

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе

Драгунов В.К.

« 16 » июня

2015 г.



Программа аспирантуры

Направление 13.06.01 Электро- и теплотехника

Направленность (специальность) 05.09.10 Электротехнология

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины по выбору

«Электронно-лучевые и плазменные технологии сварки, термообработки и нанесения покрытий»

Индекс дисциплины по учебному плану: Б1.В.ДВ.3.2

Всего: 72 часа

Семестр 5, в том числе

6 часов – контактная работа,  
48 часов – самостоятельная работа,  
18 часов – контроль

Программа составлена на основе федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению подготовки 13.06.01 Электро- и теплотехника, утвержденного приказом министерства образования и науки РФ от 30 июля 2014 № 878, и паспорта специальности 05.09.10 «Электротехнология» номенклатуры специальностей научных работников, утвержденной приказом Минобрнауки России от 25 февраля 2009 г. № 59.

## **ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Целью** изучения дисциплины является овладение подходами к построению электронно-лучевых и плазменных технологических комплексов и их использованию в технологических процессах сварки, термообработки и нанесения покрытий.

**Задачами** дисциплины являются:

- изучение физических закономерностей формирования электронных и ионных пучков, их взаимодействия с материалами;
- изучение принципов построения электронно-оптических, электротехнических и электромеханических систем электронно-лучевых и плазменных технологических комплексов;
- овладение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области электронно-лучевых и плазменных технологий сварки, термообработки и нанесения покрытий.

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

- владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности (ОПК-1);
- способность к применению теории электротехнологических процессов в профессиональной деятельности (ПК-1);
- владение методами математического и физического моделирования электротехнологических процессов и установок (ПК-2);

– способность к применению теории современных конструкционных материалов и их взаимодействия с электромагнитным полем и концентрированными потоками энергии в профессиональной деятельности (ПК-4).

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

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать **следующие результаты образования:**

### **знать:**

– физические закономерности формирования электронных и ионных пучков, их взаимодействия с материалами (ПК-1);

– принципы построения электронно-оптических, электротехнических и электромеханических систем электронно-лучевых и плазменных технологических комплексов (ПК-1);

– современные конструкционные, магнитные, диэлектрические и теплоизоляционные материалы, применяемые в электронно-лучевых и плазменных технологических комплексах (ПК-4);

### **уметь:**

– применять теорию формирования электронных и ионных пучков при проектировании электротехнологических комплексов (ПК-1);

### **владеть:**

– методологией теоретических и экспериментальных исследований в области электронно-лучевых и плазменных технологий сварки, термообработки и нанесения покрытий (ОПК-1);

– методами математического моделирования электронно-лучевых и плазменных электротехнологических процессов и установок (ПК-2).

## **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ**

### ***1. История развития и классификация процессов электронно-лучевой и ионно-плазменной обработки материалов***

Первые исследования в области применения электронного и ионного луча, пучково-плазменных технологий и оборудования. История развития лучевых и плазменных технологий на рубеже 20-21 веков. Современные тен-

денции и перспективы применения электронных, ионных пучков и плазменного напыления материалов. Классификация установок для электронно-, ионно-лучевой и ионно-плазменной обработки материалов.

## ***2. Типовые конструкции и особенности работы технологических электронных пушек и электронно-лучевых испарителей***

Основные конструктивные элементы и узлы электронных пушек. Плазменные электронные пушки и установки. Сварочные электронные пушки. Установки для электронно-лучевой перфорации материалов. Электронно-лучевые испарители. Конструктивные схемы исполнения катодных и анодных узлов. Основные типы катодов технологических пушек. Связь характеристик электронной пушки с формой электродов и параметрами источников питания. Магнитные линзы и отклоняющие системы. Основные схемы регулирования мощности и фокусировки электронных пучков. Особенности вакуумных систем электронных пушек.

