

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ «РОСАТОМ»
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»
СНЕЖИНСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ НИЯУ МИФИ

НАУЧНАЯ СЕССИЯ НИЯУ МИФИ – 2014

Сборник научных трудов

**ЧЕТВЕРТОЕ ЗАСЕДАНИЕ ТЕМАТИЧЕСКИХ СЕКЦИЙ
ПО НАПРАВЛЕНИЮ
ИННОВАЦИОННЫЕ ЯДЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

30-31 января 2014 г., Снежинск

Снежинск

НАУЧНАЯ СЕССИЯ НИЯУ МИФИ-2014. Сборник научных трудов. Четвертое заседание тематических секций по направлению «Инновационные ядерные технологии». 30-31 января 2014 г., Снежинск. Снежинск: СФТИ НИЯУ МИФИ, 2014. 160 с.

Настоящая книга является сборником научных трудов, представленных на заседаниях тематических секций (14, 15, 16) по направлению «Инновационные ядерные технологии» ежегодной Научной сессии НИЯУ МИФИ, проходящих на базе Снежинского физико-технического института НИЯУ МИФИ.

Материалы подготовлены преподавателями, научными сотрудниками, молодыми учеными, аспирантами и студентами филиалов НИЯУ МИФИ, учеными и специалистами предприятий Госкорпорации «Росатом» и вузов УрФО.

Работы отражают достижения и уровень исследований, тенденции и проблемы в развитии и обеспечении научно-исследовательских работ.

Книга предназначена читателям, интересующимся тематикой представленных в ней научных направлений.

ОРГКОМИТЕТ

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ:

Водолага Б.К. - зам. директора ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ Е.И. Забабахина», д.ф.-м.н., профессор

СОПРЕДСЕДАТЕЛЬ:

Линник О.В. - и.о. руководителя СФТИ НИЯУ МИФИ, к.и.н., доцент

ЧЛЕНЫ ОРГКОМИТЕТА:

Колмогорцев А.М. - зав. каф. общей физики СФТИ НИЯУ МИФИ, к.х.н.

Колупаев Д.Н. - зам. гл. инженера ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ Е.И. Забабахина», к.т.н.

Макеева И.Р. - ведущий н.с. «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ Е.И. Забабахина», к.ф.-м.н.

Орлов А.А. - декан механико-машиностроительного факультета, СФТИ НИЯУ МИФИ, к.т.н., доцент

Орлова Н.Ю. - зав. каф. технологии машиностроения СФТИ НИЯУ МИФИ, к.т.н.

Певнева Н.А. - нач. Центра инф., библиотечного обслуживания и изд. деятельности СФТИ НИЯУ МИФИ

Симоненко В.А. - зам. научного руководителя ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ Е.И. Забабахина», д.ф.-м.н., профессор

Собко С.А. - нач. отдела технологического подразделения ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ Е.И. Забабахина», к.т.н.

Соколов В.П. - нач. лаб. ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ Е.И. Забабахина»

Чернухин Ю.И. - ведущий н.с. СФТИ НИЯУ МИФИ, к.ф.-м.н.

ISBN 978-5-7262-1910-3

© Снежинский физико-технический институт НИЯУ МИФИ, 2014

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 14. ЯДЕРНАЯ, РАДИАЦИОННАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ АТОМНЫХ ОБЪЕКТОВ УРАЛЬСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА

- Белоногов М.Н., Волков И.А., Дырда Н.Д., Трапезников М.А.
**НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИЕ
РАСЧЁТЫ МОДЕЛИ ДЕМОНСТРАЦИОННОЙ
ЖИДКОСОЛЕВОЙ РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ.....9**
- Белоногова Е.А., Симоненко В.А., Макеева И.Р., Шульц О.В., Пешкичев И.В.
**РАЗРАБОТКА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА СПЕКАНИЯ
ТОПЛИВНЫХ ТАБЛЕТОК ИЗ МАТЕРИАЛА, ПОЛУЧЕННОГО
КАРБОТЕРМИЧЕСКИМ СИНТЕЗОМ.....10**
- Волков И.А., Макеева И.Р., Симоненко В.А.
**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОМПОНОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ АКТИВНОЙ ЗОНЫ
РЕАКТОРОВ ТИПА БРЕСТ-1200 НА ЯДЕРНЫЙ ТОПЛИВНЫЙ
ЦИКЛ РЕАКТОРА.....11**
- Дырда Н.Д., Симоненко В.А., Макеева И.Р., Волков И.А.
**АНАЛИЗ ЗАМКНУТЫХ ТОПЛИВНЫХ ЦИКЛОВ ПЕРСПЕКТИВНЫХ БЫСТРЫХ
РЕАКТОРОВ С ПОЗИЦИЙ НЕРАСПРОСТРАНЕНИЯ ЯДЕРНО-ОРУЖЕЙНЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ И ДЕЛЯЩИХСЯ МАТЕРИАЛОВ.....12**
- Куприянец Т.А.
**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЙ
ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ
С УЧЕТОМ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА.....13**
- Лавренюк И.В.
**ЗАДАЧИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ДЕФЛАГРАЦИОННО-ДЕТОНАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ
В ВПГС В ЦЕЛЯХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВОДОРОДНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АЭС.....14**
- Паукова А.Е., Макеева И.Р., Шульц О.В., Пешкичев И.В., Пугачев В.Ю., Баева Ю.Н.
**КОМПЛЕКС АТЭК 4.0. АВТОНОМНЫЕ ПРОГРАММНЫЕ МОДУЛИ. РАСЧЕТЫ
ТЕРМОДИНАМИКИ И ПРОЦЕССА ЭКСТРАКЦИОННОГО
ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ.....15**
- Пешкичев И.В., Шульц О.В., Скибо А.А., Белоногова Е.А.
**РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПРОЦЕССА КАРБОТЕРМИЧЕСКОГО
СИНТЕЗА ПОРОШКОВ МОНОНИТРИДА УРАНА И ПЛУТОНИЯ.....16**
- Попцова К.В.
ТЕХНОЛОГИЯ ГЕНЕРАЦИИ ОТЧЕТОВ В ПК АТЭК 4.0.....17
- Пугачев В.Ю., Дубосарский В.Г., Макеева И.Р.
АТЭК 4.0. БАЛАНСОВАЯ МОДЕЛЬ ПЕРЕРАБОТКИ ОЯТ.....18

Романова Н.Ю., Макеева И.Р., Доровский И.А., Сырцова Ю.Г.
**РАЗРАБОТКА РАСЧЕТНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МОДУЛЯ СИСТЕМЫ
ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРОЕКТА «ПРОРЫВ».....19**

Шульц О. В.
МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОЛИЗА НИТРИДНОГО ОЯТ.....20

Секция 15. ТЕХНОЛОГИИ, МАТЕРИАЛЫ, КОНСТРУИРОВАНИЕ И ДИАГНОСТИКА В ЯДЕРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Агеев К.А., Белоусов С.В., Сорокин А.Н.
**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ НАНЕСЕНИЯ
ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ.....21**

Андреев В.А., Бурова Е.А., Уваров П.Н., Макаеев Ю.Н.
**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СОВМЕСТНОГО
ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
ИЗ УРАНСОДЕРЖАЩИХ РУД.....25**

Апороски А.В., Грогорьева Р.А., Садыков Н.Р.
**ПРОХОЖДЕНИЕ ЧАСТИЦЫ ЧЕРЕЗ ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ БАРЬЕРЫ В
СИСТЕМЕ НА ОСНОВЕ МАССИВА НАНОТРУБОК.....26**

Ахлюстина Е.А., Пешков Д.А., Садыков Н.Р.
**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МОЩНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ
НАНОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ С МАССИВОМ УГЛЕРОДНЫХ
НАНОТРУБОК.....27**

Бибикина Н.Б., Гришин Ю. А., Скоробогатов А.А.
**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РЕЗАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ
ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПЛАСТМАСС.....30**

Брунеткина Е.В., Гареев И.С., Писарев М.С.
**АРГОНОДУГОВАЯ СВАРКА СОСУДОВ ДАВЛЕНИЯ
ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ34**

Брунеткина Е.В., Лежнев Д.Н., Смачная О.В., Собко С.А.
**ИССЛЕДОВАНИЯ ПО РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИИ
ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТВОДОВ.....38**

Ваганов Д.А., Новиков Л.Г.
РЕАЛИЗАЦИЯ НЕЙРОНА НА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЭЛЕМЕНТАХ.....41

Власевский Р.М., Зуев Ю.С.
**ВЛИЯНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ПЛАСТИФИКАТОРОВ
НА КОНЕЧНЫЕ СВОЙСТВА ПРЕССОВАННЫХ ИЗДЕЛИЙ
ИЗ НИТРИДОВ УРАНА.....45**

Волков А.В., Орлов А.А. ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТОРЦЕВОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО РЕЗАНИЯ	49
Гареев И.С., Писарев М.С., Собко С.А. СВАРКА ДЕТАЛЕЙ РАЗНОЙ ТОЛЩИНЫ ИЗ РАЗНОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ.....	50
Горбоконица О.И., Лысенко О.В., Смачная О.В., Смирнов Ю.Г., Юрченко О.С. ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ ПРИ ДЕФЕКТАЦИИ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ.....	54
Горюшкин Д.С., Зуев Ю.С. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НАУКОЕМКИХ ИЗДЕЛИЙ ПРИ ПОМОЩИ СОВРЕМЕННЫХ САД СИСТЕМ.....	57
Гришин Ю.А., Куранов В.В., Малых М.В., Скоробогатов А.А. ПОСТАНОВКА ПОЛНОГО ДВУХФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЗАНИЯ ЧУГУНА СЧ-25.....	61
Завьялов З.И., Романенко Н.Н., Сартаков Д.А. ТЕХНИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЦИФРОВОГО ЛАЗЕРНОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА.....	64
Кревский А.К., Сивков С.И., Ваганов Д.А., Новиков Л.Г. ПРИМЕНЕНИЯ СЕТЕЙ ХОПФИЛДА В ЗАДАЧАХ КЛАССИФИКАЦИИ ОБРАЗОВ.....	67
Куликов В.А., Собко С.А. ЦИФРОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕМ ЭЛЕКТРОННОГО ЛУЧА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКЕ И ПРЕЦИЗИОННОЙ СВАРКЕ.....	69
Малых М.В., Миндигалиев В.А., Смирнова А.С., Собко С.А., Суворов Е.А. ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ МЕДИ НА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ И СВОЙСТВА.....	72
Малых М.В., Собко С.А., Царенков А.И. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРЕЦИЗИОННОЙ ПРАВКИ ТОНКОСТЕННЫХ ТРУБ.....	76
Миндигалиев В.А., Смирнова А.С., Суворов Е.А. ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОТРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРЕССОВАНИЯ ЗАГОТОВОК ИЗ ПОРОШКА МАРКИ ПМС-1 ДЛЯ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ.....	80
Мякушко Э.В., Борисов А.В. УСТРОЙСТВО ТЕРМОРЕГУЛИРОВАНИЯ НА БАЗЕ ФУНКЦИЙ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ	84

Миронова Ю. А., Катаргин В. П. ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В ЗОНЕ РЕЗАНИЯ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ НА КАЧЕСТВО ПОЛУЧАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ.....	88
Орлова Н.Ю., Крутиков В.С. РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ МАТЕРИАЛА ПСМ-2 С УЧЕТОМ ЦИКЛИЧНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУЖКИ.....	90
Пачурин Д.В., Орлова Н.Ю. ОБРАБОТКА ТИТАНА И ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ.....	93
Поляков В.Н. Квази - НЬЮТОН-КУЛОН овская МОДЕЛЬ МИРА.....	95
Потапов Р.А., Коробейников К.А. ТЕПЛОВАЯ ЗАЩИТА ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ.....	100
Приб И.А. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ МАТЕРИАЛА ДЖОНСОНА-КУКА ПРОГРАММЫ LS-DYNA ПО ПРОФИЛЮ СКОРОСТИ ТЫЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ.....	102
Садыков Н.Р., Окулова А.А. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ЛИНЕАРИЗОВАННЫХ ПРИСОЕДИНЕННЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ВОЛН ДЛЯ ОПИСАНИЯ КАРБИНОВ.....	104
Собко С.А. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ СВАРИВАЕМОСТИ ПРИ ЭЛС.....	107
Чубаев А. Н., Орлова Н.Ю. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ОБРАБОТКИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ ЗА СЧЕТ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ.....	111
А.Н.Шульгин А.Н., Орлов А.А. ОПИСАНИЕ ДЕФЕКТОВ С УКАЗАНИЕМ И АНАЛИЗОМ ПРИЧИН ИХ ПОЯВЛЕНИЯ НА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТАХ ИЗ ФОЛЬГИРОВАННОГО СТЕКЛОТЕКСТОЛИТА.....	112
Шульгин А.Н., Орлов А.А. ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ НА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТАХ ПУТЕМ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ ФАКТОРОВ И РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ С УЧЕТОМ ДИНАМИКИ ПРОЦЕССА СВЕРЛЕНИЯ.....	119
Секция 16. АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ОБРАЩЕНИЯ С ОЯТ (хранение, транспортирование, переработка)	
Абдулвагидов Р. Э., Старовойтов Н.П. ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОАНАЛИТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ДЛЯ РЕШЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ВОПРОСОВ ВЗРЫВОПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.....	123

Антипин А.В., Ефремова А.А., Семенов М.А., Антушевский А.С., Левунин С.Л. ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКТИВНОСТИ ГАММА-ИЗЛУЧАЮЩИХ РАДИОНУКЛИДОВ В ХРАНИЛИЩЕ ТРО С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ ISOCS.....	125
Арапов О. Л., Зуев Ю.С МИНИМИЗАЦИЯ ВРЕМЕНИ НАХОЖДЕНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ТЕЛА В ЗОНЕ ОПАСНОСТИ.....	128
Ахметова Т.В., Белов А.Д., Горин Н. В., Левченко Д. И., Савина Н.П., Соколков Е.С., Юсупов Р.И. ВИДЕОИСТОРИЯ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ	131
Белов А.Д. ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ БАЗЫ ВИДЕОМАТЕРИАЛОВ	134
Гладковский С.В., Трунина Т.А., Коковихин Е.А., Каманцев И.С., Веселова В.Е. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ БОРОАЛЮМИНИЕВЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ С ФУНКЦИЕЙ НЕЙТРОННОЙ ЗАЩИТЫ	137
Дудкин В.А., Казаков В.А., Старовойтов Н.П. ВОПРОСЫ ВЗРЫВОПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАСТВОРЕНИИ ТВЭЛОВ НА ОСНОВЕ УРАН-БЕРИЛЛИЕВОЙ ТОПЛИВНОЙ КОМПОЗИЦИИ.....	138
Казаков В.А., Старовойтов Н.П., Дудкин В.А. РАЗРАБОТКА ВАРИАНТА УВЕЛИЧЕНИЯ СКОРОСТИ РАСТВОРЕНИЯ ПЛОТНЫХ ОСАДКОВ В ЕМКОСТЯХ-ХРАНИЛИЩАХ РАДИОАКТИВНЫХ СУСПЕНЗИЙ.....	140
Краев В.С., Анфалова О.В., Оленин И.В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БОРОСОДЕРЖАЩЕГО КОМПОЗИТА ПРИ СОЗДАНИИ ТУК ДЛЯ ОТВС РЕАКТОРОВ ВВЭР1000.....	142
Садовский А.А., Фетеркевич М.Д. ИЗМЕНЕНИЕ УСЛОВИЙ ОБРАЩЕНИЯ С ОЯТ В СВЯЗИ С ИЗМЕНЕНИЕМ ТИПОВ РЕАКТОРОВ В АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ.....	143
Садовский А.А., Черников И.Д. ПРИНЦИПЫ TQM (TOTAL QUALITY MANAGEMENT — ВСЕОБЩЕЕ УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ) В КУЛЬТУРЕ ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ.....	144
Старовойтов Н.П., Лызлова Е.В., Казаков В.А., Дудкин В.А. ВОПРОСЫ ВЗРЫВОПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАСТВОРЕНИИ ТВЭЛОВ НА ОСНОВЕ НИТРИДНОЙ ТОПЛИВНОЙ КОМПОЗИЦИИ.....	147

Сюрдо А.И., Власов М.И., Мильман И.И., Ильвес В.Г., Соковнин С.Ю. НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЙ АНИОНОДЕФИЦИТНЫЙ AL₂O₃ – ПОЛУЧЕНИЕ, СВОЙСТВА И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ В КОЖНОЙ ДОЗИМЕТРИИ.....	150
Чернухин Ю.И., Юдов А.А., Стрельцов С.И. ГЕТЕРОГЕННЫЙ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ ДЕТЕКТОР БЫСТРЫХ НЕЙТРОНОВ С ВЫСОКОЙ ДИСКРИМИНАЦИЕЙ ГАММА-ФОНА.....	154
Юдов А.А., Чернухин Ю.И., Бесов С.С., Соколов Ю.А. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО ГЕТЕРОГЕННОГО ДЕТЕКТОРА.....	155
Подгорнов В.А. ВНЕДРЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПРИ ОБРАЩЕНИИ С ОЯТ	156
АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ.....	157
ОРГАНИЗАЦИИ	160

НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИЕ РАСЧЁТЫ МОДЕЛИ ДЕМОНСТРАЦИОННОЙ ЖИДКОСОЛЕВОЙ РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Белоногов М.Н., Волков И.А., Дырда Н.Д., Трапезников М.А.

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. ак. Е.И. Забабахина», Снежинск

Доклад посвящен разработке концепции демонстрационного расплавно-солевого реактора, нейтронно-физическим и теплогидравлическим расчётам активной зоны предложенной модели.

В работе описана методика поиска оптимальной геометрии активной зоны реактора, исходя из гидродинамических и теплофизических расчётов, проводимых с помощью программного комплекса Ansys (модуль FLOTRAN). Разработана модель реакторной установки, состоящая из эллиптической активной зоны, бокового графитового отражателя, стальной защиты и корпуса реактора, изготовленного из сплава хастеллой-Н. Проведены расчёты скорости теплоносителя/топлива через активную зону реактора, исходя из выбранной мощности 10 МВт и подогрева 115 0С. Также проведён расчёт по поиску оптимальной толщины графитового отражателя. Проведены теплогидравлические расчёты данной модели и моделирование эволюции нуклидного состава.

РАЗРАБОТКА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА СПЕКАНИЯ ТОПЛИВНЫХ ТАБЛЕТОК ИЗ МАТЕРИАЛА, ПОЛУЧЕННОГО КАРБОТЕРМИЧЕСКИМ СИНТЕЗОМ

Белоногова Е.А., Симоненко В.А., Макеева И.Р., Шульц О.В., Пешкичев И.В.

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. ак. Е.И. Забабахина», Снежинск

Доклад посвящен разработке модели спекания топливных таблеток из порошков нитридов урана и плутония, необходимой для описания влияния параметров проведения процесса на характеристики получаемых продуктов.

В работе рассматриваются теоретические основы физики спекания порошков. Приводится описание основных методов моделирования процесса спекания, обзор существующих моделей, а также описание разрабатываемой математической модели спекания топливных таблеток. Проведены расчеты с использованием опытных данных, представленных в литературе.

В данной работе в качестве базовой выбрана феноменологическая схема моделирования на мезоуровне (уровне частиц/зёрен), предполагающая постадийное описание явлений с использованием специфических моделей для каждой стадии и критериев их смены. В качестве следующего шага развития моделей предложены два конечно-элементных подхода.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОМПОНОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ АКТИВНОЙ ЗОНЫ РЕАКТОРОВ ТИПА БРЕСТ-1200 НА ЯДЕРНЫЙ ТОПЛИВНЫЙ ЦИКЛ РЕАКТОРА

Волков И.А., Макеева И.Р., Симоненко В.А.

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск

В докладе рассмотрены возможные варианты компоновки активной зоны реакторов типа БРЕСТ-1200 с целью нахождения оптимальной организации ядерного топливного цикла реактора, с учётом существующих технологий переработки ОЯТ и фабрикации топлива.

Для каждого варианта, с помощью программного комплекса ПРИЗМА+РИСК, произведён расчёт выгорания топлива в течение кампании реактора (1500 суток) без перегрузок. Оценено количество нарабатываемого в активной зоне плутония, а также его изотопный состав. Проведён анализ влияния изменения компоновки активной зоны на её воспроизводящие способности, а также на характер изменения $k_{эфф}$ в течение кампании. Оценены радиационные характеристики выгружаемых ТВС. По коду ANSYS проведён расчёт температурных полей ТВС, расположенных в центральной части активной зоны.

АНАЛИЗ ЗАМКНУТЫХ ТОПЛИВНЫХ ЦИКЛОВ ПЕРСПЕКТИВНЫХ БЫСТРЫХ РЕАКТОРОВ С ПОЗИЦИЙ НЕРАСПРОСТРАНЕНИЯ ЯДЕРНО-ОРУЖЕЙНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДЕЛЯЩИХСЯ МАТЕРИАЛОВ

Дырда Н.Д., Симоненко В.А., Макеева И.Р., Волков И.А.

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск

В докладе рассмотрена проблема нераспространения ядерного оружия.

Степень защищенности ядерных энергетических систем от распространения определяется суммой технических особенностей конструкции, эксплуатационных возможностей, административных мер и гарантий безопасности. Эти составляющие разделяются на две группы – внутренне присущие свойства и внешние меры.

Свойства системы, защищающие её от распространения, состоят из технических характеристик ядерной энергосистемы, которые снижают привлекательность для ядерно-оружейных программ ядерных материалов, способов их использования, транспортировки, хранения и обращения с ними, которые приняты для данной ядерной энергосистемы. Сюда относятся свойства, определяющие затраты на конверсию материала в форму, пригодную для использования в оружейных целях: изотопный состав, химическая форма, масса и объем, радиационные свойства.

В докладе приведены предварительные оценки привлекательности ядерных материалов в топливных циклах перспективных БР с точки зрения возможности их использования в оружейных программах. Рассмотрены следующие возможные формы ЯМ:

1. Плутоний, выделенный из ОЯТ БР в металлической форме.
2. Плутоний и минорные актиниды, выделенные из ОЯТ БР в металлической форме.
3. Плутоний и уран, выделенный из ОЯТ БР в металлической форме.
4. ОЯТ БР в виде нитридов, очищенный от продуктов деления.

На основе проведенных оценок делаются выводы о привлекательности рассмотренных форм ЯМ для возможного использования в оружейных целях.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЙ ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ С УЧЕТОМ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА

Куприянец Т.А.

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск

Проведены расчеты течений среды с модельным уравнением состояния, при котором возможны фазовые переходы и для которого существует аналитическое описание ударных волн и волн разрежения. Представлены результаты сравнения численных и аналитических расчетов для различных режимов течения, в том числе для ударных волн разрежения. Эти результаты показали применимость используемого численного метода для моделирования фазовых переходов. Проведены расчеты для натрия при возможных переходах жидкость-газ с использованием широкодиапазонного уравнения состояния. Решение таких задач необходимо для моделирования проектных и аварийных режимов течения жидкометаллического теплоносителя в реакторах на быстрых нейтронах.

ЗАДАЧИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЕФЛАГРАЦИОННО-ДЕТОНАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ВПГС В ЦЕЛЯХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВОДОРОДНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АЭС

Лавренюк И.В.

*ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск,
Снежинский физико-технический институт НИЯУ МИФИ, аспирант*

Доклад посвящен программе экспериментальных исследований, проводимых в РФЯЦ-ВНИИТФ и направленных на обеспечение водородной взрывобезопасности АЭС с реакторами типа ВВЭР.

В работе приведен перечень решаемых экспериментальных задач, среди которых:

- получение экспериментальных данных по воспламенению однородных ВПГС при повышенных температурах (до 200°C) и давлениях (до 5 атм.), дополнительно исследуются составы с СО и мелкодисперсной водой;
- получение экспериментальных данных по распространению ВПГС в изолированных и связанных отсеках, моделирующих помещения ЗО, по воспламенению и распространению пламени, по смене режимов горения в таких отсеках при условиях, характерных для ТА.

Дается описание существующих и создаваемых экспериментальных стендов, используемых в работе. Полученные результаты экспериментов будут использованы для верификации программных комплексов.

КОМПЛЕКС АТЭК 4.0. АВТОНОМНЫЕ ПРОГРАММНЫЕ МОДУЛИ. РАСЧЕТЫ ТЕРМОДИНАМИКИ И ПРОЦЕССА ЭКСТРАКЦИОННОГО ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ

Паукова А.Е., Макеева И.Р., Шульц О.В., Пешкичев И.В., Пугачев В.Ю., Баева Ю.Н.

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск

В рамках частного проекта «Коды» проекта «Прорыв» выполняются работы по разработке математических моделей ключевых технологических процессов основных переделов ПЯТЦ – переработки ОЯТ, рефабрикации топлива, обращения с РАО.

Значительная часть технологических процессов не отработана в опытно-промышленном масштабе, и в настоящее время стоит задача разработки и оптимизации технологических режимов ключевых химико-технологических процессов ЗЯТЦ. Термодинамическое моделирование многокомпонентных гетерогенных систем при высоких температурах является эффективным инструментом исследований при создании новых высокотемпературных технологических процессов.

Все разработанные модели должны быть включены в единую программную среду, которая должна обеспечить возможность использовать эти модели как для проведения сквозных расчетов организации технологических схем соответствующих переделов, так и для автономного моделирования технологических процессов. В связи с этим, был разработан модуль термодинамического моделирования.

Модель экстракционного фракционирования, которое является одним из ключевых процессов гидрометаллургического метода переработки ОЯТ, разработана во ВНИИНМ в виде консольного приложения и передана в РФЯЦ-ВНИИТФ в виде закрытого исполняемого кода, входного и выходного файла.

Для предоставленного приложения был реализован программный интерфейс, который предназначен для интеграции модели в состав ПК, пользовательский – для обеспечения ввода исходных данных и визуализации результатов с помощью оконного интерфейса.

В докладе описываются все возможности и алгоритмы работы модулей.

Также приведены примеры решения задач с помощью термодинамического модуля и сделано сравнение результатов с расчетами по программному комплексу HSC.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПРОЦЕССА КАРБОТЕРМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ПОРОШКОВ МОНОНИТРИДА УРАНА И ПЛУТОНИЯ

Пешкичев И.В., Шульц О.В., Скибо А.А., Белоногова Е.А.

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск

Рассмотрен процесс получения мононитридов урана и плутония из исходных оксидов карботермическим методом. Проведён расчёт величин изменений энергий Гиббса и констант равновесия химических реакций, возможных при проведении высокотемпературного синтеза. После анализа полученных результатов термодинамических расчётов составлен предположительный механизм карботермического синтеза. В качестве транспортной формы углерода предложен промежуточный газообразный продукт.

Разработана математическая модель процесса. Приводятся результаты расчёта и их сравнение с экспериментальными данными. В разработанной физико-химической модели процесса используется математический аппарат, включающий в себя уравнения теорий химической кинетики, коллоидной химии, термодинамики и физической кинетики.

ТЕХНОЛОГИЯ ГЕНЕРАЦИИ ОТЧЕТОВ В ПК АТЭК 4.0

Попцова К.В.

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск

АТЭК – программный комплекс, предназначенный для моделирования сценариев развития ядерной энергетики и технологии топливных циклов. Комплекс работает с большими объемами входных и выходных данных. Часто требуется привести эти данные в отчетных документах либо в стандартном виде (ГОСТ), либо в виде, требуемом заказчиком. Для целей автоматизации процесса получения электронных отчетов используются технологии генерации отчетов с использованием шаблонов. В рамках данной работы были изучены современные технологии генерации отчетов и соответствующие программные продукты. Из них была выбрана одна технология, для использования в работах по ПК АТЭК. На ее основе были созданы шаблоны отчетов для задачи расчета балансовых моделей (ВНИИНМ).

АТЭК 4.0. БАЛАНСОВАЯ МОДЕЛЬ ПЕРЕРАБОТКИ ОЯТ

Пугачев В.Ю., Дубосарский В.Г., Макеева И.Р.

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск

В докладе рассматривается программный модуль, интегрирующий балансовые модели основных технологических переделов ЗЯТЦ в единый программный комплекс, предназначенный для моделирования баланса материалов и нуклидных потоков в ПЯТЦ.

Программный модуль позволяет:

- средствами графического интерфейса динамически создавать расчетные схемы
- динамически пополнять библиотеки модулей технологических процессов
- визуализировать результаты расчетов

Разработанный программный модуль предполагается использовать при подготовке исходных данных для разработки аппаратурно-технологических схем и обоснования отдельных технологических процессов переделов ПЯТЦ.

РАЗРАБОТКА РАСЧЕТНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МОДУЛЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРОЕКТА «ПРОРЫВ»

Романова Н.Ю., Макеева И.Р., Доровский И.А., Сырцова Ю.Г.

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск

Одной из задач Частного учреждения Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» «Инновационно-технологического центра проекта «Прорыв» является интеграция и управление техническими результатами частных проектов. Для эффективного выполнения данной задачи необходим независимый от частных проектов автоматизированный инструмент выполнения расчетов для обоснования и оптимизации ключевых технико-экономических параметров проекта. В состав подсистемы технико-экономических расчетов и оптимизации Системы поддержки принятия решений проекта «Прорыв» входит Расчетно-технологический модуль (РТМ), основным назначением которого является расчетное определение натуральных показателей сквозного технологического процесса (таких как топливный состав, электровыделение, показатели регенерации и переработки топлива и т.д.) на различных этапах ЖЦ.

Задачи РТМ: предоставление пользователям информации об объектах замкнутого ядерного топливного цикла (ЗЯТЦ), включенных в расчетную схему; расчет основных показателей ЗЯТЦ; осуществление передачи рассчитанных показателей в Единое Информационное Пространство и Подсистему Визуализации Проектных Данных.

Полученные расчетные натуральные показатели технологических процессов ЗЯТЦ могут быть использованы экспертами для обоснования и оптимизации технологических решений и для обоснования решений экономических параметров.

В докладе рассказывается о назначении РТМ, актуальность его создания, общая схема организации, а так же представлены результаты тестовых расчетов РТМ.

МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОЛИЗА НИТРИДНОГО ОЯТ

Шульц О. В.

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск

Разработана математическая модель, позволяющая описывать кинетику физико-химических процессов, протекающих при электролизе нитридного ОЯТ. Модель построена в приближении сосредоточенных параметров и описывает изменение во времени концентраций компонентов в определенных областях электролизера, а также рассчитывает токи по химическим реакциям. С помощью модели был выполнен ряд тестовых расчетов. Анализ результатов расчетов показал качественное совпадение с ожидаемыми закономерностями, как для простых, так и для сложных (многокомпонентных) систем. Один из тестовых расчетов был выполнен для постановки, аналогичной эксперименту, описанному в литературе. Анализ результатов расчета показал удовлетворительное качественное и количественное соответствие экспериментальным данным

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ НАНЕСЕНИЯ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ

Агеев К.А., Белоусов С.В., Сорокин А.Н.

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск

Развитие современной техники характеризуется интенсивными режимами работы машин и аппаратов, увеличением эксплуатационных температур, давлений, скоростей, что требует создания новых материалов с уникальными свойствами. В работе рассматриваются технологические особенности получения плазменных покрытий из различных материалов. Показаны возможности и преимущества плазменных покрытий по сравнению с другими способами нанесения покрытий. Представлены материалы, технологические приемы, характеристики плазменных покрытий. Рассмотрены вопросы предварительной подготовки поверхности, нанесения покрытий, обработки напыленных покрытий. Разработано многослойное покрытие, защищающее подложку от жидкометаллической коррозии.

Одним из способов создания подобных материалов является нанесение специальных покрытий на конструкционные материалы с помощью низкотемпературной плазмы. Данный способ нанесения покрытия имеет преимущество по сравнению с другими способами нанесения покрытий:

1. Универсальность. Позволяет наносить покрытия из тугоплавких металлов, сплавов, керамики (ZrO_2 , Al_2O_3), пластмассы, а также их смесей.
2. Возможность нанесения покрытий на большие и малые поверхности, на изделия сложной формы.
3. Напыляемая поверхность нагревается до сравнительно небольших температур, что позволяет получать изделия с малой деформацией и сохранить свойства материала основы.
4. При нанесении покрытий в горелках не используют кислород, что уменьшает окисление напыляемого материала и материала основы.
5. Плазменные покрытия имеют достаточное сцепление с подложкой.

Процесс напыления включает следующие операции:

- предварительная подготовка поверхности основы для обеспечения прочного сцепления;
- напыление материала;
- обработка покрытия после напыления.

Предварительная обработка основы

Для обеспечения прочного сцепления напыленного покрытия с деталью необходимо увеличить площадь основы (шероховатость). Это возможно выполнить следующими способами: дробеструйным, напылением тонкого подслоя, механическим.

В качестве абразивных материалов для дробеструйной обработки используют чугунную крошку и корунд (Al_2O_3).

При нанесении покрытий на детали с толщиной стенки больше 1,5-2 мм целесообразно использовать чугунную крошку с размером зерна 500-1000 мкм. Давление сжатого воздуха составляет 3-5,5 кгс/см². Для напыления покрытий на подложки толщиной 0,2-1,5 мм используется мелкозернистый корунд с размером зерна 40-150 мкм. Давление сжатого воздуха не должно превышать 2 кгс/см².

Кроме того, струйную обработку поверхности деталей толщиной 0,2-0,5 мм во избежание деформации выполняют в стальных оправках, обеспечивающих

минимальный зазор с плотным прилеганием поверхностей. После обработки абразивными материалами поверхность детали обдувают сжатым воздухом и промывают в ультразвуковой ванне для удаления остатков абразивных материалов.

Для плазменного напыления наиболее пригодны порошки со сферической формой частиц и размерами от 20 до 100 мкм.

В экспериментах по нанесению покрытий были применены порошки в диапазоне 20-40 мкм, 40-60 мкм, 60-100 мкм. С целью удаления влаги, адсорбированной поверхностью частиц перед напылением, порошок сушат при температуре, не превышающей 200-250° С.

Изготовление деталей методом плазменного напыления, отделяемых от подложки, выполняют с помощью промежуточного слоя соли. Перенасыщенный раствор поваренной соли напыляют из пульверизатора на подложку, разогретую до 200-250° С. Толщина слоя соли составляет 0,25-0,3 мм. Затем плазменным напылением наносят рабочее металлическое покрытие. По окончании напыления покрытие с подложкой помещают в проточную воду. Соль растворяется, и покрытие снимается с подложки.

Напыление материала

На практике широко применяют нанесение покрытий порошковыми материалами. Одним из важных вопросов технологии плазменного напыления является выбор рабочего газа. Наиболее эффективно нагреваются порошки в плазме двухатомных газов – азота, водорода и газовых смесей.

При напылении покрытий на подложки толщиной 0,2-0,5 мм во избежание перегрева применяют специальные технологические приемы, обеспечивающие активный теплоотвод от напыляемой детали:

- приспособления изготавливают из меди – материала, обладающего высокой теплоемкостью и теплопроводностью;
- конфигурация, геометрические размеры детали и ложемент приспособления обеспечивают сборку при минимальном зазоре с плотным прилеганием поверхностей;
- обдув сжатым воздухом ложемента с наружной поверхности и наружной части оправки;
- наружная часть оправки выполняется в виде радиатора для улучшения отбора тепла от детали;
- организация перерывов в процессе напыления для охлаждения детали и оснастки.

Металлы, оксидные керамические покрытия в чистом виде не всегда могут удовлетворить требованиям современной техники. Поэтому часто оксидные покрытия наносят в комбинации с металлами или материалами родственными материалу основы.

Примером таких покрытий могут служить комбинированные покрытия: металл + оксид, выполненные как с последующей пропиткой, так и без нее.

Проведенные эксперименты показали, что использование металлического подслоя повышает прочность сцепления ZrO_2 , особенно на деталях с малыми радиусами кривизны поверхности.

Обработка напыленных покрытий

Покрытия, полученные после напыления, по своей структуре обладают открытой и закрытой пористостью. Пористость можно в некоторых случаях эффективно использовать. Однако более широкое применение имеют плотные покрытия.

Заполнять поры можно нанесением на покрытия слоя краски, пропиткой, проплавлением. Для улучшения механических свойств покрытия подвергаются термообработке.

Для конструкций, имеющих сложные поверхности, с малыми радиусами кривизны разработано многослойное комбинированное покрытие, надежно защищающее подложку от коррозии при длительном контакте с расплавами.

Покрытие состоит из четырех последовательно нанесенных друг на друга слоев.

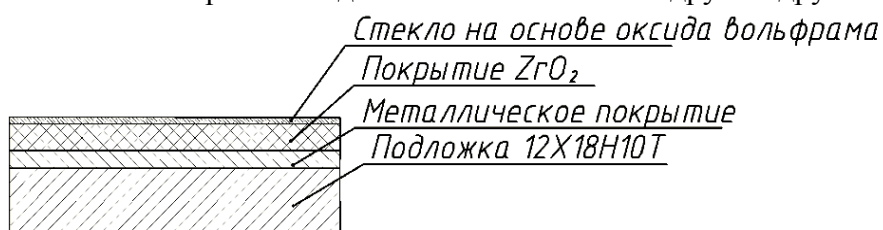


Рисунок 1

В рассматриваемом варианте в качестве основного защитного слоя покрытия был применен оксид, нанесенный плазменно-дуговым методом на металлический подслой, также нанесенный плазменно-дуговым способом. Для заполнения пор использовали смесь оксидов на основе хрома, которой пропитывали пористый слой.

Завершающим являлся термопластичный слой, содержащий в своем составе наполнитель на основе оксида тугоплавкого металла. Этот слой является легкоплавкими и при температурах 500-1000°C становится пластичным.

На данное покрытие получен патент № 2285749. Покрытие прошло испытание на стойкость к высокой температуре.

Внешний вид защитного покрытия после испытаний представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Макрошрифты защитного покрытия после высокотемпературных испытаний

Таким образом, плазменные покрытия, с учетом технологических приемов их нанесения и характеристик, имеют преимущества по сравнению с покрытиями, нанесенными

другими способами. Разработано многослойное покрытие, защищающее подложку от высокотемпературного воздействия. На данное покрытие получен патент.

Авторы выражают благодарность В.А. Бородину, В.А. Николайчуку за работы по нанесению плазменных покрытий, В.И. Кривоногову за разработку конструкторской документации, Н.В. Ивановой за приготовление металлографических шлифов.

Литература

1. Кудинов В.В., Бобров Г.В. Нанесение покрытий напылением. Теория, технология и оборудование: Под ред. Б.С. Митина. – М. Металлургия, 1992. – 432 с.
2. Хасуй А. Техника напыления. - М. Машиностроение, 1975. – 288 с.
3. Костиков В.И., Шестерин Ю.А. Плазменные покрытия. – М. Металлургия, 1978. – 160 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СОВМЕСТНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ УРАНСОДЕРЖАЩИХ РУД

Андреев В.А., Бурова Е.А., Уваров П.Н., Макаеев Ю.Н.

Северский технологический институт НИЯУ МИФИ

В работе проводилось исследование совместного извлечения урана и редкоземельных элементов (РЗЭ) из руд Далматовского и Эльконского месторождений. Была смонтирована лабораторная установка и проведены агитационные эксперименты по сернокислотному выщелачиванию. На основании результатов экспериментов подобраны оптимальные условия для совместного извлечения урана и РЗЭ из руды. В дальнейшем полученные данные планируется использовать для проведения перколяционного выщелачивания и математического моделирования процесса совместного извлечения урана и РЗЭ методом скважинного подземного выщелачивания.

Работа выполняется в рамках государственного задания ВУЗам на НИОКР. Регистрационный номер НИР: 3.4893.2011.

ПРОХОЖДЕНИЕ ЧАСТИЦЫ ЧЕРЕЗ ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ БАРЬЕРЫ В СИСТЕМЕ НА ОСНОВЕ МАССИВА НАНОТРУБОК

Апороски А.В., Грогорьева Р.А., Садыков Н.Р.

Снежинский физико-технический институт НИЯУ МИФИ

Предлагается систему алгебраических уравнений для наночастиц, полученных на основе метода сильной связи, свести к волновому уравнению, записанной в виде дифференциального уравнения. Волновое уравнение является следствием “разностного уравнения”, которое получается из приближения π – орбиталей электронных состояний в углероде на основе метода сильной связи. Для вычисления передаточной функции электрона в области, состоящей из массива параллельно ориентированных углеродных наночастиц, определяется решение волнового уравнения. Потенциальная энергия может иметь произвольный вид за счет приложенного вдоль нанотрубок электрического поля и в общем случае определяется экспериментально. В такой модели передаточная функция определяется коэффициентом прохождения. Полученные результаты тестируются с результатами решения для потенциальных ям в виде прямоугольной и трапецеидальной формы. Реализована программа для проведения численных расчетов по определению коэффициента прохождения через потенциальные барьеры произвольной формы

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МОЩНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ НАНОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ С МАССИВОМ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

Ахлюстина¹ Е.А., Пешков^{1,2} Д.А., Садыков Н.Р.

Снежинский физико-технический институт НИЯУ МИФИ
²ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск,
¹Снежинский физико-технический институт НИЯУ МИФИ, аспирант

Для металлических углеродных нанотрубок типа ”зигзаг“ исследована зависимость нелинейного тока от величины переменного электрического поля с шириной наклонного переднего фронта $T = 3 \times 10^{-11}$ с и с длиной волны $\lambda \approx 1$ мм при наличии электрических импульсов наносекундной длительности. Такие переменные поля генерируются на установках ”Sinus“ в институте электрофизики УрО РАН, г. Екатеринбург. Теоретически и численно показано, что величина поверхностного тока практически не зависит от радиуса нанотрубок. В случае полупроводниковых нанотрубок типа ”зигзаг“ в качестве переменного электрического поля рассмотрено излучение двухчастотного CO₂-лазера с постоянной амплитудой. При воздействии на систему параллельно ориентированных УНТ двухчастотного CO₂-лазерного излучения при наличии направленного вдоль нанотрубок постоянного (или нестационарного) электрического поля возможна генерация излучения с длиной волны $\lambda \approx 0.1$ мм. Исследована зависимость от величины времени релаксации в кинетическом уравнении Больцмана. Оптимальные условия генерации терагерцового излучения достигаются при равенстве времени релаксации 40 фс. Огибающая амплитуды генерируемого излучения носит характер биения. Период биения составляет 78 мм.

В последние годы проводятся интенсивные исследования, связанные с различными наноструктурами, в частности с нанотрубками. Нанотрубки представляют собой цилиндрические молекулы с нанометровым диаметром и микрометровой длиной. Такое сочетание масштабов длины и диаметра приводит к тому, что нанотрубки демонстрируют целый спектр самых неожиданных электрических, магнитных, оптических свойств. В данной работе исследуем для простых углеродных нанотрубок (УНТ) (f,0) типа ”зигзаг“ и химически модифицированных УНТ F-(f,f) зависимость нелинейного тока от величины переменного электрического поля при наличии нестационарных электрических импульсов, например, наносекундной длительности [1], или излучение двухчастотного CO₂ – лазера с постоянной амплитудами. На основе полученного нелинейного тока рассмотрена задача генерации СВЧ- и терагерцового излучений. При воздействии на массив простых УНТ электромагнитного поля $E_z = (0, 0, E_1 + E_0 \cos \omega t)$, где $E_1 = const$, $E_0 = const$, ω – частота переменного поля, получаем выражение для постоянной составляющей плотности тока

$$j_0 = \frac{eN}{\pi \hbar} \sum_{l,s} a_{ls} B(s, l, T) \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n^2 \left(\frac{x_0 l v}{\omega} \right) \sin \varphi_n \cos \varphi_n, \quad (1)$$

где имеет место $x_0 = aeE_0 / v$, $N = 10^{11} m^{-2}$, $\omega = 5v = 1.667 \cdot 10^{13} s^{-1}$ ($\tau = 3 \times 10^{-13}$), $x_1 = 4$

$$v_z(x, s) = \sum_l a_{ls} \sin(lx), \quad a_{ls} = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} v_z(x, s) \sin(lx) dx, \quad (2)$$

$$B(s, l, T) = \int_{-p_0}^{p_0} \cos(lap_z) \left[1 + \exp \left(\frac{\mathcal{E}_c}{kT} \right) \right]^{-1} dp_z, \quad \sin \varphi_n = \frac{v}{\sqrt{v^2 + (laeE_1 + n\omega)^2}}.$$

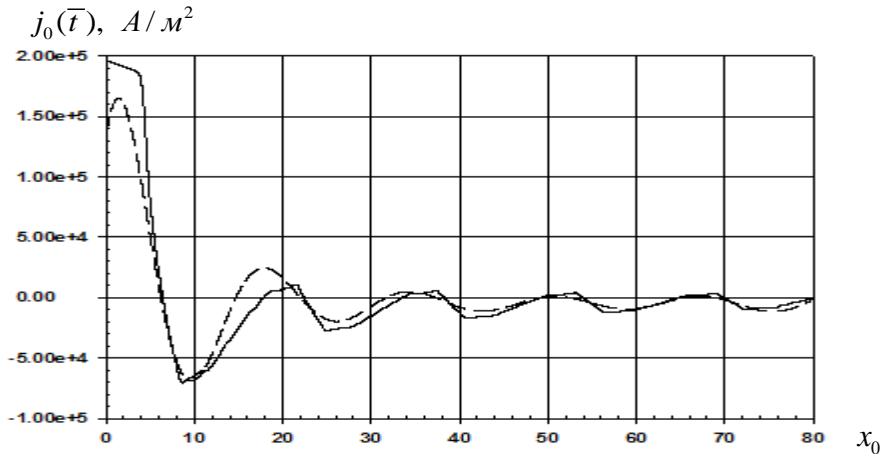


Рис.1

$$j_{an} = j_1 + j_2 \exp\left[-x_0 / A + (x_0 / \Delta x_0)^{1.9}\right] \sin(2\pi x_0 / B + \varphi_0), \quad (3)$$

где $A = 7.38$, $\Delta x_0 = 27.5$, $B = 16.2$, $\varphi_0 = 0.69$, $j_1 = -4.45 \cdot 10^3 \text{ A/m}^2$, $j_2 = 2.16 \cdot 10^5 \text{ A/m}^2$.

