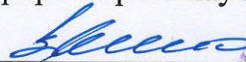


НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе



Драгунов В.К.

« 16 » июня

2015 г.



Программа аспирантуры

Направление 22.06.01 Технологии материалов

Направленность (специальность) 05.16.09 Материаловедение (по отраслям)

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины по выбору

«Металловедение в теплоэнергетике»

Индекс дисциплины по учебному плану: Б1.В.ДВ.2.2

Всего: 108 часов

Семестр 3, в том числе

6 часов – консультация,  
84 часов – самостоятельная работа,  
18 часов – контроль

Программа составлена на основе федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению подготовки 22.06.01 – Технологии материалов, утвержденного приказом министерства образования и науки РФ от 30 июля 2014 № 878, и паспорта специальности 05.16.09 – Материаловедение (по отраслям), номенклатуры специальностей научных работников, утвержденной приказом Минобрнауки России от 25 февраля 2009 г. № 59.

## **ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Целью** изучения дисциплины является формирование знаний о специфике условий эксплуатации металла энергетического оборудования в теплоэнергетике и методах и технических средствах диагностики дефектов, микроструктуры и механических свойств металла энергооборудования и трубопроводов.

**Задачами** дисциплины являются:

- формирование знаний и о значении механических и технологических свойств материалов при изготовлении и расчетах на прочность деталей и конструкций;
- изучение основных методов диагностики дефектов, структуры и механических свойств металла энергооборудования и трубопроводов;
- приобретение навыков выбора и назначения конструкционных материалов в зависимости от уровня механических свойств и условий эксплуатации изделий энергомашиностроения;
- приобретение навыков выбора наиболее характерных параметров диагностики металла энергетического оборудования, необходимых для расчёта ресурса деталей и конструкций.

В процессе освоения дисциплины **формируются следующие компетенции:**

- способность и готовность выполнять нормативные требования, обеспечивающие безопасность производственной и эксплуатационной деятельности (ОПК-4);
- способность и готовность участвовать в сертификации материалов, полуфабрикатов, изделий и технологических процессов их изготовления (ОПК-13);
- способность обоснованно выбирать методы механических испытаний конструкционных материалов в зависимости от условий эксплуатации деталей и конструкций (ПК-15);
- способность выполнять расчеты на прочность деталей и конструкций по механическим свойствам материалов (ПК-16).

## **ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

### **знать:**

- методы прогнозирования остаточного ресурса (ПК-15);
- технологии восстановления и продления ресурса (ОПК-4).

### **уметь:**

- выбирать и назначать стали и сплавы с заданными служебными свойствами, обеспечивающими длительную и надежную эксплуатацию энергоустановок (ПК-16);
- оценивать степень деградации металла оборудования и трубопроводов, пробывших длительное время в эксплуатации (ОПК-4);
- выбирать наиболее эффективные диагностические параметры, характеризующие структурно-механическое состояние металла (ПК-15);
- выбирать методики и технические средства для проведения оперативной диагностики металла (ОПК-13).

### **владеть:**

- способностью правильно оценивать критическое состояние металла после длительной эксплуатации (ПК-15);
- способностью правильно использовать методики и технические средства оперативной диагностики состояния металла (ПК-15);
- способностью правильно использовать методики для оценки остаточного ресурса (ПК-16);

## **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ**

### *1. Специфика металловедения в теплоэнергетике*

Роль металла в обеспечении долговечности, надежности и эффективности эксплуатации энергоблоков. Основные задачи металловедения в теплоэнергетике

### *2. Условия эксплуатации металла в энергетических установках. Основные типы повреждений металла и предъявляемые к нему требования*

Условия эксплуатации металла в теплоэнергетике под действием конструктивно-технологических и эксплуатационных факторов. Конструктивно-технологические факторы: концентраторы напряжений и деформаций, вызванные геометрией деталей (отверстия малого радиуса скругления, резкие переходы от сечения к сечению и др.). Остаточные напряжения и деформации, возникающие в результате технологической обработки деталей. Качество металла и изготовления деталей и конструкций. Основные типы повреждений металла оборудования и трубопроводов. Необратимые процессы, происходящие в оборудовании и трубопроводах: изменение геометрии деталей и конструкций, коррозионные повреждения,

образование и развитие дефектов в металле. Дефекты и трещины технологического и эксплуатационного происхождения.

