиться с картой контроля и результатами предшествующего контроля;

3. убедиться в отсутствии недопустимых наружных дефектов;

4. убедиться, что сварное соединение соответствует степени контроледоступности, указанной в заявке на контроль.

Карта ультразвукового контроля №					
Организация «КИШИРИНСКОЕ МОНТАЖНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СЗЭМ»					
Изделие	Материал	Чертеж	Заводской №	Рег. №	
Трубопровод Ø 57 х 6	Сталь 08X18H10T	-	-	-	
Тип дефектоскопа		Сварочный материал		Регламент.Документы	
УД2-70 УД2-12				ГОСТ 14782-86 РД 34.17.302-97 (ОП №501, ЦД-97)	
Объект и объем контроля	Тип ПЭП, частота	Шаг и скорость сканирования	Рабочая зона на развертке (по глубине), мм	Зона перемещения ПЭП, мм	Чувствительность и способ их настройки (браковочная, фиксация, поиск)
Стыковой сварной шов, 100% длины зачищенного шва	П 121-5-50 ⁰ диам. 57, частота 5 МГц	¹ / ₂ диаметра или ширины ПЭП. Скорость сканирования 50-57 мм/сек	Рабочая зона прямым лучом 3...6мм. Однократно отраженным лучом 16...12мм	Прямым 6...4,15мм. Однократно отраженным 7,15...14,30мм	СОП Зарубка 2,0 х 1,0 мм. $S_{фикс} = S_{бр} + 6Дб$ $S_{поиск} = S_{фикс} + 6Дб$

Нормы браковки:			
$A_{\text{деф.}} > A_{\text{бр.}}$	$L = 6$ мм,	или суммарная усл. протяженность $> 1/6$ периметра шва -	непротяж.;
$A_{\text{деф.}} > A_{\text{бр.}}$	цепочки и скопления,	или суммарная усл. протяж. > 6 мм на любые	300 мм шва;
$A_{\text{деф.}} > A_{\text{бр.}}$	протяженные, $L > 6$ мм,	или суммарная усл. протяженность > 30 мм,	на любые 300 мм шва или $L > 1/6$ периметра св. шва
Протяженные дефекты на 10 % периметра шва $L_{\text{шва}} < 300$ мм.			
Схема УЗконтроля			
		1 проход	2 проход
С левой стороны		6	4,15
сканирование аналогично правой		7,15	14,30

ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ № 4

Испытание на растяжение

Производится на вертикальной машине с механическим приводом и маятниковым силоизмерителем. Тип машины ИМ-4Р.

Рисунок 2- Схема разрывной машины ИМ-4Р

Эта машина обеспечивает нагрузку в двух диапазонах: от 0 до 20000 Н (2000 кгс) и от 0 до 40000 Н (4000 кгс). Скорость растяжения образца при испытании постоянная и составляет 1,2 мм/мин. Схематически устройство этой машины представлено на рис. 1. образец закрепляется в подвижных захватах 1. Электродвигатель 2 через систему передач приводит в движение тяговый винт 3 и нижний захват, который можно перемещать и вручную рукояткой 4. Сила сопротивления образца деформации передается измерительному рычагу 10, соединенному тягой 9 через кривошип 6 с маятником 5. Отклонение маятника через поводок 7 приводит в движение вдоль измерительной линейки 12 каретку 8 с пером 11, которое записыва-

ет кривую растяжения на диаграммной бумаге, намотанной на барабан 13, соединенный шестернями с тяговым винтом 3.

Рисунок 3- Диаграмма растяжения образца из низкоуглеродистой стали (а) и схема определения условного предела текучести (б)

На рис. 2, а приведена диаграмма растяжения образца. От начала деформации точки О и до точки А образец деформируется пропорционально приложенной нагрузке. Участок ОА представляет прямую линию. Если нагрузку P_p снять, то полученная образцом деформация исчезнет и образец примет первоначальные размеры.

Если же нагрузку увеличить, то начнется отклонение линии ОА от прямолинейного направления. Таким образом, нагрузка P_p является предельной, до которой сохраняется пропорциональность между прилагаемой нагрузкой и деформацией образца. Закон прямой пропорциональности носит название закона Гука: относительная линейная деформация ϵ прямо пропорциональна соответствующему нормальному напряжению σ , т. е.