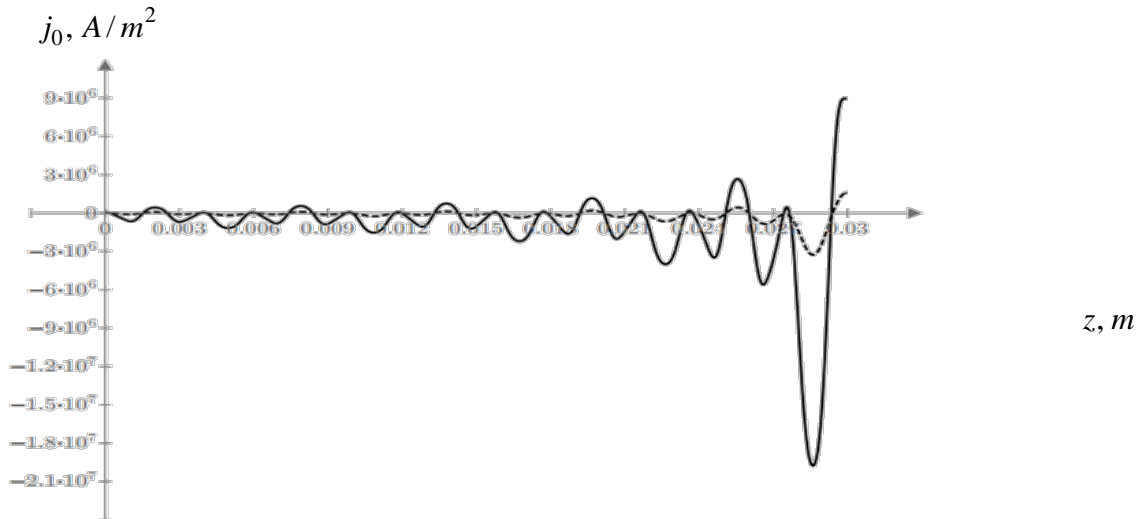


Рис.2

На рис. 1 зависимость постоянной составляющей плотности тока j_0 от x_0 для УНТ при $f=9$ и $f=15$ [2].

Сплошные кривые – численное решение (1), штриховая кривая – аналитическое решение (3). На рис.2 приведена зависимость тока j_0 от z при $x_1 = 1$ для F-(3,3) (штриховая кривая) и F-(4,4) (сплошная кривая). Из рис.1 и рис.2 видно, что в случае F-(4,4) ток j_0 примерно в 50 раз больше, чем в случае (9,0) (или (15,0)).

На рис. 3 приведено распределение напряженности поля $E(t = 10^{-10} \text{ s}, x)$ по координате x для массива F-(3,3) (штрих) и F-(4,4) (сплошная).

$$E, \text{ V/m}$$

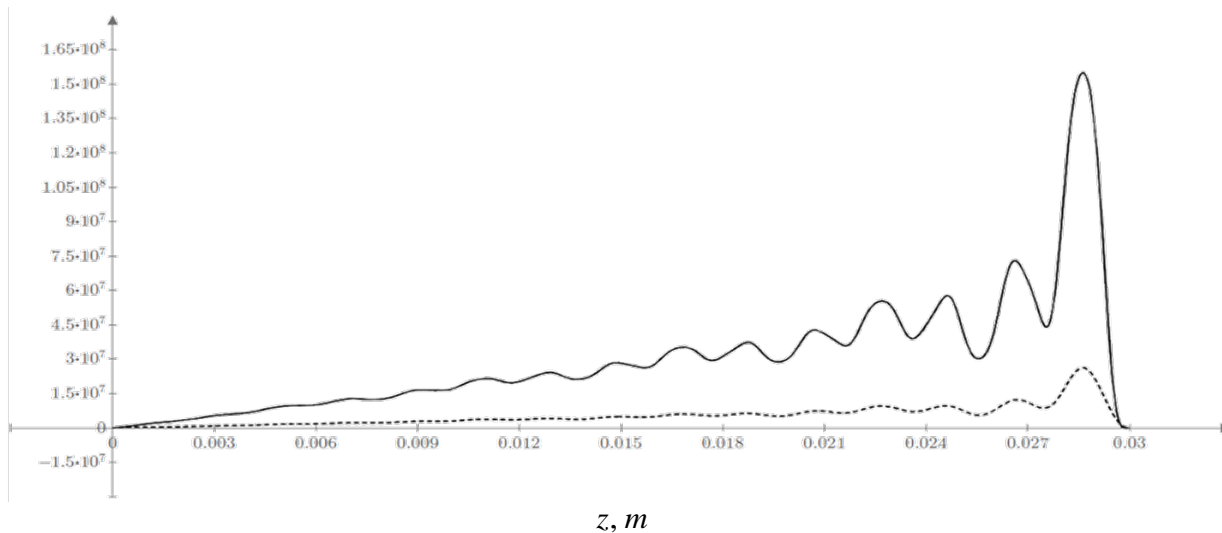


Рис.3

В случае простых УНТ (9,0) (или (15,0)) величина генерируемого излучения E приблизительно в 100 раз меньше, чем в случае F-(4,4) (величина E пропорциональна z).

Таким образом, использование для генерации излучения массивы из нанотрубок F-(n,n) являются более эффективными, чем массивы из простых УНТ (n,n).

Литература

1. Г. А. Месяц, М. И. Яландин. УФН, **175** (3), 225 (2005); Г. А. Месяц. УФН, **176** (10), 1070 (2006).
2. Н. Р. Садыков, Н.А. Скоркин, Е.А. Ахлюстина. Физика и техника полупроводников, **47** (9), 1258 (2013).

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РЕЗАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПЛАСТМАСС

Бибикина Н.Б., Гришин Ю. А., Скоробогатов А.А

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск

Проведены исследования процессов резания при сверлении, точении и разрезке волокнистых материалов на основе пластмасс (органопластиков, стеклопластиков и углепластиков). Проанализированы факторы, влияющие на появление «разломачивания», и способы их устранения. Установлено, что геометрические параметры инструментов оказывают большое влияние на точность и качество обработанной поверхности, стойкость инструмента. С целью устранения перегрева обрабатываемых деталей и повышения стойкости инструмента в зону резания вихревой трубкой подавался охлажденный воздух (до минус 13 °С). При этом оценено влияние подачи охлажденного воздуха в зону резания на качество обработанной поверхности и стойкость инструмента.

В современном постоянно изменяющемся мире композиционные материалы на основе пластмасс находят все большее применение в различных отраслях промышленности, что с одной стороны позволяет улучшить технико-экономические показатели машин (снижение массы, сокращение трудоемкости изготовления и т.д.) и, с другой – существенно экономить черные и цветные металлы. В связи с использованием конструкционных материалов вопросы их механической обработки резанием приобретают одно из первостепенных значений.

В работе рассматриваются процессы резания при сверлении и разрезке пластин на основе пластмасс с тканевым наполнителем из органического волокна, отличающиеся переплетением волокон (материал А толщиной 5 мм и материал Б толщиной 10 мм; плотность материала Б выше на 25 %).

Таблица 2 – Физико-механические свойства органопластиков.

Свойства	Материал А	Материал Б	
		Вдоль	Поперёк
Прочность при растяжении, МПа	268,6	330,6	407,6
Прочность при сжатию, МПа	503	367	

Получение точных отверстий малых диаметров является актуальным требованием многих конструкторских решений. Процесс сверления таких отверстий протекает в неблагоприятных условиях, которые усложняются свойствами органопластиков. Основными трудностями следует признать:

1. появление задигов и разломачиваний материала в местах входа и выхода инструмента из отверстий, что можно объяснить небольшим модулем упругости и высоким относительным удлинением при разрыве органического волокна;
2. сложность получения высокого качества обработанных отверстий (необходимой шероховатости и точности параметров) из-за ярко выраженной анизотропии свойств и высокой упругости пластмасс, которая служит причиной усадки отверстий;
3. увеличенную площадь контакта, повышенные силы трения между сверлом и обработанной поверхностью заготовки и низкая теплопроводность материала, которые приводят к интенсивному повышению температуры рабочей части сверла и ее концентрации в поверхностном слое заготовки, появлению прижогов на

- обработанной поверхности, разупрочнению режущей части инструмента и интенсивному износу сверла;
4. заклинивание и поломку режущего инструмента;
 5. низкую производительность процесса из-за частой замены инструмента;
 6. ограниченное применение смазочно-охлаждающих жидкостей в случае обработки влагопоглощающих материалов;
 7. специальные требования техники безопасности, связанные с выделением летучих мелкодисперсных частиц при резании органопластиков.

Для выпуска конкурентоспособной продукции из подобных материалов необходимо проведение комплекса мероприятий по оптимизации механической обработки, где наиболее уязвимым звеном является режущий инструмент.

При сверлении отверстий в заготовках из органопластиков используют спиральные сверла из быстрорежущих и твердых вольфрамо-кобальтовых сплавов для обработки металлов по ГОСТ 10902-77 и ГОСТ 22735-77 с различными вариантами форм заточки режущей части. Подбор геометрических параметров должен обеспечивать производительную обработку при высокой стойкости инструмента с получением хорошего качества и требуемой точности размеров диаметров отверстий.

Помимо выбора подходящей геометрии режущего инструмента с целью снижения влияния негативных факторов, перечисленных в пунктах 1 – 7, предлагается использование обкладок (из дерева, органического стекла и т.д.) и подачу в зону резания предварительно охлажденного воздуха. Предполагаемым эффектом от применения обкладок является сохранность кромок обработанных отверстий от появления разлохмачивания, а использование предварительно охлажденного воздуха должно снизить нагрев сверла, исключить появление прижогов и повысить стойкость режущего инструмента.

Эксперименты по сверлению сквозных отверстий провели на сверлильном станке KNUTH Speedy Drill при частоте вращения 2000 об/мин перпендикулярно слоям наполнителя при ручной возвратно-поступательной подаче спиральными сверлами диаметром 5,7 мм ГОСТ 10902-77 исполнения I, материал режущей части – быстрорежущая сталь ГОСТ 19265-73. Число выводов сверла зависит от глубины сверления, в нашем случае – 2-3. Сверление осуществляли с использованием деревянных обкладок на входе и выходе.

Угол при вершине сверла (2ϕ) оказывает наибольшее влияние на стойкость инструмента, усилие подачи, температуру в зоне резания, появление выкрашиваний и сколов на выходе и входе сверла из отверстия. Также этот угол влияет на форму сечения стружки, направление и величины составляющих сил резания, что непосредственно отражается на качестве поверхности. При проведении экспериментов изменяли только угол при вершине ($2\phi=118^\circ; 100^\circ; 90^\circ; 80^\circ$).

Также были проведены эксперименты по сверлению сквозных отверстий с применением обкладок, и с охлаждением рабочей зоны при помощи вихревой трубки (охлаждение воздуха до минус 13°C).

Обработка материала А сверлом с углом при вершине 118° вызвала наибольшую ворсистость, прижоги на обработанной поверхности и выгорание связки. Сверло, имеющее угол при вершине 80° , при обработке материала А различными способами показало наименьшую стойкость вследствие пониженной теплоотводящей способности рабочей части сверла. На режущих кромках, на ленточках сверла, участвовавших в процессе, появились

светло-синие цвета побежалости, однако, обугливания стружки не произошло. Стойкость сверл с углами при вершине $2\varphi=90^\circ$; 100° оказалась выше остальных сверл, на плоскостях задних поверхностей появились светло-желтые цвета побежалости.

По сочетанию стойкости, степени износа инструмента, качества обработанной поверхности при обработке материала А лучшие результаты показала обработка сверлами, имеющими угол при вершине $2\varphi=90^\circ$; 100° с применением обкладок.

Отверстия в материале Б, обработанные без применения обкладок всеми сверлами, имели ворсистость на входе и на выходе инструмента (кроме $2\varphi=100^\circ$).

С применением обкладок все сверла дали качественную поверхность. Износ и стойкость инструментов аналогична обработке материала А:

- сверло с $2\varphi=118^\circ$ - синие цвета побежалости вдоль режущих кромок;
- сверло с $2\varphi=80^\circ$ – темно-синие цвета побежалости по задней поверхности и на частях режущих кромок, удаленных от вершины сверла;
- сверла с $2\varphi=90^\circ$; 100° – светло-желтые цвета побежалости по задним поверхностям.

Охлаждение рабочей зоны при помощи вихревой трубки не повлияло на ворсистость и качество поверхности обработанных отверстий в обоих материалах, но благоприятно отразилось на производительности процесса (не наблюдали разогрева инструментального материала и наличия прижогов на обработанной поверхности).

По результатам проведенных замеров диаметров отверстий (обработанных без обкладок) можно сделать вывод об их уменьшении относительно размеров диаметра сверла (на $0,0 \div 0,3$ мм) за счет наличия ворсистости на входе и выходе отверстий. У отверстий, обработанных с обкладками, отклонения значений диаметров меньше (на $0,0 \div 0,1$ мм), т.к. практически отсутствует ворсистость. Однако уменьшение диаметров отверстий (min – 0,1 мм) можно наблюдать на большей части отверстий. Это объясняется усадкой обработанного материала, характерной для обработки органопластиков.

Разрезку заготовок из органопластиков произвели с использованием шлифмашины Интерскол со скоростью 5000 об/мин (60 м/с) подачей 5 м/мин абразивным отрезным кругом А30-standart-BF 80 м/с $125 \times 1,2 \times 22$ 12200 об/мин ГОСТ 21963-2002 с применением вихревой трубки для охлаждения рабочей зоны.

При пробной разрезке без применения вихревой трубки наблюдался разогрев рабочей части круга, появление белого дыма и прижогов на поверхности обработанного материала. При охлаждении зоны резания вихревой трубкой разогрев рабочей поверхности инструмента, дым и прижоги обработанной поверхности не наблюдались. Засаливания абразивного слоя отрезного круга не произошло.

В результате разрезки материала А присутствует некоторая ворсистость на кромках срезов. Кромки материала Б практически не имеют ворсистости.

Поверхность сечения пластины из материала Б лучшего качества, чем поверхность сечения пластины из материала А.

По результатам проведенных исследований можно определить оптимальные геометрические параметры режущей части инструмента, обеспечивающие требуемые точность и качество обработанной поверхности. Дальнейшие исследования будут направлены на определение количественных характеристик параметров процесса резания волокнистых материалов, установление зависимостей качества обработанной поверхности от

параметров режима резания с целью адаптивного управления процессом резания и разработкой новых эффективных способов, позволяющих повысить качество и производительность процесса резания органопластиков.

Авторы выражают благодарность Дровосекову С.П. и Ведерниковой С.А. за предоставленные образцы материалов для проведения исследований.

Литература

1. Общемашиностроительные нормативы режимов резания, норм износа и расхода резцов, сверл, фрез при обработке неметаллических конструкционных материалов (пластмасс). М., НИИМАШ, 1982. 144 с.
2. Штучный Б.П. Механическая обработка пластмасс - М.: Машиностроение, 1987. – 152 с.
3. Степанов А.А. Обработка резанием высокопрочных композиционных полимерных материалов. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1987. – 176 с.
4. Буловский П.И., Петрова Н.И. Механическая обработка стеклопластиков. – М.: Машиностроение, 1968. – 152 с.

АРГОНОДУГОВАЯ СВАРКА СОСУДОВ ДАВЛЕНИЯ ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Брунеткина Е.В., Гареев И.С., Писарев М.С.

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И.Забабихина», Снежинск

В работе обсуждены проблемы аргонодуговой сварки неплавящимся электродом стыковых соединений толщиной до 10 мм из титановых сплавов. В результате исследований, выполненных на плоских образцах, изучена структура и изломы сварных швов и определена зависимость тока сварки от толщины свариваемых деталей при сквозном проплавлении кромок. Построенная зависимость позволяет назначать режимы сварки, обеспечивающие получение бездефектных сварных швов, равнопрочных основному металлу.

Широкое использование титановых сплавов при изготовлении сварных конструкций требует решения ряда технологических задач, связанных с выбором оптимального способа сварки и обеспечением надёжности сварных соединений. Это предполагает целый комплекс теоретических и экспериментальных исследований, в том числе, направленных на обеспечение равнопрочности сварного соединения и основного материала.

Одним из важных критериев получения равнопрочных сварных соединений является конструкция сварного соединения. Так для конструкций, работающих при повышенных знакопеременных нагрузках в условиях циклического нагружения, рекомендуется выбирать стыковое соединение деталей с полным проплавлением корня шва. Непровары в данных конструкциях являются недопустимым дефектом, так как они уменьшают рабочее сечение сварного шва и являются концентраторами напряжений и очагами зарождения трещин, приводящих к разрушению конструкции.

Основное влияние на геометрию шва оказывает режим сварки, основными параметрами которого являются ток сварки, скорость сварки и напряжение на дуге. При этом глубина провара во многом зависит от величины сварочного тока – чем выше ток, тем больше глубина проплавления. Однако чрезмерное увеличение тока сварки может привести к перегреву свариваемых деталей и, как следствие, к чрезмерному их окислению, и образованию прожогов, являющихся недопустимым, а в некоторых случаях, и неустраняемым дефектом.

Таким образом, для получения бездефектных сварных соединений титана и его сплавов [1], равнопрочных основному металлу, необходимо:

- 1) определить оптимальные значения параметров режима сварки, обеспечивающие получение сварных швов с заданными размерами;
- 2) обеспечить качественную всестороннюю защиту металла в процессе сварки;
- 4) выполнить неразрушающий контроль качества сварных соединений (внешний осмотр, ультразвуковой, радиационный и т.п.) для выявления возможных наружных и внутренних дефектов;
- 5) выполнить неразрушающий контроль сварных швов определить механические характеристики сварных соединений.

Исследования по сварке проводили на плоских образцах, толщина которых составляла от 1,5 до 10,0 мм.

Аргонодуговую сварку неплавящимся вольфрамовым электродом выполняли в автоматическом режиме.

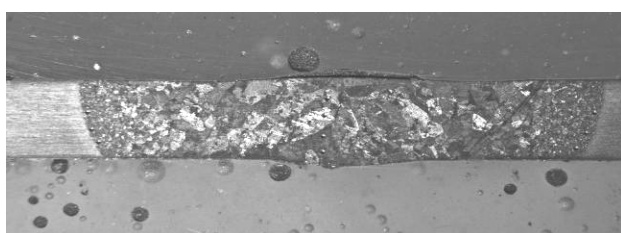
Для закрепления образцов использовали клавишный стенд с подложкой из нержавеющей стали, в которой выполнена канавка для формирования корня шва.

В процессе сварки для защиты сварочной ванны, корня шва и участков сварного

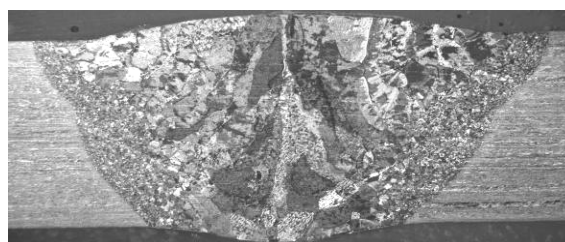
соединения, нагретых свыше 400 °С, применяли аргон газообразный, который подавали в горелку, насадок и подложку клавишного стенда.

Качество сварных швов контролировали внешним осмотром, измерением их размеров, радиографическим контролем, металлографическим анализом, механическими испытаниями сварных швов и сварных соединений и фрактографическим анализом образцов после механических испытаний.

В процессе экспериментов была выполнена аргодуговая сварка неплавящимся электродом деталей толщиной 1,5 мм, 2,5 мм, 3,0 мм, 4,0 мм, 5,0 мм и 10 мм. Детали толщиной до 4,0 мм сваривали за один проход без разделки свариваемых кромок, рисунок 1 а. Детали толщиной 5,0 мм сваривали как с разделкой, так и без разделки свариваемых кромок. Детали толщиной 10 мм сваривали только с разделкой свариваемых кромок, рисунок 1 б.

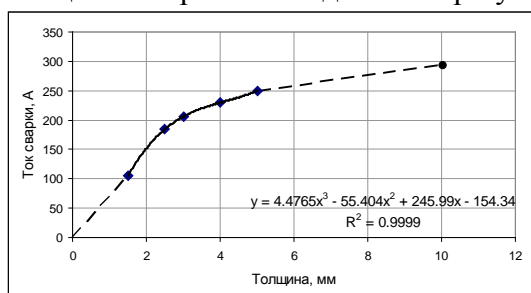


а

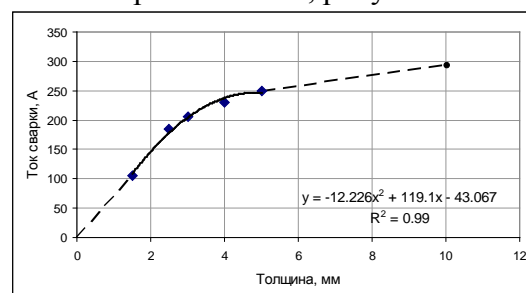


б

При обработке экспериментальных данных была построена зависимость тока сварки от толщины свариваемых деталей при условии сквозного проплавления, рисунок 2.



а



б

Рисунок 2 – Экспериментальные зависимости тока сварки от толщины свариваемых деталей

Экспериментальные точки аппроксимированы в программе Excel 2007 кубической зависимостью, рисунок 2а, и квадратичной зависимостью, рисунок 2б.

Из анализа графиков следует, что с увеличением толщины свариваемых деталей возрастает значение тока сварки, необходимого для сквозного проплавления кромок.

Пунктирной линией построены прогнозные зависимости тока сварки при толщине свариваемых деталей менее 1 мм и более 5 мм. При таком прогнозе необходимо учитывать, что аргодуговая сварка встык деталей толщиной менее 0,5 мм сопряжена с высокой вероятностью образования прожогов. А увеличение тока сварки свыше 300 А нежелательно по причине чрезмерного перегрева свариваемых деталей, и, как следствие, высокой вероятности охрупчивания титана в зоне термического влияния

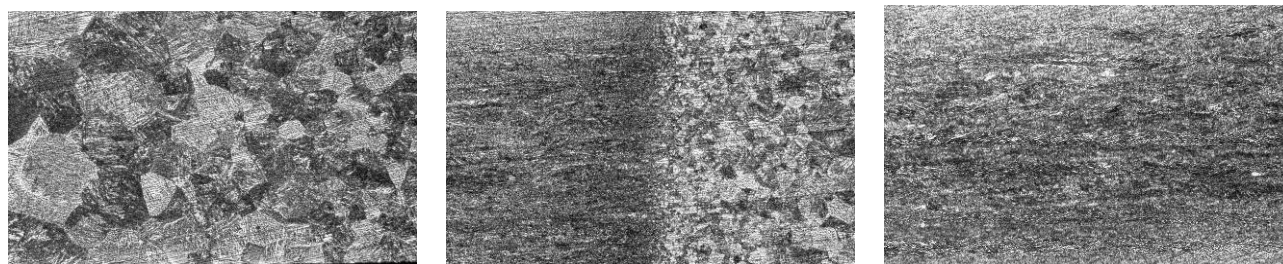
При толщине свариваемых кромок 5 мм и более целесообразно применять разделку свариваемых кромок, а сварку выполнять за несколько проходов (от 2-х и более, в зависимости от толщины деталей). При этом первый проход выполнять со сквозным

проплавлением, ток сварки назначать по графику, рисунок 2, в зависимости от величины притупления свариваемых кромок.

При металлографическом анализе выявлена структура сварных соединений (рисунок 3). Микроструктура сварного шва и участков зоны термического влияния характерна для α -сплавов титана.

Структура металла шва отличается большими размерами зёрен. Аналогичную структуру имеет и ЗТВ. В зоне термического влияния отмечено увеличение размеров зерна относительно основного металла и начинающееся образование отдельных широких пластин.

Кристаллическое строение сварных соединений (сварной шов + зона термического влияния) титановых сплавов в основном определяется термическим циклом сварки. При оптимальных значениях параметров термического цикла сварки металл шва и зоны термического влияния существенно не снижает пластичность по сравнению с основным металлом, что подтверждают результаты измерений твёрдости и механических испытаний.



Сварной шов

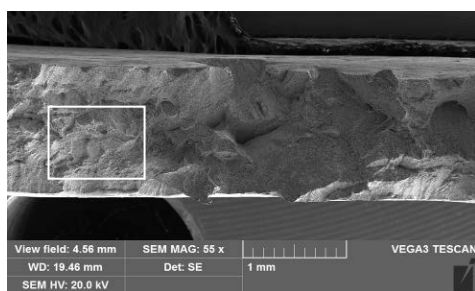
Зона термического влияния

Основной металл

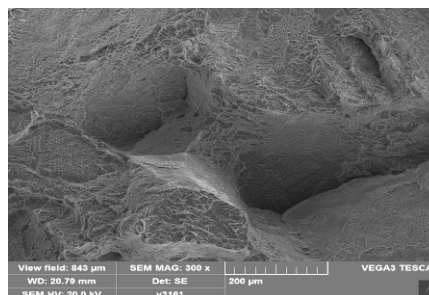
Рисунок 3 – Микроструктура сварных соединений титана

При анализе результатов механических испытаний установлено, что при испытаниях образцов сварных соединений разрушение происходило по основному металлу. Твёрдость сварных швов и их зон термического влияния не превышает 110% максимальной твёрдости основного металла.

Результаты механических испытаний и анализ поверхности разрушения образцов (рисунок 4 [2]) свидетельствуют о том, что прочность сварного соединения выше, чем прочность основного металла при сохранении достаточной пластичности сварного шва и зоны термического влияния.



внешний вид излома



увеличенное изображение

Рисунок 4 – поверхность излома образца после механических испытаний

Выводы

1. В результате выполненных исследований определена зависимость тока сварки от толщины свариваемых деталей при сквозном проплавлении кромок
2. Построенная зависимость позволяет назначать режимы сварки, обеспечивающие получение бездефектных сварных швов, равнопрочных основному металлу.

Авторы выражают искреннюю признательность З.А. Нецветаевой, С.Н. Лобанову, А.С. Востротину за многолетнее плодотворное и деловое сотрудничество при проведении комплекса научно-исследовательских работ. Авторы благодарны Л.В. Свинцовой, О.Н. Королевой и Ф.С. Зариповой за помощь в организации и проведении металлографических исследований.

Литература

1. Гуревич С.М., Замков В.Н., Блащук В.Е. Металлургия и технология сварки титана и его сплавов. – К.: Наук. думка, 1986, 240 с.
2. Фрактография и атлас фрактограмм. Справочник. Под ред. Дж. Феллоуза. – М.: Металлургия, 1982. 489 с.

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТВОДОВ

Брунеткина Е.В., Лежнев Д.Н., Смачная О.В., Собко С.А.

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И.Забабихина», Снежинск

Разработана модель отвода с применением переходного элемента, обеспечивающая неразъемное соединение стальной трубки с деталью из титана. Представлены результаты исследований по электронно-лучевой сварке и сваркопайке деталей отвода. Определены рабочие режимы формирования качественных сварнопаяных соединений разнородных материалов (тантал-титан, тантал-сталь). Описан характер и свойства прослоек, интерметаллидных соединений и зон переплавления контактирующих материалов. Построена зависимость изменения толщины интерметаллидного слоя от параметров режима сварки.

В настоящее время конструкции ряда изделий: корпусных деталей, тел вращения и др. предусматривают наличие технологических ответвлений (отводов), обеспечивающих подключения управляющей и контролирующей аппаратуры (установка проводников сигналов), подвод эксплуатационных жидкостей и газовых сред. При этом необходимо обеспечить получение неразъемных соединений отводов из нержавеющей стали с корпусом деталей, изготавливаемых, в том числе, из титановых сплавов.

Для большинства свариваемых пар разнородных металлов или сплавов характерны существенные различия в температуре плавления, плотности, коэффициентах теплофизических свойств. Отличаются также и кристаллографические характеристики – тип решетки и ее параметры. В большинстве случаев при ограниченной взаимной растворимости для основных комбинаций свариваемых металлов чрезвычайно трудно избежать образования стойких интерметаллических фаз, обладающих высокой твердостью, хрупкостью и склонностью к образованию трещин [1].

Цель данной работы заключалась в разработке неразъемного соединения отвода, обеспечивающего переход от корпуса из титанового сплава к трубке из стали 12X18H10T через промежуточную втулку из тантала и бандаж из стали 12X18H10T.

Исследования по разработке технологических процессов соединения элементов отвода включали в себя отработку технологии электронно-лучевой сваркопайки корпуса с втулкой - шов №1 (титан-тантал) и втулки с бандажом - шов №2 (тантал - сталь).

Отработку технологии электронно-лучевой сваркопайки осуществляли на основе экспериментов с изменением тока луча при постоянстве остальных параметров режима.

По данным [2] и диаграмме фазового равновесия у титана и тантала неограниченная растворимость друг в друге без образования интерметаллидов, что также было подтверждено полученным распределением характеристических рентгеновских излучений (рисунок 1).

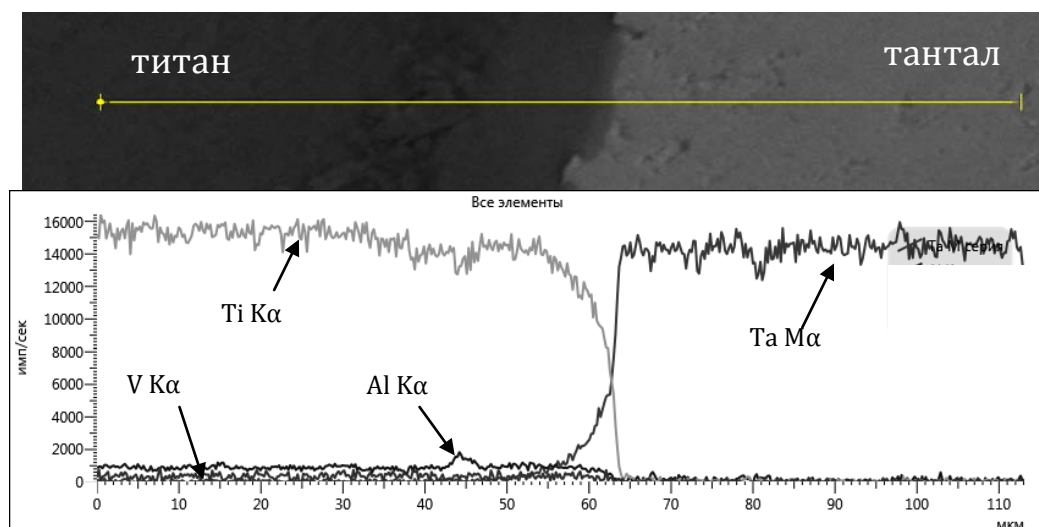
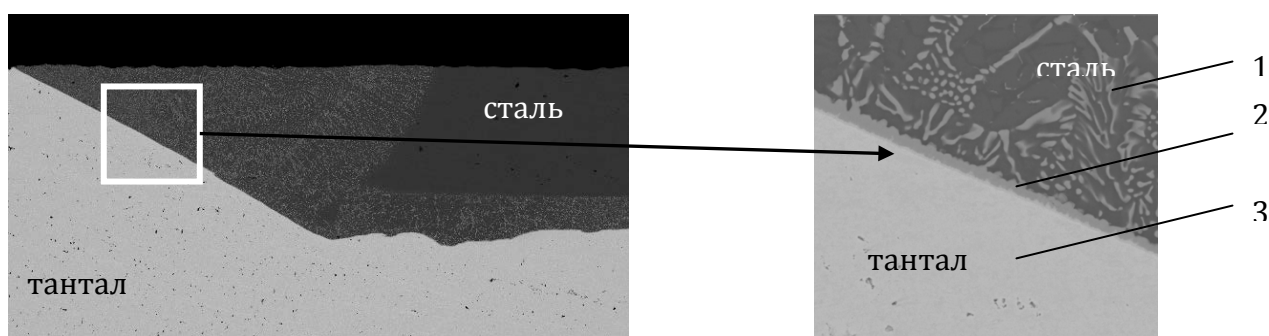


Рисунок 1 – Характерный снимок границы соединения тантал-титан и линейное распределение характеристических рентгеновских излучений

Результатами измерений на микротвердомере Leica показано, что изменение величины тока сварки при постоянстве остальных параметров режима не оказывает влияния на микротвердость характерных зон сварнопаянного соединения.

На рисунке 2 представлены снимки соединения тантал-сталь 12Х18Н10Т (шов №2).



1 – зона эвтектики; 2 – интерметаллидная прослойка; 3 – тантал
Рисунок 2 – Сварнопаянное соединение тантала и стали 12Х18Н10Т

На границе соединения деталей тантал–сталь (рисунки 2) отмечено образование двух интерметаллидных соединений Fe-Ta, о чем свидетельствует распределение характеристических рентгеновских излучений элементов (рисунке 3). На рисунке 2 данные слои обозначены цифрой 2. Как известно [2], в системе Fe-Ta возможно образование соединений Fe_2Ta , FeTa.

В зоне нагрева электронным лучом и по границе соединения деталей показана область 1 (рисунке 2), представляющая собой зону совместного переплавления двух материалов в виде эвтектики - механической смеси «интерметаллид – сталь».

Результаты измерений микротвердости характерных зон сварнопаянного соединения тантал-сталь также подтвердили наличие интерметаллидной фазы, как в граничной зоне соединения стали с танталом, так и в эвтектической области.

В ходе экспериментов было отмечено, что с увеличением времени взаимодействия металлов (повышением тока сварки) происходит количественный рост интерметаллидной фазы в зоне эвтектики.

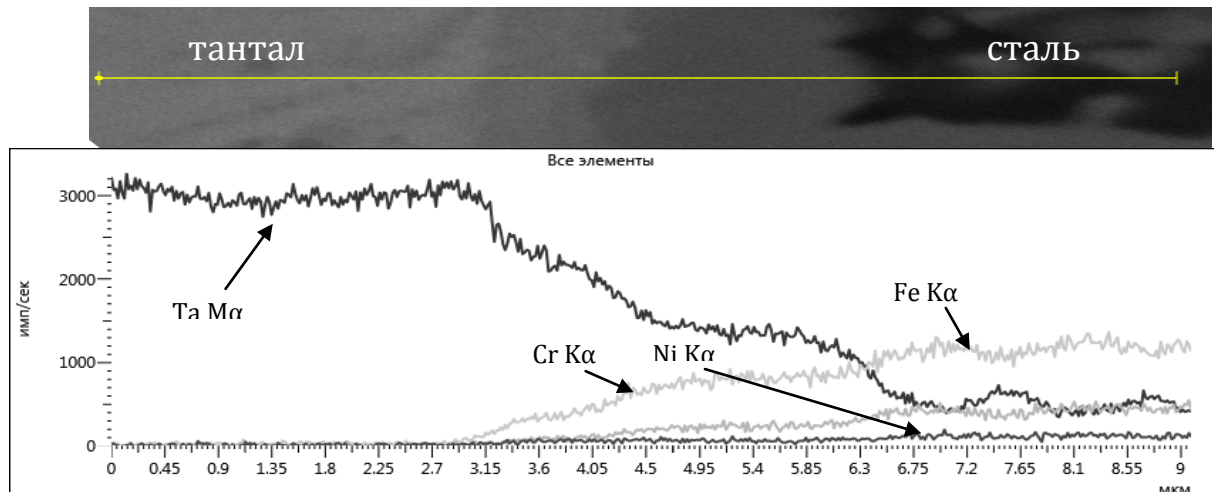


Рисунок 3 – Снимок границы соединения деталей тантал–сталь и линейное распределение характеристических рентгеновских излучений элементов

По результатам измерений оценена толщина интерметаллидного слоя. На рисунке 4 представлена зависимость изменения толщины слоя при изменении тока сварки. Как видно, с увеличением тока сварки (времени пребывания титана в расплавленном состоянии) и, соответственно, увеличением времени взаимодействия металлов, происходит резкий рост толщины интерметаллидной прослойки.

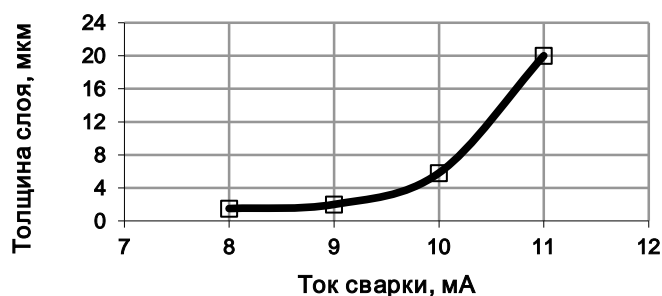


Рисунок 4 – Зависимость толщины интерметаллидного слоя от тока сварки

В результате проведенных исследований определены режимы сваркопайки, обеспечивающие получение неразъемной конструкции из разнородных материалов с минимальной (1,5 мкм) толщиной слоя интерметаллидов. Этим учтено отрицательное влияние хрупкой интерметаллидной прослойки на прочность сварнопаяного соединения.

Литература

1. Акулов А.И., Бельчук Г.А., Демянцевич В.П. Технология и оборудование сварки плавлением. - М.: Машиностроение, 1977.– 432 с.
2. Носова Г.И. Фазовые превращения в сплавах титана. – М.: «Металлургия», 1968.

РЕАЛИЗАЦИЯ НЕЙРОНА НА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

Ваганов Д.А., Новиков¹ Л.Г.

*Технологический институт НИЯУ МИФИ, Лесной,
Снежинский физико-технический институт НИЯУ МИФИ, аспирант
¹Технологический институт НИЯУ МИФИ, Лесной*

Предложен метод реализации математической модели нейронного элемента на операторах логической свертки. Рассматривается конструкция весового элемента, выполняющего операцию умножения на заданный коэффициент. Предложен способ реализации взвешенного сумматора и активационной функции выхода нейрона.

Синхронный унитарный сигнал (СУС) - синхронная последовательность единиц в которой информационная величина представляется в виде P-ряда (P-prima) или Z-ряда (Z-zero). Информационным параметром является длина (N_p) P - ряда и длина (N_z) Z — ряда.

Искусственный нейрон — элемент, выполняющий простейшее преобразование комбинации входных сигналов с определенными весами, определяющие связь. Выходным сигналом является некоторая активационная функция, от полученной комбинации. Математически, нейрон описывается формулой:

$$y = f\left(\sum_{i=0}^N a_i x_i\right) \quad (1)$$

Техническая реализация сетей, построенных на основании таких элементов является основной проблемой, связанной с переходом на концептуально новый уровень вычислений.

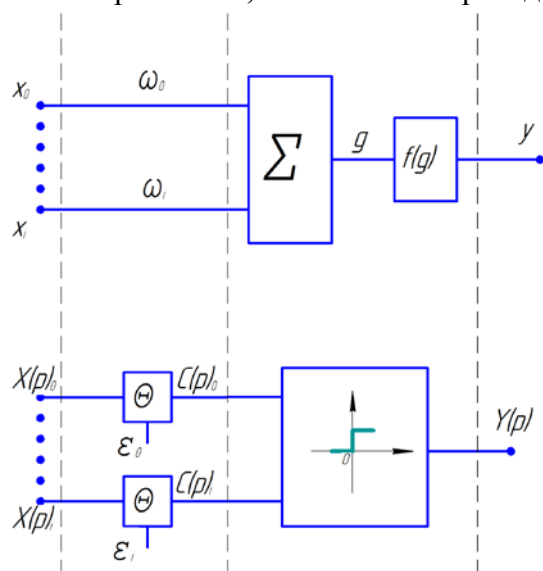


Рисунок 2. Аналогия перехода от математического нейрона, к техническому

При рассмотрении функциональных устройств на операторах логической свертки[1, 2], возможность реализации отдельных составляющих математического нейрона на элементах пороговой логики позволяет представить его как новый класс устройств, оперирующего в пространстве синхронных унитарных сигналов, и выполняющим преобразования над ними по аналогии с математической моделью.

Весовая составляющая связи нейрона преобразует сигнал для суммирования на элементах, реализация которых является не столь сложной, нежели блоки умножения, заложенные в весовой концепции преобразования. Сложность увеличивается с переходом от пороговой логики преобразования сигнала к умножению с рациональными числами.

Одной из концепций реализации весового элемента является возможность использования универсальных преобразовательных процедур на элементах пороговой логики. Представленный на рисунке 1 весовой элемент имеет вход $X(p)$, для приема синхронного унитарного сигнала от связей с другими элементами; Вход синхронизации syn , и управляющий вход \mathcal{E} , являющийся сигналом от учителя, в случае обучения на основании определенной выборки с априорной информацией о принадлежности объекта к определенному классу, либо сигнал поступившей с устройства настройки веса в режиме самообучения.

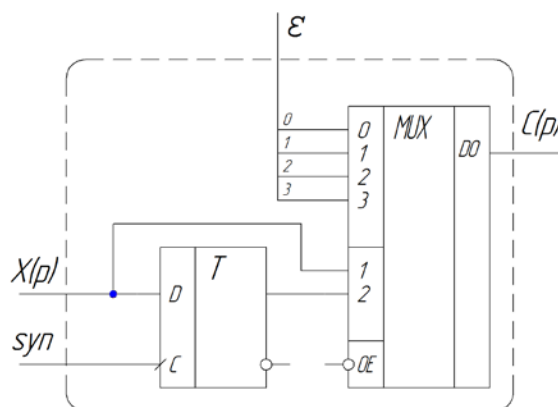


Рисунок 1. Весовой элемент

Выходной сигнал $C(p)$ является преобразованной величиной, дальнейшая обработка которой сводится к комбинации с другими сигналами на входе порогового элемента, выполняющего роль сумматора и активационной функции.

Каждая связь данного технического нейрона снабжается универсальным элементом оператора логической свертки, операция которого задается управляющим сигналом.

В данном случае логическое описание результата преобразования такого нейрона можно описать формулой:

$$Y(p) = \bigcup_{i=0}^N X(p)_i \Theta X(p)_i p = \bigcup_{i=0}^N C(p)_i \quad (2)$$

$X(p)_i p$ - входной сигнал, задержанный на величину синхроимпульса.

\bigcup - логическая операция, выполненная из набора $\{ \wedge, \vee, \oplus, \triangleright, \triangleleft \}$ – функционально полный набор логических операций, реализуемый комбинационными схемами простейшей пороговой логики.

Таким образом, полученный элемент является техническим аналогом математической модели нейрона, выполненный на операторах логической свертки сигнала.

Рассмотрим более подробно простейшие операторные модели нейрона с двумя входами, весовыми элементами, и логической функцией конъюнкции на выходе.

ВЛИЯНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ПЛАСТИФИКАТОРОВ НА КОНЕЧНЫЕ СВОЙСТВА ПРЕССОВАННЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ НИТРИДОВ УРАНА

Власевский Р.М., Зуев¹ Ю.С.

*ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск,
Снежинский физико-технический институт НИЯУ МИФИ, аспирант
¹Снежинский физико-технический институт НИЯУ МИФИ*

Представлен краткий обзор актуальных литературных данных и патентных исследований по процессам синтеза нитридов урана и плутония, а также производству из них топливных элементов для реакторов на быстрых нейтронах. Отмечена и обоснована роль органических пластификаторов в процессах таблетирования порошков нитридов элементов актиноидной группы для последующего изготовления из них топливных элементов, описаны основные технические характеристики, предъявляемые органическим пластификаторам. На основе представленных теоретических данных предложена возможность использования органических пластификаторов, которые применяются при изготовлении топливных элементов на основе окислов урана, в процессах прессования порошков нитридов урана для дальнейшего изготовления нитридного топлива для реакторов на быстрых нейтронах. Представлена технологическая схема предлагаемых экспериментов по прессованию, по результатам проведения экспериментов определены плотности заготовок и спеченных таблеток, усилия прессования и содержание углерода в спеченных таблетках.

Нитриды элементов актиноидной группы, такие как нитрид урана ($UxNy$), нитрид плутония (Pu_xNy), нитриды вторичных актиноидов (Np_xNy , Am_xNy , Cm_xNy), а также их механические смеси могут быть использованы как высокотемпературное ядерное топливо [1]. К высокотемпературным топливным материалам относятся также окислы, карбиды, нитриды, сульфиды, фосфиды элементов актиноидной группы. Однако, среди различных видов топлива, нитридное топливо имеет хороший потенциал. Температура плавления нитрида топлива выше, чем у металлического топлива и сравнима с оксидным топливом. Теплопроводность нитридного топлива выше, чем у оксидного топлива и сравнима с металлическим топливом. Нитридное топливо поддерживает жесткий спектр нейтронов, необходимый для деления второстепенных актиноидов. Мононитриды актиноидов образуются в форме твердого раствора, который может вмещать широкий спектр комбинаций актиноидов и их различный состав.