### *3. Деградация механических свойств металла оборудования и трубопроводов в процессе эксплуатации*

Разупрочнение и упрочнение металла в процессе эксплуатации. Технологические факторы охрупчивания металла: обратимая отпускная хрупкость, необратимая отпускная хрупкость, водородная хрупкость технологического происхождения, наклёп и деформационное старение, тепловая хрупкость, науглероживание, графитизация, водородное охрупчивание эксплуатационного происхождения, сфероидизация перлита. Совместное воздействие нескольких факторов охрупчивания. Шкалы и параметры микроповреждаемости металла.

### *4. Основные служебные свойства металла в теплоэнергетике.*

Понятия о жаропрочности, жаростойкости и коррозионной стойкости металла. Ползучесть, длительная прочность. Релаксация напряжений. Методы и испытательные машины для определения характеристик жаропрочности металлов. Металловедческие факторы, влияющие на жаропрочность. Жаростойкость и пути её повышения. Коррозионно-эрозионная стойкость металла. Основные типы коррозии металла. Коррозионное растрескивание под напряжением. Межкристаллитная коррозия. Эрозионный износ металла. Термическая усталость. Совместное воздействие ползучести и усталости.

### *5. Базовые стали и сплавы, стойкие к эксплуатационным повреждениям в теплоэнергетике.*

Теплостойкие стали. Углеродистые и легированные теплостойкие стали. Высоколегированные теплостойкие стали. Состав, структура, режимы термической обработки, механические свойства. Примеры применения. Жаропрочные стали и сплавы. Жаропрочные аустенитные сплавы, не упрочняемые термической обработкой, с карбидным упрочнением, с интерметаллидным упрочнением. Жаропрочные сплавы на железоникелевой и никелевой основе. Режимы термической обработки и механические свойства. Жаростойкие стали и сплавы. Классификация и применение жаростойких сталей и сплавов. Ферритные хромистые и хромоникелевые стали. Мартенситные и хромокремнистые стали. Аустенитные стали, термическая обработка и механические свойства. Коррозионно-стойкие стали и сплавы. Хромистые стали. Хромоникелевые стали. Новые стали для перспективных энергоустановок со сверхкритическими параметрами пара.

### *6. Контроль и диагностика металла в теплоэнергетике*

Основные показатели эксплуатационной надежности металла энергоустановок. Методы и технические средства оперативной диагностики дефектов, микроструктуры и механических свойств металла энергооборудования и трубопроводов. Контроль поверхностей нагрева и барабанов котлоагрегатов. Контроль паропроводов, деталей турбин, крепежа, сварных соединений.

### *6. Ресурс металла оборудования и трубопроводов ТЭС.*

Общие понятия о ресурсе эксплуатации оборудования и трубопроводов ТЭС. Оценка предельного состояния металла. Парковый ресурс элементов котлоагрегатов и турбин в зависимости от используемых марок сталей, рабочей температуры и давления пара. Обеспечение ресурса на стадии эксплуатации оборудования и трубопроводов. Прогнозирование остаточного ресурса металла по температурным и геометрическим параметрам. Характеристики жаропрочности как параметры диагностики ресурса металла. Продление ресурса эксплуатации оборудования и трубопроводов. Восстановление ресурса металла паропроводов термической обработкой. Восстановление ресурса металла роторов и лопаток паровых турбин. Защита металла оборудования ТЭС от коррозии и эрозии.

## **ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины: 2 семестр – дифференцированный зачет.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Какова специфика металловедения в теплоэнергетике?
2. Какова роль металла в обеспечении долговечности, надежности и эффективности работы энергоблоков?
3. Основные задачи металловедения в теплоэнергетике.
4. В каких условиях работает металл в теплоэнергетике?
5. Какие Вы можете назвать конструктивно-технологические и эксплуатационные факторы, влияющие на структурно-механическое состояние металла?
6. Что такое повреждаемость металла?
7. Каковы основные типы повреждений металла оборудования и трубопроводов ТЭС?
8. Назовите основные причины повреждений и разрушения металла элементов энергоустановок.
9. Какие технологические дефекты могут появиться в барабанах паровых котлов?
10. Какие элементы паропроводов являются наиболее повреждаемыми?
11. Чем опасен длительный перегрев металла труб поверхностей нагрева?
12. Что является причиной появления трещин в металле корпусов турбин?
13. Под воздействием каких факторов происходит износ металла лопаток паровых турбин?
14. Какие структурные и фазовые изменения происходят в металле оборудования и трубопроводов в процессе длительной эксплуатации?
15. Как происходит процесс образования карбидов в металле при длительной эксплуатации?
16. Как изменяются механические свойства металла в зависимости от срока службы?