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E}$$

Величина E характеризует способность металла сопротивляться упругому деформированию, т. е. характеризует жесткость металла. Эта величина называется модулем упругости первого рода или модулем Юнга. E измеряется в единицах силы на единицу площади, Н/м^2 (кгс/мм^2). Различные металлы имеют различную жесткость, т. е. различную величину модуля упругости. У стали E находится в пределах $(20-21) \cdot 10^3$, у латуни - $(10-11) \cdot 10^3$, у алюминиевых сплавов $(7-8) \cdot 10$ кгс/мм .

Следовательно, предел пропорциональности $\sigma_{\text{пл}}$ (Н/м^2 или кгс/мм^2) представляет напряжение, выше которого нарушается пропорциональность между прилагаемым напряжением и деформацией образца:

$$\sigma_{\text{пл}} = \frac{D_{10}}{F_0}$$

Выше точки А располагается точка В, ордината которой соответствует нагрузке, вызывающей определенное остаточное удлинение образца: если снять нагрузку, длина образца будет больше начальной. Для практических целей величину этого остаточного удлинения принимают равной 0,05% от начальной расчетной длины образца. Напряжение, при котором остаточное удлинение достигает 0,05% от начальной расчетной длины образца, называют условным пределом упругости и его обозначают $\sigma_{0,05}$. При дальнейшем увеличении нагрузки до P_T (точка С) на диаграмме появляется криволинейный участок, который при испытании мягких материалов может перейти в горизонтальную площадку. Это показывает, что даже незначительное увеличение нагрузки вызывает деформацию, «текучесть» образца. После снятия

нагрузки образец сохраняет остаточную деформацию. Предел текучести (физический) - наименьшее напряжение, при котором образец деформируется без заметного увеличения нагрузки. Нагрузку P_T можно определить по остановке стрелки силоизмерительного устройства испытательной машины, вызванной деформацией образца без заметного увеличения нагрузки. Предел текучести σ (Н/м или кгс/мм²) (физический) вычисляется по формуле

$$\sigma = \frac{D_o}{F_0}$$

При испытании большинства металлов горизонтальная площадка на диаграмме отсутствует. В этих случаях определяют предел текучести условный $\sigma_{0,2}$ напряжение, при котором остаточное удлинение достигает 0,2% от начальной (расчетной) длины образца. Предел текучести $\sigma_{0,2}$ (Н/м² или кгс/мм) вычисляют по формуле

$$\sigma_{0,2} = \frac{D_{0,2}}{F_0}$$

Для определения нагрузки $P_{0,2}$ (рис. 2 б) на оси абсцисс от точки О вправо в соответствующем масштабе откладывают отрезок, равный 0,2% начальной расчетной длины образца, и проводят линию, параллельную линии ОА, до пересечения с диаграммой растяжения (точка С). Точка С определяет высоту ординаты, т.е. нагрузку $P_{0,2}$ отвечающую пределу текучести. При дальнейшем увеличении нагрузки до P_B (точка D) у пластичных металлов происходит равномерная деформация образца по длине и поперечному сечению, а образцы из хрупких металлов при этой нагрузке разрушаются.

Напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке P_{max} , предшествующей разрушению образца, называется временным сопротивлением σ_B (Н/м² или кгс/мм²) и вычисляется по формуле

$$\sigma_a = \frac{D_{max}}{F_0}$$

Для хрупких металлов σ_B характеризует сопротивление разрушению, а для пластичных металлов - сопротивление большим пластическим деформациям.

Далее нагрузка уменьшается. Это связано с тем, что у пластичного металла начинается местное сужение поперечного сечения (образуется шейка). И в точке Е образец разрушается.

У пластичных материалов, получающих заметную пластическую деформацию при растяжении, есть еще одна характеристика - истинное сопротивление разрыву S_R (Н/м или кгс/мм²). Это напряжение, определяемое отношением нагрузки P_R в момент разрыва к площади минимального поперечного сечения образца после разрыва F_R :

$$S_R = \frac{D_R}{F_R}$$

Пластичность металла при разрыве определяют две характеристики: относительное удлинение и относительное сужение.

Относительное удлинение после разрыва δ (%) – отношение приращения расчетной длины образца ($l_R - l_0$) после разрыва к ее первоначальной длине l_0 :

$$\delta = \frac{l_R - l_0}{l_0} \cdot 100$$

Для определения расчетной длины образца после разрыва l_R обе части образца плотно соединяют друг с другом и измеряют расстояние между кернами.