В открытой публикации есть достаточно большое количество статей по влиянию различных параметров процесса изготовления на плотность и микроструктуру спеченных образцов из нитридов урана и плутония, некоторые из которых представлены в списке литературы настоящей статьи [2-5].

Авторами данной статьи рассмотрено некоторое количество составов органических пластификаторов [6-7], тем не менее, многие были отнесены в разряд малоперспективных по следующим соображениям:

Несмотря на положительные первичные результаты, вряд ли нашли бы широкое применение в практике водные дисперсии или композиции, в состав которых входит вода, поскольку необходима стадия удаления влаги из пресс-порошка, и ограничивается размер аппаратов по соображениям ядерной безопасности. Также вряд ли целесообразно использовать в качестве растворителей такие взрывоопасные соединения как диэтиловый

эфир, метанол, метилэтилкетон или такие высокотоксичные соединения как толуол, четыреххлористый углерод, трихлорэтилен и т.д.

Поскольку после отжига производных целлюлозы, в частности, карбоксиметилцеллюлозы остается значительный коксовый остаток, их применение в качестве пластификатора также не желательно.

В первую очередь, перед проведением экспериментов с добавлением пластификаторов были проведены эксперименты по одностадийному прессованию порошка нитрида урана, а также смеси нитрида урана (UN) и полупторного нитрида урана (U₂N₃). В ходе эксперимента определялись такие параметры, как усилие прессования, плотность заготовок, а также плотность таблеток, полученных после спекания заготовок.

Предлагаемая схема экспериментов по процессам прессования порошков нитридов урана представлена на рисунке 1. По данной схеме предполагалось провести четыре серии экспериментов, основное различие которых заключалось в использовании различных исходных смесей нитридов урана с одним из предлагаемых пластификаторов. Основными стадиями технологической схемы являются приготовление пресс-порошка путем смешения нитрида урана или смеси нитрида урана с полупторным нитридом урана с органическим пластификатором, добавление растворителя для равномерного распределения пластификатора в пресс-порошке, отгонка растворителя в печи с инертной атмосферой, прессование заготовок с последующим спеканием и анализ полученных таблеток. Все стадии и операции проводятся в герметичных боксах в инертной атмосфере.

Рисунок 1. Схема экспериментов по процессам прессования порошков нитридов урана.

Номер серии экспериментов



В качестве пластификаторов были предложены парафин, стеарат цинка и олеиновая кислота – пластификаторы, которые используются для изготовления топливных элементов на основе оксидов урана с различной степенью окисления [8-10]. Поскольку операции смешения и отгонки проводятся в инертной атмосфере в герметичных боксах, то возможно использование четыреххлористого углерода в качестве растворителя [7].

Анализ полученных результатов

По результатам проведения экспериментов по прессованию порошка нитрида урана без добавления пластификатора плотность заготовок после прессования составила $9,2 \pm 0,2$ г/см³. Усилие прессования составило 4700 ± 100 кгс/см². Далее проводилось прессование смеси моонитрида урана с полуторным нитридом урана. Было определено, что при увеличении содержания полуторного нитрида урана в прессуемом порошке до 30% (масс.), плотность заготовки после прессования снижается с $9,2 \pm 0,2$ до $7,7 \pm 0,2$ г/см³.

При использовании парафина в качестве пластификатора (1,5% масс.) и проведении серии экспериментов согласно предложенной схеме экспериментов, плотности полученных заготовок составили $8,4 \pm 0,2$ г/см³, а усилие прессования составило 2600 ± 100 кгс/см². Аналогично проведенным экспериментам с парафином, при использовании олеиновой кислоты (0,5% масс.) плотности заготовок составили $8,1 \pm 0,2$ г/см³, а усилие прессования – 4200 ± 100 кгс/см². При использовании стеарата цинка плотности заготовок составили $7,9 \pm 0,2$ г/см³, усилие прессования составило 3700 ± 100 кгс/см².

Спрессованные заготовки далее были отправлены на спекание в высокотемпературной вакуумной печи, где спекались при температуре 1600°C в течение 10 часов. Затем была определена плотность спеченных таблеток и проведен анализ по определению содержания в них углерода. Следует отметить, что при работе с олеиновой кислотой в оборудовании образуется масляный осадок, который плохо фильтруется и отмывается.

Результаты проведенных экспериментов и аналитических исследований представлены в таблице 1.

Таблица 2. Зависимости плотностей заготовок и таблеток, усилий прессования и содержания углерода в таблетках от состава исходного порошка.

Исходный порошок	Плотность заготовок, г/см ³	Усилие прессования, кгс/см ²	Плотность таблеток, г/см ³	Содержание углерода в процентах, масс.
UN	$9,2 \pm 0,2$	4700 ± 100	$10,9 \pm 0,1$	-
UN+U ₂ N ₃	$7,7 \pm 0,2$	4700 ± 100	$9,8 \pm 0,2$	-
UN с парафином	$8,4 \pm 0,2$	2600 ± 100	$10,9 \pm 0,1$	0,08
UN с олеиновой кислотой	$8,1 \pm 0,2$	4000 ± 100	$10,8 \pm 0,1$	0,11
UN со стеаратом цинка	$7,9 \pm 0,2$	2600 ± 100	$10,8 \pm 0,1$	0,15
UN+U ₂ N ₃ с парафином	$8,4 \pm 0,2$	2600 ± 100	$10,9 \pm 0,1$	0,08

Выводы

Предложена возможность использования органических пластификаторов, которые используются при изготовлении топливных элементов на основе окислов урана, в процессах прессования порошков нитридов урана. Рассмотрена технологическая схема процессов прессования порошков нитридов урана, согласно которой были проведены эксперименты с использованием парафина, олеиновой кислоты и стеарата цинка в качестве пластификаторов, а также осуществлено прессование без добавления пластификаторов. Определены плотности заготовок после прессования и усилия прессования, в результате чего установлено, что максимальную плотность имеют заготовки из порошка моонитрида урана без добавления пластификаторов ($9,2 \pm 0,2$ г/см³), однако усилие прессования почти в два раза выше, чем при использовании парафина в качестве пластификатора (4700 ± 100 и 2600 ± 100 кгс/см² соответственно).

В результате спекания полученных заготовок, определена плотность таблеток и проведен анализ на содержание углерода. Максимальные плотности были получены у таблеток из монокрида урана без добавления пластификаторов ($10,9 \pm 0,1$ г/см³), а также при добавлении парафина ($10,9 \pm 0,1$ г/см³). Данные значения удовлетворяют условиям разрабатываемой технологии изготовления нитридного топлива для экспериментальных ядерных реакторов на быстрых нейтронах. Минимальное содержание углерода при использовании пластификаторов наблюдалось при использовании парафина с монокридом, а также смеси монокрида с добавлением полуторного нитрида (UN+U₂N₃) – 0,08%, масс, что также удовлетворяет условиям разрабатываемой технологии изготовления нитридного топлива.

Литература

1. Котельников Р.Б., Башлыков С.Н., Каштанов А.И. Высокотемпературное ядерное топливо. – М.: Атомиздат, 1978. – 432 с.
2. S. Imoto and H.J. Stoecker, "Thermodynamics, vol. II", International Atomic Energy Agency, Vienna, pp. 533-546, 1966.
3. Рогозкин Б.Д., Степеннова Н.М., Прошкин А.А. Монокридное топливо для быстрых реакторов // Атомная энергия, сентябрь 2003. Т. 95. Вып. 3. с. 208-220.
4. Рогозкин Б.Д., Степеннова Н.М., Федоров Ю.Е., Шишков М.Г., Крюков Ф.Н., Кузьмин С.В., Никитин О.Н., Курина И.С., Забудько Л.М., Нуаро Ж., Беджаи С. Послереакторные исследования монокридного и оксидного плутониевого топлива с инертной матрицей выгоранием ~19% т.ат. в БОР-60 // Атомная энергия, т.109, №6, декабрь 2010, с.303-307.
5. W. O. Greenhalgh, "Kinetic Measurements for the Carbothermic Synthesis of UN, PuN, and (U,Pu)N," Journal of the American Ceramic Society, vol. 56, pp. 553-557, 1973.
6. Химическая энциклопедия. Т. 3, Т. 4. Статьи «Поливиниловые спирты», «Стеариновая кислота», «Полиэтиленоксиды». – М.: Наука, 1995 г. – 450 с.
7. Мадорский С.В. Термическое разложение органических полимеров. – М.: Мир, 1967. – 332 с.
8. Кац, Дж. Химия урана. Уран как элемент, его бинарные соединения, гидраты окислов и оксигалогениды. кн. 1: пер. с англ. / Дж. Кац, Е. Рабинович. — М.: Иностранная литература, 1954. — 490 с.
9. Власов В.Г., Жуковский В.М., Ткаченко Е.В., Бекетов А.Р. Кислородные соединения урана. – М.: Атомиздат, 1972. – 255 с.
10. Тураев Н.С., Жерин И.И. Химия и технология урана: учебное пособие для вузов. – М.: ЦНИИАТОМИНФОРМ, 2005 – 407 с.

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТОРЦЕВОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО РЕЗАНИЯ

Волков А.В., Орлов¹ А.А.

*ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск,
Снежинский физико-технический институт НИЯУ МИФИ, аспирант
¹Снежинский физико-технический институт НИЯУ МИФИ*

В работе рассмотрена методика моделирования высокоскоростной обработки титановых сплавов.

Разработана теплофизическая модель высокоскоростного резания, а также изучены особенности изнашивания инструмента при фрезеровании титановых сплавов. Разработана методика оптимизации режимов резания с учетом комплекса технологических ограничений, накладываемых условиями обработки детали на станке с ЧПУ.

СВАРКА ДЕТАЛЕЙ РАЗНОЙ ТОЛЩИНЫ ИЗ РАЗНОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

Гареев И.С., Писарев М.С., Собко С.А.

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И.Забабихина», Снежинск

Представлены результаты исследований по лазерной сварке деталей разной толщины, выполненных из разнородных металлов. По результатам данных исследований установлено, что равномерный нагрев свариваемых кромок обеспечивается за счёт выполнения конструкции сварного соединения с технологическим буртом на тонкостенной детали, при высоте бурта в 3 – 4 раза больше толщины самой детали. Проведены эксперименты по импульсной лазерной сварке деталей разной толщины из разнородных металлов. В результате проведённых экспериментов подтверждено, что только при выдерживании необходимых размеров буртов происходит их взаимное расплавление без несплавлений и прожогов в сварном шве.

При сварке разнородных металлов существует вероятность неравномерного нагрева деталей из-за разного коэффициента линейного термического расширения. Это может привести к накоплению сварочных напряжений и деформаций и, как правило, к снижению прочности сварных соединений.

При сварке деталей разной толщины неравномерное оплавление свариваемых кромок может привести к образованию прожогов в тонкостенной детали и к её несплавлению с толстостенной. При сварке разнотолщинных деталей это происходит, как правило, в связи с увеличенным тепловым расширением металла тонкой кромки, что приводит к её местному короблению и появлению зазора между деталями, тонкая кромка перегревается и образуется прожог. Кроме этого, смещение теплового потока на более массивную деталь не всегда обеспечивает получение качественного сварного шва, так как возможно несплавление свариваемых кромок.

В данной работе равномерный нагрев свариваемых кромок обеспечивали за счёт проектирования рациональной конструкции сварного соединения с отбортовкой кромок и за счёт реализации способа сварки с минимальным тепловложением.

На рисунке 1 представлена 3D модель конструкции свариваемых деталей.

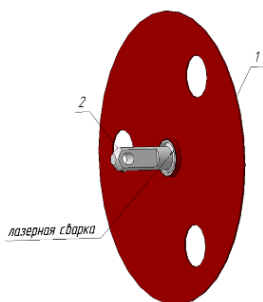


Рисунок 1 – 3D модель конструкции свариваемых деталей

На рисунке 2 представлена конструкция сварных соединений.

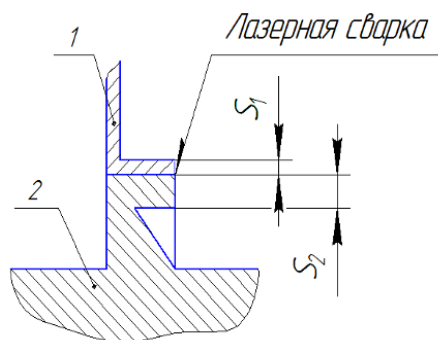


Рисунок 2 – Конструкция сварного соединения

1 – тонкостенная деталь, 2 – толстостенная деталь

В качестве материала тонкостенной детали применяли: медь марки М1 ГОСТ 1173-2006 и никель марки НП2 ГОСТ 2170-73. Материал толстостенной детали – нержавеющая сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 4986-79.

Таким образом, в данной работе рассматривали сварку деталей разной толщины из разнородных металлов в следующем сочетании: М1+12Х18Н10Т и НП2+12Х18Н10Т.

Размеры технологических буртов как на детали 1, так и на детали 2 подобраны с учётом теплофизических свойств соединяемых металлов.

Толщину бурта детали 2 определяли по формуле:

$$S_2 = (1 + \Delta) \cdot S_1, \quad (1)$$

где $\Delta = R_2 - R_1$, R_1 – коэффициент отражения детали 2, R_2 – коэффициент отражения детали 1, S_1 – толщина бурта детали 1, S_2 – толщина бурта детали 2. Коэффициент отражения меди составляет $R_2 = 0,91$, часть энергии лазерного луча отражается поверхностью детали 1. При этом деталью 1 поглощается меньше энергии лазерного луча. Коэффициент отражения нержавеющей стали меньше, чем у меди. Следовательно, деталь 2 поглощает больше энергии, чем деталь 1. Поэтому, для равномерного нагрева свариваемых кромок необходимо, чтобы толщина бурта детали 2 была больше толщины бурта детали 1. Поэтому, чтобы обеспечить равномерное расплавление свариваемых кромок учитывали коэффициенты отражения свариваемых деталей 1 и 2.

На детали 1 формировали технологический бурт, с высотой в 3 – 4 раза больше толщины самой детали.

Перед сборкой поверхности контакта буртов подвергали ультразвуковой обработке в этиловом спирте. Этим очищали свариваемые поверхности от загрязнений и, таким образом, исключали влияние адсорбированных атомов внешней среды на качество шва.

Для закрепления деталей в процессе сборки и сварки было разработано и изготовлено универсальное сборочно-сварочное приспособление. Данное приспособление обеспечивало беспрепятственный доступ лазерного луча и защитного газа в зону сварки.

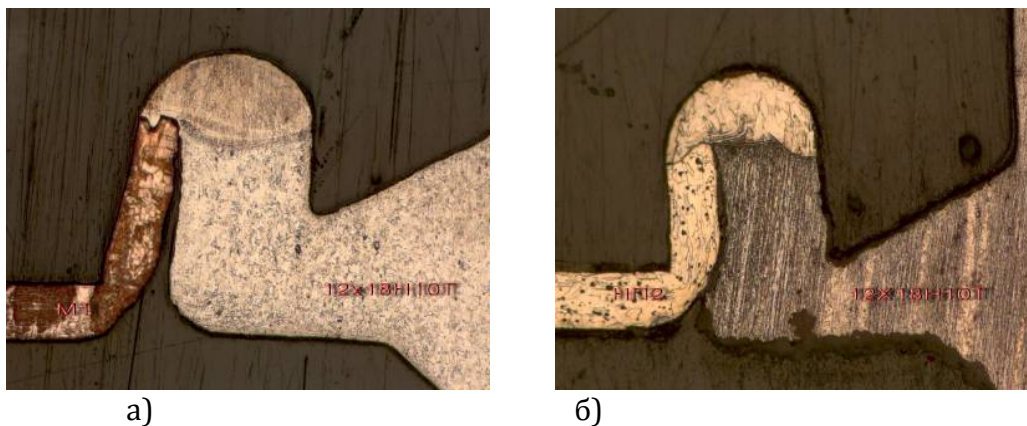
Сборку выполняли с допущением зазора в стыке и смещений по высоте свариваемых буртов, не превышающих 10% от толщины детали 1. При этом обеспечивали плотный контакт свариваемых буртов, тем самым исключали образование воздушных полостей между буртами, наличие которых является причиной прожога тонкостенной детали.

Сварку выполняли на лазерной машине.

Для защиты расплавленного металла от взаимодействия с воздухом использовали аргон высшего сорта по ГОСТ 10157 – 79.

Практика показала, что, при соблюдении требований к сборке деталей и при выдерживании необходимых геометрических размеров буртов, сварные швы имеют высокое качество.

На рисунке 3 представлены поперечные сечения сварных швов.



а) б)
Рисунок 3 – поперечные сечения сварных швов
а – МД+12Х18Н10Т; б – НП2+12Х18Н10Т

При анализе шлифов поперечных сечений установлено, что технологический бурт, как на медной детали, так и на детали из нержавеющей стали, оплавляется равномерно.

Как показано на рисунке 3а, металл шва плотный, без дефектов. Граница сплавления между нержавеющей сталью и медью резкая, с включением фазы, обогащённой железом. Со стороны стали, примыкающей к шву, размер зерна увеличивается. Однако, интенсивного проникновения меди в поверхностные слои аустенитной стали не наблюдается, что свидетельствует об отсутствии хрупких фаз по границам зёрен. В сварном шве происходит взаимное расплавление меди и элементов нержавеющей стали.

Более стабильное формирование сварного шва наблюдается при соединении никеля с нержавеющей сталью, рисунок 3б. Характерной особенностью микроструктуры сварного шва является дендритное (литое) строение. В околошовной зоне соединение имеет аустенитную структуру. Границы аустенитных зёрен совпадают с границами первичных кристаллов. В сварном шве благодаря высокой стабильности аустенитной структуры вторичная кристаллизация не наблюдается, так как после затвердевания сварочной ванны фиксируется первичная структура. Вследствие этого металл шва имеет более однородную структуру, не наблюдается появление внутренних напряжений, которые способствуют развитию микротрещин и, как правило, нарушению герметичности шва.

Таким образом, выполнение технологических буртов на деталях 1 и 2 позволило не только повысить стабильность качества сварных швов, но и обеспечить их герметичность. В результате проведённых экспериментов было подтверждено, что сварные швы герметичны, не имеют наружных и внутренних дефектов и дефектов микроструктуры.

По материалам данной работы была оформлена заявка на патент «Способ сварки деталей разной толщины из разнородных металлов», которая в настоящий момент проходит экспертизу на патентоспособность [4].

Авторы выражают благодарность Р.Р. Панку за разработку технологии изготовления конструкции свариваемых деталей и сборочно-сварочной оснастки, Е.А. Мусаевой за работу в области материаловедческих исследований.

Литература

1. Сварка и свариваемые материалы: В 3-х т. Т. 1. Свариваемость материалов. Справ. изд./Под ред. Э. Л. Макарова – М.: Металлургия, 1991.
2. Лазерная и электроннолучевая обработка материалов: Справочник / Н. Н. Рыкалин, А. А. Углов, И. В. Зуев, А. Н. Кокора. – М.: Машиностроение, 1985. – 270 с.
3. Сварка никеля и его сплавов./ К. В. Багрянский, Г. С. Кузьмин. М.: Машиностроение, 1963.
4. Заявка № 2013137994 от 13.08.2013г. МПК В23К 26/42.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ ПРИ ДЕФЕКТАЦИИ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ

Горбокони́на О.И., Лысенко О.В., Смачная О.В., Смирнов Ю.Г., Юрченко О.С.

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И.Забабихина», Снежинск

Из-за повышения требований к качеству материалов и усложнения технологий изготовления ответственных узлов определяющее значение при диагностике их состояния приобрели современные методы анализа состава и структуры материалов. В работе проведен системный анализ результатов практического применения электронной микроскопии, как метода тонких исследований структуры материалов. Метод позволяет исследовать шлифы и изломы для выявления причин разрушения приборов и узлов; изучать структурные и фазовые составляющие конструкционных материалов с целью оценки их влияния на эксплуатационные и технологические свойства; исследовать морфологию поверхностей изделий, в том числе, для идентификации поверхностных дефектов и причин их появления.

При проведении исследований применяли сканирующие электронные микроскопы Tescan Vega и Zeiss EVO, оборудованные системами микроанализа Oxford Instruments.

Как известно, одним из достоинств метода электронной микроскопии является возможность достижения более высокого разрешения, чем в оптическом микроскопе. Так, данные анализа электронно-микроскопических снимков источника передачи теплового потока позволили оценить характер протекания динамического процесса.

Объектом исследований являлись материалы образцов в исходном состоянии и после протекания самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВТС). Реакция СВТС для данных образцов предполагает образование тугоплавкого металлокерамического соединения.

Образцы в исходном состоянии имеют темный цвет, плотную структуру, после срабатывания – однотонный серый цвет, спеченную пористую структуру, которую наиболее наглядно видно на изображениях, полученных методом электронной микроскопии (рисунок 1). Спектры, полученные на электронном микроскопе, а затем и рентгенофазовый анализ материала образца подтвердил наличие тугоплавкого металлокерамического соединения. Таким образом, микроснимки, полученные при помощи электронного микроскопа, позволили подтвердить факт протекания динамического процесса.

Также электронная микроскопия позволяет исследовать морфологию поверхностей изделий, в том числе, и при идентификации поверхностных дефектов; проводить анализ изломов для выявления причин разрушения материалов.

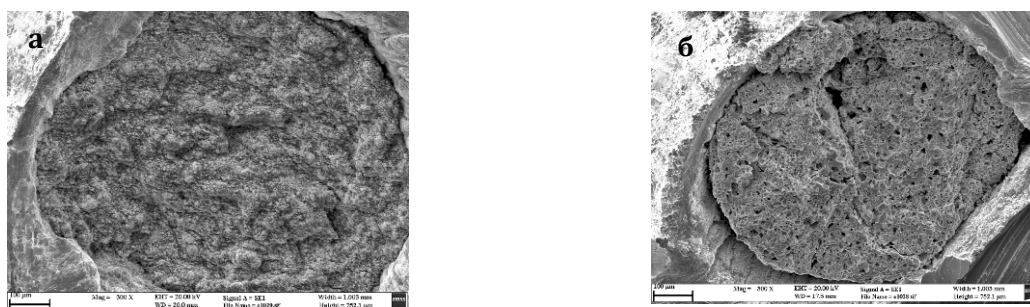


Рисунок 1 – Снимки образцов: а – в исходном состоянии, б – после срабатывания

Так, при испытании конструкции датчика было зафиксировано разрушение сварных швов, выполненных лазерной сваркой. Фрактографический анализ сварных швов выявил усталостный характер разрушения (рисунок 2а). У большинства сварных швов на поверхности отмечены поперечные трещины (рисунок 2б), образовавшиеся из-за «несросшихся» между собой дендритных кристаллов (рисунок 2в). Вероятной причиной появления подобного дефекта является наличие теплового барьера в виде газовых полостей в процессе кристаллизации металла шва, в результате чего у дендритов отсутствуют оси второго порядка. Кристаллы имеют вид параллельных «стволов», не плотно прилегающих друг к другу, вследствие чего снижается прочность сварного соединения.

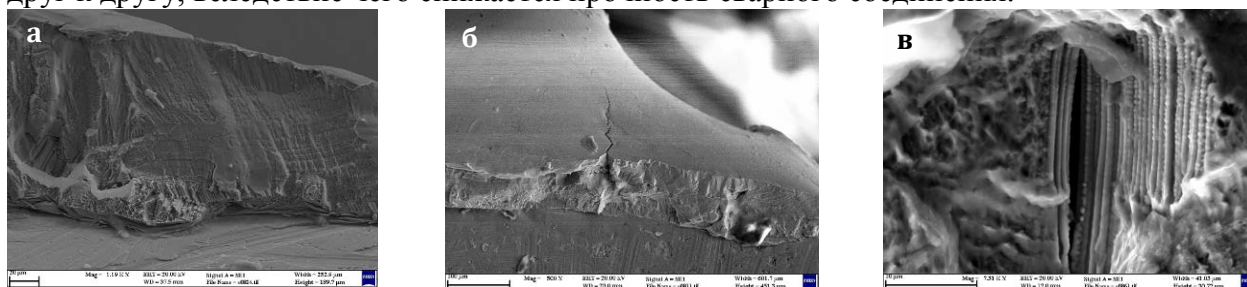


Рисунок 2 – Характерные виды изломов сварных швов

Для устранения причин, приводящих к разрушению сварных швов (наличие дефектов, таких как трещины, поры, несплошности) была выполнена коррекция режимов сварки, что позволило обеспечить требуемое качество сварных соединений.

Рентгеноспектральный микроанализ (РСМА), как метод электронной микроскопии, позволяет определять химический элементный состав малого количества вещества и исследовать границы раздела неразъемных соединений двух деталей.

Так при исследовании паяных соединений медных деталей припоем Sn96%Ag4% выявлено образование двух интерметаллидных слоев (рисунок 3а). В темно-сером слое содержание меди порядка 74 % атомн., олова 26 % атомн. В светло-сером слое содержится 47% атомн. меди, олова – 53% атомн. (рисунок 3б). Данные слои охрупчивают паяное соединение, что может привести к разрушению конструкции.

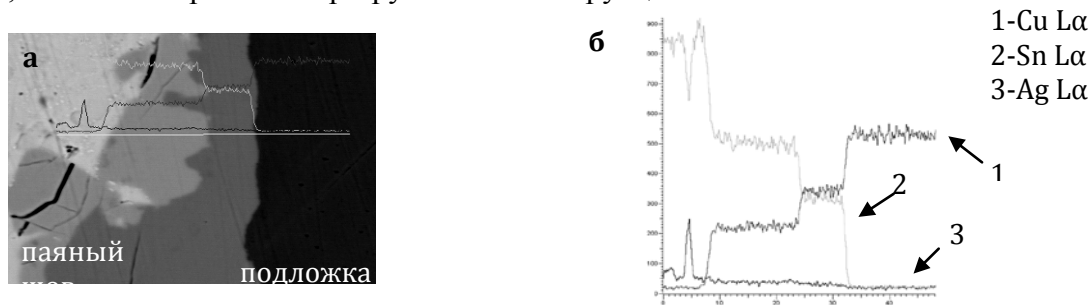


Рисунок 3 – Снимок в отраженных электронах и распределение характерных рентгеновских излучений элементов

Определение химического элементного состава налета на стойке разъема в зоне стеклоспая позволило выявить причину его образования. Анализ частиц налета показал, что основу вещества составляют: фосфор, сера, железо, никель, кобальт, хром; также регистрируются линии калия, меди, алюминия и натрия (рисунок 4). Железо, никель, кобальт входят в состав материала стойки. Известно, что фосфор, сера, хром – составляющие осветлителя при электрополировании разъема после изготовления стеклоспая.

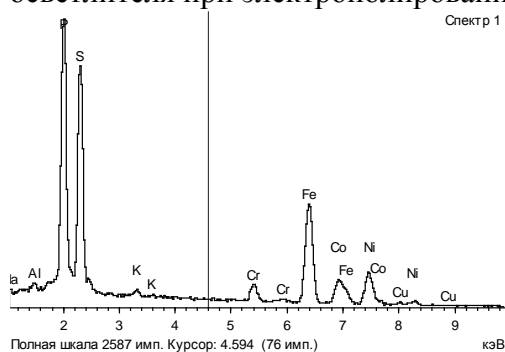


Рисунок 4 – Рентгеновский спектр с поверхности пробы частиц налета

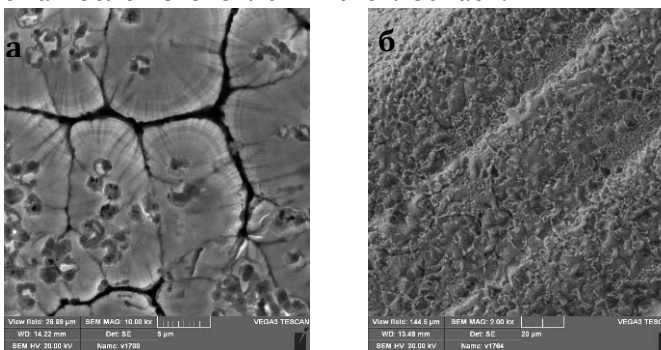


Рисунок 5 – Поверхность стоек: а – после удаления налёта, б – после изготовления и осветления

На поверхности стойки после удаления налета наблюдаются интеркристаллитная коррозия (растрескивание материала по границам зерен) и питтинговая коррозия (ямочный характер) (рисунки 5а). Для сравнения были исследованы поверхности стоек после изготовления и осветления (рисунок 5б). Видно, что на поверхности стойки с налётом нет характерных следов механической обработки, а поверхность гладкая. Таким образом, налет на поверхности стойки является следствием длительного воздействия химически активной среды на материал стойки.

Известно, что состав материала детали может быть определен разными методами. Так, применительно к стали 12Х18Н10Т, был проведен сравнительный анализ данных атомно-эмиссионной спектроскопии и рентгеноспектрального микроанализа по химическому элементному составу. Результаты, полученные двумя методами, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты определения химического состава образцов из стали 12Х18Н10Т, % масс.

Метод исследования	Si	Ti	Cr	Mn	Ni
по ГОСТ 5632-72	≤ 0,8	5×С÷0,8	17,0÷19,0	≤ 2,0	9,0÷11,0
РСМА (электронный микроскоп)	0,3	0,6	17,8	1,6	9,1
атомно-эмиссионный спектрометр «Optima 2000 DV».	0,35	0,53	17,74	1,54	9,97

Из таблицы 1 видно, что результаты достаточно близки. Разница по никелю обусловлена локальностью рентгеноспектрального микроанализа и неравномерным распределением элементов в металле.

Таким образом, электронная микроскопия, как метод исследования структуры материалов, позволяет:

- проводить анализ шлифов и изломов для выявления причин разрушения образцов;
- изучать структурные и фазовые составляющие конструкционных материалов с целью оценки их влияния на эксплуатационные и технологические свойства;
- исследовать морфологию поверхностей изделий, в том числе, для идентификации поверхностных дефектов и причин их появления.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НАУКОЕМКИХ ИЗДЕЛИЙ ПРИ ПОМОЩИ СОВРЕМЕННЫХ САД СИСТЕМ

Горюшкин Д.С., Зуев¹ Ю.С.

*ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск
Снежинский физико-технический институт НИЯУ МИФИ, аспирант
¹Снежинский физико-технический институт НИЯУ МИФИ*

Предложена методика для расчетов конструкций при действии механических и тепловых нагрузок. Во время транспортировки опасных грузов в форме сферы в спец. контейнерах возможны аварийные ситуации (пожар, падение). В данных ситуациях возникает опасность внедрения опор (в частности полых цилиндрических опор, усеченных конусов) в транспортируемый груз, что приводит к нарушению его геометрической целостности и снижению работоспособности всей конструкции при совместном действии температурных и инерционных воздействий.

Проведен комплекс исследований процессов внедрения в пластические материалы с использованием общих и частных случаев. Определены критериальные параметры внедрения по результатам проведенных экспериментов. Для верификации полученных экспериментальных результатов проведен численный расчет. На основе полученных экспериментальных результатов и результатов численного расчета построены характерные безразмерные зависимости $K(\xi)$ для каждой схемы испытания в отдельности. Приведены описания экспериментальных установок, формулы, лежащие в основе методики и анализ полученных результатов.

В настоящее время продолжительность проектирования большинства сложных объектов превышает разумные пределы, определяемые сроками морального износа, утратой конкурентоспособности изделий и др. Поскольку сложность объектов будет возрастать, а время проектирования должно сокращаться, можно сделать вывод, что единственной разумной альтернативой неавтоматизированному проектированию может быть широкое использование современных САПР.

Выбранную тему рассмотрим на частном примере. Во время транспортировки опасных грузов в форме сферы в спец. контейнерах возможны аварийные ситуации (пожар, падение). В данных ситуациях возникает опасность внедрения опор (в частности полых цилиндрических опор, усеченных конусов) в транспортируемый груз, что приводит к нарушению его геометрической целостности и снижению работоспособности всей конструкции при совместном действии температурных и инерционных воздействий.

Проведение исследований по представленной теме было направлено на решение следующих задач:

- Исследование критериев внедрения при температурных и инерционных воздействиях расчетными методами с использованием экспериментальных данных
- Анализ результатов внедрения и определение критериальных параметров
- Обоснование применимости современных систем 3-х мерного моделирования в проектировании наукоемких изделий

Для решения поставленных задач необходимо:

- Провести комплекс исследований процессов внедрения с использованием общих и частных случаев
- Определить основные параметры внедрения по результатам проведенных экспериментов
- Провести анализ экспериментов на основе современных численных методов
- Провести верификацию результатов по разным методам решения с выражением критериальных параметров

Схемы исследования образцов материалов представлены на рисунке 1. Материал исследуемых образцов – свинец, кадмий, медь. Экспериментальные исследования проводились на ручном прессе. Исследуемые образцы нагружали статически при комнатной температуре.

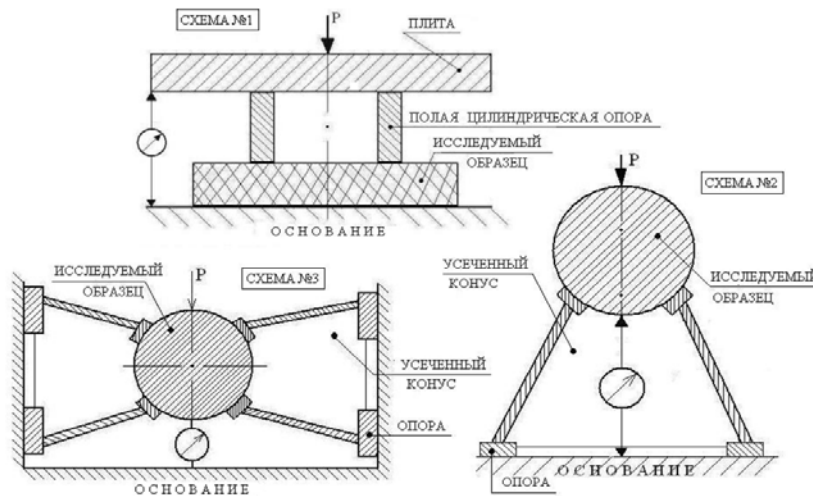


Рисунок 1 – Схемы испытания исследуемых образцов

Испытания по схеме №1 были проведены:

- на образцах из свинца при действии нагрузки P в интервале от 0 до 30 кН;
- на образцах из кадмия при действии нагрузки P в интервале от 0 до 40 кН;
- на образцах из меди при действии нагрузки P в интервале от 0 до 50 кН.

Испытания по схеме №2 были проведены:

- с образцом из свинца при действии нагрузки P в интервале от 0 до 27,5 кН;
- с образцом из кадмия при действии нагрузки P в интервале от 0 до 125,5 кН;
- с образцом из меди при нагрузке P в интервале от 0 до 188,5 кН.

Испытания по схеме №3 были проведены:

- с образцом из свинца при действии нагрузки P в интервале от 0 до 14 кН;
- с образцом из кадмия при действии нагрузки P в интервале от 0 до 47,5 кН;
- с образцом из меди при нагрузке P в интервале от 0 до 50 кН.

При обработке экспериментальных и численных результатов расчета для разных схем нагружения для каждого исследуемого материала определялись параметры внедрения: контактные напряжения σ , перемещения U , безразмерная величина ξ , безразмерный параметр K [1].

Безразмерный параметр K характеризует отношение контактного напряжения, реализованного в исследовании, к пределу текучести исследуемого материала [2]:

$$K = \frac{\sigma}{\sigma_T}(U) \quad (1)$$

Безразмерная величина ξ , определяется как произведение перемещения, реализованного в исследовании, на модуль упругости исследуемого материала к произведению предела текучести исследуемого материала на сжатие на высоту пластины или радиуса образца в зависимости от схемы испытаний.

- для схемы 1 безразмерная величина $\xi = \frac{UE}{L\sigma}$ (2)

- для схемы 2, 3 безразмерная величина $\xi = \frac{UE}{R\sigma}$ (3)

Численное исследование процессов внедрения проводилось методом конечно-элементного анализа ANSYS. Расчеты проведены в нелинейной статической постановке с использованием двумерной осесимметричной конечно – элементной модели [3]. На рисунке 2 приведены расчетные двумерные осесимметричные модели, имитирующие нагружение по схемам №1 и №2. Расчеты были проведены по схемам нагружения №1 и №2. Зазоры отсутствуют. Исследование по схеме №3 не проводилось. Для исследования этого процесса требуется моделирование трехмерной модели.

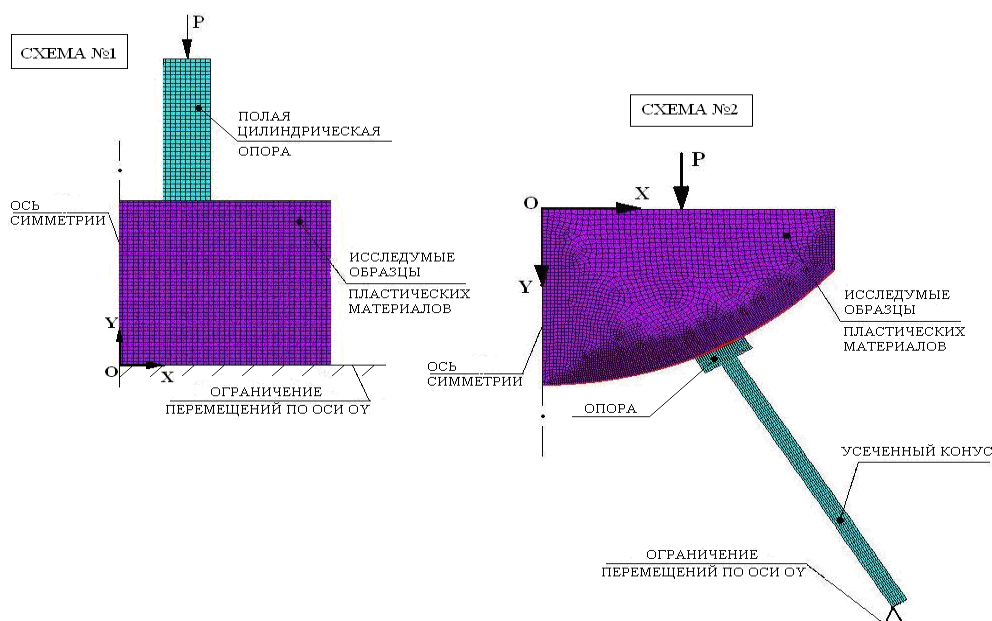


Рисунок 2 – Расчетные двумерные осесимметричные модели, имитирующие нагружение по схемам №1 и №2

По результатам экспериментальных испытаний и по результатам численных исследований по программе конечно-элементного анализа ANSYS проведем сравнительный анализ. Для сравнения результатов построим графики средних зависимостей $K(\xi)$ для каждой схемы [4]. На рисунке 3 представлено сравнение зависимостей $K(\xi)$, полученных после обработки экспериментальных результатов и результатов расчета по программе ANSYS.

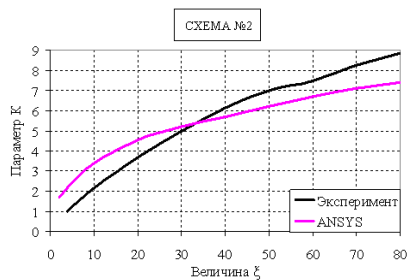
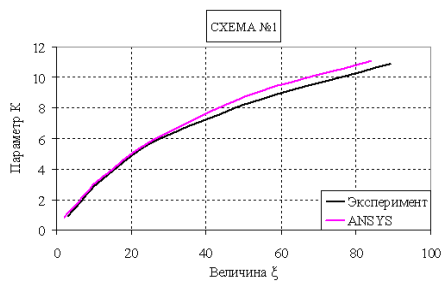


Рисунок 3 – Зависимость параметра K от величины ξ

Номер схемы	Методы	
	Эксперимент	ANSYS
Схема №1	7,0	7,4
Схема №2	6,4	5,8
Схема №3	6,2	–

Результаты экспериментальных исследований и результаты расчета по программе конечно-элементного анализа ANSYS хорошо согласуются, общая погрешность не превышает 8%. Хорошее согласование двух методов решений говорит о корректных расчетных моделях, правильно подобранных физико-механических свойствах материалов, применяемых в программе ANSYS. В результате проведенных

исследований было теоретически и расчетно обосновано применение параметра K для различных материалов, независимо от физико-механических свойств. Доказана возможность переноса результатов на другие материалы. При расчетах действия нагрузки в произвольном направлении предельной кривой внедрения можно принять эллипс с главными осями K_x , K_y . Данная методика может быть использована в расчетах стойкости конструкций при действии механических и тепловых нагрузок.

Литература

- 1 Беляев Н.М. Сопротивление материалов. – М.: Учпедгиз, 1956
- 2 Бернштейн М.Л. Механические свойства металлов. – М.: Metallургия, 1979
- 3 Басов К.А. ANSYS. Справочник пользователя. – М.: ДМК, 2005
- 4 Вентцель Е.С. Теория вероятности. – М.: Наука, Физматгиз, 1969

ПОСТАНОВКА ПОЛНОГО ДВУХФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЗАНИЯ ЧУГУНА СЧ-25

Гришин Ю.А., Куранов В.В., Малых М.В., Скоробогатов А.А.

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск

В данной работе при исследовании температуры резания чугуна СЧ-25 проведен полный двухфакторный эксперимент. По экспериментальным значениям температур резания построены уравнения регрессий при переменных факторах – скорости резания и подаче инструмента, параметре оптимизации – температуре резания. Построены математические модели зависимостей температуры резания от скорости резания и подачи инструмента. Разработана расчетная утилита для определения оптимальных параметров резания при точении заготовок из чугуна СЧ-25 резами с нитридными покрытиями.

Целью работы являлось проведение полного двухфакторного эксперимента при исследовании температуры резания чугуна СЧ-25 и математическая обработка полученных результатов.

Чугун СЧ-25 является труднообрабатываемым материалом, поэтому он используется в качестве имитатора подобных материалов при разработке технологий изготовления деталей. Одним из определяющих параметров обработки резанием является температура резания. От этого параметра во многом зависит точность и качество обработки, стойкость режущего инструмента и другие технологические и конструкционные факторы. Определение зависимостей температуры резания от технологических параметров (режимов резания, покрытия инструмента и др.) является важной исследовательской задачей для оптимизации разрабатываемых технологий изготовления деталей.

При планировании эксперимента, в качестве изменяемых количественных факторов принимали два основных параметра характеризующих процесс точения:

V – скорость резания (фактор x_1), м/мин;

S – подача инструмента (фактор x_2), мм/об.

В качестве параметра оптимизации принимали значения температур резания для различных комбинаций принятых факторов.

По результатам экспериментов строили математические модели в виде полиномов первого порядка:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 \quad (1)$$

где: y – функция отклика (температура в зоне резания);

x_1, x_2 – учитываемые факторы;

b_0 – значение функции отклика в центре плана;

b_1, b_2 – коэффициенты характеризующие степень влияния факторов x_1, x_2 на функцию отклика y ;

b_{12} – коэффициент учитывающий эффект взаимодействия факторов x_1 и x_2 .

Уровни и интервалы варьирования факторов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Факторы	Уровни факторов		
	верхний +1	основной 0	нижний -1
x_1	26,30	8,03	2,51
x_2	0,11	0,097	0,07

При такой постановке экспериментов, кодирование переменных осуществляется по соотношениям [1; с.177]:

$$x_1 = \frac{2(\ln V - \ln V_{\max})}{\ln V_{\max} - \ln V_{\min}} + 1 \quad (2)$$

$$x_2 = \frac{2(\ln S - \ln S_{\max})}{\ln S_{\max} - \ln S_{\min}} + 1 \quad (3)$$

Матрица планирования полного факторного эксперимента типа 2^2 с учетом эффекта взаимодействия факторов x_1 и x_2 представлена в таблице 2.

Таблица 2

№ опыта	x_1	x_2	x_1x_2	y	z	w
1	-1	-1	+1	y_1	z_1	w_1
2	+1	-1	-1	y_2	z_2	w_2
3	-1	+1	-1	y_3	z_3	w_3
4	+1	+1	+1	y_4	z_4	w_4

Значения температур резания определяли экспериментально при точении цилиндрической заготовки диаметром 70...50 мм тремя двухрезцовыми естественными термопарами (№1-3) с резцами из твердых сплавов T15K6-BK6, с покрытиями TiN, ZrN, ZrTiN.

В таблице 3 представлены полученные экспериментальные значения температур резания, T ($^{\circ}\text{C}$).

Таблица 3

№ п/п	V	S	T
Термопара №1			
1	2,51	0,070	50,20
2	2,51	0,110	54,87
3	26,30	0,070	214,02
4	26,30	0,110	238,59
Термопара №2			
1	2,51	0,070	57,11
2	2,51	0,110	61,54
3	26,30	0,070	181,35
4	26,30	0,110	153,31
Термопара №3			
1	2,51	0,070	70,57
2	2,51	0,110	88,04
3	26,30	0,070	245,79
4	26,30	0,110	256,31

Матрица планирования эксперимента с подставленными значениями T представлена в таблице 4.

