

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

«УТВЕРЖДАЮ»



Проректор

Драгунов В.К.

«21» июня 2019 г.

Программа аспирантуры

Направление 15.06.01 Машиностроение

Направленность (специальность) 05.02.10 "Сварка, родственные процессы и технологии"

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины по выбору

«Оборудование для обработки материалов концентрированными потоками энергии»

Индекс дисциплины по учебному плану: Б1.В.ДВ.1.1

Всего: 108 часов

Семестр 1, в том числе

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

Программа составлена на основе федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению подготовки 15.06.01

«Машиностроение», утвержденного приказом Минобрнауки России от 30 июля 2014 г. № 881, и паспорта специальности 05.02.10 "Сварка, родственные процессы и технологии" (направление 05.02.00 "Машиностроение") номенклатуры специальностей научных работников, утвержденной приказом Минобрнауки России от 10 января 2012 г. № 5.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью дисциплины является углубленное изучение принципов формирования концентрированных потоков энергии и основ проектирования основанного на их применении технологического оборудования.

Задачами дисциплины являются:

- изучение теории формирования концентрированных потоков энергии;
- освоение методов компьютерного моделирования и проектирования технологического оборудования и соответствующего математического аппарата;
- изучение свойств специальных конструкционных материалов и основ конструирования с использованием этих материалов;

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

- способностью участвовать в работе над инновационными проектами, используя базовые методы исследовательской деятельности (ПК-4)
- умением учитывать технические и эксплуатационные параметры деталей и узлов изделий машиностроения при их проектировании (ПК-5);
- способностью оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам (ПК-7);

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

знать:

- методы работы над инновационными проектами, используя базовые методы исследовательской деятельности (ПК-4);
- основные технические и эксплуатационные параметры деталей и узлов изделий машиностроения при их проектировании, изготовлении и эксплуатации • (ПК--5);
- требования к проведению проектно-конструкторских работ с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам (ПК-7).

Уметь:

- моделировать, проектировать и эксплуатировать основные узлы оборудования, основанного на высококонцентрированных потоках энергии (ПК-4, ПК-5,-ПК-7).

Владеть:

- навыками применения полученной информации при разработке оборудования и проведении технологических процессов (ПК-4, ПК-5, ПК-7).

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

Введение. Электронно-лучевое оборудование. (2 часа)

Назначение и основные характеристики электронно-лучевого оборудования. Основные технологические применения. Функциональная схема сварочной электронно-лучевой установки. Основы взаимодействия концентрированного электронного пучка и материала. Основные узлы электронно-лучевой установки.

2. Устройство сварочных электронных пушек (10 часов)

Электронные пушки. Эффект кинжального проплавления металла электронным пучком. Технологические требования к параметрам электронного пучка при проведении различных технологических операций. Защита от рентгеновского излучения. Устройство электронной пушки средней и малой мощности. Выбор типа катода. Конструкция катодных узлов. Конструкция высоковольтных изоляторов. Материалы катодов. Конструкция катодов с прямым и косвенным накалом. Управление током электронного пучка. Магнитные линзы. Классификация. Насыщение материала сердечника. Электростатические линзы. Классификация. Электрическая прочность. Отклоняющие системы. Классификация. Катодные линзы. Высоковольтные изоляторы. Методы защиты от пробоя.

3. Расчет и моделирование электромагнитных полей (20 часов)

Уравнения Максвелла. Физический смысл. Векторный и скалярный потенциалы. Уравнение Пуассона. Энергия электромагнитного поля. Расчет электрического поля. Задача Дирихле для уравнения Лапласа. Метод конечных разностей. Функционал для энергии электрического и магнитного поля. Прямая минимизация функционала и метод конечных элементов.

Ферромагнитные материалы. Процесс намагничивания. Гистерезис. Программы для расчета распределения индукции поля в магнитной линзе с ферромагнитным сердечником методом конечных элементов с учетом кривой намагнитности материала. Адаптивная сетка.