Относительное сужение после разрыва Ψ_R (%) – отношение разности начальной площади и минимальной площади поперечного сечения образца после разрыва к начальной площади поперечного сечения образца:

$$\Psi_R = \frac{F_0 - F_R}{F_0} \cdot 100$$

Для определения относительного сужения Ψ цилиндрического образца измеряют минимальный диаметр после разрыва d_R в двух взаимно перпендикулярных направлениях. По среднему арифметическому из полученных значений вычисляют площадь поперечного сечения. Для определения F_R в месте разрыва плоских образцов определяют наибольшую ширину и наименьшую толщину образца в месте разрыва.

ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ №5

Испытание на ударный изгиб

Рисунок 4- Маятниковый копр

Образец 8 устанавливают на двух опорах 9 надрезом внутрь станины 7. Маятник 6 с ножом 5 поднимают на определенную высоту (угол) и закрепляют защелкой 4. Отпущенный маятник, разбивая образец, поднимается, и стрелка 3 шкалы 2 показывает угол его взлета. Останавливают маятник ремнем 10, натягивая последний рукояткой 1. По таблице определяют величину работы удара A_H , затраченной на излом образца. На некоторых типах копров работа A_H определяется по дисковому указателю.

Ударная вязкость a_n (Дж/м² или кгс • м/см²) образца - отношение работы A_n , затраченной на разрушение стандартного образца, к площади его поперечного сечения в месте надреза F :

$$a_i = \frac{A_i}{F}$$

ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ №6

Измерение твердости металлов

Проводится электронным малогабаритным переносным программируемым твердометром ТЭМП-2

1. Твердометр предназначен для экспрессного измерения твердости сталей, сплавов и их сварных соединений по шкалам Бринелля (НВ), Роквелла (HRC), Шора (HSD), Виккерса (HV), а также определения предела прочности R_m (σ_B) по ГОСТ 22761-77 для углеродистых сталей перлитного класса.

Твердометр может быть использован в производственных и лабораторных условиях в машиностроении, металлургии, энергетике и других отраслях промышленности, а также в ремонтно-монтажных организациях. Объектами

измерений могут быть крупногабаритные изделия, узлы и детали сложной формы, имеющие труднодоступные зоны измерений, в том числе: сосуды давления различного назначения.

3. Прибор может быть применен для оперативного контроля твердости деталей массового производства в цеховых условиях, например, для оценки стабильности технологических процессов: термической, химико-термической (цементации, азотирования, оксидирования), механической обработок, сварки, обработки давлением, поверхностного упрочнения и т.д.

Прибор можно использовать для диагностирования эксплуатируемого оборудования с целью оценки и продления его остаточного безопасного ресурса.

Порядок работы:

Перед проведением измерений твердости необходимо выполнить следующие операции:

1. Включить прибор нажатием кнопки «MOD» - 6 на дисплее прибора появится индикация в соответствии с п. 5. 5

2. Повторно нажав кнопку «MOD» * переходим в режим выбора шкал твердости (НВ, HRC, HSD, HV, R_m). Кнопками «◀▶» выбрать требуемую

шкалу твердости.

3. Нажав кнопку «MOD» еще раз, переходим в режим выбора положения датчика (сверху вниз, горизонтально, снизу вверх) относительно поверхности измеряемого изделия. Кнопками «◀▶» выбрать требуемую позицию датчика.

4. Нажав кнопку «MOD» еще раз, переходим в режим выбора режима подсветки («подсветка OFF» - подсветка выключена, «подсветка ON» - включена постоянно, «подсветка 15с» - включена на 15 сек. после последнего измерения твердости или после нажатия на любую из кнопок клавиатуры).

Кнопками «◀▶» выбрать требуемый режим работы подсветки. По истечении 3 - 4 сек. индикация дисплея автоматически переходит в выбранный режим работы.

5. Если необходимо изменить только один из режимов, то последовательным нажатием кнопки «MOD», можно войти в искомый режим и внести требуемое изменение.

6. Нажать на кнопку «X» для стирания предыдущих результатов в буфере усреднения.

7. Толкателем плавно загрузить ударник с торцевой части датчика до защелкивания и вынуть толкатель из датчика.

8. Датчик установить нормально к испытываемой поверхности, плотно прижав его одной рукой, а другой - нажать на спусковую кнопку. После соударения ударника с контролируемой поверхностью на дисплее прибора появится результат измерения в единицах выбранной шкалы.