## ***3. Типовые конструкции и особенности работы ионных источников, систем катодного и магнетронного распыления***

Ионные источники типа «Кауфман». Основные типы конструкций ионных источников с холодным катодом. Источники с ячейкой Пеннинга, замкнутым дрейфом электронов и анодным слоем, применяемые для ионной очистки, травления и напыления. Роль магнитных линз в работе ионных источников. Ионные источники с повышенными энергиями ионов для ионной имплантации. Системы катодного напыления металлов на постоянном токе и диэлектриков на переменном токе высокой частоты. Системы магнетронного напыления: классификация, типы магнитных систем, кольцевые и планарные системы распыления мишеней. Сравнительные характеристики различных существующих нанесения покрытий в вакууме.

#### ***4. Принципы построения технологических комплексов, реализующих электронно-лучевые и ионно-плазменные процессы, обзор элементной базы систем электропитания, систем откачки, механизированной оснастки, и систем подачи технологических газов***

Энергетический и электромеханический комплекс систем электронно-лучевой и ионно-плазменной обработки материалов. Технологический источник и система электропитания как главные элементы энергетического комплекса. Вольтамперные характеристики электронных и ионно-плазменных пушек и генераторов. Требования к системам электропитания. Источники, работающие на частоте 50 Гц, и инверторные преобразователи. Основные элементы электромеханического комплекса установок. Системы вакуумной откачки. Системы подачи технологических газов. Привода и манипуляторы, особенности оснастки электронно-лучевых и ионно-плазменных комплексов.

#### ***5. Современные методы контроля характеристик процессов электронно-лучевой и ионно-плазменной обработки, датчики и системы управления***

Классификация методов контроля характеристик процессов и режимов работы электротехнологического оборудования для электронно-лучевой и ионно-плазменной обработки. Методы контроля температуры изделия при обработке концентрированными потоками энергии. Методы контроля толщины покрытий при их осаждении методом ионного распыления. Методы контроля энергетических и геометрических характеристик электронных и ионных пучков. Системы управления процессами электронно-лучевой и ионно-плазменной обработки материалов.

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

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины:

5 семестр – дифференцированный зачет.

### **Вопросы для самоконтроля и для проведения зачета**

1. Классификация электронно-лучевых и ионно-плазменных установок и систем по целевому назначению.
2. Получение свободных электронов, их ускорение и формирование электронного пучка.
3. Способы фокусировки и отклонения электронных пучков.
4. Основные элементы конструкции технологических электронных пушек.
5. Сравнительные характеристики и конструктивные особенности электронных пушек, применяемых для плавки, сварки и нанесения покрытий.
6. Получение ионных пучков в автономных ионных источниках. Типы ионных источников и их конструкция.
7. Нанесение покрытий методом катодного вакуумного напыления на постоянном токе и переменном токе высокой частоты.
8. Принцип действия систем магнетронного напыления. Преимущества и недостатки в сравнении с другими технологиями нанесения покрытий.
9. Источники питания, применяемые для электронно-лучевых технологических комплексов: классификация, характеристики нагрузки, варианты решения задач управления режимами обработки изделий.
10. Источники питания ионных источников и систем катодного распыления: элементная база и способы регулирования скорости напыления.
11. Методы диагностики электронных и ионных технологических пучков.
12. Методы измерения скорости напыления и толщины покрытий различного назначения.
13. Структуры систем управления электронно-лучевых технологических установок.
14. Структуры систем управления установок ионно-плазменной обработки: ионно-лучевого травления, магнетронного и катодного распыления.

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

## **РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА**

### **Основная литература:**

1. Щербаков А.В. Конструкции, системы электропитания и управления электронно-лучевых технологических установок. Учебное пособие. – М.: Издательство МЭИ, 2015. 52 с.
2. В.С. Чередниченко, Б.И. Юдина. Вакуумные плазменные электропечи. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. 587 с.
3. Домаров П. В., Мелешко А. А. Установки специального электронагрева: учебное пособие. – Новосибирск: НГТУ, 2012. 76 с.
4. Шешин Е.П. Вакуумные технологии. – М.: Интеллект, 2009. 504 с.

### **Дополнительная литература:**

5. Рубцов В.П., Батов Н.Г. Электротехнологические установки специального назначения. - М.: Изд-во МЭИ, 2006. 82 с.
6. Ластовиря В.Н., Каримбеков М.А., Гончаров А.Л. Оборудование для обработки материалов концентрированными потоками энергии: учебное пособие. – М.: Изд-во МЭИ, 2006. 36 с.