Расчет магнитного поля в системах без сердечников. Закон Био-Савара-Лапласа. Поле линейного проводника и витка с током. Поле отклоняющей системы.

4. Расчет и моделирование пучков заряженных частиц (28 часов)

Функция Лагранжа для электрона, движущегося в электромагнитном поле. Функционал действия. Принцип наименьшего действия. Закон сохранения энергии. Принцип Ферма. «Электронно-оптическая среда» и электронно-оптический показатель преломления. Электронная оптика. Аналогия со световой оптикой.

Уравнения движения заряженных частиц в форме Эйлера-Лагранжа. Точные уравнения траекторий. Решение нелинейных дифференциальных уравнений методом возмущений. Приближенные линейные (параксиальные) уравнения траекторий. Функции ошибок.

Электромагнитные поля с симметрией вращения. Уравнение Лапласа для осесимметричного поля. Представление компонент распределения поля в форме степенных рядов. Оптические свойства полей с симметрией вращения. Фундаментальные решения параксиальных уравнений. Плоскость предмета и плоскость изображения. Линейное и угловое увеличения. Свойства траекторий электронного пучка в приближении параксиальных уравнений. Вращающаяся система координат для осесимметричного магнитного поля. Параксиальная система уравнений во вращающейся системе координат. Угол поворота изображения в осесимметричном магнитном поле.

Фокусировка и отклонения электронного пучка в линейном приближении. Теорема Гельмгольца – Лагранжа. Идеальное отклонение. Фокусировка и отклонение пучка в комбинированном фокусирующем и отклоняющем поле.

Геометрические ошибки изображения. Хроматические ошибки изображения. Моделирование геометрических ошибок изображения методом возмущений. Классификация ошибок изображения. Оптимизация систем без ограничивающей апертурный угол пучка диафрагмы.

Преобразование плотности тока пучка в линейном приближении. Закон Лэнгмюра. Плотность тока пучка в источнике. Пространственный заряд и его

влияние на эмиссию и траектории электронов в пучке. Плотность тока эмиссии и закон Ричардсона. Оценки для плотности тока эмиссии для различных материалов катода.

5. Высоковольтные сварочные пушки (2 часа)

Методы повышения мощности электронного пучка в сварочной пушке. Ускоряющий узел высоковольтной пушки. Ускоряющая трубка. Высоковольтный изолятор. Распределение напряженности электрического поля. Компонировка ускоряющей системы.

6. Конструкционные материалы и основы проектирования сварочных пушек (6 часов)

Материал магнитного сердечника линзы. Индукция насыщения и петля гистерезиса. Пермаллой и сталь Армко. Циклы намагничивания. Материалы электродов ускоряющего промежутка и корпуса пушки. Антимагнитные конструкционные сплавы. Материалы элементов вакуумной системы. Керамические материалы вакуумных высоковольтных изоляторов. Отвод тепла. Технические требования к конструкции узлов сварочной пушки. Типовые элементы конструкции.

7. Оборудование для смежных технологических процессов (8 часов)

Вакуумные плавильные печи для получения прецизионных сплавов. Бестигельные способы плавки. Нанесение тонкопленочных покрытий в вакууме. Электронно-лучевые испарители. Размерная обработка. Фрезерование. Наплавка защитных покрытий. Электронная литография. Изготовление фотошаблонов для микроэлектроники. Технологические источники ионов. Ионная очистка и полировка поверхности, ионное реактивное напыление многокомпонентных тонких пленок. Промышленные источники ионов. Плазменные технологии. Источники плазмы. Пламохимическое травление в микроэлектронике.

8. Оборудование для аддитивных технологических процессов (2 часа)

Принципы реализации аддитивных технологий. Порошковые технологии с лазерным нагревом. Стереолитография с локальной полимеризацией мономера при помощи лазера. 3D принтеры, работающие с различными материалами. Электронно-лучевые порошковые технологии изготовления точных заготовок. Электронно-лучевые технологии изготовления точных заготовок на основе плавления присадочной проволоки.

