Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение

высшего образования

**«Пермский национальный исследовательский**

**политехнический университет»**

**ПРОГРАММА**

**вступительного испытания по специальной дисциплине по программе подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре**

|  |  |
| --- | --- |
| **Научная специальность** | 2.5.8. Сварка, родственные процессы и технологии |
| **Направленность (профиль)** **программы аспирантуры**  | Сварка, родственные процессы и технологии |
| **Обеспечивающие кафедры:** | Сварочное производство, метрология и технология материалов (СПМ и ТМ) |

Руководитель программы: Зав. кафедрой, д-р техн. наук, проф. Ю.Д. Щицын

**Пермь 2022 г.**

**Для поступающих на кафедру**

**«СВАРОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО, МЕТРОЛОГИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ МАТЕРИАЛОВ»**

1. **Вопросы**

Лучевые технологии и оборудование в сварочном производстве

* 1. Движение электронов в электростатическом поле.
	2. Движение электронов в магнитном поле.
	3. Ускорение электронов.
	4. Электронные линзы.
	5. Основные типы электростатических электронных линз.
	6. Получение свободных электронов.
	7. Типовые конструкции катодов сварочных электронных пушек.
	8. Срок службы катодов.
	9. Оптические схемы формирования электронного пучка.
	10. Действие собственного пространственного заряда в сварочных электронных пучках.
	11. Регулирование тока сварочного электронного пучка.
	12. Основные конструктивные схемы формирования сварочного электронного пучка.
	13. Конструкция фокусирующих катушек сварочных электронно-лучевых пушек.
	14. Конструкция магнитных отклоняющих систем.
	15. Механизм взаимодействия мощного концентрированного электрон­ного пучка с металлом при сварке.
	16. Образование канала проплавления в металле при электронно-лучевой сварке.
	17. Взаимодействие электронного пучка со стенками канала проплавления при сварке.
	18. Влияние фокусировки электронного пучка на конфигурацию зоны проплавления при электронно-лучевой сварке.
	19. Специфические дефекты сварных швов при кинжальном проплавлении металла.
	20. Формирование сварного шва при электронно-лучевой сварке со сквозным проплавлением.
	21. Модуляция и осцилляция электронного пучка при сварке.
	22. Формирование сварного шва при электронно-лучевой сварке с модуляцией электронного пучка.
	23. Формирование сварного шва при электронно-лучевой сварке с осцилляцией электронного пучка.
	24. Траектории развертки электронного пучка при сварке с осцилляцией пучка и их влияние на геометрию зоны проплавления.
	25. Вторичные процессы в зоне воздействия мощного концентрированного электронного пучка при электронно-лучевой сварке.
	26. Контроль процесса воздействия электронного пучка на металл при сварке по параметрам тока отраженных электронов.
	27. Контроль процесса воздействия электронного пучка на металл по параметрам вторичного тока в плазме в зоне сварочной ванны.
	28. Контроль процесса электронно-лучевой сварки со сквозным проплавлением металла.
	29. Наведение электронного пучка на стык при электронно-лучевой сварке.
	30. Устройство катодного узла электронной пушки.
	31. Структура, состав и компоновка установок для электронно-лучевой сварки.
	32. Питающие устройства электронно-лучевых сварочных установок.
	33. Камеры электронно-лучевых сварочных установок.
	34. Вакуумные системы технологических камер электронно-лучевых сварочных установок.