17. Что представляют структурные концентраторы напряжений в металле деталей и конструкций, как они образуются и чем опасны?
18. Перечислите основные требования, предъявляемые к металлу в теплоэнергетике.
19. Назовите основные служебные свойства металлов, применяемых в теплоэнергетике.
20. Что такое жаропрочность и жаростойкость металла?
21. Дайте определение ползучести металла. При каких условиях она проявляется?
22. Что такое предел ползучести металла и как его определяют?
23. Что такое длительная прочность и предел длительной прочности металла?
24. Как может изменяться вид диаграммы длительной прочности в зависимости от характера разрушения металла?
25. Что позволяет определить параметрическая зависимость Ларсена-Миллера?
26. При каких условиях происходит релаксация напряжений в металле? Изобразите схему диаграммы релаксации?
27. Как выполнить испытания металла на релаксацию?
28. Какие металловедческие факторы влияют на жаропрочность металла?
29. Какие существуют виды коррозии металла?
30. Как можно оценить коррозионную стойкость металла?
31. Что такое эрозия металла? При каких условиях она проявляется?
32. Как подразделяют стали и сплавы в зависимости от температуры эксплуатации?
33. Какие Вы знаете теплостойкие стали и для каких конструкций и деталей их применяют в теплоэнергетике?
34. Как подразделяют жаропрочные аустенитные стали по способу упрочнения?
35. Какие вы знаете жаропрочные сплавы на железоникелевой основе? Что из них изготавливают?
36. Как подразделяют жаропрочные сплавы на никелевой основе? Какими свойствами они обладают?
37. Какая существует классификация жаростойких сталей и сплавов?
38. От чего зависит жаростойкость сталей?
39. Какие Вы знаете жаростойкие сплавы и для изготовления каких деталей и конструкций их применяют?
40. Какие стали и сплавы считаются коррозионно-стойкими?
41. За счет чего достигается высокая устойчивость стали против коррозии?
42. На какие группы подразделяют коррозионно-стойкие стали?
43. Как определить структурный класс коррозионно-стойкой стали по диаграмме Шеффлера?
44. Что такое коррозионное растрескивание металла?
45. Как можно снизить межкристаллитную коррозию?
46. Какие новые стали предназначены для энергоустановок со сверхкритическими параметрами пара?
47. Какие физические методы контроля применяют для обнаружения дефектов в металле?



48. Как контролируют металл труб поверхностей нагрева котлоагрегатов?
49. Изобразите схему вырезки образцов из паропровода для определения механических свойств
50. Как контролируют остаточную деформацию ползучести паропроводов?
51. Какие механические свойства определяют для металла паропроводов?
52. Какими методами контролируют основной металл и металл сварных швов барабанов котлоагрегатов?
53. Какими методами контролируют металл лопаток паровых турбин?
54. Какие требования предъявляют к состоянию металла роторов турбин?
55. Как контролируют микроструктуру и механические свойства металла оборудования и трубопроводов безобразцовым методом?
56. Какие применяют переносные и портативные приборы для контроля твердости металла. Как классифицируют эти приборы по принципу действия?
57. В чем заключается метод горячей длительной твердости? Возможно ли получить диаграмму ползучести металла методом длительного вдавливания сферического индентора?
58. Что такое ресурс эксплуатации оборудования и трубопроводов энергоустановок?
59. Какие различают виды ресурса?
60. Какой расчетный срок службы устанавливают для оборудования и трубопроводов ТЭС, исходя из накопления пластической деформации в процессе ползучести?
61. Как обеспечивают ресурс на стадиях изготовления и эксплуатации оборудования?
62. Из каких этапов состоит оперативная диагностика металла оценки остаточного ресурса?
63. Какие существуют методики прогнозирования остаточного ресурса?
64. Как прогнозируют ресурс по температурным параметрам?
65. Как прогнозируют остаточный ресурс по геометрическим параметрам?
66. Являются ли характеристики жаропрочности металла параметрами диагностики ресурса?
67. Какие мероприятия проводят при продлении ресурса эксплуатации оборудования и трубопроводов энергоустановок?
68. Как образуются поры в металле оборудования и трубопроводов в процессе ползучести?
69. Что такое залечивание пор в металле и как оно происходит?
70. В чем заключается ВТО металла оборудования и трубопроводов?
71. В каких случаях целесообразно проведение ВТО?
72. Как влияет ВТО на структуру и механические свойства оборудования и трубопроводов, пробывших длительное время в эксплуатации?
73. Какими способами восстанавливают ресурс металла лопаток паровых турбин?
74. Как восстанавливают ресурс металла роторов паровых турбин?