Таблица 4

№ опыта	x ₁	x ₂	x ₁ x ₂	y	z	w
1	-1	-1	+1	50,20	57,11	70,57
2	+1	-1	-1	214,02	181,35	245,79
3	-1	+1	-1	54,87	61,54	88,04
4	+1	+1	+1	238,59	153,51	256,31

С учетом подставленных значений рассчитывали коэффициенты регрессии, затем проводили по 4 эксперимента в центре плана по каждому параметру оптимизации y, z, w для определения средней квадратичной ошибки и доверительных интервалов коэффициентов регрессии.

После всех математических преобразований получили следующие уравнения:

$$T_y = 63,23 + 73,85 \ln V + 32,33 \ln S \quad (4)$$

$$T_z = 171,31 - 27,66 \ln V + 63,53 \ln S - 30,34 \ln V \ln S \quad (5)$$

$$T_w = 87,44 + 72,99 \ln V + 30,96 \ln S \quad (6)$$

Для автоматизации расчетов температуры резания чугуна СЧ-25 резцами из твердых сплавов, с покрытиями TiN, ZrN, ZrTiN в среде объектно-ориентированного программирования Borland Delphi 7.0 была разработана расчетная утилита (условное название «Адекват 1.0.0»).

С применением разработанной программной утилиты «Адекват 1.0.0», для каждой из термпар были построены графические зависимости температур резания от скоростей резания, в диапазоне $V = 2 \dots 30$ м/мин, с шагом 1 м/мин.

Таким образом, в результате проведенной работы:

1. Поставлен полный двухфакторный эксперимент, получены уравнения регрессий в виде полиномов первого порядка.
2. Построены математические модели зависимостей температуры резания от скорости резания и подачи инструмента.
3. Для полученных моделей разработана расчетная утилита, позволяющая определять оптимальные значения скорости резания, подачи инструмента и температуры резания.
4. Построены расчетные зависимости «температура резания – скорость резания» для чугуна СЧ-25 и резцов с покрытиями TiN, ZrN, ZrTiN.

Литература

1. Спиридонов А.А. Планирование экспериментов при исследовании технологических процессов. – М: МС, 1981, 184 с.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЦИФРОВОГО ЛАЗЕРНОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА

Завьялов З.И., Романенко Н.Н., Сартаков Д.А.¹

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск
¹Снежинский физико-технический институт НИЯУ МИФИ

Представлены возможности цифрового голографического интерферометра при исследованиях конструкционных материалов и неразрушающем контроле изделий. Показаны возможности определения упругих констант материалов, возможности исследования конструкций различных форм и размеров при воздействии статических, динамических и термических нагрузок, а также возможность определения деформаций и полей перемещений, а также их визуализация.

Голография – раздел оптической физики, основанной на явлении интерференции.[1] Голография применяется для определения деформаций и перемещений объектов сложной формы, форм колебаний и локализаций дефектов (для неразрушающего контроля), а также для определения некоторых физических констант.

Голография, как наука, начала находить свое практическое применение только лишь в последние полвека. До недавнего времени широко использовалась аналоговая (химическая) голография.

Основной недостаток – практическая сложность получения и обработки голографических интерферограмм. Это связано с тем, что требуется обеспечить хорошую виброзащиту установки и контролируемого объекта; съемка интерферограмм проводится только в затемненном помещении; процесс фотохимической обработки пластин занимает по времени десятки минут, а главное – процедура извлечения количественной информации из полученных интерферограмм - еще более длительная и утомительная [2]. Собственно, по этим причинам голография за время своего развития так и не нашла массового применения по сравнению с теми же УЗК или рентгеновскими методами. Ситуация принципиально изменилась только в последние 5-7 лет, когда голография начала переходить от традиционных фотопластинок на современные цифровые камеры.

1. Аналоговая голография (химическая).

Особенности химической голографии – длительность получения одной голограммы, необходимость работы с химией. Большое количество четких «полос» на фотопластинке благодаря хорошей разрешающей способности. Пример аналоговой голограммы показан на рисунке 1.

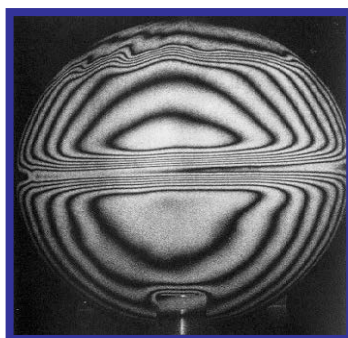


Рисунок 1 – интерферограмма, полученная химическим методом.

2. Цифровая голография. Виды.

На сегодняшний день на рынке голографических измерений представлены несколько компаний, использующие технологию спекл-интерферометрии (электронная интерферометрия спекл-структуры, ESPI). Технически ESPI – частный случай цифровой голографии, эти технологии работают на аналогичных оптических системах и формулах. Системы ESPI применяются при производстве композитов для самолётов, шин, электроники высокой степени надёжности и других ответственных изделий. Цифровая голография на рынке практически не представлена.

В данной работе использован цифровой голографический прибор ЦГИ-2М, в котором реализованы возможности голографической интерферометрии. Фотография прибора представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Цифровой голографический интерферометр ЦГИ-2М (слайд 1)

Полученные на этом приборе результаты представлены ниже. На рисунке 3 в качестве примера приведена цифровая интерферограмма фрагмента металлического цилиндрического объекта, нагруженного внутренним давлением газа.

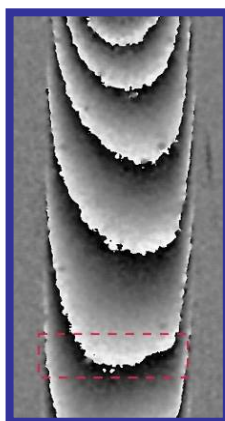


Рисунок 3– Металлический цилиндр, нагруженный внутренним давлением

3. Определение физических констант.

Цифровая голография позволяет определять физические константы материалов, такие как модуль упругости и модуль сдвига. Схема нагружения пластинки для определения модуля упругости и ее интерферограмма приведена на рисунке 4.

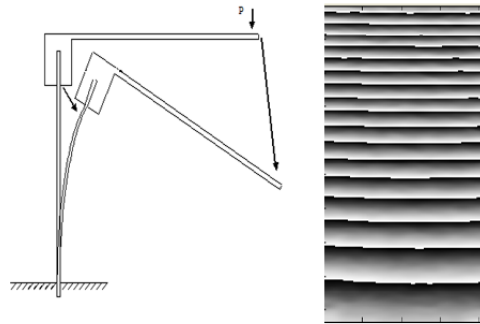
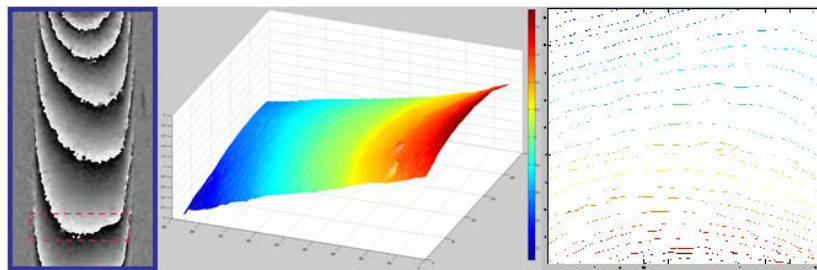


Рисунок 4 - Схема нагружения пластинки для определения модуля упругости

Также цифровая голография позволяет проводить исследования поведения конструкций различных (в том числе, сложных) форм при воздействии статических, динамических и термических нагрузок, а также строить их поля перемещений. Примеры приведены на рисунках 5,6.



Цилиндр

Рисунок 5 - цилиндр - интерферограмма, поле перемещений, топограмма

Сфера

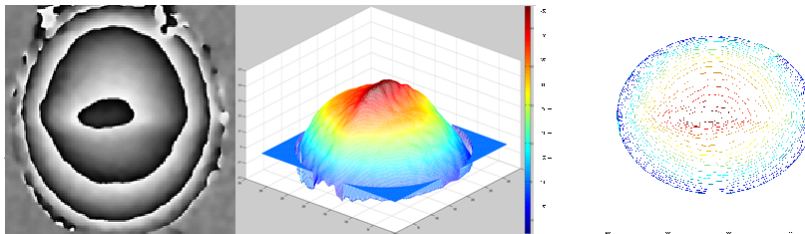


Рисунок 6 - сфера - интерферограмма, поле перемещений, топограмма

Вывод: Цифровая голография позволяет сильно упростить способ получения интерферограмм, обеспечивает построение полей перемещений и их топограмм для всех типов исследованных объектов. Построенные поля перемещений позволяют приступить к работе непосредственному пользователю. Так, например, контролер уже может оценить допустимость отклонений поля перемещений от эталонного образца, а конструктор непосредственно сверить результаты своих расчетов с реальными деформациями конструкции.

Литература

1. Кольер Р. «Оптическая голография». М.: Мир, 1973.
2. Коломийцов Ю.В. «Интерферометры». Л.: Машиностроение, 1976.

ПРИМЕНЕНИЯ СЕТЕЙ ХОПФИЛДА В ЗАДАЧАХ КЛАССИФИКАЦИИ ОБРАЗОВ

Кревский А.К., Сивков С.И., Ваганов Д.А., Новиков¹ Л.Г.

*Технологический институт НИЯУ МИФИ, Лесной,
Снежинский физико-технический институт НИЯУ МИФИ, аспирант
¹Технологический институт НИЯУ МИФИ, Лесной*

В настоящее время очень актуальной проблемой является цифровая обработка изображения, позволяющая решать ряд задач:

1. Сжатие изображения
2. Подавление шума
3. Принадлежность образов

Как известно, одним из способов представления изображения является описание при помощи массива точек (пикселей) с различной долей насыщенности цвета. Удобство работы с изображением напрямую связано с переводом его в цифровой вид. При этом возникают ситуации, при которых образ теряет свой первоначальный вид. Особенно явно, данный нежелательный эффект проявляется при повторной съемке под воздействие внешних нежелательных воздействий (изменение освещения, перспективы, точки съемки). Постоянным фактором для систем распознавания денежных средств, систем контроля доступа - является зашумление изображения, что может оказаться критичным впоследствии.

Для решения данной проблемы применяют системы фильтров изображения, которые работают по принципу ассоциативной памяти (рис.1). Входные данные системы классифицируются относительно уже имеющихся эталонных образов и определяют принадлежность к какому-либо классу.

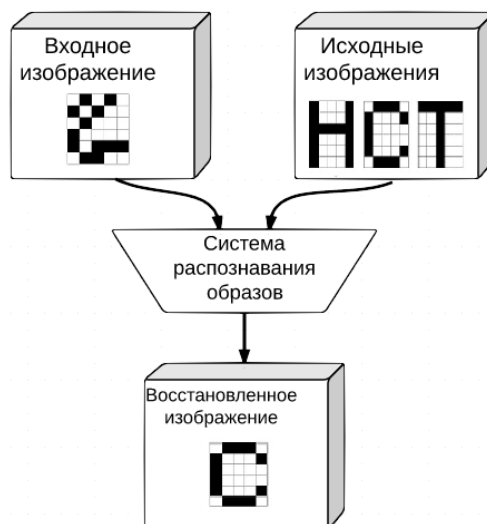


Рис.1. Структурная схема системы фильтрации изображения.

Для обеспечения эффективного алгоритма классификации используют рекуррентные нейронные сети. Одними из таких сетей являются сети Хопфилда и Хэмминга. Структурная схема данной сети представлена на рис.2

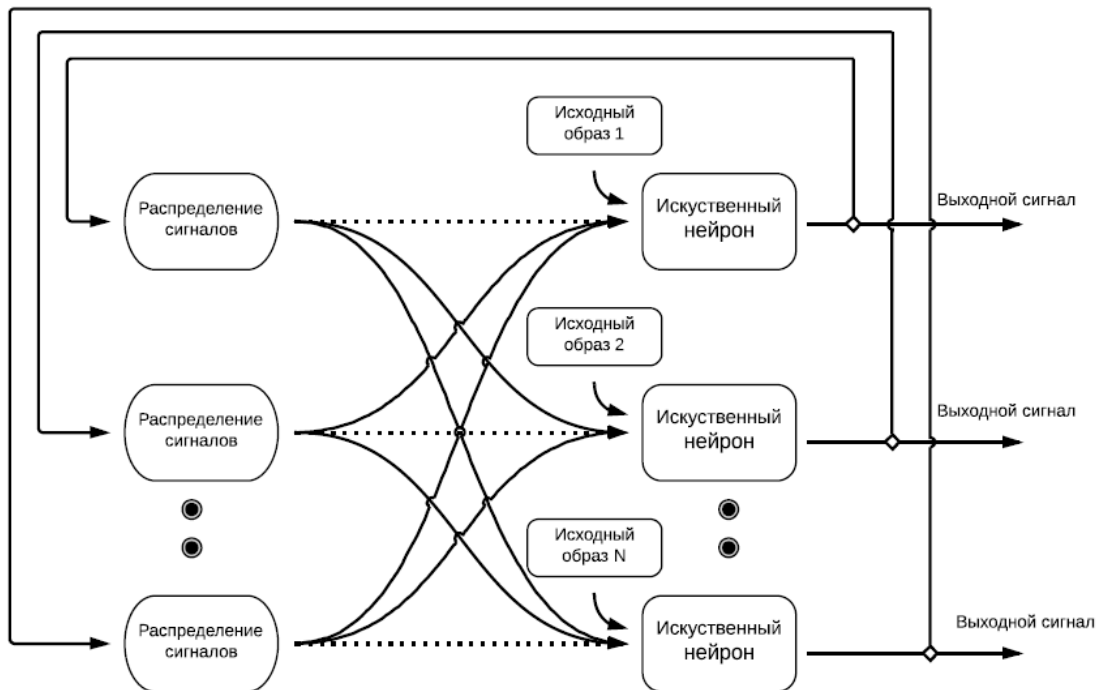


Рис.2. Структурная схема сети Хопфилда.

При использовании данного вида сети нелинейная функция описывающая выход системы, регулируется с помощью обратных связей, и отклик таких систем является динамическим. Для устойчивой сети последовательные итерации приводят к всё меньшим изменениям выхода, пока в конце не становятся постоянными.

В общем случае, задача, решаемая сетью формулируется следующим образом: известен некий набор образцовых векторных значений, сеть должна из произвольного неидеального сигнала, поданного на вход выделить соответствующий образец или определить непохожесть не на один из них.

Несмотря на значительные искажения в изображении данных этот подход позволяет просто решить задачу воссоздания образов, по неполной и искаженной информации. Единственное ограничение таких систем, будет невысокая ёмкость (число запоминаемых образов) сети, которое с легкостью компенсируется построением программных и аппаратных моделей для расширения сети.

Литература

1. Новиков Л.Г. Операторы, процедуры и алгоритмы обработки синхронных последовательностей сигналов. // Сборник научных трудов. – М.:МИФИ, 2005. Т12. С. 57-59.
2. Яхьяева Г.Э. Нечеткие множества и нейронные сети. - М.: Наука, 2012.-315с.
3. Галушкин А.И. Нейронные сети: основы теории. –М.: Горячая линия- Телеком, 2010. -496 с.:ил.

ЦИФРОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕМ ЭЛЕКТРОННОГО ЛУЧА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКЕ И ПРЕЦИЗИОННОЙ СВАРКЕ

Куликов В.А, Собко С.А.

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина»

Проведены исследования по разработке цифровых систем управления позиционированием электронного луча в процессах сварки и поверхностной обработки. Разработаны программно-аппаратные модули системы управления электронным лучом, блок динамического отклонения и фокусировки, блок растрового сканирования поверхности, поиска стыка и программного перемещения луча по траекториям любой сложности. С применением цифровой системы управления практически осуществлены процессы модификации поверхности деталей за счет сплавления покрытия с подложкой, реализованы способы наведения луча на стык в процессе прецизионной сварки, а также, визуализация поверхности сварного соединения в режиме растрового сканирования лучом.

Работа направлена на совершенствование систем управления процессом сварки (ЭЛС) и поверхностной обработки (ЭЛО) конструкций. Цель данной работы заключалась в разработке системы цифрового управления перемещением электронного луча применительно к поверхностной обработке и прецизионной сварке на базе программно-аппаратного комплекса автоматического управления электронным лучом. Программно-аппаратные средства предназначались для решения следующих задач:

- поверхностная электронно-лучевая обработка;
- многолучевая сварка;
- визуализация поверхности свариваемого изделия в отраженных электронах;
- числовое программное управление (ЧПУ) перемещением луча при ЭЛС;
- комбинированные способы сварки;
- наведение луча на стык.

Ранее была разработана концепция автоматизированного управления процессом сварки и реализована система автоматизированного управления процессом ЭЛС [1]. Эта система позволила обеспечить программируемое управление основными технологическими параметрами процесса ЭЛС, в частности: током луча, током фокусировки, высоким напряжением, отклонением луча по заданной траектории.

Система управления процессом ЭЛС и ЭЛО построена с использованием как специально разработанных, так и промышленных контроллеров различного назначения (модули сбора данных ADWANTECH, преобразователи сигналов, ПК, высокоскоростные системы обработки информации на базе FPGA ALTERA и др.). Разработанный комплекс позволяет программировать технологические процессы сварки или обработки на основе соответствующего программного обеспечения (ПО).

Возможности разработанного программно-аппаратного комплекса автоматической электронно-лучевой сварки структурно представлены на рисунке 1.

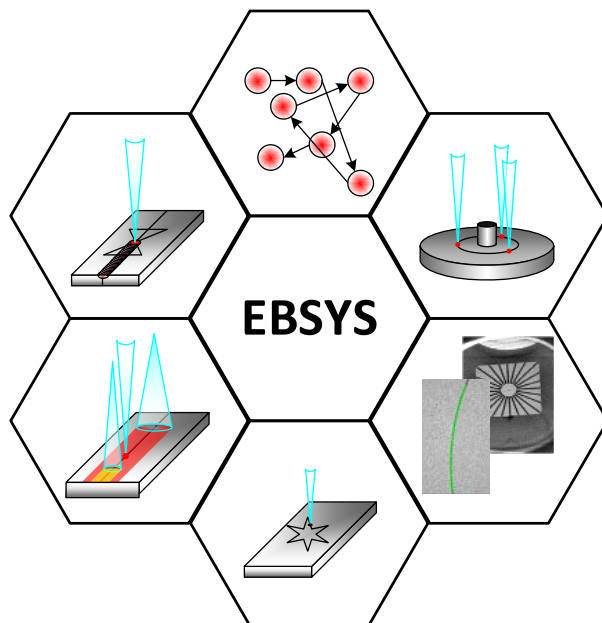


Рисунок 1. Возможности программно-аппаратного комплекса автоматического управления лучом (Electron Beam SYStem).

Программное управление перемещением или сканированием луча по определенному алгоритму эффективно для модификации поверхностных слоев, изменения структуры, фазового состава различных материалов. Причем, структурой модифицированного слоя можно управлять как в плоскости воздействия, так и по глубине обрабатываемого материала.

Применение различных типов развертки луча формирует необходимый температурный профиль нагрева поверхности изделия. Форма развертки луча в плоскости изделия задается в цифровой форме при помощи ПО системы управления ЭЛО. Метод поверхностной обработки деталей с перемещением луча по случайному закону позволил за счет равномерного распределения температурного поля осуществить переплав алюминиевого покрытия совместно с поверхностью стальной подложки на требуемую глубину и обеспечить его надежную адгезию.

Применительно к сварке система управления разверткой электронного луча применена при решении ряда опционных задач технологического направления. Например, сварка с одновременным подогревом лучом свариваемой детали и заглаживанием сформированного шва, а также новая технология формирования стыков - многолучевая сварка.

Суть технологии состоит в том, что электронный луч, «расщепленный» на несколько псевдолучей (точек термического воздействия, равномерно расположенных на замкнутой траектории), периодически перебрасывают в заданные точки на траектории сварки. Время переброски луча выбирается таким, чтобы в точках сварки не успевали кристаллизоваться ванны расплава, обеспечивая тем самым одновременное формирование нескольких сварных швов одновременно.

С использованием системы управления ЭЛС в режиме многолучевой сварки была реализована сварка круговых швов с минимальными сварочными деформациями ввариваемой детали. Применение такого способа [2] на базе цифровой системы управления позиционированием электронного луча решает проблемы несимметричности формирования круговых швов и предотвращает дефекты в виде несплавлений и неравномерности глубины шва, а также исключает коробление свариваемых деталей.

Для реализации автоматизированных процессов ЭЛС, наряду с управлением механическим позиционированием изделия относительно электронного луча, необходимо управление позиционированием самого луча относительно свариваемого изделия. В системах ЧПУ отдельные контролируемые параметры представлены в виде осей управления.

В системе управления ЭЛС введено дополнительно к механическим осям перемещения изделия еще и «электрические» оси управления основными параметрами процесса сварки. Для позиционирования электронного луча относительно стыка было разработано соответствующее ПО ЧПУ электрическими и механическими осями, включая: скорость вращения изделия, позиционирование луча, управление фокусировкой и током луча. Программирование перемещения луча по траектории сварки осуществляется с использованием стандартного для систем ЧПУ G-кода с линейной или круговой интерполяцией в зависимости от формы траектории сварки.

Одной из важнейших задач для обеспечения качественной сварки, особенно тонкостенных изделий, является ведение луча по стыку сварного соединения. В данной системе цифрового управления ЭЛС к реализации были приняты линейный [3] и растровый метод поиска стыка. Для визуализации поверхности изделия применен растровый метод. Применительно к этому разработаны и экспериментально протестированы основные алгоритмы процесса наведения электронного луча на круговые и кольцевые стыки, а также стыки сложной конфигурации с использованием цифровой обработки изображений поверхности изделия в режиме отраженных электронов. В системе наведения луча на стык свариваемого изделия применены быстродействующие программируемые микросхемы фирмы ALTERA и усилители отклонения.

Для увеличения быстродействия системы развертки и увеличения размера зоны сканирования разработан и изготовлен блок динамического отклонения и фокусировки. Блок, за счет угла отклонения луча до 70° , позволяет значительно увеличить размер обрабатываемой зоны.

Комплекс разработанных систем цифрового управления позиционированием электронного луча, а также активного управления параметрами сварочной установки является основой новых автоматизированных технологических процессов изготовления и обработки неразъемных конструкций.

Литература

1. В.А.Куликов, Д.Н.Лежнев, Ю.Г. Смирнов, С.А.Собко. «Разработка системы автоматизированного управления ЭЛС применительно к круговым соединениям переходников и вводов сложно-профильных конструкций» Доклады Санкт-Петербургской международной научно-технической конференции «Технологии и оборудование ЭЛС -2011». СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2011. -314 с. С. 33-39.
2. Заявка №2013118374 от 19.04.2013 «Способ электронно-лучевой сварки круговых стыков» /Куликов В.А., Собко С.А.
3. Патент России №2495737 В 23 К 15/00 «Способ контроля электронно-лучевой сварки» / Куликов В.А., Собко С.А.; Заявка №2012106232 от 21.02.2012

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ МЕДИ НА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ И СВОЙСТВА

Малых М.В., Миндигалиев В.А., Смирнова А.С., Собко С.А., Суворов Е.А.

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина»

Математическим моделированием с применением метода конечных элементов исследовано напряженно-деформированное состояние и проведен расчет силовых параметров процесса равноканального углового прессования медных образцов. Экспериментально исследовано влияние деформаций осадкой и прокаткой после интенсивной пластической деформации на свойства образцов из сплава М1 и отпрессованного образца из порошка марки ПМС-1. Показано, что предел прочности образцов вырос относительно исходного состояния в 2 раза. Балл зерна после деформационных воздействий уменьшился в 7,5 раз на образце из сплава М1 и в 3 раза на образце из ПМС-1.

Целью работы являлось проведение исследований по отработке технологии равноканального углового прессования (РКУП) заготовок из медного порошка и из литой медной заготовки и определение физико-механических свойств этих заготовок.

Из важных преимуществ методов интенсивной пластической деформации (ИПД), следует отметить, что при формировании ультрамелкозернистых структур в металлах и сплавах не изменяется их исходный химический состав, а это упрощает использование таких материалов [1]. Форма заготовки после ИПД практически совпадает с исходной, имеется возможность многократной обработки заготовок для накопления в них достаточной деформации [2]. Эти процессы могут быть использованы, когда необходимо осуществить большую пластическую деформацию объемных заготовок без существенного изменения формы, в том числе:

- при исследовании явлений, происходящих в материалах при больших деформациях;
- для получения субмикроструктурной и нанокристаллической структуры материалов;
- для уплотнения порошковых и пористых тел.

Эффективным способом изменения структуры материала для получения требуемых свойств является применение РКУП, позволяющего осуществить накопление деформации в заготовках. Процесс РКУП заключается в прессовании заготовки через матрицу, содержащую два пересекающихся канала, имеющих одинаковое поперечное сечение. Эскиз матрицы пресс-формы представлен на рисунке 2а.

Основная активность исследований РКУП сосредоточена в области получения высокоплотного материала из порошковых заготовок. Такой подход применим и для порошковых материалов уникальных составов, которые не могут быть получены в виде литья [3].

Объектом моделирования процесса РКУП являлось влияние геометрии канала пресс-формы на напряженно-деформированное состояние, а также расчет силовых параметров процесса РКУП медных заготовок.

Процесс прослежен на модельном примере прессования заготовки с размерами 5×15 мм. Материал заготовки – медь. Скорость прессования – 10 мм/с. Коэффициент трения между поверхностью контакта материала заготовки со стенками канала – 0,1.

Влияние угла пересечения каналов на распределение напряжений и деформации в заготовке при РКУП рассмотрено при углах $\varphi=90^\circ$ и $\varphi=110^\circ$, соответственно.

На рисунке 1 представлены эпюры и гистограммы распределения напряжений при РКУП заготовок.

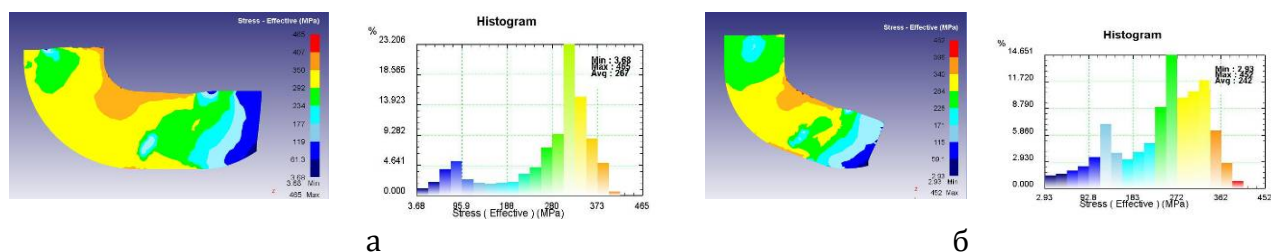


Рисунок 1 – Распределение напряжений в заготовке: а – при угле $\varphi=90^\circ$; б – при угле $\varphi=110^\circ$

Напряженное состояние заготовок крайне неравномерно. Максимальные напряжения в заготовке сосредоточены вокруг внутреннего угла пересечения каналов. Для угла $\varphi=90^\circ$ максимальные напряжения составили 465 МПа, для $\varphi=110^\circ$ – 452 МПа.

При угле пересечения каналов $\varphi=110^\circ$ распределение деформаций по ширине заготовки более равномерно, но максимальные значения деформации примерно на 40% меньше достигаемых при угле $\varphi=90^\circ$.

Рассчитаны значения усилий прессования 0,88 т и 0,73 т при $\varphi=90^\circ$ и $\varphi=110^\circ$, соответственно.

Объектами исследований являлись заготовки: 5×15 мм – изготовленные из прутка $\varnothing 50 \times 10$ мм (медный сплав марки М1 ГОСТ 859-2001); 5×15 мм – изготовленные из отпрессованной заготовки $\varnothing 50 \times 10$ мм (медный порошок марки ПМС-1 ГОСТ 4960-2009).

Для изучения микроструктуры и физико-механических характеристик материала исследовали следующие маршруты деформирования (см. рисунок 2б).

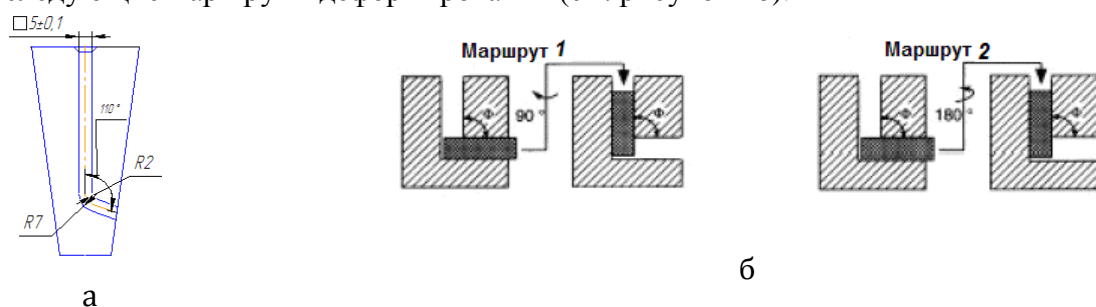


Рисунок 2 – Эскиз матрицы – а; схемы маршрутов РКУП – б

Основными операциями при изготовлении образца для испытаний являлись: осадка заготовки после РКУП до толщины $\sim 1,5$ мм; прокатка осажённой заготовки до толщины 1,1 мм; фрезерование образца в размер.

После этого образцы подвергали испытаниям на растяжение (таблица) на универсальной испытательной машине «Tinius Olsen H100KU» с использованием тензометра.

Таблица – Физико-механические свойства медных образцов

№ Образца	Материал	Максимальная нагрузка, кг	Предел прочности кг/мм ²	Относительное удлинение %	Масса, г	Плотность, г/см ³	Твердость, HV5	Размер зерна, мкм
1	M1	217	40,4	11,7	2,1780	8,730	131	12
2	M1	219	41,2	11,7	2,2089	8,836	126	13
3	M1	215	41,7	15,0	2,2201	8,871	130	12
4	M1	219	41,0	6,67	2,2725	8,867	123	13
5	ПМС-1	205	38,7	10,0	2,0711	8,920	125	16
6	M1	124	23	51,7	2,4367	8,920	61	90
7	ПМС-1	118	21,7	35	2,2852	8,356	52	50

Исследование микроструктуры проводили на оптическом микроскопе AxioObserver Z1M при увеличении 100, 200, 500 крат. Размер зерна в структуре сплавов определяли по измерениям площади сечения зерен согласно ГОСТ 21073.1-75.

Заключение

1 Проведены исследования по отработке технологии РКУП заготовок из медного порошка и литой медной заготовки и по оценке физико-механических свойств полученных образцов.

2 Математическим моделированием с применением МКЭ исследовано напряженно-деформированное состояние и расчет силовых параметров процессов РКУП литых медных заготовок. Для обеспечения более высокой степени деформации рекомендуется уменьшить внешний радиус сопряжения горизонтального и вертикального канала, а также увеличить высоту исходной заготовки при неизменной ширине канала.

3 Оценено влияние деформации на свойства медных заготовок; проведены механические испытания образцов; показано, что:

- предел прочности образцов вырос относительно исходного состояния (образцы №6 и №7) в ~ 2 раза;
- на литых образцах наибольшие значения предела прочности $\sigma_B = 41,7$ кг/мм² и плотности $\rho = 8,871$ г/см³ были получены после 4-х проходов по маршруту 1 (образец №3);
- на порошковом образце №5 (2 прохода по маршруту 1) предел прочности составил $\sigma_B = 38,7$ кг/мм², плотность $\rho = 8,92$ г/см³.
- Выполнен металлографический анализ образцов, при этом определено, что:
- на литых образцах твердость увеличилась в 2,5 раза, а размер зерна уменьшился в 7,5 раз; на порошковых образцах твердость увеличилась в 2 раза, а размер зерна уменьшился в 3 раза;
- максимальная однородность структуры и измельчение зерна были достигнуты на образце №3 (из сплава M1). Средний условный размер зерна составил $\bar{D} \sim 12$ мкм (балл №11), твердость 130 HV5;
- в порошковом образце №5 (из порошка ПМС-1) структура неоднородна, размер зерна колеблется в интервале от 8 до 28 мкм. Средний условный размер зерна составил 16 мкм, твердость 125 HV5. Плотность составила 99% относительно теоретической плотности.

Авторы выражают благодарность Царенкову А.И. за проведение физико-механических испытаний и Панку Р.Р. за изготовление уникальной технологической оснастки.

Литература

1. Валиев Р.З. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. / Р.З. Валиев, И.В. Александров. - М.: Логос, 2000. -272с.
2. Сегал В.М., Резников В.И., Копылов В.И. и др. Процессы пластического структурообразования металлов. Мн.: Навука і тэхніка, 1994, 232 с.
3. Русин Н.М. Исследование особенностей пластического течения на макроскопическом уровне в порошковых телах при равноканальном угловом прессовании / Н.М. Русин / Перспективные материалы. - 2007. - № 4. - с. 83–91.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРЕЦИЗИОННОЙ ПРАВКИ ТОНКОСТЕННЫХ ТРУБ

Малых М.В., Собко С.А., Царенков А.И.

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина»

В работе определена оптимальная схема правки тонкостенных труб диаметром менее 10 мм, не приводящая к деформированию по поперечному сечению трубы, а также выявлены зависимости увеличения прогиба трубы от приложенной нагрузки. Выполнено моделирование процесса изгиба трубы методом конечных элементов. Рассмотрено влияние сосредоточенной и распределенной нагрузки при действии на трубу при трехточечном изгибе. Построены графики зависимости усилий от перемещения, напряжений и деформаций для различных схем правки. Проведены натурные испытания на изгиб труб с определением остаточных деформаций и сравнительный анализ результатов испытаний и моделирования методом конечных элементов.

Целью проведения работы являлось исследование процесса деформирования при прецизионной правке тонкостенных труб диаметром менее 10 мм. Важной проблемой при правке тонкостенных труб является деформирование её по поперечному сечению в областях приложения нагрузки и опор. Поэтому к выбору схемы нагружения и значения прикладываемого усилия следовало подходить с высокой степенью проработанности.

В рамках исследования было проведено:

- моделирование процесса изгиба трубы методом конечных элементов;
- натурные испытания на изгиб труб.

Метод конечных элементов (МКЭ) является наиболее популярным численным методом решения подобных задач [1]. Универсальность этого метода удовлетворяет требованиям современных сложных систем, для которых отсутствуют замкнутые решения уравнений равновесия. Анализ методом МКЭ начинается с аппроксимации исследуемой области и делении ее на ячейки сетки (конечными элементами). Выбор элементов определяется областью задач, ее типом, а также конкретным пакетом анализа. После аппроксимации исходного объекта конечными элементами с должным количеством узлов каждому узлу сопоставляется неизвестная величина, которая ищется в процессе решения задачи. Аппроксимировав область задачи набором дискретных конечных элементов, необходимо задать характеристики материала и граничные условия для каждого элемента. Граничные условия должны быть выражены в виде значений смещения, силы и температуры в граничных узлах некоторых элементов, обычно на внешней границе объекта. После задания граничных условий для всех внешних узлов программа конечноэлементного анализа формирует систему уравнений, связывающую граничные условия с неизвестными, после чего решает эту систему относительно неизвестных. После нахождения значений неизвестных пользователь получает возможность рассчитать значение любого параметра в любой точке любого конечного элемента.

В данной работе при моделировании процесса изгиба трубы использовали систему конечно-элементного моделирования Deform 3D, которая предназначена для анализа трехмерного течения металла при различных процессах обработки металлов давлением.

Расчетная модель при процессе моделирования представляла собой твердотельную 3D модель, включающую в себя пуансон, трубу и опоры.

Сетка конечных элементов на модели трубы строилась из тетраэдральных элементов. Для упрощения расчетной модели пуансон и опоры принимались абсолютно жесткими. Применяемый тип математического аппарата, используемый для нахождения решения за каждый шаг моделирования, – метод объединенного градиента.

Материал трубы задавался по кривым упрочнения, полученным при испытании на растяжение плоских образцов.

При изгибе наибольшие напряжения (рисунок 1) возникают в зоне контакта пуансона и трубы, поэтому при моделировании были рассмотрены две схемы гибки: с сосредоточенной и распределенной зоной приложения нагрузки (с длиной контакта трубы и пуансона – 5 и 30 мм).

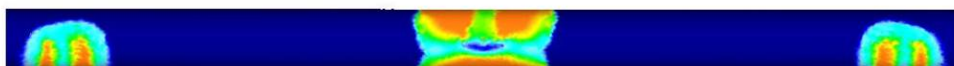


Рисунок 1 – Эпюры распределения напряжений в трубе

В таблице 1 представлены основные параметры, полученные при расчете для обоих вариантов моделирования.

Таблица 1 – Результаты моделирования

Параметр	Длина контакта – 5 мм	Длина контакта – 30 мм
Макс. прогиб	0,11	0,23
Макс. напряжение, МПа	602	579
Минимальная нагрузка, кг	20	21

Под максимальным прогибом понимается значение прогиба, при котором не происходит деформации по поперечному сечению трубы. Максимальное напряжение – значение напряжения при максимальном прогибе. Минимальная нагрузка – нагрузка необходимая для начала процесса правки трубы.

По результатам расчета следует вывод об увеличении максимальных напряжений в зоне приложения нагрузки (при изгибе трубы в случае с применением сосредоточенной нагрузки на длине контакта – 5 мм) примерно на 4-6 %. А это при увеличенных нагрузках приводит к деформации по поперечному сечению.

Для различных схем правки получены эпюры распределений напряжений и деформаций.

Натурные испытания на изгиб проводили на испытательной машине «Instron 1185». В результате испытаний были получены значения деформации и нагрузки. Схема испытаний представлена на рисунке 2.

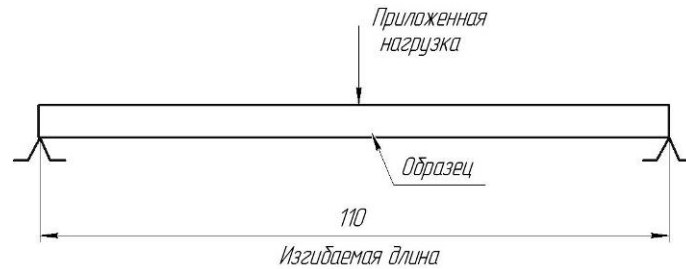


Рисунок 2 – Схема испытаний

Диаметр трубы измеряли штангенциркулем ШЦЦ-250-0,1-1 ГОСТ 166-89. Измерения диаметра проводили в зонах приложения нагрузки и расположения трубы на опорах в двух перпендикулярных поперечных сечениях. Прогиб труб контролировали при помощи шупа №2 кл.2 ГОСТ 882-75 на поверочной плите 1-1-250×250 ГОСТ 10905-86.

В таблице 2 представлены значения деформации и нагрузки, полученные на самописце испытательной машины, при проведении испытаний на изгиб труб, а также результаты измерения геометрических параметров.

Таблица 2 – Результаты натурных испытаний

№ трубы	Нагрузка, кг	Деформация	Изменение прогиба Δ, мм	Изменение диаметра трубы, мм		
				после испытания		
				1	2	3
1	30	0.19	0.10	0	+0.05	0
	35	0.23	0.15	<u>0</u>	<u>-0.07</u>	<u>0</u>
2	30	0.08	0.08	0	0	0
	35	0.08	0.15	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
	40	0.10	0.25			
3	25	0.04	0.06	0	0	0
	30	0.04	0.01			
	35	0.08	0.02	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
	40	0.08	0.04			

Труба №1 испытывалась при приложении сосредоточенной нагрузки, что привело к деформированию её по поперечному сечению. При применении распределенной нагрузки (трубы №2,3) деформации по поперечному сечению не наблюдалось.

Проведен сравнительный анализ результатов испытаний и моделирования методом МКЭ. Сравнение проводили на основе геометрических параметров трубы, полученных при подаваемой нагрузке 30 кг. Отклонения расчетных данных от экспериментальных находятся в диапазоне 2-3 % при погрешности измерений 0,4%. Следовательно, заданная расчетная модель процесса правки труб является адекватной и ее возможно использовать для дальнейших исследований.

Таким образом, в результате проведенной работы:

1 Проведено моделирование процесса изгиба трубы методом конечных элементов. Получены эпюры распределения напряжений и деформации.

2 Рассмотрено влияние сосредоточенной и распределенной нагрузки при действии на трубу при трехточечном изгибе. Отмечено увеличение максимальных напряжений в зоне

приложения нагрузки при изгибе трубы в случае с применением длины контакта – 5 мм примерно на 4-6 %.

3 Проведены натурные испытания на изгиб труб, при которых были получены значения остаточной деформации при определенных усилиях.

4 Проведен сравнительный анализ результатов испытаний и моделирования методом МКЭ. Отклонения расчетных данных от экспериментальных составили не более 3 %.

Литература

- 1 Ли Кунву. Основы САПР (CAD/CAM/CAE). –СПб.: Изд-во «Питер», 2004. -560с.

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОТРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРЕССОВАНИЯ ЗАГОТОВОК ИЗ ПОРОШКА МАРКИ ПМС-1 ДЛЯ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Миндигалиев В.А., Смирнова А.С., Суворов Е.А.
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина»

Проведены исследования по отработке технологии одностороннего прессования цилиндрических заготовок из медного порошка марки ПМС-1. Отработаны режимы прессования заготовок. Установлены зависимости влияния режимов спекания заготовок на плотность. Показано, что плотность заготовки составляет не менее 91,6% от теоретической плотности. По результатам металлографического анализа отмечено влияние процесса осадки на остаточную пористость спеченной заготовки. Твердость заготовки составила 61 HV5. Установлено влияние повторной термической обработки заготовки на ее плотность (до 94%).

При изготовлении деталей машин и приборов широко используется сплавы на основе порошков меди, так как они обладают комплексом важных физико-механических свойств. Существующие в настоящее время способы получения порошковых деталей из сплавов меди обеспечивают их пористость до 7 – 10 % [1].

Целью данного исследования являлась отработка технологии одностороннего прессования цилиндрических заготовок из порошка ПМС-1 для дальнейшего изготовления из них образцов под интенсивную пластическую деформацию (ИПД).

Основными этапами при отработке технологии получения порошковых заготовок являлись:

- приготовление порошковой шихты;
- отработка режимов прессования и спекания заготовок;
- осадка спеченной заготовки и повторная термическая обработка;
- контроль свойств полученного материала.

Объектами исследования являлись заготовки 10×10 мм и $\varnothing 50 \times 10$ мм из медного порошка ПМС-1 ГОСТ 4960-2009.

Прессование порошка – технологическая операция, в результате которой порошок получается с заданной геометрической формой и определенной плотностью [2].

Отработка технологии прессования включала выбор и определение:

- схемы прессования;
- смазки для смазывания рабочих поверхностей пресс-формы;
- режимов прессования.

Для данного исследования была выбрана схема одностороннего прессования порошковой шихты в холодном состоянии (в жесткой пресс-форме). Схема одностороннего прессования представлена на рисунке 1.

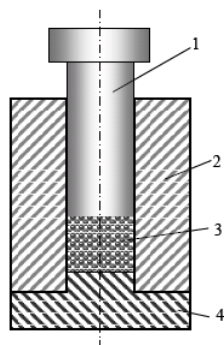


Рисунок 1 – Схема пресс-формы для одностороннего прессования порошков
(1- верхний пуансон; 2-обойма; 3-порошок; 4-нижний пуансон)

Масса порошковых навесок составила для заготовок 10×10 мм – 8,93 г. и $\varnothing 50 \times 10$ мм – 175,25 г. Взвешивание порошков выполняли на лабораторных весах модели METTLER TOLEDO PB602-S/FACT с точностью 0,01 гр.

Медный порошок засыпали в обойму пресс-формы и осуществляли прессование шихты за один проход. При проведении экспериментов значения усилий прессования составили 4 тс для заготовки 10×10 мм и 44 тс для заготовки $\varnothing 50 \times 10$ мм, время выдержки под нагрузкой составляло ~ 5 мин.

В качестве смазки рабочих поверхностей пресс-форм использовали индустриальное масло И-20 ГОСТ 1707-51.

Эксперименты по прессованию заготовок 10×10 мм проводили на прессе ПГР-10, а прессование и допрессовку заготовки $\varnothing 50 \times 10$ мм проводили на гидравлическом прессе PUE 160.

Размеры цилиндрической заготовки после прессования составили $\varnothing 50 \times 12,45$ мм. Плотность цилиндрической заготовки $7,17 \text{ г/см}^3$, что составило 80% от теоретической плотности. Плотность заготовки кубической формы $6,32 \text{ г/см}^3$, что составило 70% от теоретической плотности (плотность определяли геометрическим методом).

Рекомендуемая пористость заготовок перед спеканием должна составлять 15 – 20 % [3].

Спекание заготовок проводили в вакууме ($\sim 10^{-3} \dots 10^{-4}$ мм.рт.ст.) в электропечи СНВ-1-3-1/16И1 по следующему режиму:

- 10×10 мм - нагрев до температуры 980°C , выдержка 30 мин., далее охлаждение с печью;
- $\varnothing 50 \times 10$ мм - ступенчатый нагрев до температуры 300°C , выдержка 30 мин., далее нагрев до 500°C , выдержка 30 мин., затем нагрев до 980°C , выдержка 90 мин., охлаждение с печью.