Плазменная обработка материалов

* 1. Особенности плазменной сварки титана, легированных сталей и сложнолегированных сплавов.
	2. Особенности плазменной сварки алюминиевых и магниевых сплавов.
	3. Оборудование для плазменной сварки, вспомогательные устройства. Режимы сварки.
	4. Плазменная сварка с подачей нетоковедущей присадочной проволоки.
	5. Плазменная сварка проникающей дугой. Особенности процесса, преимущества и недостатки.
	6. Механизм взаимодействия сжатой дуги с полостью кратера при плазменной сварке проникающей дугой.
	7. Плазменная сварка проникающей дугой. Условия удержания жидкой ванны на весу и стабильного формирования сварного шва.
	8. Особенности движения жидкого металла в сварочной ванне при плазменной сварке проникающей дугой.
	9. Плазменная сварка проникающей дугой. Характерные области формирования сварного шва.
	10. Проблемы плазменной сварки проникающей дугой цветных металлов и высоколегированных сталей; методы их решения. Области применения плазменной сварки проникающей дугой.
	11. Плазменная сварка проникающей дугой с одновременной подачей присадочной проволоки.
	12. Специальные методы плазменной сварки. Микроплазменная сварка. Общие сведения. Характеристики малоамперной сжатой дуги.
	13. Области применения микроплазменной сварки. Оборудование и технология микроплазменной сварки.
	14. Микроплазменная сварка. Источники питания для микроплазменной сварки цветных металлов и легированных сталей.
	15. Специальные методы плазменной сварки. Плазменная сварка закрытой дугой.
	16. Специальные методы плазменной сварки. Особенности плазменной сварки закрытой дугой малых и больших толщин свариваемых металлов.
	17. Специальные методы плазменной сварки. Микроплазменная сварка алюминиевых сплавов.
	18. Специальные методы плазменной сварки. Плазменная сварка полым катодом в вакууме. Технология сварки различных металлов.
	19. Специальные методы плазменной сварки. Оборудование для плазменной сварки полым катодом в вакууме.
	20. Комбинированные процессы плазменной сварки. Плазменная сварка с подогревом присадочной проволоки.
	21. Плазменная сварка с подогревом присадочной проволоки. Схемы процессов; способы подогрева присадочной проволоки.
	22. Комбинированные процессы плазменной сварки. Плазменная сварка с одновременной подачей двух токоведущих присадочных проволок.
	23. Комбинированные процессы плазменной сварки. Импульсная плазменная сварка.
	24. Комбинированные процессы плазменной сварки. Плазменная сварка плазмотронами с комбинированной подачей газов.
	25. Комбинированные процессы плазменной сварки. Плазменная сварка плавящимся электродом. Сущность и разновидности процесса.
	26. Комбинированные процессы плазменной сварки. Плазменная сварка плавящимся электродом при использовании сжатой дуги на токе прямой полярности.
	27. Плазменная сварка плавящимся электродом. Особенности плазменной сварки плазмотроном с кольцевым анодом.
	28. Плазменная сварка плавящимся электродом плазмотроном с кольцевым анодом. Сварка обесточенной проволокой.
	29. Плазменная сварка плавящимся электродом плазмотроном с кольцевым анодом. Сварка токоведущей проволокой.
	30. Плазменная сварка плавящимся электродом плазмотроном с кольцевым анодом. Сварка заглубленной дугой с плавящегося электрода.

Теория сварочных процессов

* 1. Уравнения формальной кинетики
	2. Закон действия масс в кинетике
	3. Зависимость скорости реакции от температуры
	4. Кинетика гетерогенных реакций
	5. Формальное описание диффузии
	6. Зависимость коэффициента диффузии от температуры
	7. Виды коэффициентов диффузии
	8. Диффузия в многокомпонентных растворах
	9. Лимитирующая стадия процесса
	10. Понятие вязкости жидкости (расплава).
	11. Связь D и η
	12. Поверхностная энергия жидких металлов и сплавов
	13. Смачивание и растекание
	14. Капиллярное давление
	15. Условия выделения новой фазы
	16. Термогравиметрия (ТГ).
	17. Метод дифференциального термического анализа (ДТА).
	18. Метод термомеханического анализа (ТМА),
	19. Определение количества и состава выделившегося газа (ЕГА).
	20. Сканирующая туннельная микроскопия.
	21. Электронная микроскопия.
	22. Рентгеновская дифрактометрия, лазерная дифрактометрия.
	23. Методы определения вязкости шлаков: Вискозиметрия, Метод капиллярного истечения, Метод движущегося в жидкости тела, Ротационные методы, Методы крутильных колебаний
	24. Методы измерения температуры жидкого металла : Преобразователи термоэлектрические хромель-алюмелевые (ТХА), хромель-копелевые (ТХК) и железо-константановые (ТЖК); бесконтактное определение температуры открытой поверхности металла.
	25. Рентгеновский фазовый анализ.
	26. Определение химического состава стали и сплавов методами спектрального анализа: ИК-спектроскопия; атомно-абсорбционной спектрометрии, фотометрии.
	27. Определение химического состава стали и сплавов методом химического анализа.
	28. Дилатометрический метод определения критических точек металлов и сплавов, процессов распада твердых растворов, а также температурных интервалов существования упрочняющих фаз.