9. Среднее значение результатов измерений определяется нажатием кнопки «X» после чего все исходные для усреднения данные автоматически стираются. Каждый результат измерения (включая усредненные значения) может быть внесен в буфер памяти прибора нажатием кнопки «MEM». Кроме того, этой же кнопкой можно вывести из буфера памяти данные на дисплей прибора.

Тема 1. Дефекты сварных швов

1.1. Дефекты, определяемые свариваемостью

Свариваемость - свойство металлов или сплавов образовывать при установленной технологии сварки соединения, отвечающее требованиям, обусловленным конструкцией и эксплуатацией изделий. Свариваемость бывает хорошей, удовлетворительной, ограниченной и плохой.

О свариваемости судят по склонности к образованию трещин.

Виды трещин:

Горячие трещины - образуются либо в момент завершения кристаллизации метла шва, либо при остывании металла при высокой температуре.

Причины: высокотемпературная хрупкость; высокотемпературная деформация при усадке металла шва.

Холодные трещины - возникают после остывания металла шва под действием собственных сварочных разрушений. К ним склонны углеродистые и легированные стали, некоторые титановые и алюминиевые сплавы. Трещины возникают в процессе охлаждения после сварки ниже 150 °С или в течение нескольких следующих суток. Могут образовываться во всех зонах сварного соединения. Трещины расположены параллельно или перпендикулярно сварному шву.

Ляменарные трещины - образуются в зоне термического влияния параллельно поверхности свариваемых листов и имеют ступенчатый характер. Появляются после завершения охлаждения шва. Предположительная причина - неметаллические включения.

Трещины повторного нагрева - образуются в процессе высокого отпуска сварных соединений в интервале температур 500-700 °С у низко- и среднелегированных сталей.

1.2. Дефекты сварных швов, определяемые технологией сварки и действиями сварщика:

а) дефекты формы шва:

- неравномерная ширина шва;
- местные бугры и седловины.

б) наружные дефекты:

- наплывы;
- подрезы;
- кратеры;
- прожоги;
- поджоги.

в) внутренние дефекты:

- поры;
- свищи;
- шлаковые включения;
- окисные пленки;
- непровары;
- трещины;
- спекания.

Тема 2. Контроль качества сварных соединений

При контроле качества используются разрушающие и неразрушающие методы.

2.1. Разрушающие методы контроля:

- внешний осмотр и замер размеров шва;
- механические испытания:

- а) на разрыв (на разрывной машине);
- б) на ударную вязкость;
- металлографические исследования сварного шва;
- макроструктурные методы - изучают макрошлифы или изломы, протравлены 5% - ным раствором азотной кислоты. Определяется вид разрушения: межзеренный или трансзеренный. Проводится изучение либо невооруженным глазом, либо с помощью лупы;
- микроструктурный анализ - изучают структуру металла на микрошлифах с помощью микроскопа.

2.2. Неразрушающие методы контроля:

- радиационная дефектоскопия - рентгено - и гаммаграфические методы;
- ультразвуковые методы с помощью ультразвуковых дефектоскопов;
- магнитопорошковый;
- магнитографический - магнитное поле считывается приборами, определяющими напряженность магнитного поля и записывается на магнитную ленту, затем обрабатывается на компьютере;
- контроль проникающими веществами (капиллярный контроль) - основан на капиллярном проникновении индикаторных жидкостей в полости поверхностных и сплошных неплотностей материала объекта контроля и последующей регистрацией этого визуально или с помощью приборов. Используются следующие методы:
 - керосиновая проба;
 - цветная дефектоскопия;
 - контроль гелиевыми и галоидными (воздух с фреоном) течеискателями;
 - химический анализ состава металла и его фазового состава;
 - стилоскопирование - качественный спектральный анализ на легирующие элементы.

Суть метода: между электродом из меди, угля или чистого железа и деталью возбуждается электрический разряд. Световые лучи от разряда направляются в систему линз и призм, в которых они распадаются по длинам волн в линейный спектр. По наличию характерных линий в спектре можно определить наличие легирующего элемента;

- контроль твердости стационарными или переходными твердомерами;
- испытания на коррозию образцов металла из сварного шва.

После изучения материала производится подготовка реферата по следующим темам:

1. Контроль металла разрушающими методами;
2. Контроль сварных швов деталей из нелегированных сталей;
3. Контроль сварных швов деталей из легированных сталей;
4. Контроль сварных швов в условиях эксплуатации.