После спекания цилиндрическая заготовка дала усадку по объему; размеры при этом составили $\varnothing 47,88 \times 11,88$ мм. Плотность цилиндрической заготовки $8,18 \text{ г/см}^3$, что составило 91,6% от теоретической плотности. Плотность заготовки кубической формы $7,32 \text{ г/см}^3$, что составило 82% от теоретической плотности (плотность определяли геометрическим методом).

С целью повышения плотности спеченных заготовок а, следовательно, и улучшения физико-механических свойств – проводили осадку (допрессовку) с усилием 76 тс. Размеры заготовки составили $\text{Ø}50,1 \times 10,52$ мм. Плотность заготовки увеличилась до $8,437 \text{ г/см}^3$, что составило 94,5% от теоретической плотности материала.

После повторной термической обработки цилиндрической заготовки плотность незначительно снизилась и составила $8,396 \text{ г/см}^3$ (94% от теоретической плотности).

По результатам работ по прессованию и спеканию были изготовлены заготовки $\text{Ø}50 \times 10$ мм, 10×10 мм (см. рисунок 2).



Рисунок 2– Заготовки $\text{Ø}50 \times 10$ мм и 10×10 мм

По результатам полученных данных установлено влияние технологических режимов на плотность спеченного материала ПМС – 1. Диаграмма этой зависимости приведена на рисунке 3.

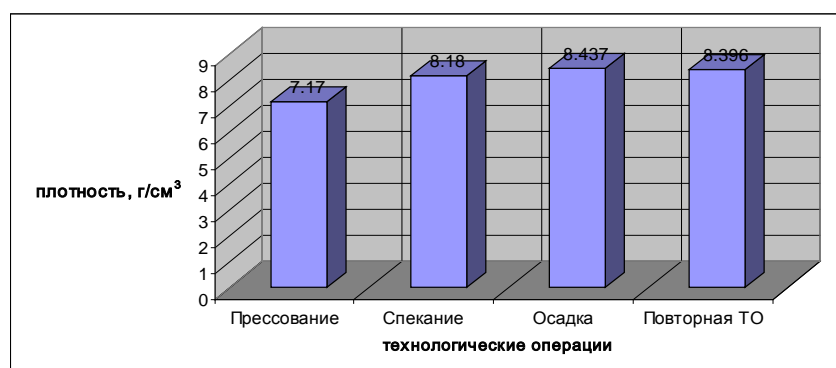


Рисунок 3– Диаграмм зависимости плотности заготовок от технологических режимов

Результаты допрессовки свидетельствуют о том, что спеченные детали после нее без последующего отжига имеют более высокую прочность и плотность, чем после отжига, хотя они менее пластичны [4]. В данной работе характеристики пластичности наиболее важны для последующей ИПД, что обосновывает необходимость повторной ТО.

Исследование микроструктуры проводили на оптическом микроскопе AxioObserver Z1M при увеличении 200 крат.

Микроструктура спеченных заготовок (шлифов) представлена на рисунке 4.

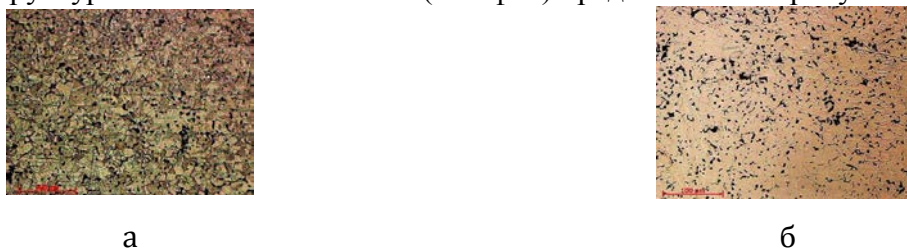


Рисунок 4 – Микроструктура материала заготовок, $\times 200$: а - $\varnothing 50 \times 10$ мм;
б - 10×10 мм

Измерение твердости проводили на твердомере ТПП-2 по методу Виккерса с нагрузкой 5 кгс по 7 измерений на каждый опытный образец.

Твердость цилиндрической заготовки 61 HV5, кубической заготовки - 30 HV5.

По результатам проведенной отработки для проведения дальнейших исследований процесса ИПД в качестве объекта экспериментов была выбрана цилиндрическая заготовка $\varnothing 50 \times 10$ мм, как имеющая более высокую плотность и твердость.

Литература

1. Мажарова Г.Е. Производство изделий из порошков цветных металлов/Г.Е. Мажарова, Г.А. Баглюк, А.В. Довыденко.-К.: Техника, 1989.-120с.
2. Осокин Е. Н. Процессы порошковой металлургии. Версия 1.0 [Электронный ресурс] :курс лекций / Е. Н. Осокин, О. А. Артемьева. – Электрон. дан. – Красноярск : ИПК СФУ, 2008. – (Процессы порошковой металлургии : УМКД № 63-2007 / рук. творч. коллектива Е. Н. Осокин).
3. Довыденкова А.В., Радомысельский И.Д. Получение и свойство конструкционных деталей из порошков меди и её сплавов // Порошковая металлургия . – 1982. - №3. – С. 44 – 53.
4. Намитоков К.К., Бундур Э.П., Юдин Б.А. Влияние многократного прессования и спекания на свойства металлокерамических медных образцов // Порошковая металлургия. – 1969. - №2. - С. 30-34.

УСТРОЙСТВО ТЕРМОРЕГУЛИРОВАНИЯ НА БАЗЕ ФУНКЦИЙ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Мякушко Э.В., Борисов А.В.

Снежинский физико-технический институт НИЯУ МИФИ

В последнее время широкое развитие получили системы автоматического управления (САУ). В частности, с 90-х годов наблюдается бурный рост построения систем на нечеткой логике. Существуют системы нечеткого управления для решения различных задач. Задача поддержания заданной температуры является актуальной в различных технических системах. Структурная схема терморегулятора на базе функций нечеткой логики (ФНЛ) представлена на рисунке 1.

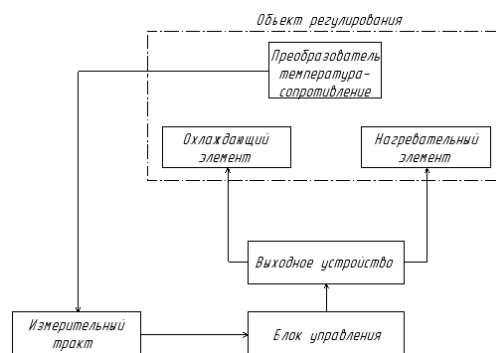


Рисунок 1 – Структурная схема терморегулятора на базе ФНЛ

Структурная схема состоит из следующих блоков:

Объект регулирования, температурный режим которого требуется поддерживать на заданном уровне;

Преобразователя температура-сопротивление;

Измерительного тракта, предназначенного для: усиления и фильтрации входного сигнала, а также его преобразования из аналогового в цифровой вид;

Блока управления, выполняющего:

- а) Управление режимом работы измерительного тракта;
 - б) Обработку информации, получаемую от измерительного тракта;
 - в) Проведение математических вычислений на базе ФНЛ;
 - г) Управление выходным устройством;
- Выходного устройства, обеспечивающего функционирование охлаждающего и нагревательного устройства по сигналам, поступающим из блока управления;
 - Охлаждающий элемент – устройство, предназначенное для понижения температуры объекта регулирования;
 - Нагревательный элемент – устройство, предназначенное для повышения температуры объекта регулирования.

Блок управления на базе ФНЛ включает в себя:

- Микроконтроллер 1886BE6У для определения скорости изменения температуры и формирования выходных сигналов воздействия на элемент, модулированных по широте импульса (ШИМ), отвечающих за установление мощности устройств терморегулирования режима в заданном пространстве;
- Микроконтроллер 1886BE4У для реализации алгоритма Мамдани соответствующего алгоритму нечеткого вывода [1].

На основе структурной схемы спроектирована функциональная схема устройства терморегулирования на базе ФНЛ, представленная на рисунке 2.

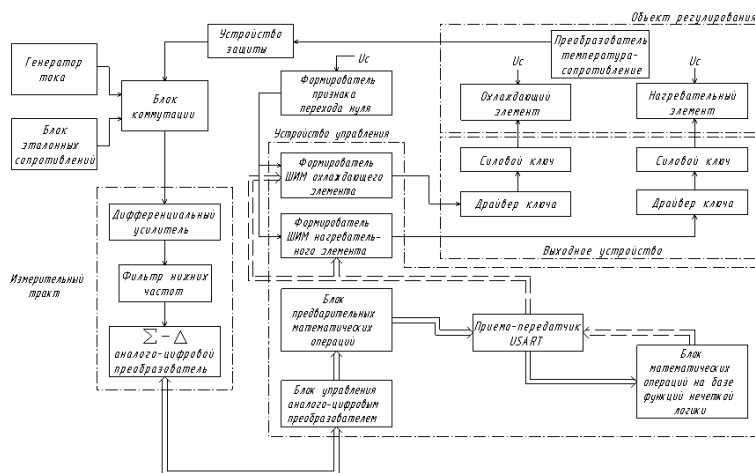


Рисунок 2 – Функциональная схема устройства терморегулирования на базе ФНЛ

Задача 1 для терморегулятора на базе ФНЛ: Поддержание температуры на величине $55 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$. Моделирование функционирования терморегулятора на базе ФНЛ проведено в среде автоматизированного проектирования PROTEUS. На рисунке 3 (а) отображен зафиксированный результат нечеткого вывода (дефазификация) ($\text{Def} = 52$) на основе данных температуры ($T = 54,72 \text{ }^\circ\text{C}$) и скорости ее изменения за минуту времени ($dT/dt = 0 \text{ }^\circ\text{C}$). На основе результата нечеткого вывода рассчитана скважность сигнала ШИМ ($\text{pwm} = 4 \%$) для управления мощностью нагревательного элемента. Результат скважности изображен в виде осциллограммы на рисунке 3 (б).

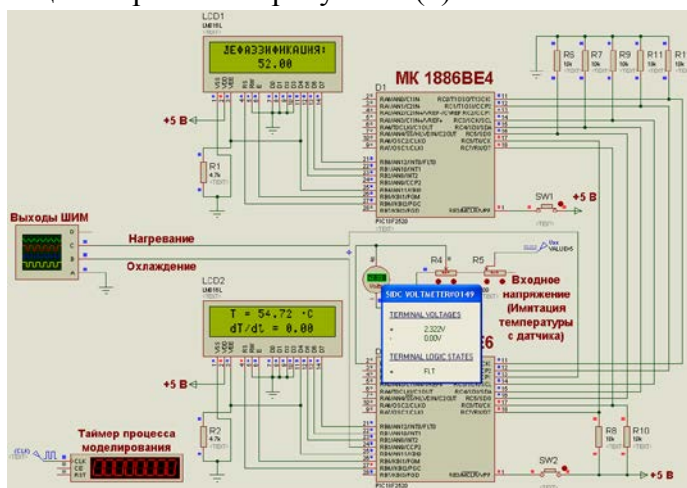


Рисунок 3 (а) – Результат нечеткого вывода, соответствующий температуре ($T = 54,72 \text{ }^\circ\text{C}$) и скорости ее изменения за минуту времени ($dT/dt = 0 \text{ }^\circ\text{C}$)

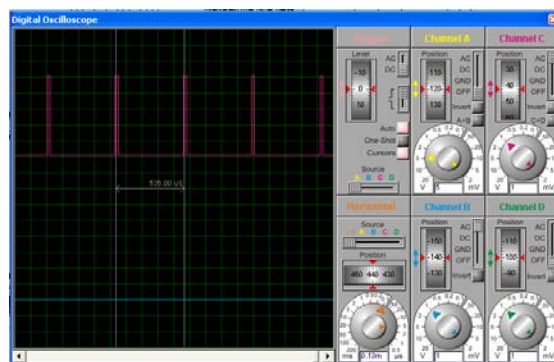


Рисунок 3 (б) – Скважность ШИМ сигнала ($\text{pwm} = 4 \%$) при температуре ($T = 54,72 \text{ }^\circ\text{C}$) и скорости ее изменения ($dT/dt = 0 \text{ }^\circ\text{C}$)

Задача 2 для терморегулятора на базе ФНЛ: Спустя 10 секунд функционирования объекта регулирования, его температура опустилась до значения ($T = 53,15 \text{ }^\circ\text{C}$), скорость изменения температуры за минуту времени составила ($dT/dt = -9,37 \text{ }^\circ\text{C}$). На рисунке 4 (а) отображен зафиксированный результат нечеткого вывода ($\text{Def} = 77,01$) на основе данных температуры ($T = 53,15 \text{ }^\circ\text{C}$) и скорости ее изменения за минуту времени ($dT/dt = -9,37 \text{ }^\circ\text{C}$). На основе результата нечеткого вывода по алгоритму Мамдани рассчитана скважность

сигнала ШИМ ($pwm = 54,04\%$) для управления мощностью нагревательного элемента. Результат скажности изображен в виде осциллограммы на рисунке 4 (б).

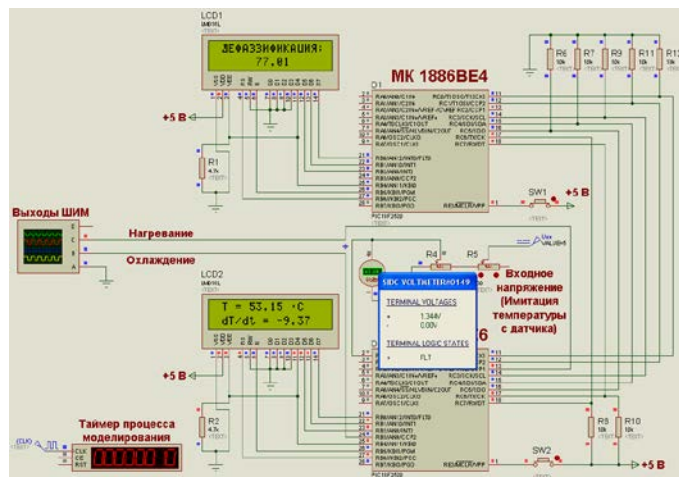


Рисунок 4 (а) – Результат нечеткого вывода, соответствующий температуре ($T = 53,15\text{ }^{\circ}\text{C}$) и скорости ее изменения за минуту времени ($dT/dt = -9,37\text{ }^{\circ}\text{C}$)

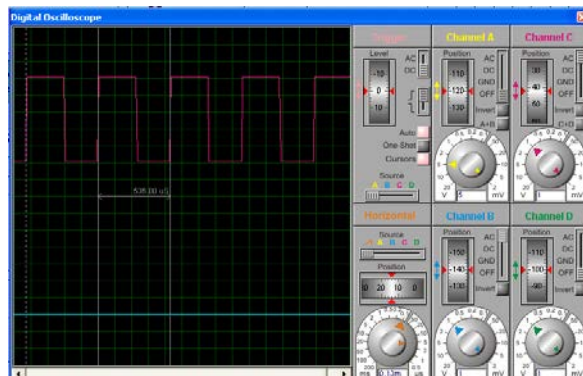


Рисунок 4 (б) – Скажность ШИМ сигнала ($pwm = 54,04\%$) при температуре ($T = 53,15\text{ }^{\circ}\text{C}$) и скорости ее изменения ($dT/dt = -9,37\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Из осциллограмм, продемонстрированных на рисунках 3 (б) и 4 (б) можно сделать вывод о том, что устройство терморегулирования на базе ФНЛ на несущественное изменение температуры объекта регулирования устанавливает малую скажность управляющего ШИМ сигнала. Данного значения скажности достаточно, чтобы при текущих условиях объекта регулирования управлять мощностью нагревательного элемента, способствуя тем самым установлению температурного режима объекта регулирования на заданный режим. В то же время, при значительном отклонении температуры, а также при росте скорости ее изменения, требуется изменить степень воздействия на нагревательный элемент в большую сторону, для достижения достаточного уровня нагрева объекта регулирования в сложившейся ситуации.

На сегодняшний день завершены испытания макетного образца цифровой части устройства терморегулирования на базе ФНЛ, реализованного на демонстрационно-отладочных платах Eval-17 и Eval9 производства компании Milandr. Изображение макетного образца представлено на рисунке 5.

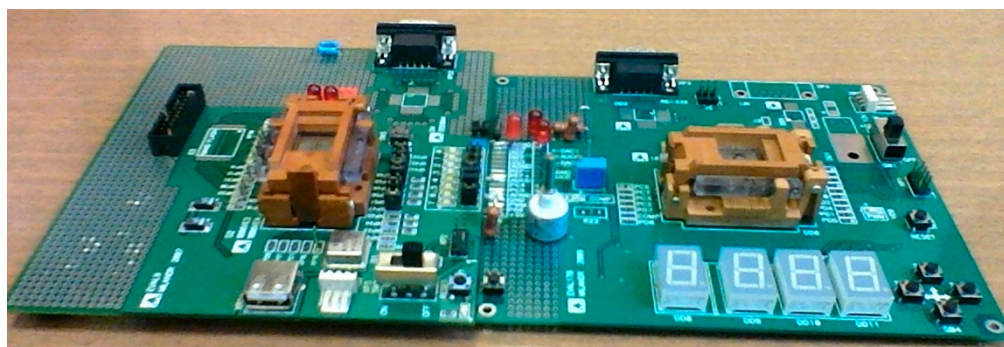


Рисунок 5 – Макетный образец устройства терморегулирования на базе ФНЛ

В результате проведенных испытаний удалось подтвердить возможную схемотехническую реализацию функций нечеткой логики на элементной базе производства РФ. Установлено, что для реализации алгоритма нечеткого вывода Мамдани достаточно применения 8-разрядного микроконтроллера, что свидетельствует о несущественных

финансовых затратах на реализацию систем по данному алгоритму. В дальнейшем, планируется испытание разрабатываемого терморегулятора на базе ФНЛ в составе блока системы для практического подтверждения возможного управления температурным режимом объекта регулирования в сложных метеоусловиях.

Литература

1. Усков А.А., Круглов В.В. Интеллектуальные системы управления на основе методов нечеткой логики. – Смоленск: 2003 – 177 с.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В ЗОНЕ РЕЗАНИЯ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ НА КАЧЕСТВО ПОЛУЧАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Миронова Ю. А., Катаргин В. П., Орлова Н.Ю.

Снежинский физико-технический институт НИЯУ МИФИ

Выявление лимитирующих факторов для установления наиболее эффективных режимов резани при фрезеровании деталей из сплавов на основе титана.

Прогресс в технике предъявляет все более жесткие требования к составным частям изделий. Детали становятся всё более сложной пространственной формы, от них требуется: высокая точность геометрических размеров, малая шероховатость поверхности, высокая прочность, коррозионная стойкость в атмосфере и в агрессивных средах, широкий диапазон рабочих температур при малом удельном весе. Таким требованиям отвечают сплавы на основе титана, но у них есть недостаток. При высоких температурах титан начинает взаимодействовать с веществами окружающей среды (кислород, водород...). В условиях эксплуатации этот недостаток устраняется нанесением защитных покрытий, а при механической обработке детали, можно место обработки, отделять от окружающей среды инертной для титана средой, но данный вид защиты титана от окисления достаточно трудоёмок и дорогостоящ, т.к. требует использования специально переоборудованных станков, что может быть экономически оправдано только в условиях массового производства. Современное мощное высокопроизводительное оборудование (например станки с ЧПУ) и прогрессивный инструмент позволяют обрабатывать даже достаточно твердые материалы с высокой скоростью, что приводит к резкому повышению выделения энергии в зоне резания в виде тепла.

В данной работе рассматривается вопрос влияния температуры в зоне резания при фрезеровании, на качество получаемой поверхности исходя из физико-химических и тепловых процессов протекающих на ней в момент стружкообразования при фрезеровании и сразу после него. Были проведены эксперименты для выявления влияния температуры нагрева титанового сплава ВТ14 на скорости взаимодействия титана с кислородом воздух. В результате, которых была выявлена следующая зависимость: при температурах до 500-520⁰С скорость окисления титана идет медленно, но при превышении этих температур на 30-40⁰С начинается резкое увеличение скорости окисления. Современные станки и инструмент позволяют повысить скорость резания до 10-15м/с, при этом температура в зоне резания может повышаться до 1000⁰С и больше. При столь высоких температурах процесс диффузии кислорода вглубь металла, может идти с очень большой скоростью. Была создана физико-механическая модель процесса диффузии. С помощью, которой можно прогнозировать возможные варианты развития процесса окисления титана, как функциональную зависимость содержания кислорода и его соединений от расстояния до поверхности обработки. В дальнейшем предполагается проверить данную модель экспериментальным путем с помощью сканирующего микроскопа. Как известно окислы титана могут иметь как плотную структуру, так и рыхлую, что в свою очередь определит качество получаемой поверхности.

Достоинства титана значительно превышают его недостатки, по сравнению с остальными конструкционными сплавами: его малая плотность способствует уменьшению

массы готовой детали, а высокая механическая прочность превосходит высокопрочные сплавы легких материалов (алюминия и магния); необычайно высокая коррозионная стойкость. Сколько бы сложностей в процессе обработки титановых сплавов не было их всё-равно необходимо решать, что бы изготавливать высококачественную, конкурентоспособную на мировом рынке технику, в том числе и военную.

Одним из методов устранения некоторых сложностей является предварительная заморозка заготовки. Этим методом можно скомпенсировать высокие температуры при обработке титанового сплава.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ МАТЕРИАЛА ПСМ-2 С УЧЕТОМ ЦИКЛИЧНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУЖКИ

Орлова Н.Ю., Крутиков¹ В.С.

*Снежинский физико-технический институт НИЯУ МИФИ
¹ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск,
Снежинский физико-технический институт НИЯУ МИФИ, аспирант.*

В настоящее время все большее внимание уделяется разработке физических и математических моделей, описывающих сложные процессы и явления. Процесс резания ввиду многогранности происходящих при его осуществлении явлений также трудно поддается математическому описанию. Известно, что большинство существующих моделей и расчетных методов базируются на модели сливного стружкообразования, таким образом, происходит некоторая идеализация реального процесса.

При резании многих пластичных материалов стружкообразование происходит в два этапа. Сначала под действием режущего клина происходит деформация определенного объема срезаемого припуска, упругая технологическая система, как пружина, накапливает энергию. Затем, после достижения определенного уровня деформации, происходит скачкообразный сдвиг в области условной «плоскости» сдвига и система разгружается. Далее процесс повторяется. Это явление впервые описал еще основоположник теории резания профессор И. А. Тиме.

Необходимость данных исследований связана со следующим фактором: уровень скоростей резания имеет тенденцию к постоянному росту. Это происходит ввиду улучшения свойств инструментальных материалов, появления новых видов износостойких покрытий, совершенствования режущей керамики и сверхтвердых материалов. При многократном увеличении скорости, по сравнению с традиционно применяемой, многие материалы при резании образуют элементную стружку.

Применение известных расчетных методов для определения эффективных режимов резания, а также силы и температуры резания при высоких скоростях резания показало, что расчетные и экспериментальные данные могут многократно отличаться. Это происходит из-за погрешностей экстраполяции, полученных при экспериментах зависимостей для обычного резания в новую скоростную область.

Следовательно, разрабатываемая модель должна строиться на общих принципах процесса и учитывать циклический механизм стружкообразования как наиболее близкий к реально происходящему процессу.

Выяснение механизма формирования стружки позволяет яснее представить физическую картину, происходящую в зоне стружкообразования. При элементном стружкообразовании не весь материал срезаемой стружки подвергается пластической деформации в равной степени [1, 2, 3].

очевидна важность изучения застойной зоны как источника образования сдвиговых поверхностей, так как именно эта зона испытывает наибольшее сжатие. Образование застойной зоны связано с процессами трения на передней поверхности, поэтому стружка, разделенная на элементы, несет информацию о трении на передней поверхности в зоне пластического контакта.

Литература

1. Рехт Р. Ф. Динамический анализ высокоскоростной обработки резанием // Конструирование и технология машиностроения: Тр. Американск. общества инж.-механиков. 1985. № 4. С. 135–146.
2. Непомнящий В. А., Волков Д. И., Проскураков С. Л. Стружкообразование при обработке алюминиевых сплавов алмазными инструментами // Инженерный журнал. 2003. № 10. С. 21–25.
3. Аверьянова И. О., Шестаков Н. А. Прогнозирование вида стружки при резании металлов [Электронный ресурс] // — Режим доступа: <http://www.thesis.com.ru>, свободный.

ОБРАБОТКА ТИТАНА И ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Пачурин Д.В., Орлова¹ Н.Ю.

*ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск,
Снежинский физико-технический институт НИЯУ МИФИ, аспирант
¹Снежинский физико-технический институт НИЯУ МИФИ*

Технический прогресс в машиностроении привёл к появлению новых труднообрабатываемых материалов, обладающих высокой удельной прочностью, жаропрочностью, коррозионной стойкостью, пассивностью по отношению к органическим и многим неорганическим кислотам и другими специальными свойствами. Видное место среди них принадлежит титановым сплавам, которые обладают целым комплексом важных физических, механических и химических свойств, выгодно отличающих их от сплавов на основе железа, никеля, магния, алюминия и других металлов. Особенности, обусловленные физико-механическими свойствами титановых сплавов, являются причиной трудности их обработки резанием, которая связана с интенсивным изнашиванием инструмента, снижением производительности обработки и достижением требуемого качества поверхностного слоя деталей. Вопросы высокопроизводительной механической обработки титановых сплавов приобрели в настоящее время особую актуальность в связи с расширением их области применения. Широкое внедрение изделий из титановых сплавов пока сдерживается их сравнительно высокой стоимостью, которая обусловлена низкой производительностью традиционных методов механической обработки. В связи с этим, разработка метода высокоскоростного торцевого фрезерования сплавов на основе титана является весьма актуальной задачей.

Для улучшения механических свойств твёрдых сплавов, главным образом твёрдости и трещиностойкости, в настоящее время применяются два подхода. В первом используются порошки карбида вольфрама с возможно меньшим размером частиц и новые методы консолидации, обеспечивающие высокую скорость спекания, и как следствие, высокую стабильность и однородность структуры материалов. Наряду с традиционными методами используется относительно новый метод изготовления твёрдых сплавов Spark Plasma Sintering (SPS) [2]. Метод электроимпульсного плазменного спекания основан на принципе нагрева образца и пресс-формы пропусканием последовательности импульсов электрического тока. Этот метод сочетает в себе такие важные для активирования спекания факторы, как высокая скорость нагрева, вакуум и приложение к образцу гидростатического давления, положительное влияние каждого из которых влияет на ускорение процесса спекания. SPS спекание имеет ряд преимуществ, выделяющих его из таких традиционных методов порошковой металлургии, как горячее прессование и спекание предварительно спрессованных заготовок без давления. В частности, SPS спекание образцов происходит с большим выигрышем во времени, также практически всегда наблюдается снижение температуры спекания, что позволяет существенно ограничить рост зёрен в материале, что имеет принципиальное значение для создания объёмных наноматериалов. В настоящее время разработкой отечественных твёрдых сплавов с использованием уникальной установки для электроимпульсного плазменного спекания Spark Plasma Sintering System, занимается коллектив Научнообразовательного центра «Нанотехнологии» ННГУ им. Н.И. Лобачевского (Нижний Новгород) под руководством профессора В.Н. Чувильдеева.

Другой тенденцией развития технологий высокоскоростной обработки титановых сплавов является широкое внедрение наноструктурированных покрытий на твердосплавный инструмент. Как правило, это система покрытий. Состоящая из двух слоёв – твёрдого

наноструктурированного композита и верхнего функционального слоя (например, TiAlN+WC:H – для снижения трения, или AlTiN+Al₂O₃ для повышения теплостойкости).

Следует отметить, что описанный подход к созданию эффективных покрытий для высокоскоростной обработки вязких металлических материалов реализуется в последних разработках мировых лидеров в этой области – компаний Oerlikon Balzers, Sandvik Coromand, Mitsubishi и др. [5]. Мною, изучены современные методы обработки этих сплавов. Дана оценка эффективности этих методов.

Литература

1. Журнал «CADmaster» 2006 №03.
2. Интернет ресурс: <http://www.tochmeh.ru/info/titan2.php>.
3. Козлов В.Н. Особенности обработки титановых сплавов // Прогрессивные технологические процессы в машиностроении. Кемерово, 198 удк 621.8 91 В.М.Мусалимов*, Г.М.Исмаилов**, Б.В.Соханев**.
4. О.П.Солонина, С.Г.Глазунов. «Жаропрочные титановые сплавы». Москва «Металлургия» 1976 г.
5. 5, Сандвик. Высокопроизводительная обработка металлов резанием.

Квази - НЬЮТОН-КУЛОН овская МОДЕЛЬ МИРА

Поляков В.Н.

г. Снежинск

Разработана модель мира, в основе которой лежат модифицированные автором закон всемирного тяготения Ньютона и закон взаимодействия электрически заряженных тел Кулона.

Сформулированы представления об иерархической структуре мира и предложены формальные выражения для определения масс и зарядов отдельных объектов на разных уровнях детализации этой структуры.

Для доказательства всеобщего универсального характера выдвинутых автором положений и их справедливости как для объектов макромира так и для объектов микромира предприняты успешные попытки по компьютерному моделированию процессов синтеза почти 150 ядер элементов таблицы Менделеева.

Кроме того, эта модель использовалась также для определения структуры нуклонов и при компьютерном моделировании сетчатки глаза и некоторых функций цветовосприятия мозга человека.

По-видимому, применение этого инструмента будет особенно плодотворным в таких областях человеческой деятельности, как физика, химия, биология, медицина, информатика, связь и энергетика.

К счастью, в истории человечества были такие гиганты, на плечах которых покоится (по словам Эйнштейна) здание всей современной физики, как Галилей, Ньютон и чуть позднее – Кулон.

Галилей сформировал достаточно ясные представления о свойстве инерции материальных тел и, исследуя законы свободного падения тел, установил очень важные особенности явления гравитации.

Ньютон сформулировал известные теперь законы механики и открыл закон всемирного тяготения.

Кулону удалось установить и сформулировать закон взаимодействия электрически заряженных тел.

Закон всемирного тяготения Ньютона и закон Кулона можно представить в следующей форме:

$$\mathbf{F}_n = \frac{\varepsilon_1 m_1 m_2}{r_{12}^2} \frac{\mathbf{r}_{12}}{r_{12}}, \quad (1)$$

$$\mathbf{F}_q = -\frac{\varepsilon_2 q_1 q_2}{r_{12}^2} \frac{\mathbf{r}_{12}}{r_{12}}, \quad (2)$$

где

\mathbf{F}_n - вектор гравитационной силы, с которой второе тело действует на первое,

\mathbf{F}_q - вектор электростатической силы, с которой второе заряженное тело действует на первое,

ε_1 - первая константа мира,

ε_2 - вторая константа мира,

m_1 - масса первого тела,

m_2 - масса второго тела,

q_1 - электрический заряд первого тела,

q_2 - электрический заряд второго тела,

r_{12} - радиус – вектор второго тела относительно первого,

r_{12} - расстояние между взаимодействующими телами.

Ряд соображений, среди которых важнейшим, скорее всего, является убежденность в единстве нашего многообразного мира, привели меня к следующей модифицированной форме представления законов взаимодействия тел и зарядов:

$$F_n = \frac{\varepsilon_1 m_1 m_2}{r_{12}^2} \cos\left(\frac{\pi \delta}{r_{12}}\right) \frac{r_{12}}{r_{12}}, \quad (3)$$

$$F_q = -\frac{\varepsilon_2 q_1 q_2}{\pi \delta r_{12}} \sin\left(\frac{\pi \delta}{r_{12}}\right) \frac{r_{12}}{r_{12}}, \quad (4)$$

где символы, одинаковые с символами соотношений (1),(2), имеют то же самое значение, что и в соотношениях (1),(2), а δ - третья мировая константа, физический смысл которой будет пояснен несколько позже, π - число 3.14159265...

Введенные здесь законы взаимодействия (3),(4) обладают важным качеством: при выполнении условия

$$\frac{\pi \delta}{r_{12}} \rightarrow 0 \quad (5)$$

соотношения (3),(4) будут давать такие значения силовых факторов взаимодействия тел, которые будут совпадать со значениями этих параметров, полученных в результате применения законов Ньютона и Кулона (1),(2).

Это означает, что если построить модель макромира на основе законов (3),(4), то она в точности будет соответствовать тому реальному миру, в котором мы живём и который наблюдаем вокруг себя.

Как следует из формы условия (5), оно выполняется при расстояниях между взаимодействующими телами, существенно превышающих значение третьей мировой константы δ .

Если же расстояния между взаимодействующими телами соизмеримы со значением третьей мировой константы, то параметры силового взаимодействия тел и зарядов, полученные по законам (3),(4), будут заметно отличаться от значений соответствующих параметров, полученных по законам Ньютона и Кулона.

С вопросами по определению характера и особенностей взаимодействия материальных тел в окружающем нас мире тесно связаны вопросы по выяснению структуры этого Мира.

Мои представления о структуре Мира представлены в Таблице 1.

Как видно из таблицы 1, введён явным образом в структуру материального мира целый ряд новых элементарных частиц на уровнях детализации 9...11.

Что же касается характеристик и свойств новых элементарных частиц, то до получения их значений в результате прямых измерений в подходящих физических экспериментах, то я не могу предложить ничего лучше, чем следующий ряд рекуррентных формул:

$$m^{\oplus}_{n+1} = \frac{m^{\oplus}_n}{1836.12}, \quad (5)$$

$$q^{\oplus}_{n+1} = q^{\oplus}_n, \quad (6)$$

где символом m обозначена масса, а символом q - заряд соответствующей элементарной частицы.

Нижний индекс этих символов означает номер уровня детализации структуры в таблице 1.

Верхний индекс у символов m и q пробегает значения “-”, “0”, “+”, но принимает одинаковое значение из этого ряда справа и слева от знака равенства. Этот индекс совпадает со знаком заряда соответствующей частицы.

Изложенные выше представления о структуре мира и о характеристиках новых элементарных частиц были использованы для разработки компьютерной программы, которая по данным о массе частиц n -го, $(n+1)$ -го, $(n+2)$ -го уровня детализации структуры определяла состав элементарных частиц на n -м уровне.

Применение этой программы для определения состава нуклонов дало результаты, приведенные в таблице 2.

Мои представления о структуре Мира

Таблица 1

Уровень детализации структуры	Наименование элемента структуры
∞	Космос
0	Мир
1	Галактика, осколки
2	Звезда, осколки
3	Планета, осколки
4	Тело, осколки
5	Вещество, осколки
6	Молекула, осколки
7	Атом, осколки
8	Нуклон (протон, нейтрон, антипротон), осколки
9	Нуклон (позитрон, нейтрон, электрон), осколки
10	Нуклин (позитрин, нейтрин, электрин), осколки
11	Нуклен (позитрен, нейтрэн, электрен), осколки
...	...
...	...
...	...
∞	Пространство

Состав нуклонов

Таблица 2

Обозначение параметра	Протон	Нейтрон	Антипротон
M	1836	1836	1836
NOA	415	1836	415
NZA	1421	0	1421
NPA	711	0	710
NEA	710	0	711
NOI	0	220	0
G0A	1.00288652	1.00288652	1.00288652
DG	0.000209355	0.000182176	0.000209355
G0I	0.000544784	0.000544784	0.000544784
GEI	0.000544627	0.000544627	0.000544627

Параметры в таблице 2 имеют следующий смысл :

- M – общее количество нуклонов в составе соответствующего нуклона,
- NOA – количество нейтронов в составе нуклона,
- NZA – общее количество заряженных нуклонов в составе нуклона,
- NPA – количество позитронов в составе нуклона,
- NEA – количество электронов в составе нуклона,
- NOI – количество нейтринов в составе нуклона,
- G0A – масса нейтрона,
- DG – разность между расчётным и известным значением массы нуклона,
- G0I – масса нейтрина,
- GEI – масса электрина.

Значения масс в таблице 2 приведены в единицах массы электрона.

Завершая рассмотрение вопросов, связанных со структурой Мира, приведу, специально для любителей порассуждать о загадках, противоречиях и парадоксах Природы, выражение, которое, по-видимому, не имеет непосредственной практической ценности, но, тем не менее, отражает существенное свойство Космоса и Пространства.

Вот это выражение:

$$K \supset P, \quad (7)$$

где

K - символ Космоса,

P - символ Пространства,

\supset - символ, означающий “вложен друг в друга”.

Подводя итог приведенному здесь изложению, пожалуй, можно сказать, что получен мощный инструмент для исследования и познания окружающего нас мира.

Можно ожидать, что применение этого инструмента будет особенно плодотворно в таких областях человеческой деятельности, как химия, физика, биология, медицина, информатика, связь и энергетика.

P.S.

Законы взаимодействия (3),(4), таблица 1 и формулы (5),(6),(7) по своему содержанию являются описанием модели мира, которую я, в знак почтительного уважения к именам и памяти выдающихся учёных, назвал “ **квази НЬЮТОН-КУЛОН овская модель мира**”.

P.P.S.

Более полное представление о разработанной модели Мира можно получить из информации, приведенной на моём сайте по адресу <http://www.modelmira.narod.ru> . Там же можно ознакомиться и с вопросами применения этой модели в области электродинамики и магнетизма.

ТЕПЛОВАЯ ЗАЩИТА ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ

Потапов Р.А., Коробейников К.А.

Снежинский физико-технический институт НИЯУ МИФИ

Аннотация

Предложен усовершенствованный вариант электронной тепловой защиты электродвигателя бытового измельчителя собственной конструкции с использованием термисторов. Данный вариант обеспечивает надежную работу электродвигателя относительно малой мощности при измельчении растительных остатков.

Интерес к бытовому измельчителю растительных остатков возникает у каждого садовода сколь либо вникающему в процесс выращивания растений. Как известно, успех выращивания во многом определяется плодородием почвы, которая в свою очередь зависит от содержания полезных элементов и микроэлементов (N, P, Ca, K и др.) в легкоусвояемой форме, кислотности, структуры и т.д. Не вникая подробно во все тонкости агрономии, можно определенно сказать, что основным способом повышения плодородия земли является внесение в нее органических удобрений, к которым относятся навоз, перегной, торф, компост и др. Они позволяют не только внести нужное количество полезных элементов, но существенно улучшить структуру почвы и оптимизировать ее кислотность.

Таким образом, проблема улучшения качества почвы на садовом участке связана в первую очередь с необходимостью внесения в нее органических удобрений, а точнее органики лучше в перегнившем виде.

Виды органики и способы ее пополнения в почве отличаются соотношением стоимость/полученный эффект, своего рода соотношение цена/качество. Общеизвестным лидером здесь является компост, который можно получить практически из любого растительного сырья, включая опилки и торф. Однако процесс получения и созревания компоста является достаточно долговременным и трудоемким. Проще купить машину готового перегноя, который однако неуклонно дорожает, поскольку поголовье скота в близ лежащих деревнях и в регионе целом уменьшается и привозить его придется издалека. В конечном итоге можно за эти деньги купить в магазине те же овощи и фрукты.

Выходом из создавшегося положения является измельчение органики при помощи специальных установок и использование мульчи, как для приготовления компоста, так и для мульчирования почвы после посадок. Оптимальным вариантом измельчения являлось бы использование промышленной или полупромышленной установки для переработки растительных остатков, либо из «сырья заказчика» либо с централизованным подвозом по договоренности. Как показывает практика одна, две установки мощностью 4-5 кВт на садовый кооператив вполне могли бы покрыть потребности садоводов в данном продукте, вполне быстро окупиться и приносить вполне ощутимую прибыль.

Но это пока только пожелания. Реально можно либо купить небольшой измельчитель для личного пользования, либо сделать его самому при наличии соответствующих комплектующих и определенных навыков и знаний. Первый вариант в настоящее время является вполне доступным как с точки зрения цены (электрические от 4,5 до 25 тыс. руб. в зависимости от исполнения), так и с точки зрения приобретения – через Интернет магазин. Однако здесь возможны определенные проблемы. В первую очередь функциональные возможности. Несмотря на то, что на такого рода измельчителях стоят достаточно мощные двигатели далеко не все они успешно справляются с любым сырьем, что связано в свою очередь с их конструктивными особенностями. Как показывает практика, некоторые из них неплохо перемалывают твердые ветки, однако быстро забиваются при измельчении мягкого

растительного материала, типа травы. Универсальные измельчители отличаются, более сложной конструкцией, большим числом регулировок и соответственно стоимостью.

Поэтому в нашем случае было решено сделать самодельный вариант, конструкцию которого при необходимости можно изменить, тем более что основная часть – надежный электродвигатель от стиральной машины имелся. Был произведен предварительный расчет, который показал, что крутящий момент на валу вполне соответствует необходимому значению - около 2 Н м при частоте вращения порядка 1425 об/мин. Была немного изменена система пуска двигателя, что однако никак не отразилось на его основных характеристиках. Конструкция измельчителя, в настоящее время прорабатывается с учетом имеющихся материалов, а также рекомендаций и указаний по данному вопросу в Интернете. На измельчение веток диаметром более 10 мм данное устройство конечно не рассчитано, в силу относительно малой мощности двигателя, однако с травой, листьями, мелкими веточками и другим растительным материалом должно справиться.

Основная проблема состоит в защите используемого стандартного электродвигателя АД180-4/71, имеющего потребляемую мощность 270 ватт и выходную 180 ватт, при аварийной остановке и в режиме повышенной нагрузки, когда он будет перегреваться и может выйти из строя.

Штатные тепловые реле типа РТЛ, РТП, обладают принципиальными недостатками, резко снижающими вероятность отключения электродвигателя при аварийных ситуациях. Инерционность срабатывания таких реле по паспортным данным, составляет от 10 до 20 сек, вследствие чего реле не может защитить в полной мере электродвигатель при заклинивании его ротора, так как изоляция обмотки статора подвергается старению через 4 сек после заклинивания. Кроме того если нагрев обмоток обусловлен неисправностью ножей (погнуты лопасти или проскальзывание на валу), загрязнением оребренной поверхности двигателя и т.д., такое тепловое реле тоже окажется бессильным, т. к. потребляемый ток не возрастает или возрастает незначительно. Поэтому главной задачей в данной работе ставится выбор оптимального варианта тепловой защиты для двигателя, при которой он сохранит свою работоспособность в течение длительного (порядка 5-6 лет) времени.

Решением данной проблемы нам видится использование электронных схем. Была выбрана схема по электронной тепловой защите двигателя от перегрузок на основе термочувствительных элементов, схемы слежения за температурой на них, предохранительного электромагнитного реле

Термисторы-датчики, 6 штук, крепятся на статоре двигателя по окружности с шагом 60 градусов эпоксидной смолой, или клеем, выдерживающим температуру до 250 градусов. Схема реагирует на чрезмерный нагрев двигателя. При нагреве свыше 200 градусов она дает сигнал на включение обмотки предохранительного реле, его контакты размыкаются, прерывая тем самым цепь рабочей обмотки двигателя, предохраняя его от разрушения при перегреве. Время срабатывания – не более 5 с при критической температуре 200 градусов.

Таким образом данная схема электронной тепловой защиты более надежно предохраняет двигатель от перегрузок, по сравнению с биметаллическими тепловыми реле, имеет более плавный и широкий диапазон регулирования срабатывания по времени и критической температуре что позволяет применить эту схему защиты как при изменении режимов работы, так и на других типах двигателей.

Литература

1. Лепавев Д.А. Справочник слесаря по ремонту бытовых электроприборов и машин. - Изд. 4-е, испр. и доп. - М.: Легпромбытиздат, 1986. - 264 с., ил.
2. <http://www.ru.1crusher.com>

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ МАТЕРИАЛА ДЖОНСОНА-КУКА ПРОГРАММЫ LS-DYNA ПО ПРОФИЛЮ СКОРОСТИ ТЫЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Приб И.А.

*ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск,
Снежинский физико-технический институт НИЯУ МИФИ, аспирант*

Одним из способов определения динамических характеристик материалов является анализ профиля скорости тыльной поверхности пластины-ударника при ее соударении с пластиной-мишенью. В работе проанализированы экспериментальные данные по определению профиля скорости свободной поверхности при соударении стальных пластин. Показана возможность подбора параметров упругопластической модели Джонсона-Кука, обеспечивающих максимальное совпадение экспериментального и расчетного профиля скорости свободной поверхности.

При проведении численного моделирования одной из главных задач является выбор моделей материалов и подбор параметров этих материалов, используемых в выбранной модели. Как правило, в качестве характеристик материалов используются справочные данные, которые могут сильно отличаться от характеристик материалов, применяемых непосредственно в конструкции, либо они могут вообще отсутствовать.

В настоящей работе по результатам экспериментов по соударению стальных пластин с замером скорости свободной поверхности определены характеристики данной стали, используемые в моделях материалов программы LS-DYNA.

Характеристики конструкционных материалов, приведенные в справочной литературе, как правило, получены при скоростях деформации $\sim 10^{-4} \text{с}^{-1}$. Однако известно, что при высоких скоростях деформации металлы ведут себя существенно иначе, чем при статических нагрузках [1, 2]. Найти же в литературе значения динамических характеристик конкретного материала для заданных условий нагружения или практически невозможно, или они имеют разрозненный характер и противоречат друг другу.

Для определения динамических характеристик материалов используются методы, основанные на анализе взаимодействия волн сжатия и разрежения, которые можно зафиксировать в эксперименте. Одним из таких способов является анализ профиля скорости свободной поверхности пластины-мишени при соударении ее с пластиной-ударником [3, 4].