Математические методы в инженерии

* 1. Основные понятия планирования эксперимента: функция отклика, переменные факторы процесса, параметр оптимизации.
	2. Полный и дробный факторный эксперимент.
	3. Факторный эксперимент первого порядка: построение матрицы планирования полного и дробного факторного эксперимента.
	4. Факторный эксперимент первого порядка: обработка результатов эксперимента, построение уравнения регрессии.
	5. Крутое восхождение по поверхности отклика.
	6. Факторный эксперимент второго порядка. Ортогональное планирование второго порядка.
	7. Факторный эксперимент второго порядка. Ротатабельное планирование второго порядка.
	8. Факторный эксперимент второго порядка. Построение уравнения регрессии второго порядка.
	9. Обобщенный параметр оптимизации.
	10. Физическое, символьное (математическое) и численное моделирование на компьютере. Условия их применения. Отличие численного моделирования от математического.
	11. Основные требования к математической модели.
	12. Алгоритм построения математической модели.
	13. Вывод дифференциального уравнения теплопроводности при нагреве стержня.
	14. Вывод дифференциального уравнения теплопроводности при нагреве объемного тела (параллелепипеда).
	15. Форма записи уравнения теплопроводности при действии неподвижного и подвижного источника нагрева, с учетом теплообмена с окружающей средой.
	16. Условия однозначности. Дать определение.
	17. Краевая задача. Дать определение.
	18. Дельта-функция Дирака и ее свойства, единичная функция и ее свойства. Описание точечного, линейного по глубине и плоского непрерывно-действующего и мгновенного источника нагрева.
	19. Решение уравнения теплопроводности методом функций Грина. Описание способа.
	20. Решение дифференциального уравнения теплопроводности методом сеток. Последовательность операций при численном моделировании на компьютере.
	21. Математическая модель стыковой контактной сварки, полученная решением дифференциального уравнения теплопроводности методом функций Грина (электрический ток как источник нагрева, применяемые расчетные схемы, построение математической модели для одной из схем на выбор).
	22. Математическая модель ручной дуговой сварки, полученная решением дифференциального уравнения теплопроводности методом функций Грина (сварочная дуга как источник нагрева, применяемые расчетные схемы, построение математической модели для одной из схем на выбор).
	23. Математическая модель электронно-лучевой сварки, полученная решением дифференциального уравнения теплопроводности методом функций Грина (электронный луч как источник нагрева, применяемые расчетные схемы, построение математической модели для одной из схем на выбор).
	24. Математизация научных исследований.
	25. Установление вида зависимости между двумя переменными величинами.
	26. Температурное поле, изотермические поверхности, изотермические линии, термический цикл сварки, теплофизические свойства материалов (плотность, удельная теплоемкость, коэффициент теплопроводности).
	27. Описание точечного непрерывно-действующего источника нагрева.
	28. Описание плоского непрерывно действующего источника нагрева.
	29. Описание точечного мгновенного источника нагрева.
	30. Описание линейного по глубине мгновенного действующего источника нагрева.
	31. Описание линейного по глубине непрерывно-действующего источника нагрева.
	32. Решение уравнения теплопроводности методом функций Грина. Описание способа.
	33. Решение дифференциального уравнения теплопроводности методом сеток.
	34. Последовательность операций при численном моделировании на компьютере.
1. **Рекомендуемая литература, информационные ресурсы**

Лучевые технологии и оборудование в сварочном производстве

* 1. Специальные методы сварки: учебное пособие / Ю.М. Тыткин, Д.Н. Трушников, В.Я. Беленький.– Пермь: Из-во ПНИПУ, 2012.– 86 с.
	2. Рыкалин Н.Н., Зуев И.В., Углов А.А. Основы электронно-лучевой обработки материалов. М. Машиностроение. 1978. 239 с.
	3. Кайдалов А.А. Электронно-лучевая сварка и смеж­ные тех­нологии. Киев. Экотехнология. 2004. 260 с.
	4. Лаптенок В.Д., Мурыгин А.В., Серегин Ю.Н., Браверман В.Я. Управление электронно-лучевой сваркой. Красноярск. 2000. 230 с.
	5. Теория сварочных процессов : учебное пособие / Е.А. Кривоносова .– Пермь: Изд-во ПГТУ, 2007.– 261 с.
	6. Беленький В.Я., Язовских В.М. Электронно-лучевая, лазерная и ион­но-лучевая обработка материалов. Пермь. Из-во ПГТУ. 1995. 76 с.