75. Какими способами защищают металл оборудования и трубопроводов ТЭС от коррозии и эрозии.

### **Вопросы для проведения зачета**

1. Условия работы металла в теплоэнергетике.
2. Основные конструктивно-технологические и эксплуатационные факторы, влияющие на структурно-механическое состояние металла.
3. Основные типы повреждений металла энергоустановок.
4. Основные причины повреждений и разрушения металла элементов энергоустановок.
5. Структурные и фазовые изменения в металле оборудования и трубопроводов в процессе длительной эксплуатации.
6. Процесс образования карбидов в металле при длительной эксплуатации.
7. Изменение механических свойств металла элементов энергоустановок в зависимости от срока службы.
8. Структурные концентраторы напряжений в металле деталей и конструкций и их природа.
9. Основные требования, предъявляемые к металлу в теплоэнергетике.
10. Основные служебные свойства металлов, применяемых в теплоэнергетике.
11. Ползучесть металла. Скорость ползучести. Предел ползучести.
12. Длительная прочность металла. Предел длительной прочности.
13. Характер разрушения металла в процессе ползучести.
14. Параметрическая зависимость Ларсена-Миллера.
15. Релаксация напряжений в металле. Условия проявления релаксации. Схема диаграммы релаксации.
16. Подразделение сталей и сплавов в зависимости от температуры эксплуатации.
17. Теплоустойчивые стали и примеры применения.
18. Жаропрочные аустенитные стали.
19. Жаропрочные сплавы на железоникелевой основе.
20. Классификация жаростойких сталей и сплавов.
21. Коррозионно-стойкие стали и сплавы.
22. Определение структурного класса коррозионно-стойкой стали по диаграмме Шеффлера.
23. Коррозионное растрескивание металла.
24. Новые стали для энергоустановок со сверхкритическими параметрами пара.
25. Классификация физических методов контроля для обнаружения дефектов в металле.
26. Контроль остаточной деформации ползучести паропроводов.
27. Контроль основного металла и металла сварных швов барабанов котлоагрегатов.
28. Контроль металла паровых турбин.
29. Контроль микроструктуры металла методом пластических реплик.
30. Безобразцовый контроль механических свойств металла оборудования и трубопроводов.
31. Ресурс эксплуатации энергоустановок. Виды ресурса.
32. Обеспечение ресурса на стадиях изготовления и эксплуатации оборудования.
33. Методики прогнозирования остаточного ресурса.
34. Технологии восстановления ресурса.
35. Способы защиты металла оборудования и трубопроводов от коррозии и эрозии.

Критерии оценки за освоение дисциплины определены в Инструктивном письме И-23 от 14 мая 2012 г.



## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

### Основная литература:

1. Матюнин В.М. Металловедение в теплоэнергетике. Учебное пособие. – М.: Изд. дом МЭИ, 2008. – 328 с. (НТБ МЭИ – 495 экз.).
2. Гуляев А.П., Гуляев А.А. Металловедение. – М.: Альянс, 2011. – 644 с. (НТБ МЭИ – 405 экз.).
3. Материаловедение и технология металлов : учебник для вузов по машиностроительным специальностям / Г. П. Фетисов, и др. – 5-е изд., стер. – М. : Высшая школа, 2007 . – 862 с. (НТБ МЭИ – 80 экз.).

### Дополнительная литература:

4. Новиков И.И. Металловедение. В 2-х томах. – М.: МИСиС, 2009. – 496 с. (НТБ МЭИ – 14 экз.).