Профиль скорости свободной поверхности мишени дает информацию об упругих, пластических и прочностных характеристиках исследуемого материала [4], а также о некоторых параметрах уравнения состояния.

В данной работе исследовались параметры модели материала Джонсона-Кука и уравнения состояния Ми-Грюнайзена, часто используемые при моделировании высокоскоростных взаимодействий конструкций в программе LS-DYNA.

Параметры модели определялись по следующему алгоритму:

1. Проводятся испытания по получению профиля скорости свободной поверхности конкретного материала на нескольких уровнях скоростей соударения.
2. По полученным результатам с использованием характерных точек на профиле скорости свободной поверхности (амплитуда упругого предвестника, временной интервал прихода упругой и пластической волны, наличие откольного импульса и

т.п.) с учетом справочных данных определяется диапазон возможного изменения каждого из параметров.

3. Проводятся расчеты по программе LS-DYNA с последовательным перебором параметров, при этом выходным параметром расчета является профиль скорости свободной поверхности.
4. В заранее выбранных моментах времени определяется разница между экспериментальными и расчетными значениями скорости свободной поверхности для всех вариантов расчета.
5. Определяется набор параметров, обеспечивающий наилучшее совпадение расчетных и экспериментальных данных.

Проанализированы экспериментальные результаты по определению профиля скорости свободной поверхности при соударении двух стальных пластин. Показана возможность подбора параметров упругопластической модели Джонсона-Кука, обеспечивающих максимальное совпадение экспериментального и расчетного профиля скорости свободной поверхности. Расчеты проводились в Лагранжевой постановке и методом SPH программы LS-DYNA.

Литература

1. Орленко Л.П. Поведение материалов при интенсивных динамических нагрузках.- М.: Машиностроение, 1964.- 168с.
2. Райхарт Дж.С. Поведение металлов при импульсных нагрузках.- М.: изд. Иностранной литературы, 1958.- 296с.
3. Канель Г.И. Ударно-волновые явления в конденсированных средах.- М.: Янус-К, 1996.- 408с.
4. Кузькин В.А., Михалюк Д.С. Применение численного моделирования для идентификации параметров модели Джонсона-Кука при высокоскоростном деформировании алюминия// Вычислительная механика сплошных сред.- 2010.- Том 3; №1.- С.32-43.
5. Орленко Л.П. Физика взрыва.- М.: Физматлит, 2002.- Том 1; 832с.
6. Зельдович Я.Б. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений.- М.: 1963.- 632с.
7. Николаевский В.Н. Высокоскоростные ударные явления.- М.: Мир, 1973.- 536с.
8. Johnson G.R., Cook W.H. A constitutive model and data for metal subjected to large strains high strain rate and high temperatures// Proc. Of 7th Symposium of Ballistics.- 1983.- С.541-547.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ЛИНЕАРИЗОВАННЫХ ПРИСОЕДИНЕННЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ВОЛН ДЛЯ ОПИСАНИЯ КАРБИНОВ

Садыков Н.Р., Окулова А.А.

Снежинский физико-технический институт НИЯУ МИФИ

Аннотация

Рассмотрен с использованием структурной информации карбиновых цепочек альтернативный метод описания МАФФИН-ТИН (МТ) потенциалов для описания распространения цилиндрических волн заряженной частицы в карбинах. Подобрана аналитически ортогональная криволинейная система координат в трехмерном пространстве, которая на границе МТ потенциала совпадает с цилиндрической системой координат. Максимальное отклонение от цилиндрической системы координат достигается на поверхности МТ-сфер. По мере удаления от МТ-сфер возмущения адиабатически (непрерывно) уменьшаются и гаснут на границе МТ потенциала. Полученный на основе такого метода оператор возмущения позволяет в частности рассмотреть задачу по определению коэффициента прохождения через карбины, процесса спин-орбитального взаимодействия представлена в карбинах.

ВВЕДЕНИЕ

Периодические неоднородности могут возникать как дефект изготовления и существенно влиять на качество вытягиваемого волокна. Наличие таких периодических неоднородностей приводит к взаимодействию различных мод, в результате чего могут происходить физические потери мощности. Потери оказываются существенными, когда период неоднородностей удовлетворяет условию резонанса (сильная связь) ([1], с.463). В некоторых случаях возникает необходимость увеличить взаимодействие различных мод. В этом случае можно ввести периодические неоднородности. Применительно к ответвителям такая задача была теоретически рассмотрена в [2], где для более полной перекачки мощности в несимметричном ответвителе одна из сердцевин рассматривалась как периодически возмущенная. Имеется большое количество теоретических работ, где рассматривались нерегулярные периодические волноводы. С большим обзором литературы в случае многомодовых световодов можно ознакомиться в [3]. В [4] рассмотрено распространение электромагнитной волны в волноводе с двумя продольными металлическими решетками.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Введем систему координат в пространстве с размерностью три

$$\begin{aligned}x^1 &= (\rho + b(H - \rho) \sin(2\pi z / L)) \cos \varphi, \\x^2 &= (\rho + b(H - \rho) \sin(2\pi z / L)) \sin \varphi, \\x^3 &= z + f(\rho; z).\end{aligned}\tag{П.1}$$

Система координат (П.1) определяет базисные вектор криволинейной системы координат

$$\begin{aligned} \mathbf{e}_1 &= \left\{ (1 - b \sin(2\pi z/L)) \cos \varphi; (1 - b \sin(2\pi z/L)) \sin \varphi; \frac{\partial f(z; \rho)}{\partial \rho} \right\}, \\ \mathbf{e}_2 &= \left\{ -(\rho + b(H - \rho) \sin(2\pi z/L)) \sin \varphi; (\rho + b(H - \rho) \sin(2\pi z/L)) \cos \varphi; 0 \right\}, \\ \mathbf{e}_3 &= \left\{ \left(\frac{2\pi}{L} b(H - \rho) \cos \varphi \cos(2\pi z/L); b(H - \rho) (2\pi/L) \sin \varphi \sin(2\pi z/L); 1 + \frac{\partial f(z; \rho)}{\partial z} \right) \right\}. \end{aligned} \quad (\text{П.2})$$

Из (П.2) с точностью до b^2 метрический тензор $g_{\alpha\beta} = \mathbf{e}_\alpha \mathbf{e}_\beta$ будет иметь вид

$$g_{\alpha\beta} = \begin{pmatrix} h_1^2 & 0 & 0 \\ 0 & h_2^2 & 0 \\ 0 & 0 & h_3^2 \end{pmatrix}, \quad (\text{П.3})$$

где коэффициенты Ламэ

$$\begin{aligned} h_1 &= (1 - b \sin(2\pi z/L))^2 + [\partial f(z, \rho) / \partial \rho]^2, \\ h_2 &= [\rho + b(H - \rho) \sin(2\pi z/L)]^2, \\ h_3 &= (1 + b(2\pi/L)^2 (H\rho - \rho^2/2) \cos(2\pi z/L))^2. \end{aligned} \quad (\text{П.4})$$

При выводе (П.4) учтено, что имеет место соотношение

$$1 + \frac{\partial f(z; \rho)}{\partial z} = (1 + b(2\pi/L)^2 (H\rho - \rho^2/2) \cos(2\pi z/L))^2 + \theta(b^2).$$

Соответственно для контрвариантных компонент метрического тензора $g^{\alpha\beta}$ получаем

$$g^{\alpha\beta} = \begin{pmatrix} 1/h_1^2 & 0 & 0 \\ 0 & 1/h_2^2 & 0 \\ 0 & 0 & 1/h_3^2 \end{pmatrix}. \quad (\text{П.5})$$

Из (П.5) с точностью до b^2 следует

$$\sqrt{g} = \sqrt{\det g_{\alpha\beta}} = (1 - b \sin(2\pi z/L)) \{ \rho + b(H - \rho) \sin(2\pi z/L) \} \left[1 + b(2\pi/L)^2 (H\rho - \frac{\rho^2}{2}) \cos(2\pi z/L) \right]$$

(П5)

Используя известное из курса дифференциальной геометрии выражение для лапласиана Δ , получим:

$$\begin{aligned} \Delta &= 1 / (1 - b \sin(2\pi z/L))^2 \left\{ \frac{\partial^2}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} + \frac{\partial^2}{\rho^2 \partial \varphi^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} - \frac{bH \sin(2\pi z/L)}{\rho_0 \{ \rho + b(H - \rho) \sin(2\pi z/L) \}} \frac{\partial}{\partial \rho} \right\} \\ &\quad - \frac{2b\rho(H - \rho) \sin(2\pi z/L)}{\rho^2 \{ \rho + b(H - \rho) \sin(2\pi z/L) \}^2} \frac{\partial}{\partial \varphi^2} - \frac{2b \sin(2\pi z/L)}{1 - b \sin(2\pi z/L)} \end{aligned}$$

Запишем уравнение Шредингера $\hat{H}\Psi = E\Psi$, $H = -(\hbar^2 / 2m)\Delta + U(r, z) + V(1)$ в криволинейной системе координат (П.1). В криволинейной системе Гамильтониан \hat{H} выражается через невозмущенный Гамильтониан \hat{H}^0 и оператор возмущения \hat{V}

$\hat{H} = H^0 + V$, $\hat{H}^0 = -(\hbar^2 / 2m)\Delta + U(r, z)$, где оператор возмущения \hat{V} пропорциональна b .

Найдем \hat{V} . Для этого распишем (1) $\Delta = \Delta^{(0)} + \delta\Delta$; в криволинейной системе координат.

$$\Delta^{(0)} = 1 / (1 - b \sin(2\pi z / L))^2 \{ \partial^2 / \partial \rho^2 + (1 / \rho) \partial / \partial \rho + \partial^2 / \rho^2 \partial \varphi^2 + \partial / \partial t^2 \}$$

$$\delta\Delta = -b \{ (H / \rho^2) \partial / \partial \rho + 2(H - \rho) / \rho^3 - \partial^2 / \partial \varphi^2 + \alpha(\partial^2 / \partial t^2) \} \sin(2\pi z / L)$$

$$\hat{H} = -(\hbar^2 / 2m)\Delta^0 + U(\rho) + \hat{V}$$

$$\hat{V} = \hbar^2 / 2m \{ (H / \rho^2)(\partial / \partial \rho) + [2(H - \rho) / \rho^3] \partial^2 / \partial \varphi^2 + 2\partial^2 / \partial z^2 \} b \sin(2\pi z / L)$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, при моделировании процесса распространения излучения в случае сильной связи можно использовать параболическое волновое уравнение. В случае несинусоидально возмущенной сердцевины следует ожидать в области слабой связи эффект, аналогичный эффекту сильной связи.

При этом период полной перекачки увеличивается на величину f_n . В реальных световодах периодические неоднородности возникают как результат дефекта изготовления. Обычно период неоднородности лежит в пределах от 1500 до 3000 мкм. Для рассмотренной задачи период неоднородности $L_0 = 531.5 \text{ мкм}$. Это означает, что при $L = 3L_0 = 1594.5 \text{ мкм}$ будет происходить процесс полной перекачки мощности основной моды в мощность второй моды, что в свою очередь, приведет к большим потерям.

Предложенный в работе метод вычисления оператора возмущения $\alpha(x)$ позволяет в принципе извлекать у $\alpha(x)$ также члены порядка b^2 . Рассмотренный метод может быть применен к осесимметричным световодам. Но при этом возникает проблема, связанная с тем, что для более последовательного описания процесса распространения излучения необходимо использовать векторное, а не скалярно волновое уравнение. Кроме того, возникает проблема с внешней границей оболочки, поскольку внешняя граница оболочки также будет периодически возмущенной.

Нетрудно также заметить, что функциональная зависимость оператора возмущения $\alpha(x)$, полученная в этой работе, будет отличаться от $\alpha(x)$, полученного, например, с помощью теории связанных мод. Все это требует дополнительных исследований.

Литература

1. Сеайдер А., Лав. Дж. Теория оптических волноводов. М.: Радио и связь, 1987. 655с.
2. Lie-Pen Yuan//IEEE J.QE.1993.V.29.P.171.
3. Абдуллаев С.С., Заславский Г.М. // УФН.1991.Т.161.В.8.С.1.
4. Белявцева Т.В.//Радиофизика.1978.Т.21.В.2.С.1834.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ СВАРИВАЕМОСТИ ПРИ ЭЛС

Собко С.А.

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск

Рассмотрены примеры применения технологических проб при исследованиях и разработке процессов электронно-лучевой сварки ряда конструкционных материалов. Описаны особенности кольцевых образцов-проб для оценки качества формирования несквозного и сквозного швов; техники предотвращения трещин в перекрытии кольцевого шва соединения деталей из закаливающейся стали; плоских образцов сварных соединений для оценки прочности и пластичности швов при растяжении и изгибе; плоского образца-пробы, с ортогонально выполненными сварными валиками, для оценки фазовых превращений и имитации термической обработки и деформаций.

Для определения технологических свойств, влияющих на поведение металла в процессе его обработки (сварки), широко применяют так называемые технологические пробы [1]. Технологические пробы, наряду с модельными сварными образцами под конкретные конструкции, рассмотренные в данной работе, могут быть рекомендованы и применяться повторно для других конструкций соединений, применяемых материалов, способов и условий сварки.

При разработке технологии электронно-лучевой сварки (ЭЛС) для исследований взаимосвязи параметров режима сварки и характеристик шва и сварного соединения различных конструкций применяют образцы кольцевой формы. Образец имитирует (моделирует) особенности сварки конкретной конструкции с заданной толщиной соединения, с особенностями сварочной оснастки и др. С точки зрения свариваемости такой образец может иметь более широкое предназначение, чем просто для оценки, например, трещиностойкости стали или сплава при данном способе сварки.

Так, для определения предельных (мощностных) физико-энергетических параметров электронного луча установки А306.05 при формировании швов изделий из конструкционных высокопрочных сталей применены кольцевые образцы-пробы с широким интервалом пошаговых значений токов сварки и фокусировки. По результатам измерений характеристик шва (ширины, глубины, формы) в координатах «ток сварки – ток фокусировки» были построены поля контурных линий. Эти данные позволили оценить значения предельной мощности луча, отвечающие как началу плавления (образованию шва теплопроводной формы) конкретного металла, так и образованию шва кинжальной формы.

Кольцевые образцы - пробы были многократно применены при оценке свариваемости ряда сталей и сплавов как с точки зрения образования дефектов, характерных для сварных швов, так и при определении прочностных свойств сварных соединений.

Например, при ЭЛС колец из алюминиевых сплавов оценивали склонность к порообразованию и деформациям сварного соединения, а также к степени перегрева зоны термовлияния. Оценку влияния пористости и режима сварки тонкостенных колец из титана на прочность сварного соединения, а также зависимость прочности от конструкции шва и способа сварки (импульсной, непрерывной) осуществляли по данным изгибных испытаний образцов, вырезанных из этих колец.

Склонность к образованию внутренних, продольных, поперечных трещин изучали на кольцевых образцах - пробах из закаливающих сталей и сплавов. Причем, в одном случае,

свариваемость оценивали в зависимости от толщины и диаметра колец. При этом, параллельно с трещиностойкостью, анализировали влияние размеров колец на степень коробления кольцевых соединений, связанного с автоподогревом при сварке.

Внутренние трещины, обнаруженные при сварке кольцевых соединений из высокопрочной теплостойкой стали в зоне перекрытия шва были идентифицированы как «холодные», как результат вторичного нагрева. Решение проблемы предотвращения этих трещин было достигнуто при сварке с подогревом лучом непосредственно с применением технологических образцов-колец из этого сплава. Вместе с тем, была реализована высокая степень информативности данной технологической пробы. Из колец, в рамках оценки влияния широкого интервала температур и скорости предварительного, сопутствующего и последующего подогрева, а также высокотемпературного отпуска соединений из термоупрочненной стали, вырезали плоские образцы. Эти образцы подвергали механическим испытаниям на растяжение сварного соединения, основного металла и металла шва, микротвердометрии для определения ширины зоны мягкой прослойки, существенным образом влияющей на прочность сварного соединения, микроструктурным и электронно-микроскопическим исследованиям шва и основного металла.

Такой подход позволил разработать универсальный кольцевой образец-пробу для оценки эксплуатационной стойкости сварных швов деталей из конструкционных материалов. Комплексные исследования, проведенные на таких образцах из титана и стали позволили выполнить сравнительную оценку влияния способа сварки, формы шва и эксплуатационного воздействия на прочностные, структурные, фазовые и другие изменения в материале сварного соединения.

Кольцевые технологические образцы с подкладной частью стыковой конструкции (стыко-замковый вариант) для глубокой сварки с кинжальным проплавлением были применены для установления факта выхода кинжального шва на внутреннюю поверхность соединения. Для этого в подкладной части технологического кольца, предназначенного для определения оптимального режима сварки натурной конструкции, выполнялись пазы шириной 2 мм (по 4 паза на кольцо). Это позволило, не ухудшая качества формирования шва с наружной поверхности, контролировать без разрезки кольца гарантированный выход корня шва и защищать, таким образом, факт полного провара стыковой части соединения.

Сварка технологических образцов - колец из высокопрочной нержавеющей стали была применена для оценки качества формирования шва на весу при сквозном проваре замковых соединений. При этом использовали достаточно сложную схему многофакторного, многокритериального эксперимента, по данным которого определяли глубину, ширину, градиент корня шва, формируемого на весу, как функцию трех параметров сварки (тока луча, тока фокусировки, скорости сварки). Кольцевые пробы дали возможность оптимизировать конструкцию замкового соединения кольцевых образцов со сквозным проплавлением.

Аналогичные кольцевые пробы были использованы при сварке стыковых тонкостенных соединений из нержавеющей стали. При их применении были смоделированы условия смещения луча со стыка, деформации стыкуемых кромок, сварки с фиксированным зазором в стыке [2]. Результаты анализа экспериментов с пробами выявили условия образования таких дефектов сварки, как прожоги, несплавления, смещения шва по высоте, отклонения от требуемой геометрии соединений, и легли в обоснование требований к сборке тонкостенных соединений.

Специально разработанный кольцевой образец («аксиальный»), с разнесенными осями внутреннего и наружного диаметра и с переменной толщиной стенки был предназначен для оценки свариваемости любых материалов при сквозном их проплавлении. Для задач электронно-лучевой сварки такой образец очень показателен и информативен, так как реализует, кроме факта выхода корня шва на режим сквозного проплавления, возможность «двухэтажной» сварки. Вместе с тем, образец позволяет определить качество формирования наружной и внутренней поверхности шва кинжального проплавления: степень утопания шва, провисания корня шва, образование утяжин и типичных дефектов ЭЛС (трещин, пор, затворов, пиков проплавления и др.).

Некоторые образцы-пробы были применены непосредственно при отработке новых конструкций сварных соединений. Например, при изучении особенностей сварки в остроугольную разделку. Так, по результатам экспериментов в остроугольную разделку технологических образцов-колец из сплава алюминия были определены интервалы параметров, ответственные за формирование шва особой формы - «клыкообразного».

Также на подобных образцах из нержавеющей стали исследовали и оптимизировали углы разделки, количество проходов и параметры режимов каждого прохода при ЭЛС.

Для оценки локальных термических и деформационных воздействий на любой конструкционный материал применительно к задачам ЭЛС разработана техника применения плоского образца в качестве технологической пробы [3]. Способ заключается в воздействии на плоский образец перпендикулярно наведенных тепловых полей от мощного локально-концентрированного источника, например, наплавка электронно-лучевого валика в направлениях, лежащих в плоскости образца. Техника измерений в данном случае связана с моделированием термо- или деформационных воздействий в узлах виртуальной прямоугольной координатной сетки на плоскостях нагрева или деформирования образцов (метод точечных баз). Способ был осуществлен при исследовании прочностных ресурсов высокопрочных термоупрочняемых сталей (и других материалов). По данным графического анализа контурных линий равной твердости (изосклер) были определены зоны твердения, «мягкой» прослойки, двойной перекристаллизации, вторичного нагрева и подтверждены температуры отпуска структур околосшовной зоны, обеспечивающие оптимальную прочность и пластичность соединения.

На таких же плоских образцах определяли линейные деформационные эффекты от электронно-лучевой наплавки (имитатора сварного шва) с установлением зон сжатия и растяжения металла на границе со швом.

Применительно к сварным конструкциям из титана на базе метода царапания плоского образца (ГОСТ 21318-75) и его последующих механических испытаний растяжением осуществляли оценку деформационной стойкости сварных соединений. Метод позволил в 3d - координатах рассчитать поперечные и продольные деформации в плоскости сварного соединения. Анализ неоднородности деформационных картин, как в каждом заданном цикле деформации, так и суммарно, нарастающим итогом, показал сложный характер распределения зон активной деформации как вдоль, так и поперек плоскости образца. В совокупности с результатами стандартных механических испытаний такая информация дает основания для прогнозирования возможных зон разрушения неоднородных сварных соединений и подтверждения достаточной прочности сварного шва.

Технологические пробы являются одним из наиболее эффективных инструментов оценки качества, характеристик и свойств сварного соединения при исследованиях и разработке технологических процессов изготовления неразъемных конструкций.

Литература

1. Макаров Э.Л. Холодные трещины при сварке легированных сталей. - М.: Машиностроение, 1981.– 247 с.
2. Исследования по разработке технологии ЭЛС особотонкостенных стыковых соединений из стали 12Х18Н10Т. В.А. Куликов, С.А. Собко, А.Е. Хуповец. Сборник трудов ОНТК «Достижения в области сварки, пайки и смежных технологий» – Снежинск, 2008. – С.18.
3. Авторское свидетельство SU 1147540. Способ подбора оптимальных режимов сварки. / Собко С.А. Б.И. №12 от 30.03.1985.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ОБРАБОТКИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ ЗА СЧЕТ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

Чубаев А. Н., Орлова¹ Н.Ю.

*ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск,
Снежинский физико-технический институт НИЯУ МИФИ, аспирант
¹Снежинский физико-технический институт НИЯУ МИФИ*

Одной из основных тенденций российского машиностроения является увеличение доли титановых сплавов при производстве изделий. Титан обладает превосходным набором свойств, которые делают материал идеальным для производства силовых конструкций авиа- и ракетостроения и других отраслей промышленности: высокая прочность при относительной легкости, повышенная прочность при высоких температурах, стойкость к коррозии и тепловая стабильность. Однако стоит помнить, что обработка титановых сплавов – процесс весьма трудоемкий. Это обусловлено тем, что производителю в большинстве случаев необходимо, как повышение стойкости и ресурса инструмента с одной стороны, так и увеличение скорости обработки с другой.

Анализируя данные требования, рассмотрен новый метод повышения эффективности обработки титановых сплавов за счет сочетания высоких скоростей резания с предварительным охлаждением обрабатываемой поверхности. Для более подробного изучения предложенного метода обработки его следует разбить на ряд составляющих подсистем, это необходимо для более полного изучения процессов, происходящих в каждом элементе системы «резец – деталь – стружка». Подсистема №1 представляет собой исследование тепловых процессов при высокоскоростной обработке (ВСО) с предварительным охлаждением заготовки. Подсистема №2 – это исследование тепловых процессов при ВСО с предварительным охлаждением инструмента. Подсистема №3 включает в себе исследование тепловых процессов при ВСО с интенсивным охлаждением зоны резания с использованием жидкого азота в качестве одного из компонентов СОТС.

Ожидаемый положительный эффект от сочетания высокоскоростной обработки и низкотемпературного резания:

1. Увеличение производительности;
2. Возможность обработки тонкостенных изделий;
3. Снижение сил резания (эффект низкотемпературного охрупчивания);
4. Экологическая безопасность (не требует утилизации СОТС);
5. Снижение тепловой нагрузки инструмент;
6. Повышение износостойкости инструмента.

Литература

1. Абковиц С., Бурке Дж., Хильц Р. Титан в промышленности. М.: ОБОРОНГИЗ, 1957. 146 с.
2. Насад Т.Г. Высокоскоростная обработка труднообрабатываемых материалов / Т.Г. Насад, И.Е. Кирюшин, Д.Е. Кирюшин. Саратов: СГТУ, 2009. 148 с.
3. Кривонос Е.А. Криогенная обработка твердосплавных режущих инструментов / Е.А. Кривонос, В.Г. Солоненко // Вестник ДГТУ. 2007. Т. 7. № 2. С. 200-203.
4. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов / А.Н. Резников. М.: Машиностроение, 1982. 279 с.

ОПИСАНИЕ ДЕФЕКТОВ С УКАЗАНИЕМ И АНАЛИЗОМ ПРИЧИН ИХ ПОЯВЛЕНИЯ НА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТАХ ИЗ ФОЛЬГИРОВАННОГО СТЕКЛОТЕКСТОЛИТА

Шульгин А.Н., Орлов¹ А.А.

ОАО «Радий», Касли,

¹Снежинский физико-технический институт НИЯУ МИФИ

Дано общее описание существующих технологий и методик изготовления печатных плат, их характеристики и указаны достоинства и недостатки каждого из методов, раскрыта последовательность основных технологических операций. Наиболее подробно раскрыты технологические процессы изготовления комбинированным позитивным способом как наиболее распространенным и перспективным. Рассмотрены необходимые базовые материалы для изготовления печатных узлов при конструировании радиоэлектронной аппаратуры, устройств промышленной автоматики и особенности их обработки, а также необходимое оборудование и технологическая оснастка для выполнения полного цикла технологического процесса. Кроме того, приведено наиболее полное описание дефектов с указанием и анализом причин их появления на печатных платах из фольгированного стеклотекстолита.

Автоматизация производственных процессов является одной из главных задач современных предприятий. В производстве изделий машиностроения, приборостроения, средств вычислительной техники и бытовой радиоэлектронной аппаратуры широко применяются печатные платы как средство, обеспечивающее автоматизацию монтажно-сборочных операций, снижение габаритных размеров аппаратуры, металлоемкости и повышение ряда конструктивных и эксплуатационных качеств изделий.

Печатная плата представляет собой плоское изоляционное основание, на одной или обеих сторонах которого расположены токопроводящие полоски металла (проводники) в соответствии с электрической схемой. Печатные платы служат для монтажа на них электрорадиоэлементов (далее ЭРЭ) с помощью полуавтоматических и автоматических установок с последующей одновременной пайкой всех ЭРЭ погружением в расплавленный припой или на волне жидкого припоя ПОС-63. Отверстия на плате, в которые вставляются выводы ЭРЭ при монтаже, называют монтажными. Металлизированные отверстия, служащие для соединения проводников, расположенных на обеих сторонах платы, называют переходными. Основным материалом для изготовления печатных плат служит фольгированный стеклотекстолит.

Кроме электрических характеристик, платы должны отвечать достаточно широкому набору конструктивно-технологических характеристик: обеспечивать достаточную прочность и жесткость сборочному узлу на их основе, не подвергаться расслоению и короблению во время технологической обработки и эксплуатации, обеспечивая в то же время легкость при механической обработке во время изготовления платы.

Методы изготовления ПП разделяют на две группы: субтрактивные и аддитивные (Рисунок 1).

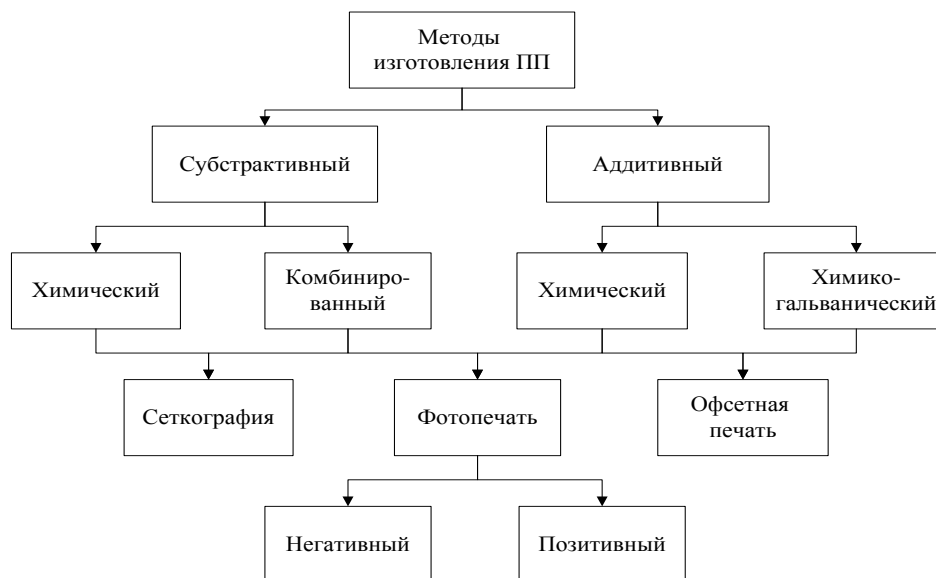


Рисунок 1

В субтрактивных методах (от англ. subtraction - отнимание) в качестве основания для печатного монтажа используют фольгированные диэлектрики, на которых формируется проводящий рисунок путем удаления фольги с непроводящих участков. Аддитивные (от англ. addition - прибавление) методы основаны на избирательном осаждении токопроводящего покрытия на диэлектрическое основание, на которое предварительно может наноситься слой клеевой композиции. Дополнительная химико-гальваническая металлизация монтажных отверстий привела к созданию комбинированных методов изготовления ПП.

По сравнению с субтрактивными методами аддитивные обладают следующими преимуществами: однородностью структуры и равномерностью металлизации (т.к. проводники и металлизация отверстий получаются в едином химико-гальваническом процессе), отсутствием подтравов элементов и увеличением плотности печатного монтажа, упрощением технологического процесса из-за устранения ряда операций (нанесения защитного покрытия, травления), экономией меди и химикатов для травления (в т.ч. затрат на нейтрализацию сточных вод).

Несмотря на описанные преимущества, применение аддитивного метода в массовом производстве изготовления печатных плат ограничено низкой производительностью процесса химической металлизации, интенсивным воздействием электролитов на диэлектрик, трудностью получения металлических покрытий с хорошей адгезией. Доминирующей в этих условиях является субтрактивная технология, особенно с переходом на фольгированные диэлектрики с тонкомерной фольгой (5 и 18 мкм).

Остановимся более подробно на субтрактивных методах. Применяются три разновидности субтрактивной технологии.

1. Негативный процесс с использованием фоторезиста (Рисунок 2). Процесс применяется при изготовлении односторонних и двухсторонних печатных плат. Металлизация внутренних стенок отверстий не выполняется. Заготовка – фольгированный диэлектрик. Методами фотолитографии с помощью фоторезиста на поверхности фольги формируется защитная маска, представляющая собой изображение (рисунок) проводников. Затем открытые участки медной фольги подвергаются травлению, после чего фоторезист удаляется.



Рисунок 2

2. Позитивный процесс (Рисунок 3). Создается проводящий рисунок двухсторонних слоев с межслойными металлизированными отверстиями.

Фоторезист наносится на заготовки фольгированного диэлектрика, прошедшие операции сверления отверстий и предварительной (5-7 мкм) металлизации медью стенок отверстий и всей поверхности фольги. В процессе фотолитографии фоторезиста защитный рельеф получают на местах поверхности металлизированной фольги, подлежащей последующему удалению травлением. На участки, не защищенные фоторезистом, последовательно осаждаются медь и металлорезист (сплав ПОС), в том числе и на поверхность стенок отверстий. После удаления маски незащищенные (более тонкие) слои меди вытравливаются. Процесс более сложный, однако, с его помощью удается получить металлизированные стенки отверстий.



Рисунок 3

3. Тентинг-метод. По аналогии с позитивным процессом, за основу берется заготовка в виде фольгированного диэлектрика, формируются отверстия, проводится предварительная

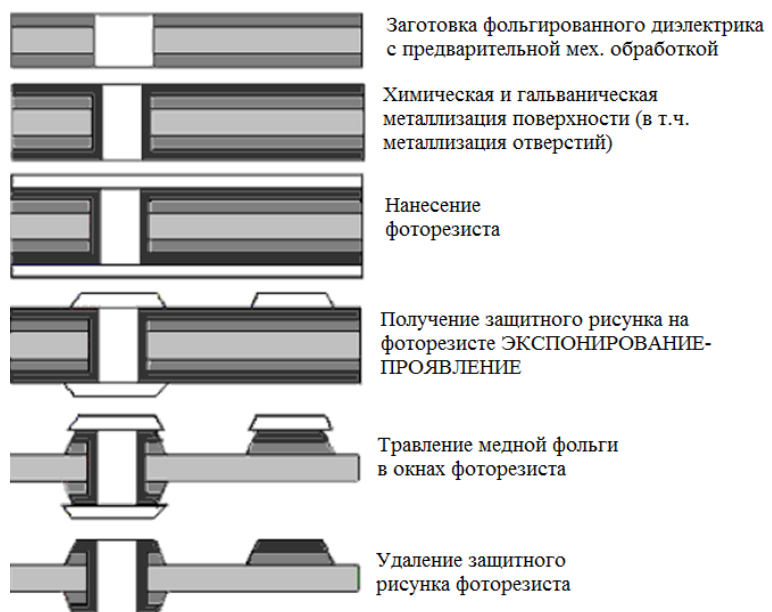


Рисунок 4

металлизация всей платы, включая внутренние стенки от-верстий. Затем наносится фоторезист, который формирует маску во время фотолитографии в виде рисунка печатных проводников и образует завески – тенты над металлизированными отверстиями, защищая их во время последующей операции травления свободных участков медной фольги. В этом процессе используются свойства пленочного фоторезиста насла-иваться на сверленные подложки без попадания в отверстия и образовывать защитные слои над металлизированными отверстиями. Применение тентинг-метода упрощает технологический процесс изготовления двусторонних ПП с металлизированными отверстиями. Однако необходимо обеспечить гарантированное перекрытие отверстий фоторезистом. Кроме того, качество поверхности металла вокруг отверстий должно быть очень хорошим, без заусениц медной фольги. Схема тентинг-метода представлена на Рисунке 4.

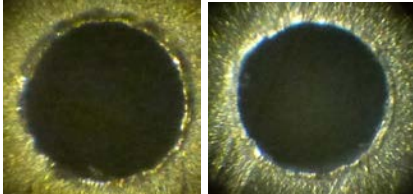
Субтрактивный метод получения рисунка проводников ПП основан на травлении медной фольги по защитной маске. Из-за процессов бокового подтравливания меди под краями маски поперечное сечение проводников имеет форму трапеции, расположенной большим основанием на поверхности диэлектрика.

Наиболее широко на производстве распространен базовый позитивный метод изготовления печатных плат. Однако, данная методика накладывает ограничения на класс точности изготовления платы. В Таблице 1 приведены основные дефекты печатных плат, изготавливаемых базовым позитивным методом и раскрыты причины их появления.

Таблица 1

Описание дефекта	Причины появления	Вид дефекта
Протравы медной фольги.	1. Наличие остатков фоторезиста, не убранных после операции «Проявление». 2. Наличие механических царапин на поверхности защитного покрытия олово-свинец.	
Подгары проводящего рисунка.	1. Завышена плотность тока на операции «Гальваническое меднение», приведшее к образованию грубо-кристаллической структуры покрытия.	
Нарушение металлизации в отверстиях.	1. Плохая подготовка поверхности отверстий: 1.1. операции обезжиривания и подтравливания; 1.2. некачественное проведение операции палладирования. 2. Непрокрытие отверстий защитным покрытием олово-свинец.	
Плохая межслойная адгезия медного покрытия.	1. Некачественная зачистка слоя химически осажденной меди. 2. Плохая подготовка поверхности меди перед операцией «Наращивание гальванической меди». 3. Наличие остатков фоторезиста, не убранных после операции «Проявление».	
Смещение центров отверстий относительно контактных площадок при сверлении.	1. Сбой станка с ЧПУ. 2. Некачественно подготовлен позитив (смещение базовых отверстий) или усадка позитива.	

<p>Плохая адгезия фоторезиста к заготовке печатной платы.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Некачественная подготовка поверхности меди перед нанесением фоторезиста. 2. Нарушение режимов нанесения фоторезиста в процессе ламинирования (зазор между валами). 3. Наличие посторонних загрязнений поверхности заготовки. 4. Использование некачественного фоторезиста (наличие пятен, посветлений, посторонних включений). 	
<p>Наличие замыкающих перемычек</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Механическое повреждение фоторезиста на операции «Проявление». 2. Использование некачественного фоторезиста (наличие пятен, посветлений, посторонних включений). 3. Механическое повреждение фоторезиста на подготовительных операциях перед операцией «Наращивание гальванической меди». 4. Механическое повреждение позитива (риски, царапины). 	
<p>Излишки припоя ПОС-63, неубранного в процессе лужения.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Некорректная работа установки горячего лужения. 	
<p>Наличие маски на контактных площадках.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Нарушение системы базирования позитива относительно печатной платы. 	
<p>«Подгары» диэлектрического основания.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Превышение температуры при операции «Термодублирование паяльной маски». 	
<p>Механическое повреждение защитной паяльной маски</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Превышение толщины слоя припоя ПОС-63 (более 0,2 мм). 	
<p>Наличие непротравленных участков медной фольги.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Нарушение режимов установки травления/рабочих растворов. 	
<p>Некачественное сверление</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Использование неправильно заточенного или не заточенного сверла. 2. Поломка сверла в процессе сверления. 	
<p>Отслоение/нарушение паяльной маски от основания платы.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Использование некачественной паяльной маски. 	

Наличие остатков паяльной маски/ фоторезиста в отверстиях печатной платы после операции проявления.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Низкая температура проявления раствора. 2. Завышенная скорость конвейера установки проявления. 3. Загрязнение форсунок модуля проявления. 	
Наличие заусенцев в отверстиях печатной платы более 3 мкм.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Выбор неправильных режимов сверления (подача, скорость вращения шпинделя). 2. Работа тупым инструментом. 3. Отсутствие технологических подкладок на входе и выходе заготовки. 	

Разнообразие методов изготовления печатных плат ставит нас перед необходимостью выбора схемы процесса с целью воспроизведения рисунка заданного класса точности. Выбор методики изготовления необходимо производить, исходя из одного из критериев: точности воспроизведения рисунка и зазора между проводниками. Аддитивные процессы при наличии соответствующей производственной базы позволяют получать печатные платы по самым высоким классам точности. Однако применение аддитивного метода в массовом производстве ограничено низкой производительностью процесса химической металлизации, интенсивным воздействием электролитов на диэлектрик, трудностью получения металлических покрытий с хорошей адгезией. Негативный субтрактивный процесс применяется при изготовлении односторонних и двухсторонних печатных плат без металлизации отверстий. Для тентинг-метода необходимо использовать толстопленочные фоторезисты (порядка 50мкм), чтобы после проявления они смогли выдержать напор струй травящих растворов. Кроме того, методика имеет низкую трассировочную способность за счет увеличенного размера контактных площадок под отверстия с целью надежного перекрытия отверстий фоторезистом. При использовании данной методики максимальная воспроизводимость рисунка проводник/зазор составляет 0,14/0,14 мм. (в лучшем случае III класс точности). Позитивный субтрактивный метод позволяет воспроизводить более тонкие проводники за счет меньшей толщины вытравливаемого металла. При использовании данной методики максимальная воспроизводимость рисунка проводник/зазор составляет 0,075/0,075 мм (IV класс точности). Однако, при использовании любой из методик необходимо соблюдать требования технологического процесса для исключения возможных дефектов при изготовлении печатных плат.

Литература

1. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры: Учебник для вузов. – М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 528 с.
2. Механическая обработка печатных плат. Махмудов М. – М.: Радио и связь, 1986.-72с.
3. Прецизионные печатные платы/Конструирование и производство. Лунд П. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 360с.
4. Проектирование и технология печатных плат/Пирогова Е.В.: Учебник. – М.: Форум: ИНФРА-М, 2005 – 560с.
5. Справочник по печатным схемам/Под ред. Файзулаева Б.Н., Квасницкого – М.: Советское радио, 1972 – 693с.
6. Технология и организация производства радиоэлектронной аппаратуры/Тупик В.А.: Учеб. пособие. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2004 –144 с.

7. Технология изготовления печатных плат/Ильин В. А. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1984.— 77с.
8. Технология приборостроения: Учебник / Под общей редакцией проф. И.П.Бушминского. – М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана.
9. ОСТ 107.460092.004.01-86. Платы печатные. Типовые технологические процессы. М.: Изд-во стандартов, 1987. – 297с.
10. ОСТ4.054.060-82. Платы печатные. Типовые технологические процессы. М. : Изд-во стандартов, 1983. – 179с.
11. Материалы X международной конференции «Основные направления развития технологий оборудования и материалов для производства печатных плат», 27-29 мая 2012, г. С-Петербург.
12. Материалы с семинара по производству печатных плат «Конструирование и производство печатных плат высокой плотности компоновки», 11-13 декабря 2013, г. Екатеринбург.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ НА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТАХ ПУТЕМ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ ФАКТОРОВ И РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ С УЧЕТОМ ДИНАМИКИ ПРОЦЕССА СВЕРЛЕНИЯ

Шульгин А.Н., Орлов¹ А.А.

ОАО «Радий», Касли,

¹Снежинский физико-технический институт НИЯУ МИФИ

Дано описание фольгированного стеклотекстолита, как базового материала для изготовления печатных плат, обеспечивающих автоматизацию монтажно-сборочных операций и повышение ряда конструктивных и эксплуатационных качеств изделий. Приведены основные характеристики композиционного материала, раскрыты особенности его механической обработки и возникающие в связи с этим трудности, распространенные ошибки, которые могут привести к массовому браку при изготовлении печатных узлов на производстве. Показаны основные факторы, влияющие на качество и производительность при сверлении плат с высокой плотностью рисунка. Приведена методика выбора грамотных режимов резания (глубины резания, подачи и скорости резания), от которых зависит производительность труда, качество, стойкость режущего инструмента и стоимость изготовления печатных плат. Сформулированы необходимые выводы.

Печатные платы являются основным средством соединения элементов в аппаратуре и находят применение во всех классах РЭА: от мобильной, переносной аппаратуры бытового назначения до сложных вычислительных систем и комплексов управления. При изготовлении печатных плат в зависимости от их конструктивных особенностей и масштабов производства применяются различные варианты технологических процессов, в которых используются многочисленные химико-технологические операции и операции механической обработки.

Применение интегральных микросхем и микросборок, стремление к миниатюризации и все большей интеграции в сборке приводит к повышению плотности проводящего рисунка печатного монтажа и, как следствие, к уменьшению диаметров отверстий и увеличению их количества на плате.

Стеклотекстолит представляет собой листовой композиционный слоистый пластик, изготовленный на основе стеклянной ткани и полимерного связующего и предназначен для использования в качестве конструкционного, электроизоляционного или подделочного материала в электротехнике и радиотехнике, машиностроении, самолетостроении, судостроении и других отраслях. Стеклотекстолит обладает достаточно высокой механической прочностью, стойкостью к воздействию химических веществ, отличными диэлектрическими характеристиками и стойкостью к истиранию. Материал поддается любым видам механической обработки, однако при этом часто возникают определенные трудности.

Основными факторами, влияющими на качество и производительность при сверлении плат с высокой плотностью рисунка, являются:

1. Использование принудительной вытяжной системы;
2. Использование прижимного устройства при сверлении заготовок;
3. Использование верхних и нижних прокладок при обработке пакета;
4. Использование качественных базовых материалов при изготовлении печатных узлов;
5. Использование грамотно подобранных режимов резания;
6. Использование режущего инструмента с наиболее оптимальным конструктивом.

Рассмотрим данные факторы в комплексе и более подробно.

Вытяжная система – необходимый комплекс мер для удаления отработанного воздуха и продуктов резания из зоны обработки. Она удаляет стружку и уменьшает количество тепла в зоне резания, влияет на формирование качественной стенки обрабатываемого отверстия, исключает потенциально возможную поломку сверла, в том числе, вследствие его ухода, исключает расслоение базового материала и наличие заусенцев на входе и выходе сверла.

На Рисунке 1 приведен пример централизованной принудительной вытяжной вентиляции.

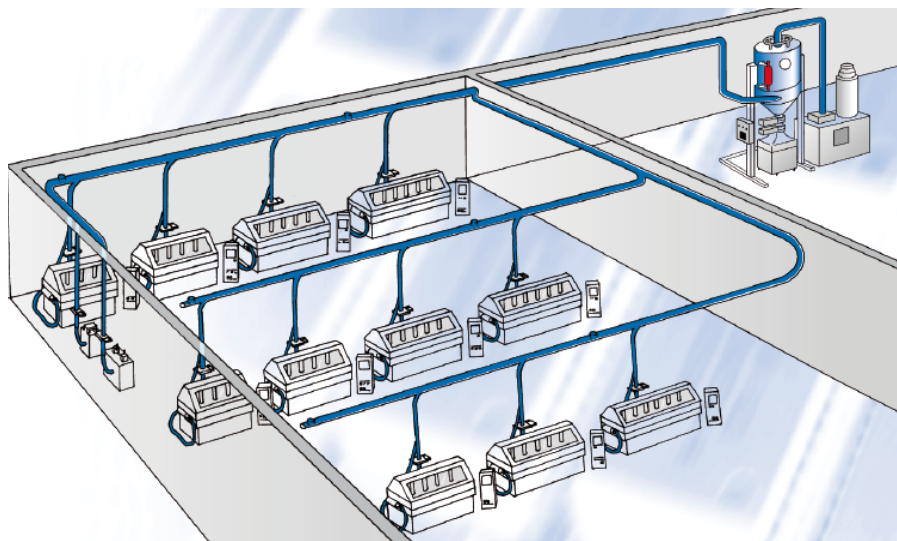


Рисунок 1

Основными требованиями, предъявляемыми к вытяжной системе, является создание на прижимном устройстве постоянного усилия не менее 40 мбар, как показано на Рисунке 2. В противном случае, это негативно влияет на удаление стружки, уменьшение тепла в зоне резания, качество стенок обрабатываемого отверстия, ведет к потенциальному уходу сверла и его возможной поломке, расслоению базового материала, наличию заусенцев. Основным назначением прижимного устройства на Рисунке 3 является прижим и удержание пакета, защита верхней прокладки, а также помощь вытяжной системе и центровке сверла.