Плазменная обработка материалов

* 1. Плазменные технологии и оборудование: учебное пособие / Ю.Д. Щицын.- Пермь: Из-во ПНИПУ, 2013. -103 с.
	2. Плазменная обработка материалов: учебное пособие / Ю.Д. Щицын.- Пермь: Из-во ПНИПУ, 2013. -143 с.
	3. Специальные методы сварки: учебное пособие / Ю.М. Тыткин, Д.Н. Трушников, В.Я. Беленький.– Пермь: Из-во ПНИПУ, 2012.– 86 с.
	4. Теория сварочных процессов : учебное пособие / Е.А. Кривоносова.– Пермь: Изд-во ПГТУ, 2007.– 261 с.
	5. Сидоров А.И. Восстановление деталей машин напылением и наплавкой: Изд-во Машиностроение, М. - 1987. − 190 с.
	6. Лещинский Л.К. и др. Плазменное поверхностное упрочнение: Изд-во Техника, Киев. - 1990. − 109 с.
	7. Кудинов В.В. и др. Нанесение покрытий плазмой: Изд-во Наука, М. - 1990. − 406 с.
	8. Ширшов И.Г., Котиков В.Н. Плазменная резка: Изд-во Машиностроение, Л.-1987. − 192 с.

Теория сварочных процессов

* 1. Теория сварочных процессов. Металлургия. Металловедение. Свариваемость / Кривоносова Е.А.– Изд-во Перм. гос. тех. ун-т.– Пермь, 2007 г., 259 с.
	2. Теория сварочных процессов./ Неровный В.М .-Москва, Изд-во МГТУ им. Баумана. 2007, 742 с.
	3. Примеры решения типовых физико-химических задач в ТСП. Часть 1. Термодинамические расчеты.. Уточкин В.В. Изд-во Перм. гос. техн. ун-т.- Пермь, 2000, 45 с.
	4. [Физическая химия расплавов. Учебное пособие](http://www.biblion.ru/product/986631/). [Лавров Б.А.](http://www.biblion.ru/author/222871/), [Удалов Ю.П.](http://www.biblion.ru/author/276362/) .-Москва, Изд-во [Проспект науки](http://www.biblion.ru/producer/66473/). 2013.

Математические методы в инженерии

* 1. Математическое моделирование и основы научных исследований в сварке : учебное пособие для вузов / И.Ю.Летягин; Пермский национальный исследовательский политехнический университет . – Пермь : Изд-во ПНИПУ, 2013. – 130 с.
	2. Эмпирическое моделирование : учебное пособие / В. С. Постников, С. А. Белова ; Пермский государственный технический университет. – Пермь : Изд-во ПГТУ, 2007 . 45 с.
	3. Начала инженерного творчества : учебное пособие / Б. Ф. Потапов, Р. В. Бульбович, А. Ю. Крюков ; Пермский государственный технический университет. – Пермь : Изд-во ПГТУ, 2010. – 189 с.
	4. Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных : учебное пособие для магистров / Н. И. Сидняев. – Москва : Юрайт, 2012. – 399 с.
	5. Математическая обработка результатов эксперимента : учебное пособие для вузов / Г. Б. Лялькина, О. В. Бердышев ; Пермский национальный исследовательский политехнический университет. – Пермь : Изд-во ПНИПУ, 2013. – 77 с.
	6. Введение в теорию планирования эксперимента : учебное пособие для вузов / Н. И. Сидняев, Н. Т. Вилисова ; Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана .— Москва : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011.- 463 с.
1. **Пример экзаменационного билета**

|  |  |
| --- | --- |
| ПЕРМСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ | УТВЕРЖДАЮЗав. кафедрой \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Вступительные испытания по специальной дисциплине, соответствующей научной специальностиСварка, родственные процессы и технологии |
| *Наименование научной специальности* |
| ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №11. Определение химического состава стали и сплавов методом химического анализа.2. Факторный эксперимент второго порядка. Ортогональное планирование второго порядка. Алгоритм построения математической модели.3. Основные конструктивные схемы формирования сварочного электронного пучка. |