9. Источники питания электронно-лучевых установок (10 часов)

Функциональная схема источников питания установки для электронно-лучевой сварки. Цифровое управление. Высоковольтный источник питания. Высоковольтные трансформаторы с замкнутым и разомкнутым магнитопроводами. Широтно-импульсная модуляция. Инвертор. Методы

стабилизации величины высокого напряжения. Делитель напряжения в цепи обратной связи.

Источник питания для управления током пучка. Источники питания для нагрева катода пушки.

10. Системы цифрового управления (10 часов)

Модульный принцип построения систем управления с открытой архитектурой. Распределенная система управления и мультиагентный подход. Система управления с одним компьютером, включающая подсистемы оператора и данных. Компьютерные сети конфигурации «Общая шина», Ethernet и «Spicewire», «Canbus». Пакетная передача информации в сети. Формат кадров в сети.

11. Вакуумная техника (10 часов)

Вакуум. Длина свободного пробега и скорость молекул газа. Частота столкновений со стенкой камеры. Критерий Кнудсена. Вязкостное течение газа в трубе. Проводимость трубопровода. Молекулярный поток газа в трубе. Имитационное моделирование потока газа. Быстрота откачки. Быстрота действия насоса. Электрические явления в вакууме. Механические вакуумные насосы. Турбомолекулярные насосы. Паромасляные насосы. Испарительные насосы. Криогенные насосы. Магниторазрядные насосы.

ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины:
1 семестр - дифференцированный зачет.

Вопросы для самоконтроля и проведения зачета

1. Что является источником магнитного поля в первом уравнении Максвелла
2. Что является источником электрического поля во втором уравнении Максвелла
3. Имеет ли магнитное поле источники и стоки?
4. Укажите условия, при которых электрическое и магнитное поле существуют независимо друг от друга?
5. Изменяются ли во времени потенциалы поля в уравнениях Пуассона и Лапласа?

6. Какое значение согласно принципу наименьшего действия функционал действия достигает на траектории, по которой движется физическая система?
7. От каких переменных зависит функция Лагранжа в трехмерной декартовой системе координат?
8. Запишите уравнения Лапласа и Пуассона в цилиндрической системе координат?
9. Сформулируйте задачу Дирихле для уравнения Лапласа.
10. Что такое граничные и начальные условия в задаче Дирихле?
11. Запишите функцию Лагранжа для электрона, движущегося в магнитном поле, при условии, что энергия электронов на катоде равна нулю.
12. В чем состоят оптические свойства осесимметричного электрического поля электростатической линзы
13. Из какого материала изготавливают сердечник магнитной линзы
14. Из какого материала изготавливают электроды электростатической линзы
15. Из какого материала изготавливают корпус сварочной электронной пушки ?
16. Из какого материала изготавливают вакуумные высоковольтные изоляторы?
17. К какому условному диапазону относится диапазон давлений: от 100 до 0.1 Па;
18. К какому условному диапазону относится следующий диапазон давлений: от 0.1 Па до 10^{-5} Па;
19. Как соотносится длина свободного пробега молекул газа и характерный размер вакуумной камеры для различных степеней вакуума?
20. Как называется процесс поглощения молекул газа поверхностью вакуумной системы
21. При какой степени вакуума пробивное напряжение вакуума минимально и максимально?

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

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Балашов В.Н. и др. Моделирование сварочных электронных пушек. – М.: Из-во «Вече», 2016. – 128 с.
2. Силады М. Электронная и ионная оптика. – М.: «Мир», 1990. – 567 с.
3. Молоковский С.И., Сушков А.Д. Интенсивные электронные и ионные пучки. – М.: «Энергия», 1980. – 237 с.
4. Розанов Л.Н. Вакуумная техника. – М.: «Высшая школа», 1990. – 320 с.