Рисунок 2



Рисунок 3

Необходимым условием для качественной обработки заготовок из стеклотекстолита является использование верхних и нижних подкладок при обработке заготовок пакетом. Основные функции и назначение верхних прокладок заключаются в защите поверхности заготовки, уменьшении ухода сверла, уменьшении заусенцев на входе, очистке канавки в зоне резания. Материалы верхних прокладок следует подбирать именно по этим критериям. В этом смысле, достаточно хорошо себя зарекомендовал алюминий толщиной 0,18 – 0,24 мм. Основные функции и назначение нижних прокладок заключаются в защите стола станка, уменьшении заусенцев на выходе и уменьшении износа инструмента. Чаще всего в качестве нижних подкладок используют прокладки толщиной 2,0 – 2,4 мм, изготовленные из древесины с покрытием, а также гетинакс толщиной до 1,5 мм.

Использование качественных базовых материалов для производства печатных плат является одним из основных критериев надежной работы конечного узла. Плотная укладка волокон создает условия для появления трещин и, как следствие, дополнительной концентрации напряжений. При прохождении инструментом слоя стеклоткани сверло вначале давит, затем разрывает нити и, наконец, размельчает стекловолокно, при этом в значительной степени вызывая из-за наличия повышенной концентрации напряжений такие дефекты, как расслоение и растрескивание диэлектрика. При выходе сверла из материала платы давление инструмента через стеклоткань передается на контактные площадки, вызывая «разломачивание» диэлектрика, вспучивание, отслоение фольги и образование заусенцев. После обработки отверстий и химико-гальванической обработки происходит значительное проникновение влаги в плату, что приводит к снижению прочности материала и ухудшению диэлектрических свойств. Кроме того, повышенное содержание стекловолокна резко увеличивает износ режущего инструмента. На производстве наиболее распространёнными материалами для изготовления двухсторонних и многослойных печатных плат, а так же для производства односторонних печатных плат с повышенными требованиями к механической прочности является фольгированный стеклотекстолит марки FR-4 разных фирм и производителей. Реже используется стеклотекстолит марки СФ для изготовления деталей общетехнического назначения. Стеклотекстолит превосходит текстолит по механическим свойствам, теплостойкости, стойкости к действию агрессивных сред и практически не ухудшает своих свойств при эксплуатации на воздухе в течении 20 лет и более.

От выбора оптимальных режимов резания (глубины резания, подачи и скорости резания) зависит производительность труда, качество, стойкость режущего инструмента и стоимость изготовления печатных плат. Поэтому для каждого диаметра отверстия нужно рассчитать свои оптимальные параметры и режимы.

Расчет режимов резания производится по формулам:

$$V_s = \frac{n \cdot D_{св} \cdot \pi}{1000} \quad f = \frac{F \cdot 1000}{n}, \text{ где:}$$

V_s - скорость резания [м/мин]

F - поперечная подача [мм/мин]

f - подача/оборот [мм/об.]

n - число оборотов шпинделя [об/мин]

D - диаметр обрабатываемого отверстия [мм]

$\pi = 3,14$

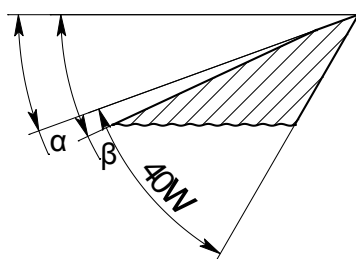
Геометрия сверла оказывает большое влияние на его стойкость и качество обрабатываемых деталей: улучшение качества стенок отверстий; уменьшение заусенцев на входе и выходе инструмента; уменьшение ухода и поломок сверл; улучшение эксплуатационных свойств, количества переточек и срока жизни сверл.

Основные дефекты сверления вследствие использования сверл с искаженной геометрией, неправильной заточкой и затупленных сверл сведены в Таблицу 1.

Таблица 1

Вид дефекта	Причины
Большие заусенцы фольги на выходе сверла (более 40 мкм)	Затупленное сверло Искаженная геометрия сверла
Отслоение фольги от диэлектрика	Затупленное сверло
Ореолы (посветления) диэлектрика	Искаженная геометрия сверла Неправильно заточенное сверло
Поломка сверла	Несоответствие геометрии сверла требованиям стандарта

На рисунке 4 представлена геометрия заточки зарубежных сверл. Главный задний угол $\sim 20^\circ$; вспомогательный задний угол $\sim 25^\circ$; угол при вершине $\sim 110^\circ$. Наиболее оптимальный угол наклона винтовой линии 40° . Правильный угол наклона винтовой линии сверла облегчает выход стружки, обеспечивает отсутствие ореолов и осветлений диэлектрика, предотвращает поломку сверла.



Спиральное сверло в сечении:

α - главный задний угол;

β - вспомогательный задний угол.

40° - угол наклона винтовой канавки

Рисунок 4

Таким образом, при изготовлении печатных плат для повышения качества и производительности обработки отверстий необходимо учитывать целый комплекс факторов и режимов резания. Это требует тщательного анализа и детальной проработки, а также проведения целого ряда тестов и ОКР-овских работ. Проведение подобных работ и исследований позволит усовершенствовать технологию изготовления и типовые технологические процессы в области производства печатных плат, как достаточно сложного процесса, включающего большое число самых разнообразных видов обработки.

Литература

1. Механическая обработка печатных плат. Махмудов М. – М.: Радио и связь, 1986.-72с.
2. Прецизионные печатные платы/Конструирование и производство. Лунд П. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 360с.
3. Проектирование и технология печатных плат/Пирогова Е.В.: Учебник. – М.: Форум: ИНФРА-М, 2005 – 560с.
4. Справочник по печатным схемам/Под ред. Файзулаева Б.Н., Квасницкого – М.: Советское радио, 1972 – 693с.
5. Технология изготовления печатных плат/Ильин В. А. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1984.— 77с.
5. ОСТ 107.460092.004.01-86. Платы печатные. Типовые технологические процессы. М. : Изд-во стандартов, 1987. – 297с.
6. ОСТ4.054.060-82. Платы печатные. Типовые технологические процессы. М. : Изд-во стандартов, 1983. – 179с.
7. Материалы X международной конференции «Основные направления развития технологий оборудования и материалов для производства печатных плат», 27-29 мая 2012, г. С-Петербург.
8. Материалы с семинара по производству печатных плат «Конструирование и производство печатных плат высокой плотности компоновки», 11-13 декабря 2013, г. Екатеринбург.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОАНАЛИТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ДЛЯ РЕШЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ВОПРОСОВ ВЗРЫВОПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Абдулвагидов Р.Э., Старовойтов Н.П.

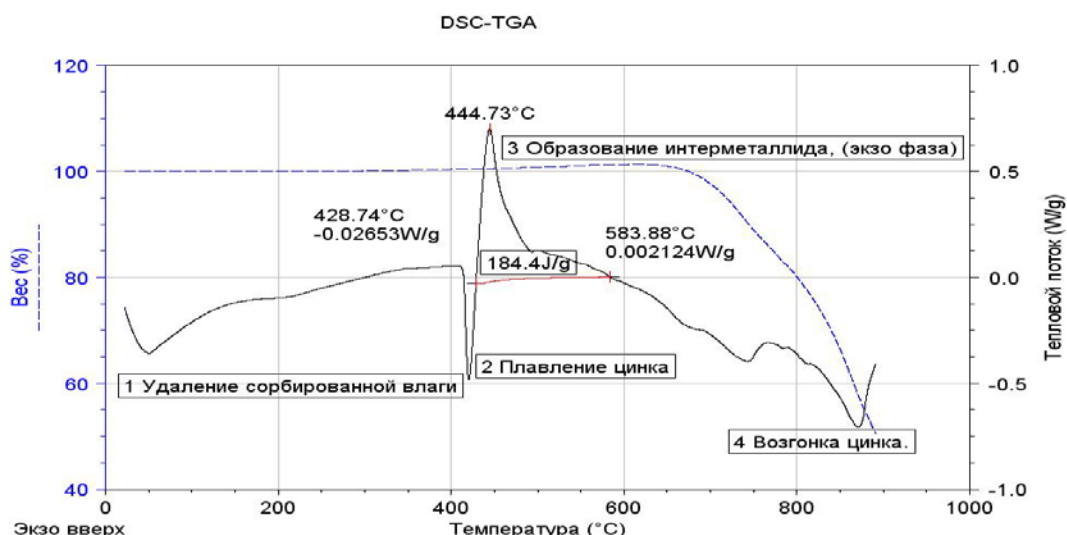
ФГУП «ПО «Маяк», Озерск

В данной работе рассмотрены вопросы применения термоаналитических методов исследования для обеспечения взрывобезопасности технологических процессов. Для изучения кинетики и динамики термических процессов в лабораторных условиях сотрудниками ЦЗЛ был использован термоанализатор SDT Q600, который позволяет одновременно проводить ТГА (термогравиметрический) анализ и ДСК (дифференциально сканирующий калориметрический) анализ. Совмещение этих методов позволяет уточнить экзотермические и эндотермические процессы, не сопровождающиеся изменением массы исследуемого образца (плавление, кристаллизация) от процессов, которые вызывают изменение массы (разложение, окисление).

В данной работе представлены результаты термоаналитических исследований следующих технологических процессов:

- сплавление церия с цинком в атмосфере аргона при постепенном нагреве до 900 °С;
- разложение полиураната аммония (ПУА) до окиси-закиси с выделением аммиака, при нагреве со скоростью 25 °С/мин до 750 °С.

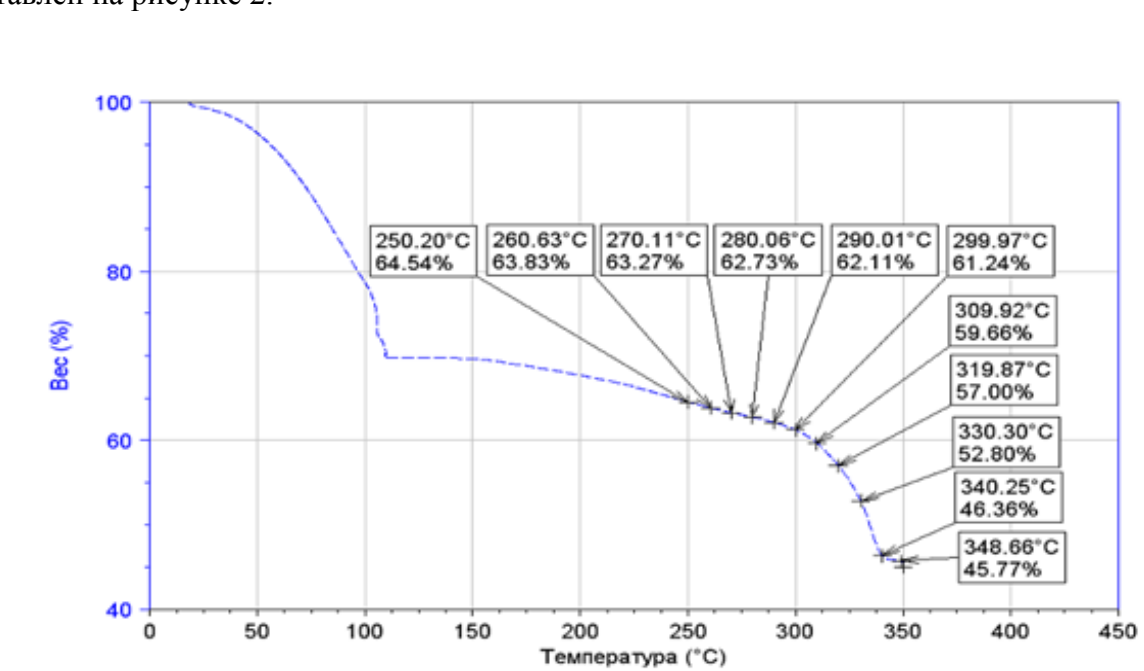
В процессе сплавления церия с цинком было зафиксировано значительное выделение энергии, которое произошло в момент плавления цинка. Был вычислен удельный тепловой эффект процесса проходящего в данных условиях. Результат анализа представлен на рисунке 1.



Р и с у н о к 1 - Кривые калориметрического и термогравиметрического анализов процесса сплавления Ce с Zn.

При изучении процесса разложения ПУА было установлено, что наиболее интенсивно данный процесс проходит в интервале температур 250 – 350 °С. В данном температурном интервале ПУА разлагается, главным образом, с образованием воды и аммиака. Скорость

разложения не равномерна и достигает своего максимума при температурах 330 – 340 °С. Следовательно, максимальная скорость выделения аммиака достигается при этих температурах. Результат исследования процесса разложения ПУА при нагреве до 350 °С представлен на рисунке 2.



Р и с у н о к 2 – Термогравиметрическая кривая процесса разложения ПУА при нагреве до 350 °С со скоростью 25 °С/мин.

Расчетная скорость выделения аммиака в интервале температур 310 – 340 °С на массу исходного продукта, при скорости нагрева 25 °С/ мин составила для 310 °С - 0,511 м³/ч, 320 °С - 0,379 м³/ч, 330 °С - 0,599 м³/ч, 340 °С - 0,918 м³/ч. Это на порядок и более превышает скорости выделения аммиака в других диапазонах температур.

Результаты исследований:

- был исследован процесс сплавления церия с цинком в атмосфере аргона при постепенном нагреве до 900 °С и вычислен удельный тепловой эффект;
- ввиду того, что при температурах 300 - 350 °С в данном процессе происходит залповое выделение аммиака, предложены решения по обеспечению взрывобезопасности процесса прокаливания полиурната аммония.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКТИВНОСТИ ГАММА-ИЗЛУЧАЮЩИХ РАДИОНУКЛИДОВ В ХРАНИЛИЩЕ ТРО С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ ISOCS

Антипин А.В., Ефремова А.А., Семенов М.А., Антушевский А.С., Левунин С.Л.

ФГУП «ПО «Маяк», Озерск

В работе представлены результаты определения активности гамма-излучающих радионуклидов в хранилище твердых радиоактивных отходов (ТРО) радиоизотопного производства ФГУП «ПО «Маяк» с использованием гамма-спектрометрической системы ISOCS. Приведены учетные данные по активности, радионуклидному составу и степени заполнения хранилища, полученные на основании предварительных экспериментальных исследований. На их основе в программе ISOCS были построены три модели расчета активности ТРО. Полученные результаты удовлетворительно согласуются с учетными данными.

В связи с вводом в действие закона № 190 – ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами...» и созданием Единой государственной системы обращения с радиоактивными отходами (ЕГС РАО) на предприятиях Росатома проводится первичная инвентаризация РАО. В рамках этой программы на ФГУП «ПО «Маяк» были проведены работы по оценке объемов и активности РАО в капитальном хранилище ТРО, расположенном на площадке завода радиоизотопного производства.

Хранилище ТРО представляет собой железобетонное здание объемом 947 м³, построенное в 1962 году. Внутренняя планировка здания включает в себя группу отдельных отсеков с ячейками, схема расположения которых представлена на рисунке 1. Верхнее перекрытие представляет собой железобетонную плиту толщиной 800 мм. Каждая ячейка имеет защитную пробку из бетона диаметром 860 мм и толщиной 800 мм.

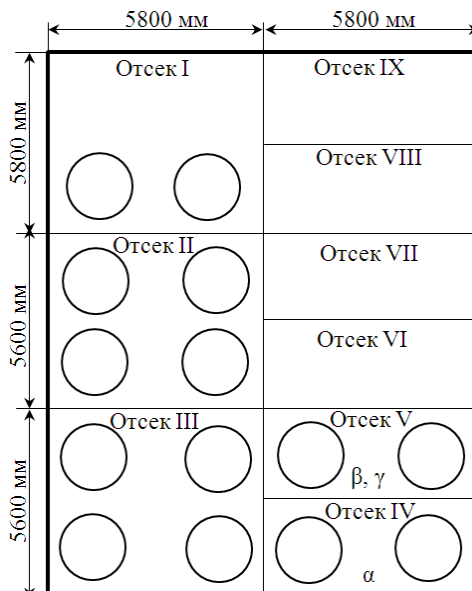


Рисунок 1 - Картограмма отсеков хранилища

ТРО хранилища представлены, прежде всего, радионуклидными источниками и конструкционными элементами технологического оборудования, которые складываются в неупакованном виде (навалом). До 2000 года сведения об отходах, загруженных в отсеки хранилища, отсутствуют. В 1999-2000 годах были проведены работы по оценке

фактического заполнения ячеек и активности ТРО. Полученные результаты в дальнейшем были приняты за основу учетных данных по загрузке ТРО. Начиная с 2000 года, к этим данным прибавляются ежегодные учетные данные, согласно которым оценочный объем загруженных ТРО до 2000 года составляет 154 м^3 активностью $1,58 \cdot 10^{15}$ Бк, на начало 2013 года – 228 м^3 общей активностью $7,9 \cdot 10^{15}$ Бк. Насыпная плотность ТРО составляет около $0,34 \text{ г/см}^3$. На рисунке 2 представлена гистограмма фактического заполнения ячеек хранилища ТРО.

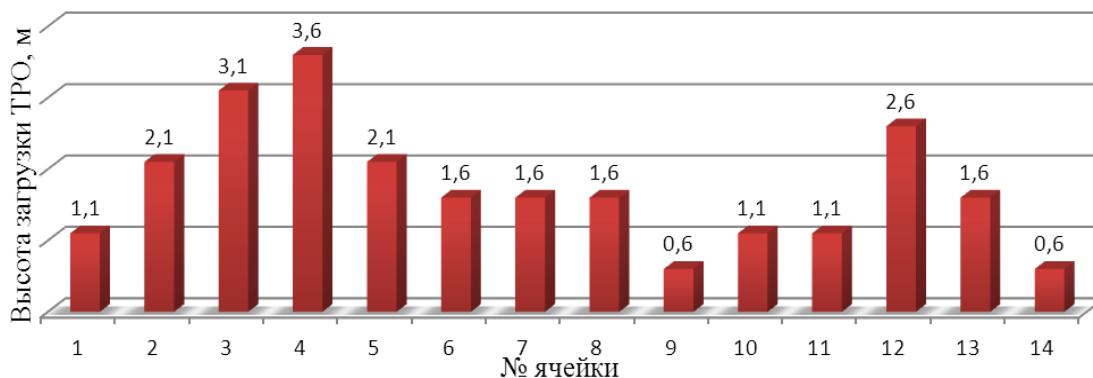


Рисунок 2 - Степень заполнения ячеек хранилища ТРО

Определение активности ТРО проводили с использованием гамма-спектрометрической системы ISOCS фирмы Canberra, которая позволяет проводить калибровку по эффективности без применения эталонных образцов, благодаря специальному программному обеспечению. Комплекс ISOCS мобилен и включает в себя: детектор из особо чистого германия (ОЧГ) с криостатом, закрепленный на тележке, универсальный набор свинцовой защиты и коллиматоров, многоканальный анализатор, ноутбук с базовым спектрометрическим программным обеспечением Genie-2000 и программой ISOCS [1]. Фотография установки приведена на рисунке 3.



Рисунок 3 - Гамма-спектрометрическая система ISOCS

Измерения проводили непосредственно на поверхности перекрытия хранилища. Установка располагалась таким образом, чтобы ось детектора была перпендикулярна ячейке и проходила через центр защитной пробки. Использовали свинцовую защиту с толщиной

стенки 50 мм и коллиматор с углом обзора 30° . Время каждого измерения выбиралось с учетом загрузки и составляло в среднем 600 с.

Эффективность регистрации определялась расчетным путем с использованием программного обеспечения расчета эффективности для объектов сложной формы ISOCS [2]. В программе на основании стандартных шаблонов ISOCS была построена модель «детектор – ячейка хранилища» в соответствии с конструкторской документацией.

Распределение ТРО по ячейкам хранилища задавали двумя способами:

на основании учетных данных (в рамках расчетной модели распределение ТРО по ячейкам хранилища было принято равномерным) – «модель 1»;

на основании результатов измерения заполнения ячеек (высота ТРО в каждой ячейки задавалась в соответствии с рисунком 2) – «модель 2».

Суммарная активность ТРО, определенная по «модели 1», составила $1,4 \cdot 10^{16}$ Бк, а по «модели 2» - $1,7 \cdot 10^{16}$ Бк.

Для учета неравномерности распределения активности по высоте, связанной с радиоактивным распадом источников излучения за время их хранения, была построена модель ячейки «модель 3», в которой распределение ТРО задавалось слоями в соответствии с картограммой засыпки. Результаты определения активности ТРО согласно «модели 3» приведены в таблице 1, также в таблице представлены значения активности ТРО в соответствии с учетными данными.

Таблица 1 - Результаты определения активности ТРО согласно «модели 3»

Наименование величины	Расчетные значения	Учетные данные
Активность ТРО, накопленных до 2000 года, Бк	$1,4 \cdot 10^{15}$	$1,58 \cdot 10^{15}$
Активность ТРО, накопленных после 2000 года, Бк	$5,4 \cdot 10^{15}$	$6,32 \cdot 10^{15}$
Суммарная активность ТРО, Бк	$6,8 \cdot 10^{15}$	$7,9 \cdot 10^{15}$

Отклонение рассчитанных значений активности от учетных данных не превышает 15 %. Такая точность в большинстве случаев является удовлетворительной для паспортизации РАО.

Выводы

В результате проведенных измерений и расчетов получены данные об активности и составе основных гамма-излучающих радионуклидов ТРО, содержащихся в хранилище радиоактивных отходов радиоизотопного производства ФГУП «ПО «Маяк». Полученные результаты удовлетворительно согласуются с учетными данными, отклонение не превышает 15 %.

Предложенный подход по оценке активности ТРО с использованием гамма-спектрометрической системы ISOCS может быть использован для проведения подтверждающих измерений с целью учета и контроля РАО.

Литература

1. Материалы с сайта [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.canberra.ru>.
2. Методика выполнения измерений активности гамма-излучающих радионуклидов в отвержденных радиоактивных отходах с применением гамма-спектрометрической системы ISOCS. Свидетельство № 1293/07 ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», 2007г.

МИНИМИЗАЦИЯ ВРЕМЕНИ НАХОЖДЕНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ТЕЛА В ЗОНЕ ОПАСНОСТИ

Арапов О. Л., Зуев¹ Ю.С

*ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск,
Снежинский физико-технический институт НИЯУ МИФИ, аспирант
¹Снежинский физико-технический институт НИЯУ МИФИ*

Предлагается способ формирования траектории движения неуправляемого летательного аппарата для уменьшения времени нахождения в опасных зонах. Задача рассматривается в детерминированной постановке при известных характеристиках зоны опасности. Решение задачи сводится к определению начальных условий движения летательного аппарата, которые обеспечивают повышение вероятности преодоления зоны опасности. Представлены результаты численного эксперимента по исследованию ряда типовых траекторий.

Одной из известных мер по увеличению вероятности преодоления летательным аппаратом (ЛА) опасных зон (пожары, сложные погодные условия, и др.) является пространственное маневрирование ЛА.

Однако данный подход не применим для ЛА, не имеющего двигателя и органов управления, в этом случае требуется реализация иных мер по увеличению вероятности преодоления опасных зон. Условно назовём подобный ЛА аэродинамическим телом (АДТ).

Для увеличения вероятности преодоления АДТ зоны опасности предлагается минимизировать время нахождения АДТ в этой зоне за счёт формирования соответствующей траектории полёта АДТ. Формирование траектории возможно путём изменения начальных условий движения неуправляемого АДТ. К начальным условиям, которые определяют параметры траектории, относятся скорость АДТ V_0 и его угол наклона траектории Θ_0 в точке начала движения [1].

Изменение начальной скорости АДТ V_0 на практике является более сложной задачей по сравнению с изменением его начального угла наклона траектории Θ_0 . В статье рассматривается влияние угла Θ_0 на время нахождения АДТ в зоне опасности при одинаковом значении скорости V_0 .

Для оценки результатов преодоления зоны опасности в качестве показателя принимается время нахождения АДТ в этой зоне. Время нахождения внутри зоны опасности Ω_{OP} определяется с момента её пересечения траекторией движения АДТ.

$$t_{OP} \in \Omega_{OP} \text{ при } D_{ADT} < H_{OP} \quad (1)$$

где t_{OP} – время нахождения внутри зоны опасности;

Ω_{OP} – зона опасности;

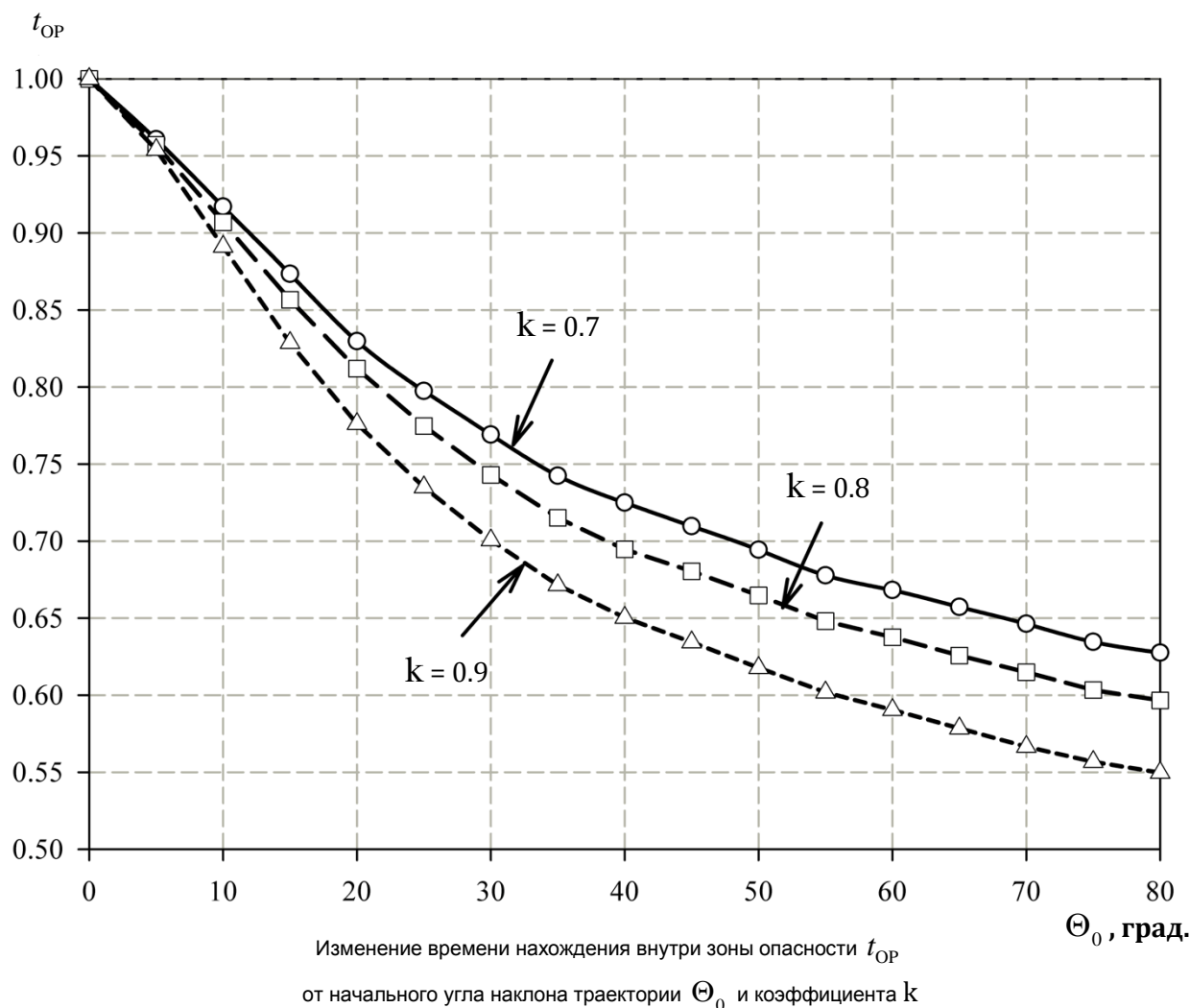
D_{ADT} – высота полёта АДТ над земной поверхностью;

H_{OP} – максимальная высота зоны опасности.

Расчёты полёта АДТ проводятся при следующих положениях и допущениях:

- движение АДТ рассматривается в нормальной земной (стартовой) системе координат, которая полагается инерциальной.
- параметры атмосферы стандартные [2], ветер отсутствует;
- вращение Земли и ее кривизна поверхности не учитываются;
- АДТ движется как материальная точка
- баллистический коэффициент рассматривается в диапазоне $[9,4 \cdot 10^{-5} \dots 2,2 \cdot 10^{-4}]$ м²/кг.

На рисунке представлены зависимости времени нахождения внутри зоны опасности t_{OP} от начального угла наклона траектории Θ_0 для трёх значений коэффициента ($k = 0.7, 0.8, 0.9$). На данном рисунке коэффициентом k , $k = \frac{H_{OP}}{H_0}$ обозначено отношение максимальной высоты зоны опасности H_{OP} к начальной высоте полёта АДТ H_0 . Время нахождения внутри зоны опасности t_{OP} при угле наклона траектории $\Theta_0 = 0^\circ$ принято за относительную единицу.



Из рисунка видно, что увеличение угла наклона траектории Θ_0 для рассмотренных траекторий приводит к уменьшению времени нахождения внутри зоны опасности t_{OP} (на 35% от начального значения при угле $\Theta_0 = 65^\circ$ при $k = 0.7$). С увеличением коэффициента k

тенденция уменьшения времени нахождения внутри зоны опасности при увеличении угла наклона траектории также сохраняется.

При решении задачи попадания АДТ с неизменной начальной скоростью движения в заданную точку пространства с минимальным временем нахождения внутри зоны опасности возможны следующие варианты:

- 1) Изменение расстояние (в вертикальной и/или горизонтальной плоскости) между АДТ и заданной точкой пространства;
- 2) Увеличение начального угла Θ_0 (более 45°), который бы обеспечивал попадание АДТ в заданную точку пространства;
- 3) Сочетание вариантов 1 и 2.

Принятая методика формирования траектории движения аэродинамического тела, а также способ её осуществления показывают принципиальную возможность минимизации времени нахождения в опасной зоне. Метод позволяет уменьшить время нахождения аэродинамического тела в зоне на 35-40% и существенно повысить вероятность преодоления зоны опасности.

Литература

1. Дмитриевский А.А. Внешняя баллистика. – М.: Машиностроение, 1972. –584 с.
2. ГОСТ 4401-81 «Атмосфера стандартная. Параметры».

ВИДЕОИСТОРИЯ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ

Ахметова Т.В., Белов А.Д., Горин Н. В., Левченко Д. И.,
Савина Н.П., Соколов Е.С., Юсупов Р.И.

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И.Забабихина», Снежинск

Создана база видеоматериалов по истории радиоактивного загрязнения Челябинской области, условиям проживания населения на загрязненных территориях и преодоления последствий загрязнения. Представлены фильмы Челябинской телерадиокомпании «Южный Урал», фильмы ПО Маяк и ООО «Вега-Интернет», большой объем видеоматериалов посвящен общественным слушаниям, проведенными Правительством области в 1996...1999 гг. по проблемам загрязнения с выступлениями руководителей, специалистов разных предприятий и научных центров, научных сотрудников, представителей общественных организаций.

В настоящее время в открытом доступе имеется много видеоматериалов, связанных, в той или иной степени, с радиационными инцидентами или авариями и загрязненными территориями. Больше всего видеоматериалов представлено в сети «Интернет» - учебные видеоролики для школьников и студентов с лекциями по ядерной физике и радиационной безопасности, особенностям атомной энергетики, обращению с ОЯТ и т.д., очень много эмоциональных материалов по взаимодействию населения с властными структурами по радиационно-экологическим проблемам, много рекламной предвыборной информации различных лидеров и организаций. Все видеоматериалы отражают самые разные точки зрения на проблему, многие из них излишне эмоциональны и не всегда обоснованы. К информации в Интернете следует относиться с осторожностью, так как она иногда противоречива и не всегда истинна. Доступно много видеоматериалов, посвященных Чернобыльской аварии, фильмы информативны, интересны и зрелищны.

В свободном доступе гораздо меньше видеоматериалов по проблемам загрязненных территорий Урала, ВУРС, ТКВ, реки Теча, их реабилитации, условиям проживания населения. Больше всего их накоплено в государственной телекомпании «Южный Урал», которая в течение последних ~20 лет периодически готовила телевизионные репортажи по проблемам загрязненных территорий, аварии 1957 года на ПО «Маяк», деятельности ПО «Маяк», ввозе отработавшего топлива, реке Теча и т.д. Многие материалы носят публицистический характер, они были актуальны в момент своего создания и сегодня, ~20 лет спустя, их значимость существенно снизилась. Однако большинство материалов и сегодня интересны. Так, в видеоочерке «След» (1990 г.), продолжительностью более 1 часа проведен обзор важнейших составляющих проблемы радиационно-загрязненных территорий, показаны видеозаписи бесед с жителями, с представителями органов власти. Из современных фильмов отметим небольшой видеоролик «Муслюмово сносят» о сносе домов в с.Муслюмово в связи со строительством нового населенного пункта Ново-Муслюмово. Показаны фрагменты строительных работ по сносу старых домов, панорама домов нового поселка, замер радиационного фона, краткое выступление представителя ГК Росатом.

Министерством радиационной безопасности и экологии Челябинской области предоставлены видеозаписи, выполненные ~20 лет назад на общественных слушаниях по радиационным проблемам. Достоинство записей – не их зрелищность, а живые и заинтересованные выступления участников, в основном, представителей администрации области и районов, медиков, ученых, представителей ПО «Маяк», руководителей

общественных организаций и движений. Их выступления отражают реальные настроения людей того времени, это история, сохраненная для будущего.

Несколько фильмов предоставили ПО «Маяк» (г.Озерск) и ООО «Вега-Интернет» (г.Снежинск).

Авторами отобрано 30 видеоматериалов и они оформлены в виде базы данных. Все материалы получены официально с соблюдением авторских прав в соответствии с действующим законодательством.

Некоторые фрагменты из видеоматериалов представлены на рис.1 – выезд руководства области и страны на загрязненные территории, реабилитация берега р.Теча и вид с.Ново-Муслюмово.

Большинство видеоматериалов создано ~ (15...20) лет назад. Они передают историю загрязнения реки Теча, причины возникновения аварии 1957 года и ее последствия, социальные проблемы жителей. Особо ценны в старых видеоматериалах воспоминания очевидцев и непосредственных участников событий, число которых, в силу естественных причин, становится все меньше и меньше.

Содержание большинства видеоматериалов демонстрирует негативное отношение к экологическим и социальным результатам деятельности ПО «Маяк», к результатам деятельности администрации любого уровня. Особо ярко это видно на примере выступлений на общественных слушаниях представителей общественных организаций и населения. С этим придется согласиться, так как ~15...20 лет назад не следовало ожидать ничего другого. Однако, за прошедшие годы ситуация изменилась, что нашло отражение в современных выступлениях руководителей и научных публикациях, но пока не отражено в видеоматериалах.

Отметим особенность фильмов – радиационно-загрязненная территория по внешнему виду ничем не отличается от обычной территории, та же самая растительность, тот же животный мир, те же водоемы и т.д. Зритель может узнать о высоком уровне радиации либо от диктора фильма, либо от персонажа фильма (дозиметриста), который демонстрирует зрителю дозиметр с величиной мощности дозы гамма-излучения и информирует, во сколько раз эта мощность дозы превышает естественный фон. Радиационная реабилитация территории никак не изменяет ее внешний вид, например, при отсыпке берегов реки Теча чистым грунтом внешний вид «река-берег» не меняется – река остается рекой, а берег остается берегом. Таким образом, демонстрировать зрителю территорию «до» и «после» реабилитации бесполезно, единственно зрелищный момент в фильме – работа самосвала или бульдозера на берегу реки. Поэтому наиболее информативная составляющая фильма – либо слова диктора, либо слова персонажа фильма.



Рис.1. Фрагменты видеоматериалов

В этих условиях несколько удачных фотографий с кратким поясняющим текстом могут быть более информативны, чем фильм.

За прошедшие годы ситуация на радиационно-загрязненных территориях улучшилась не только за счет естественного снижения активности радионуклидов, но и, главным образом, за счет совершенствования технологического процесса на ПО «Маяк» и уменьшения радиационного влияния на прилегающие территории, за счет реабилитационных работ, контроля за режимом жизнедеятельности населения, социальной помощи, отселения жителей села Муслюмово.

В настоящее время тематика базы видеоматериалов задана достаточно узко - преодоление последствий радиационных аварий, а также безопасного проживания населения на территориях Челябинской области, подвергшихся радиоактивному воздействию вследствие деятельности ПО «Маяк».

В дальнейшем планируется расширить тематику и дополнить базу фильмами о Белоярской АЭС, об общественных слушаниях по проблемам строительства нового реактора на площадке БАЭС (2002 г.), о красноуфимских монацитах, о территориях загрязненных в результате Чернобыльской аварии и т.д.

При дополнении базы фотографиями следует учитывать, что их количество может достигать на первых этапах около тысячи фото. Известно, что специалистами ПО «Маяк» в рамках выполнения служебных обязанностей отсняты сотни фотографий на территориях ВУРС, ВУГЗ на гидротехнических сооружениях ТКВ, на прилегающих территориях, в зоне наблюдения и санитарно-защитной зоне ПО «Маяк». Много снимков выполнено специалистами РФЯЦ-ВНИИТФ в 2008...2010 гг. в период проведения полевых работ по выбору площадки строительства Южно-Уральской АЭС. Все снимки проведены цифровыми фотоаппаратами и могут быть сразу же введены в базу. Много старых фотографий хранится в личных архивах ветеранов, но это только отпечатки, негативы естественно не сохранились. Размещение некоторых из этих фотографий в базе видеоматериалов могло бы повысить ее «привлекательность» среди жителей области. На рис.2 представлена одна из старых фотографий - здание «Лаборатории «Б» на пл.21.



Рис.2. Здание «лаборатории Б», пл.21.

Видеобазы создана по контракту с управлением радиационной реабилитации Уральского региона МЧС России.

Доступ к видеобазе свободный, база выполнена в виде сайта и находится по адресу www.vidrad.ru.

Авторы благодарят Веснибалоцкого И.О., Муфазалову М.В., Ружникову Н.М. и Сдвижкову Н.А. за помощь в подготовке информации для базы данных.

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ БАЗЫ ВИДЕОМАТЕРИАЛОВ

Белов А.Д.

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И.Забабихина», Снежинск

Для обучения персонала и предоставления информации населению была разработана база видеоматериалов «по вопросам преодоления последствий радиационных аварий и безопасного проживания населения на территориях, подвергшихся радиоактивному воздействию», в частности все материалы касаются Восточно-Уральского Радиоактивного Следа (ВУРС).

Необходимым условием при создании базы видеоматериалов являлось размещение ее в публичном доступе в сети Интернет. Для предоставления информации был выбран протокол передачи гипертекста(http). Плюсами такой реализации является возможность доступа к материалам с помощью компьютера или мобильных устройств подключенных к данной сети штатными средствами, т.е без установки на них дополнительного программного обеспечения. Весь разработанный контент хранится на сервере и предоставляется пользователю в виде сайта, поэтому дополнительного обучения при работе с видео-базой обычно не требуется.

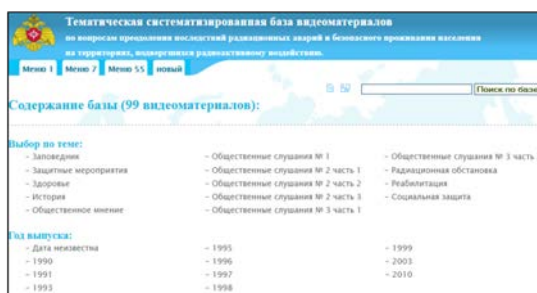
Разработку базы материалов можно разделить на несколько составляющих. Первый этап – произведена оценка объемов видеоматериалов и возможность отображения их в современных браузерах. В данной части проекта пришлось так же оценить скорость доступа в сеть Интернет и средний объем фильма для того, чтобы снизить нагрузку на сам сервер и канал связи пользователя. На этом же этапе было решено не использовать специальный видеосервер, так как это приведет к усложнению архитектуры сайта и удорожанию хостинга из-за возросшей нагрузки на сервер. Второй этап – поиск подходящего хостинга (арендуемом месте на сервере) с поддержкой требуемых технологий, с конкурентной ценой размещения и удобной панелью управления. Также одной из составляющих выбора хостинга явилось резервное дублирование информации, включая данные базы MySQL. Третий этап – разработка клиентской и серверной части.

Разработка и отладка велась на локальной машине с последующей выгрузкой разработанных материалов на сервер.

Исполняемые скрипты со стороны сервера реализованы на технологии PHP и среде управления базами данных MySQL. Для графического представления базы в клиентской части используется язык разметки HTML и каскадные стили CSS, а так же используется JavaScript, в частности библиотека jQuery, для взаимодействия клиентской и серверной части без перезагрузки страниц.

Хранение данных под управлением MySQL организовано в таблицах типа MyISAM. Название база данных получила «videobase», она содержит 4 таблицы «album», «file», «menu», «admin». Типы переменных: int – 4байта, varchar – 16 или 256 байт, text – объем не задан.

В настоящее время база размещена в сети Интернет, и для того, чтобы воспользоваться разработкой необходимо в браузере набрать адрес сайта: vinrad.ru.



В загруженном окне под заголовком расположено главное меню с помощью которого можно перейти ко всему списку фильмов, отправить сообщение администратору сайта, просмотреть требуемые контакты.

Ниже окне для пользователя представлена графа «Содержание базы», в которой содержатся все ключевые слова, кратко описывающие доступные материалы для просмотра, например: «Здоровье», «История», «Радиационная обстановка», «Реабилитация» и другие. После выбора интересующего ключевого слова или фразы пользователю будет выведен весь материал по данной проблеме. Также существует возможность выбрать материалы по году выпуска.

Определившись с выбором ключевой фразы, и нажав на ссылку, пользователь переходит к группе фильмов, соответствующих запрошенной информации. Фильмы представлены в виде списка с кадром из фильма и дополнительным описанием. Для непосредственного перехода к нему необходимо нажать на кадр, расположенный слева.

После загрузки страницы с видеофайлом пользователь может начать воспроизведение либо прочитать полную аннотацию к фильму. Для работы с потоком представлены обычные элементы управления: запуск на воспроизведение, остановка, перемотка, управление громкостью и переход в полноэкранный режим.

В правом-верхнем углу сайта находится поисковая строка, которая производит поиск по описанию фильма и некоторым дополнительным параметрам заданным администратором, например: автор фильма, контакты и т.д.

Если пользователь захочет связаться с администратором, то сделать он может это через форму обратной связи. Вызвать форму можно через главное меню. Администратор получит сообщение на свою электронную почту.

Кроме основного интерфейса пользователя была разработана контрольная панель администратора. Администратор попадает в панель по специальной ссылке доступной только ему, кроме того он должен пройти верификацию указав логин и пароль. Для защиты папки с программной реализацией базы данных администратор имеют доступ только к директории с видеофайлами.

Структура данной директории построена таким образом, что каждая подпапка представляет собой альбом. В альбоме содержатся видео файлы и кадр для каждого фильма. Например, фильмы ГТРК содержатся в одноименной папке, что позволяет администратору производить сортировку файлов и исключить риск случайного удаления или перемещения. Доступ к файлам осуществляется по протоколу ftp с помощью любого клиента, это позволяет сделать резервную копию альбомов, находящихся на сервере, не теряя структуры, заданной администратором. Протокол ftp был выбран из-за удобной реализации в передаче больших объемов информации, вся база занимает на хостинге несколько десятков гигабайт.

Для добавления видеофайлов администратору требуется через контрольную панель создать новый альбом или выбрать существующий. При создании альбома на сервере появляется папка с одноименным названием. Затем необходимо с помощью ftp-клиента загрузить требуемые видеофильмы и кадры к ним. После данной процедуры требуется добавить описания к новым файлам через контрольную панель. В описании указываются ключевые слова для каждого фильма. Если у фильма не задано описание или к нему нет кадра, то в соответствующей строке выводится сообщение об ошибке.

При удалении материалов с сайта из базы данных MySQL стирается соответствующая запись, для защиты от случайного стирания файлы удаляются из папки на сервере администратором вручную.

В панели управления реализована настройка меню. В зависимости от требований администратор может группировать фильмы и либо присваивать разные гиперссылки для каждого пункта. Также через меню реализована возможность добавления статей на сайт.

Добавление или редактирование статьи происходит через встроенный редактор. Для работы редактора требуется библиотека jQuery.

Базу данных возможно использовать и в локальной сети без подключения к Интернету. Для работы базы потребуется сервер протокола http с поддержкой php и сервер MySQL. Для доступа необходимо ввести в браузере IP-адрес машины на которой установлен виртуальный сервер, все дальнейшие шаги по поиску материала ничем не отличаются от представленных выше.

Автор благодарит

Горина Н. В., Ахметову Т.В., Савину Н.П., Соколкова Е.С., Юсупова Р.И., Веснибалощкого И.О., Муфазалову М.В., Ружникову Н.М., Сдвижкову Н.А., Левченко Д.И., за помощь в подготовке информации для базы данных.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ БОРОАЛЮМИНИЕВЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ С ФУНКЦИЕЙ НЕЙТРОННОЙ ЗАЩИТЫ

Гладковский С.В., Трунина Т.А., Коковихин Е.А.,
Каманцев И.С., Веселова В.Е.

Институт машиноведения УрО РАН, Екатеринбург

Изучены физико-механические и технологические свойства, микроструктура и трещиностойкость (вязкость разрушения) перспективных композиционных бороалюминиевых композиционных материалов (боралей) с функцией нейтронной защиты. Разработаны новые технологические схемы получения листового боралей, обладающего свойством эффективного поглощения тепловых нейтронов, методом компактирования порошковой смеси алюминия и карбида бора различной дисперсности в процессе горячей прокатки. Реализация новой технологии на прокатном стане дуо ИМАШ УрО РАН (диаметр валков 255 мм, длина бочки 200 мм) позволила получить опытные заготовки листового боралей для оценки его способности к поглощению тепловых нейтронов в эксплуатационных условиях.

ВОПРОСЫ ВЗРЫВОПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАСТВОРЕНИИ ТВЭЛОВ НА ОСНОВЕ УРАН-БЕРИЛЛИЕВОЙ ТОПЛИВНОЙ КОМПОЗИЦИИ

Дудкин В.А., Казаков В.А., Старовойтов Н.П.

ФГУП «ПО «Маяк», Озерск

Среди широкой номенклатуры твэлов исследовательских и судовых реакторов лишь часть перерабатывается на заводе РТ-1, значительная же их часть не перерабатывается, а хранится в специальных хранилищах, создавая проблемы как экономического, так и экологического характера. К таким видам ОЯТ относится топливо реакторов ВТ на основе уран-бериллиевой топливной композиции. В ближайшее время на заводе РТ-1 ожидается переработка облученного топлива реактора ВТ.

Целью данной работы является расчет параметров взрывопожаробезопасности растворения твэлов, а именно, определение общей скорости газовыделения, а также скорости выделения взрывоопасного газа – водорода.

Твэлы на основе уран-бериллиевой топливной композиции представляют собой металлические стержни длиной от 1018 до 1029 мм, круглые в сечении, с оболочкой из нержавеющей стали ЭИ-211 или ЭИ - 852. Сердечник имеет диаметр 11 мм и представляет собой интерметаллид урана и бериллия в бериллиевой матрице. Твэлы имеют нейтронные отражатели, выполненные из металлического бериллия и размещенные либо с одного, либо с обоих концов тепловыделяющих элементов. Длина таких отражателей составляет 50 и 72 мм в случае размещения их с обоих концов и 102 мм в случае размещения их с одного конца. Между оболочкой твэла и сердечником имеется подслои толщиной 0,1 мм, выполненный из одного из следующих металлов: натрия, кальция, магния или свинцово-висмутовой эвтектики. К тому же сам твэл имеет детали из данных металлов. В частности, масса металлического натрия может составлять 5,6 % от массы самого твэла. Кроме того, соотношение урана к бериллию в сердечнике варьируется.

С целью корректного расчета параметров взрывопожаробезопасности необходимо было определить общую скорость газовыделения, а также скорость выделения взрывоопасного газа – водорода в наиболее неблагоприятных условиях с точки зрения взрывопожаробезопасности, а именно – одновременного растворения урана и бериллия в присутствии катализатора – фторид иона.

Для проведения эксперимента были взяты навески урана и бериллия массой соответственно 0,302 г и 3,176 г. Соотношение урана к бериллию составляло 1:10. Объем раствора – 100 см³. Навески растворяли в азотно-фторидном растворе с массовыми концентрациями азотной кислоты 630 г/дм³ и фторид-иона в 1 г/дм³ при температуре (90±5) °С. Эксперимент проводили на водяной бане.

Исходя из полученных экспериментальных данных, количество водорода, выделяющегося при планируемой загрузке ОЯТ 173 кг, составит 31 м³, т. е. при подаче даже самого большого расхода воздуха на барботаж, водород разбавится лишь до объемной концентрации в 4,9 %. Кроме того, как говорилось выше, в твэле имеется подслои из одного из следующих металлов: натрия, кальция, магния, которые при взаимодействии с водным раствором азотной кислоты дают водород. Таким образом, обеспечить эффективное разбавление горючего газа воздухом невозможно [1].

В связи с этим, технологический процесс растворения уран-бериллиевого топлива будет пожаровзрывобезопасным, если на всем протяжении растворения уран-бериллиевого

топлива в аппарате-растворителе необходимо проводить разбавление газовой фазы азотом до взрывоопасной объемной концентрации по кислороду не более 3,5 % [2].

Для уточнения режима растворения на первых операциях переработки уран-бериллиевого топлива целесообразно изыскать возможность экспериментально проверить объемные концентрации кислорода и водорода.

Литература

1. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средств их тушения. А. Я. Корольченко. – М.: Ассоциация «Пожнаука», 2000, 709 с.
2. СТО Ц 054-2011 от 20.01.2012.

РАЗРАБОТКА ВАРИАНТА УВЕЛИЧЕНИЯ СКОРОСТИ РАСТВОРЕНИЯ ПЛОТНЫХ ОСАДКОВ В ЕМКОСТЯХ-ХРАНИЛИЩАХ РАДИОАКТИВНЫХ СУСПЕНЗИЙ

Козаков В.А., Старовойтов Н.П., Дудкин В.А.

ФГУП «ПО «Маяк», Озерск

Ранее на заводе РТ-1 были проведены опытные операции по временному отключению системы охлаждения на четырех охлаждаемых емкостях-хранилищах радиоактивных суспензий, приводящему к повышению температуры осадков, что позволяет увеличить скорость их растворения с целью перевода содержимого в более безопасный режим хранения. Данные операции не ухудшают условий взрывопожаробезопасности. Для этого предложено учитывать инерционность системы при возобновлении охлаждения. На основании проведенных работ сделан вывод о необходимости проведения комплекса мероприятий по периодическому отключению систем охлаждения в емкостях в последующие годы.

Особую проблему на ФГУП «ПО «Маяк» представляет хранилище высокоактивных пульп, образовавшихся при переработке облученного топлива ядерных реакторов от выполнения оружейной программы, которое активно функционировало с 1968 по 1986 гг.

Несмотря на то, что в хранилищах имеются системы контроля уровня, давления и температуры дальнейшее хранение ВАО в емкостях-хранилищах в настоящее время неприемлемо с точки зрения их радиационной и экологической безопасности, что вызывает необходимость их опорожнения и перевода их безопасную форму хранения - остекловывания [1].

Поскольку процесс опорожнения ВАО в емкостях-хранилищах займет еще долгое время, необходимо исследовать возможность перевода содержимого в более безопасный режим хранения и оптимизации условий их эксплуатации. Данные операции не должны ухудшать условий взрывопожаробезопасности.

С целью улучшения условий теплопередачи и стабилизации температурного режима хранения суспензий была проведена обработка осадка концентрированным раствором гидроксида натрия. После подачи гидроксида натрия произошло разрыхление плотных слоев суспензии, частичное разложение ферроцианидного комплекса и выход радионуклида цезия в раствор [2].

Щелочная обработка охлаждаемых емкостей-хранилищ №№ 9-12 была проведена с мая 2006 года по 2010 год.

Исходя из анализа результатов замеров высоты плотного слоя осадка, полученных в октябре 2010 года, был сделан вывод, что процессы растворения осадка в охлаждаемых емкостях-хранилищах прошли не полностью, в том числе, из-за недостаточной температуры, при которой в щелочной среде происходит процесс растворения осадка.

Временной фактор, практически, не имеет сильного влияния на процесс растворения. Поэтому считалось, что отключение охлаждения емкостей, приводящее к повышению температуры осадков, должно быть полезным для увеличения скорости их растворения.

Опытные операции по отключению системы охлаждения емкостей в 2012 году проводились по следующей схеме:

- 1 Закрыть подачу воды на охлаждение емкостей-хранилищ №№ 9-12.
- 2 При приближении к значению температуры 95 °С в любой из зон открыть подачу воды в систему охлаждения данной емкости заблаговременно с учетом инерционности системы и после снижения температуры до 80 °С вновь отключить охлаждение.
- 3 В конце года возобновить подачу воды в систему охлаждения емкостей-хранилищ и продолжить их эксплуатацию согласно требованиям технологического регламента.
- 4 В каждой из исследуемых емкостей-хранилищ провести измерения высоты слоя плотного осадка после включения охлаждения.

В соответствии с проведенными замерами, временное отключение системы охлаждения в емкостях-хранилищах №№ 9-12 позволило снизить высоту плотного осадка в емкостях на 180, 260, 390 и 130 мм, соответственно.

На основании проведенных работ можно сделать вывод, что временное отключение охлаждающей системы в емкостях-хранилищах, в которых была произведена щелочная обработка осадков, оказывает положительное влияние на увеличение скорости их растворения, перевода содержимого в более безопасный режим хранения, исключающий локальные вскипания с бурным газовыделением. Следовательно, считаем полезным продолжить комплекс мероприятий, направленных на увеличение средней температуры процесса растворения.

Литература

1. Логунов М.В., Карпов В.И., Дружинина Н.Е. Подходы к переработке высокоактивных пульп, накопленных на ФГУП «ПО «Маяк» // Вопросы радиац.безопасности. – 2011. - № 1. – с. 15-28.
2. Логунов М.В., Карпов В.И.. Стабилизация теплофизического состояния и обследование некоторых емкостей-хранилищ высокоактивных пульп на ФГУП «ПО «Маяк» // Вопросы радиац.безопасности. – 2011. - № 4. – с. 18-27.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БОРОСОДЕРЖАЩЕГО КОМПОЗИТА ПРИ СОЗДАНИИ ТУК ДЛЯ ОТВС РЕАКТОРОВ ВВЭР1000

Краев В.С., Анфалова О.В., Оленин И.В.

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И.Забабихина», Снежинск

Реакторы ВВЭР-1000 – самый успешный экспортный проект реактора в мире. В настоящее время за рубежом действуют 13 блоков ВВЭР-1000, которые используют ядерное топливо российского производства. Ряд АЭС находится в стадии проектирования и строительства. Часть отработавшего ядерного топлива возвращалась, и в дальнейшем будет возвращаться в Российскую Федерацию.

Транспортный упаковочный комплект (ТУК) для транспортирования и хранения отработавшего ядерного топлива реактора ВВЭР-1000 является востребованной продукцией.

С целью решения задачи по транспортированию и временному хранению ОТВС реакторов ВВЭР1000 был разработан проект транспортного упаковочного комплекта, в котором используются современные передовые материалы, обеспечивающие ядерную и радиационную безопасность и позволяющие снизить массу и стоимость ТУК.

ИЗМЕНЕНИЕ УСЛОВИЙ ОБРАЩЕНИЯ С ОЯТ В СВЯЗИ С ИЗМЕНЕНИЕМ ТИПОВ РЕАКТОРОВ В АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Садовский А.А., Фетеркевич¹ М.Д.

*Снежинский физико-технический институт НИЯУ МИФИ
¹ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И.Забабахина», Снежинск
Снежинский физико-технический институт НИЯУ МИФИ, аспирант*

Отказ от строительства новых блоков реакторов типа РБМК, расширение строительства блоков реакторов типа ВВЭР, а в дальнейшем — проектирование, строительство и эксплуатация реакторов на быстрых нейтронах типа БН-1200, изменит характер отработанного ядерного топлива (ОЯТ) и условия обращения с ОЯТ. В работе рассматриваются условия хранения и переработки ОЯТ в странах Европы, в Украине и в России. Используются данные мониторинга за работой 3-го энергоблока Белоярской АЭС БН-600. Делается прогноз изменения условий обращения с ОЯТ в перспективе до 2030 года, учитывающий стратегию развития атомной энергетики и плановые показатели. В прогнозе применяются методы теории темпов.

ПРИНЦИПЫ TQM (TOTAL QUALITY MANAGEMENT — ВСЕОБЩЕЕ УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ) В КУЛЬТУРЕ ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Садовский А.А., Черников И.Д.

Снежинский физико-технический институт НИЯУ МИФИ

Аннотация

В работе рассматриваются основные этапы жизненного цикла ядерного энергетического объекта и условия обеспечения ядерной безопасности на каждом из этапов. Для анализа и выработки подходов к обеспечению ядерной безопасности используются базовые принципы TQM, которые являются основой стандартов ISO 9000. Принципы относятся к действиям персонала, системам и структурам управления, процессам и процедурам деятельности организации.

В условиях ограниченности ресурсов Земли и постоянном увеличении численности населения планеты перед человечеством возникает угроза в нехватке одного из основных типов ресурсов – энергии. Для обеспечения человечества энергией ведутся исследования и разработки по многим направлениям, как традиционным так и пока проблемным. Показателем конкурентоспособности продукции на рынке является соотношение качество/цена. Выживет в условиях конкуренции и утвердится на рынке тот способ производства энергии, у которого этот показатель будет выше. И если цену на производимую энергию можно обосновать, исходя из стоимости производства и рентабельности предприятия, то понятие качество производимой энергии является комплексным показателем и зависит от ряда факторов, одним из которых является безопасность при ее производстве.

В последнее время вопросы ядерной безопасности становятся определяющим фактором на пути развития атомной энергетики. Традиционно ядерная безопасность в первую очередь обеспечивалась техническими и инженерными решениями. Но, как показала практика, человеческий фактор зачастую играет более важную роль в обеспечении ядерной безопасности. Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ) в 2008 году ввело в практику понятие «культура ядерной безопасности» и продолжает уточнять и совершенствовать содержание данного понятия.

Культура безопасности – квалификационная и психологическая подготовленность всех лиц, при которой обеспечение безопасности атомной станции, ЯОК, и других ядерных объектов является приоритетной целью и внутренней потребностью, приводящих к самосознанию ответственности и контролю при выполнении всех работ, влияющих на безопасность.

Культура безопасности является симбиозом 2-х понятий Safety and Security. *Security* - то что связано с персоналом (человеческий фактор) *Safety* - меры физических и технических мер по защите и обеспечении надежности ядерных объектов, защита, учет и контроль. Проектирование и конструирование безопасности объектов.

Для рассмотрения вопросов обеспечения безопасности ядерных энергетических объектов и повышения культуры безопасности воспользуемся базовыми принципами

концепции всеобщего управления качеством (TQM – Total Quality Management), которые представлены на рисунке 1.

Понятие «всеобщее» предполагает, что качество продукции (в нашем случае ядерная безопасность) обеспечивается на всех этапах жизненного цикла продукции и в обеспечении качества участвует весь персонал, а не только контролирующие органы.

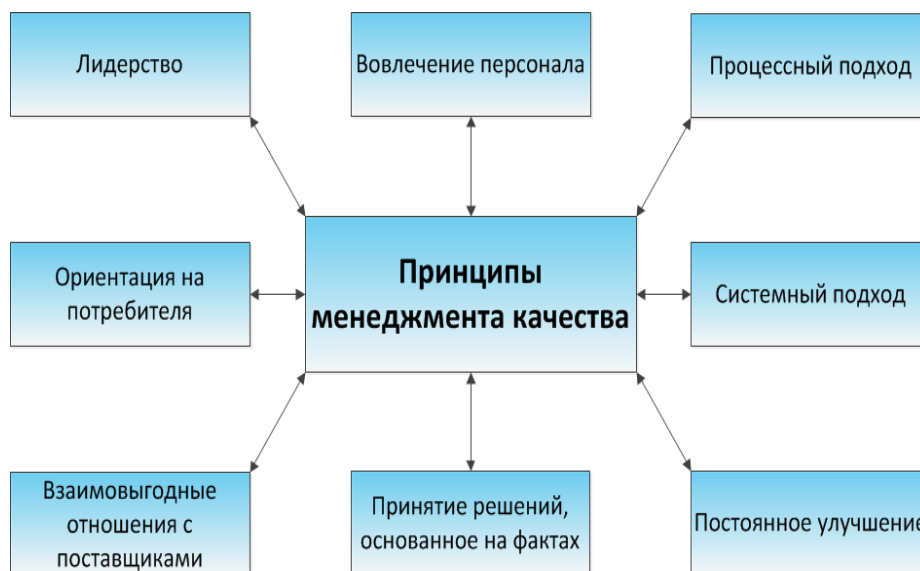


Рисунок 1. Базовые принципы TQM (Total Quality Management – Всеобщее управление качеством)

На рисунке 2 представлены основные этапы жизненного цикла ядерного энергетического объекта, которые начинаются с мероприятий по маркетингу и следуют друг за другом вплоть до утилизации.

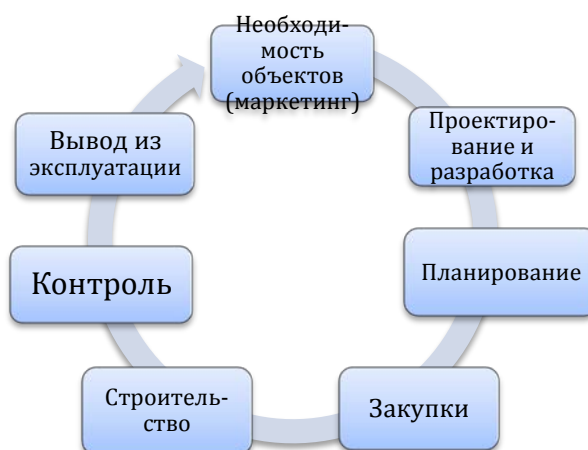


Рисунок 1. Основные этапы жизненного цикла ядерного энергетического объекта

На всех этапах жизненного цикла вопросы обеспечения ядерной безопасности должны быть приоритетными.

Маркетинг – любой потребитель желает получать электроэнергию по приемлемой цене с минимальным вредным воздействием на окружающую среду. Производственную цепочку

по изготовлению ТВЭЛов, переработку и захоронение ОЯТ поставяющая сторона принимает на себя.

Проектирование и разработка – использование теоретических разработок и практического опыта эксплуатации АЭС для совершенствования безопасности реактора и средств защиты.

Планирование – учет места размещения АЭС, количества возводимых блоков, условий эксплуатации и пр.

Закупки – поставка только высококачественных комплектующих, которые удовлетворяют требованиям нормативных документов; набор персонала в соответствии с квалификационными требованиями.

Строительство – четкое соблюдение требований проектных документов.

Контроль – проверка работоспособности и режимов работы отдельных подсистем, физический пуск реактора, энергетический пуск и выведение на рабочий режим.

Эксплуатация – наиболее длительный и ответственный этап жизненного цикла. В обеспечение ядерной безопасности вовлечен весь персонал АЭС.

Вывод из эксплуатации и захоронение – накопленного опыта мало, но проработка данного этапа необходима уже на стадии проектирования.

Литература

1. Под редакцией Стриханова М.Н., Ядерная энергетика проблемы. Решения. Часть первая, Москва 2011.
2. Бойко В.И., Демянюк Д.Г., Кошелев Ф.П., Мещеряков В.Н., Шаманин И.В., Шидловский В.В. Перспективные ядерные топливные циклы и реакторы нового поколения. Томск 2005
3. Nuclear security culture: implementing guide. Vienna: IAEA, 2008.
4. <http://www.rosatom.ru/partnership/environmentalmanagement/> Отчеты по экологической безопасности АЭС.
5. ГОСТ Р ИСО 9001-2008 Системы менеджмента качества. Требования.

ВОПРОСЫ ВЗРЫВОПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАСТВОРЕНИИ ТВЭЛОВ НА ОСНОВЕ НИТРИДНОЙ ТОПЛИВНОЙ КОМПОЗИЦИИ

Старовойтов Н.П., Лызлова Е.В., Казаков В.А., Дудкин В.А.

ФГУП «ПО «Маяк», Озерск

Радиохимические производства являются потенциально опасными в связи с возможностью возникновения пожаров или взрывов. В связи с этим проблемы безопасности в деятельности таких производств являются ключевыми. В данной работе рассмотрены некоторые вопросы обеспечения взрывобезопасности возможного процесса растворения ТВЭЛОВ на основе нитридной топливной композиции.

Цель работы – определение общей скорости газовыделения и динамики изменения объемной доли водорода (использовали анализатор водорода АВП-01Г). Полученные экспериментальные данные позволяют рассчитать скорости барботажного воздуха, азотом в свободный объем реального аппарата для разбавления водорода до взрывобезопасных объемных концентраций.

На ПО «Маяк» в 2013 году проводились эксперименты по исследованию параметров растворения нитридного топлива и определению общей скорости газовыделения и динамики изменения объемной доли водорода.

Исходные данные и методика проведения эксперимента.

Для проведения экспериментов использовали необлученный материал (UN и (U,Pu)N), полученный методом карботермического восстановления оксидов урана и плутония. Для проведения экспериментов по растворению образцов топлива в перчаточном боксе собрана лабораторная установка, схема которой изображена на рисунке 1.

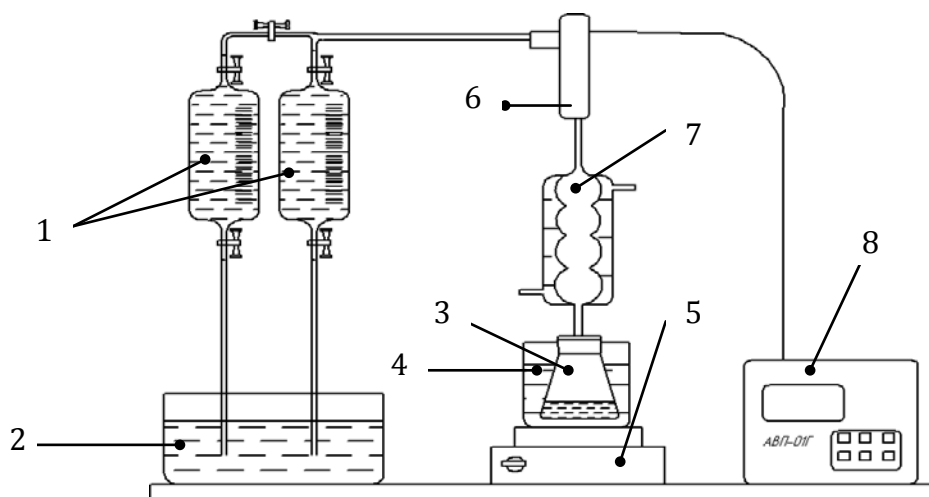


Рисунок 1 - Схема установки

1 - газосборные пипетки; 2 - емкость с водой, создающая гидрозатвор; 3 - колба с раствором; 4 – «водяная баня»; 5 - электрическая плитка, накрытая асбестом; 6 - амперометрический датчик 7 – обратный холодильник; 8 - анализатор водорода АВП-01Г.

Реакционный сосуд (3), выполненный из стекла (рабочий объем 100 мл), соединен с обратным холодильником (7) (дефлегматором), для конденсации паров азотной кислоты и

возвращения ее в сосуд. Образующиеся в процессе растворения материала газы из дефлегматора через амперометрический сенсор газоанализатора водорода АВП-01Г (8) по коммуникации поступают в верхний патрубок мерника (1) и вытесняют из него жидкость, которая через гидрозатвор вытекает в поддон. Для минимизации растворимости образовавшихся газов в качестве рабочей жидкости применяли насыщенный раствор сульфата натрия.

Для проведения эксперимента были взяты навески нитридного топлива массой 5,163 г. Далее навески растворяли в азотной кислоте 5 моль/дм³ в объеме 100 мл, при температуре (90±5) °С. Эксперимент проводили на водяной бане.

Диаграмма результатов газовой выделения при растворении нитридного топлива приведена на рисунке 2, скорость газовой выделения водорода приведена на рисунке 3.

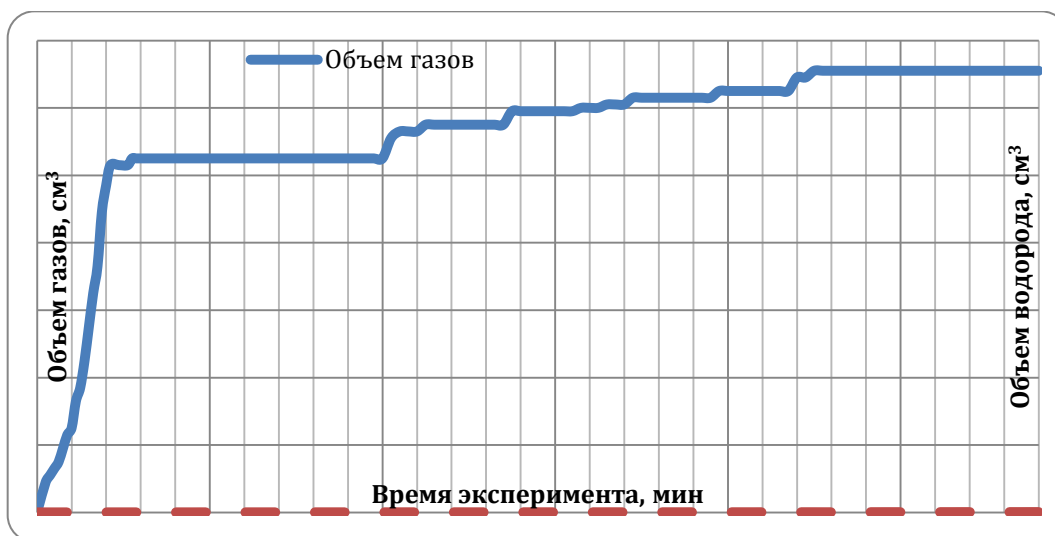


Рисунок 2 – Диаграмма результатов газовой выделения при растворении нитридного топлива

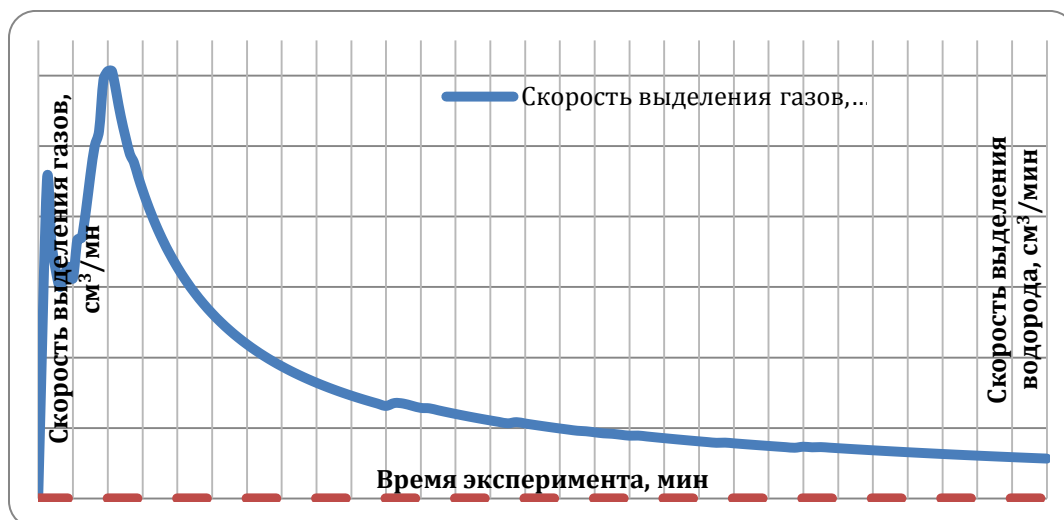


Рисунок 3 – Диаграмма скорости газовой выделения при растворении нитридного топлива

Установлено, что растворение в азотной кислоте начинается при небольшом иницирующем нагревании. Газовая фаза содержит оксиды азота (NO, NO₂, N₂O) и водород. Аммиак не был обнаружен.

Все перечисленные оксиды азота образуются при окислении нитридного топлива и при растворении топлива в азотной кислоте.

В соответствии с химическими реакциями, водород выделяться не должен. Его выделение, по нашему мнению обусловлено гидролизом нитрида водой, являющейся растворителем азотной кислоты. Расчётным путём установлено, что при растворении в данных условиях на 1 г нитридного смешанного топлива выделяется 0,165 см³ водорода.

Исходя из количества материала, загружаемого в аппарат-растворитель, можно будет рассчитать объём водорода, выделяющегося в процессе растворения и сделать заключение о взрывопожаробезопасности процесса.

НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЙ АНИОНОДЕФИЦИТНЫЙ Al₂O₃ – ПОЛУЧЕНИЕ, СВОЙСТВА И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ В КОЖНОЙ ДОЗИМЕТРИИ

Сюрдо А.И.^{1,2}, Власов М.И.¹, Мильман И.И.², Ильвес В.Г.³, Соковнин С.Ю.^{2,3}

¹Институт промышленной экологии УрО РАН, Екатеринбург

²Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург

³Институт электрофизики УрО РАН, Екатеринбург

Получен новый перспективный для бета-дозиметрии тонкослойный детекторный материал на основе наноструктурированного Al₂O₃ с поверхностной плотностью 5-7 мг/см². Он обладает высокими выходами оптически и термически стимулированной люминесценции (ОСЛ, ТЛ), сравнимыми с подобными для одного из лидеров среди ТЛ- и ОСЛ- детекторов – ТЛД-500. Изучена дозовая зависимость материала для β-облучения, которая линейна в диапазоне 10-5000 мГр. Установлено, что ТЛ- выход у образцов при увеличении скорости нагрева с 0.5 до 4 К/с уменьшается не более чем на 4-5%. Годовой фединг составляет 60%, при этом наибольшая (~50%) потеря информации происходит в течение первых 30 дней.

Современное состояние в области индивидуального дозиметрического контроля требует активизации исследований, направленных на создание высокоэффективных запаасающих люминесцентных детекторов для измерения поглощенных доз от β- и мягкого фотонного излучений (≤30 кэВ) в кожном покрове и хрусталике глаза. Актуальность таких исследований вызвана тем, что согласно нормам радиационной безопасности [1] поверхностная плотность активного слоя детектора ρ_s должна быть достаточно мала и равна средней ρ_s радиационно-чувствительного базального слоя кожи ~5-7 мг/см², что при переходе к линейным размерам составляет 10-30 мкм для таких термолюминесцентных материалов, как LiF (ТЛД-100, ТЛД -100Н), α-Al₂O₃ (ТЛД -500), Li₂B₄O₇ (ТЛД -800).

Несмотря на указанные требования, во многих случаях для определения кожных доз продолжают применять детекторы с поверхностной плотностью ρ_s ≥ 10 мг/см². Поэтому в [2] нами были оценены погрешности измерения поглощенных доз толстыми (ρ_s ≥ 10 мг/см²) детекторами относительно тонких (ρ_s = 5 мг/см²) за защитными слоями разной толщины. В частности, при толщине защитного слоя 5 мг/см² было получено, что для β-излучений с максимальной (в спектре) энергией частиц E_{β,max} в диапазоне от 0.156 до 3.6 МэВ толстые детекторы с ρ_s = 25 мг/см² занижают показания не менее чем на 25%. Наиболее существенный рост относительной ошибки от 40 до 80% возникает при понижении E_{β,max} от 1 до 0.156 МэВ.

Создание детекторов с ρ_s = 5-7 мг/см² сопряжено с преодолением ряда трудностей. Главными из них являются малый люминесцентный отклик и сложность получения достаточно тонких и однородных активных слоев. При использовании нанотехнологических приемов нам удалось создать на основе наноструктурированного Al₂O₃ высокоэффективный тонкослойный люминофор требуемой толщины, запасенная светосумма из которого может быть измерена с помощью явлений термически и оптически стимулированной люминесценции (ТЛ и ОСЛ) [3].

Поэтому целью данной работы являются систематические исследования люминесцентных и дозиметрических свойств указанного материала, выявление их взаимосвязи с изменениями кристаллической и дефектной структур, выяснение природы активных центров люминесценции, обуславливающих повышенную ТЛ- и ОСЛ- активность.

Объектами исследования являлись тонкие наноструктурированные покрытия (ТНП) оксида алюминия размером $7 \times 7 \text{ мм}^2$ и $\rho_s = 5-7 \text{ мг/см}^2$ (средняя толщина 15-20 мкм), нанесенные на плоские подложки из алюминия, стали и кварцевого стекла толщиной $\sim 0.2 - 0.5 \text{ мм}$. Покрытия из наночастиц Al_2O_3 с областью когерентного рассеяния 50-70 нм наносились в вакууме (остаточное давление 4 Па) с помощью испарения мишени из высококачистого порошка $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (фирма IAM, США) на установке НАНОБИМ-2 при энергии электронов 40 кэВ, длительности импульсов 100 мкс, частоте 200 Гц и плотности энергии в импульсе 0.56 Дж/мм^2 в течение 5 минут [4].

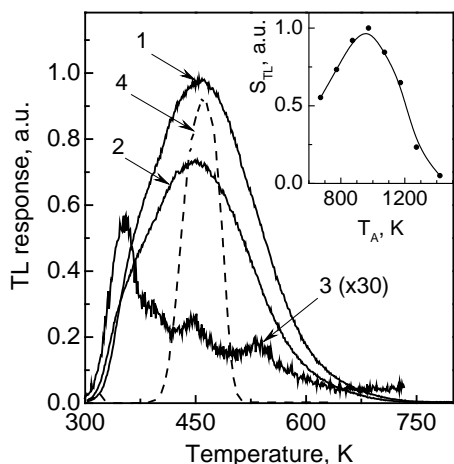


Рис. 1. Нормированные на массу ТЛ-кривые ТНП на алюминиевой (1, $T_a=820\text{K}$), стальной (2, $T_a=970\text{K}$ и 3, $T_a=1420\text{K}$) подложках и детектора ТЛД-500 (4) при $D=300 \text{ мГр}$. На вставке показана $S_{\text{TL}}(T_a)$.

Поэтому у ТНП были исследованы ТЛ-кривые и высвечиваемая светосумма S_{TL} в зависимости от T_a . Видно (рис. 1, вставка), что с ростом T_a до 1000 К S_{TL} возрастает в ~ 2 раза. Важно, что одновременно происходит переход аморфная $\rightarrow \gamma$ -фаза. Дальнейшее повышение T_a до 1420 К приводит к существенному падению S_{TL} . Кривая ТЛ (рис. 1, кривая 3) после отжига при 1420 К претерпевает значительные изменения, на ней наблюдаются три малоинтенсивных узких пика при 350, 450 и 540 К. Одной из главных причин наблюдаемого снижения ТЛ-выхода и радикальной трансформации ТЛ-кривой после отжига при 1420 К может являться восстановление стехиометрического состава Al_2O_3 в отожженном образце ТНП.

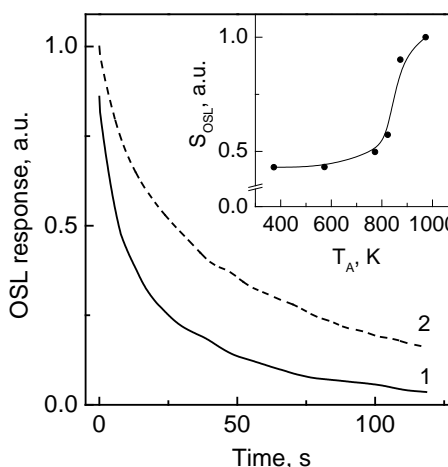


Рис. 2. Нормированные на массу ОСЛ-кривые ТНП (1, $T_a=970\text{K}$) и детектора ТЛД-500 (2) при $D=300 \text{ мГр}$. На вставке показана $S_{\text{OSL}}(T_a)$.

На рис. 1 (кривые 1 и 2) показаны ТЛ- кривые для полученных ТНП, нанесенных на подложки из стали и алюминия. ТЛ- кривые имеют один сложный пик одинаковой формы с максимумом при 450 - 460 К и плечом вблизи 365 - 370 К. Полуширина пика ТЛ при 455-460 К превосходит в $\sim 2.5-3$ раза аналогичную у детектора ТЛД-500К (кривая 4) на основе анионодефектного $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$. Видно также, что нормированные на массу ТЛ-выходы у ТЛД-500 и ТНП сравнимы.

Согласно данным рентгенофазового, дифференциально-термического анализ и термогравиметрии исследуемые образцы содержат смесь аморфной и γ - фаз Al_2O_3 [4]. При этом с ростом температуры отжига T_a до $\sim 1000 \text{ К}$ растет концентрация $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, а при повышении T_a до 1420 К наблюдается последовательно фазовые переходы $\gamma \rightarrow \delta \rightarrow \theta \rightarrow \alpha$.

Переход наноструктурированного Al_2O_3 в α -фазу при 1420 К не может быть основной причиной падения люминесцентного отклика, поскольку именно анионодефектный $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ обладает уникально высоким ТЛ- выходом.

В следующей серии экспериментов была изучена ОСЛ у ТНП, нанесенных на подложки из кварцевого стекла, в сравнении с детекторами ТЛД-500 (рис. 2). Из полученных данных следует, что нормированные на массу кривые затухания ОСЛ у

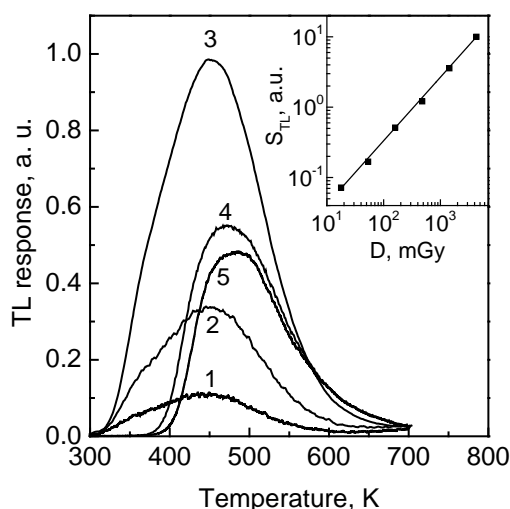


Рис. 3. ТЛ- кривые ТНП при β -облучении дозами 480 мГр (1), 1440 мГр (2) 4320 мГр (3, 4, 5) без (3) и с выдержкой после облучения в течение 1 месяца (4) и 1 года (5). На вставке показана зависимость $S_{TL}(D)$.

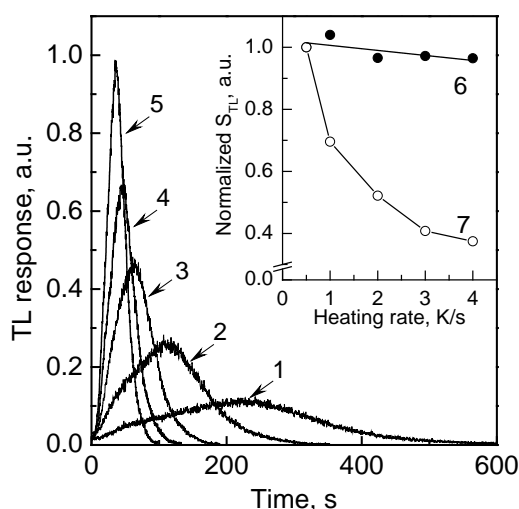


Рис. 4. Глов-кривые ТНП при скоростях нагрева 0.5 (1), 1 (2), 2 (3), 3 (4) и 4 К/с (5). На вставке показана зависимость нормированной S_{TL} от скорости нагрева для образцов наноструктурированных покрытий (6) и детекторов ТЛД-500 (7).

ТНП и ТЛД-500 сравнимы по начальной интенсивности (кривые 1 и 2). Однако ОСЛ-выход у ТЛД-500 из-за более медленного затухания выше в ~ 2 раза, чем у ТНП. Как и в случае с ТЛ, отжиг ТНП до $T_a=970\text{K}$ приводит к росту ОСЛ-выхода в ~ 2 раза (рис. 2, вставка), что дополнительно подтверждает факт связи люминесцентного выхода исследуемых ТНП с содержанием в них γ -фазы Al_2O_3 .

Для оценки функциональных возможностей ТНП были исследованы зависимости S_{TL} от дозы D , скорости нагрева и времени хранения после облучения (фединг). Видно (рис. 3, кривые 1-3, вставка), что зависимость $S_{TL}(D)$ при облучении бета-частицами от источника $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$, представленная в двойных логарифмических координатах, имеет линейный вид в диапазоне доз от 10 до 5000 мГр.

При исследовании фединга у ТНП обнаружено, что при хранении значительная часть запасенной светосуммы теряется в результате снижения ТЛ- выхода в области низкотемпературного плеча при 380 К. Получено, что в результате хранения облученных образцов ТНП в течение года фединг составляет $\sim 60\%$ (кривая 5). Установлено также, что наибольшая потеря ($\sim 50\%$) накопленной светосуммы происходит в течение первого месяца (кривая 4).

На рис. 4 представлены глов-кривые образца ТНП в зависимости от скорости нагрева в диапазоне 0.5 – 4 К/с. Оценка площади под кривыми или S_{TL} показывает, что ТЛ- выход у ТНП при увеличении скорости нагрева уменьшается не более чем на 4-5 % (рис. 4, вставка, кривая 6). Немаловажно, что у аналогичной зависимости для детекторов ТЛД-500 (кривая 7) наблюдается падение S_{TL} в ~ 2.5 раза.

Таким образом, приведенные ТЛ-, ОСЛ- и дозиметрические характеристики могут обеспечить созданному материалу реальную перспективу применения в каждой дозиметрии.

Литература

1. Нормы радиационной безопасности «НРБ-99/2009».
2. Сюрдо А.И., Болдеш А.В., Власов М.И., Мильман И.И. Оценка погрешностей измерения поглощенных доз кожными и глазными дозиметрами с отличающимися толщинами активных и защитных слоев // АНРИ. – 2014 (в печати).
3. Сюрдо А.И., Мильман И.И., Власов М.И., Ильвес В.Г., Соковнин С.Ю. Люминесцентные и дозиметрические свойства тонких наноструктурированных слоев оксида алюминия, полученных испарением мишени импульсным электронным пучком // ПЖТФ. – 2012. – Т. 38, В. 231, с. 55-63.
4. С.Ю. Соковнин, В.Г. Ильвес, А.И. Сюрдо, И.И. Мильман, М.И. Власов. Влияние допирования железом на свойства нанопорошков и покрытий на основе Al_2O_3 , полученных импульсным электронным испарением // Российские нанотехнологии. – 2013. – Т. 8, В. 7-8, с. 46-56.

ГЕТЕРОГЕННЫЙ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ ДЕТЕКТОР БЫСТРЫХ НЕЙТРОНОВ С ВЫСОКОЙ ДИСКРИМИНАЦИЕЙ ГАММА-ФОНА

Чернухин Ю.И., Юдов А.А.^{1,2}, Стрельцов С.И.¹

Снежинский физико-технический институт НИЯУ МИФИ

¹ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск

²Снежинский физико-технический институт НИЯУ МИФИ, аспирант

Нейтронные детекторы широко используются в работах по контролю сохранности и несанкционированного провоза ядерных и радиоактивных материалов. Отличительной особенностью таких работ является необходимость проведения измерений потоков нейтронного излучения контролируемых объектов, близких к значениям фоновых потоков. В докладе рассматривается возможность улучшения характеристик многослойного детектора нейтронов с оптоволоконными сенсорами на основе литий (⁶Li) – силикатного стекла за счёт замены в нём слоёв из полиэтилена на водородосодержащие слои из сцинтиллирующей пластмассы. Комбинация чувствительных к нейтронам датчиков позволяет организовать двух-ступенчатую дискриминацию гамма-фона при измерениях в смешанных n,γ – полях. Представленный гетерогенный сцинтилляционный детектор обладает значительно более высоким коэффициентом дискриминации гамма-фона при сохранении сравнительно высокой эффективности регистрации нейтронов, характерной для многослойного детектора нейтронов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО ГЕТЕРОГЕННОГО ДЕТЕКТОРА

Юдов^{1,2} А.А., Чернухин³ Ю.И., Бесов¹ С.С., Соколов¹ Ю.А.

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск

¹*Снежинский физико-технический институт НИЯУ МИФИ*

²*Снежинский физико-технический институт НИЯУ МИФИ, аспирант*

³*Снежинский физико-технический институт НИЯУ МИФИ*

Приведено описание расчётной модели спектрометра со сцинтилляционными сенсорами повышенной чувствительности к гамма-излучению за счёт использования конверторов из тяжелых элементов, а также изготовленного макета сцинтилляционного гетерогенного детектора (ГСД).

Представлены результаты экспериментальных исследований характеристик ГСД при работе в счётном режиме включающие:

- чувствительность детектора к нейтронному и гамма-излучению от различных источников n и γ излучения;
- возможность селекции n и γ по совпадениям импульсов отклика в различных слоях;
- оценку величины кратности совпадения импульсов в слоях в зависимости от энергии падающего γ -излучения;
- результаты повышения эффективности регистрации гамма-квантов ГСД за счёт использования конвертирующих слоёв из свинца.

Проведён сопоставительный анализ согласованности полученных экспериментальных данных с результатами расчётов.

ВНЕДРЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПРИ ОБРАЩЕНИИ С ОЯТ

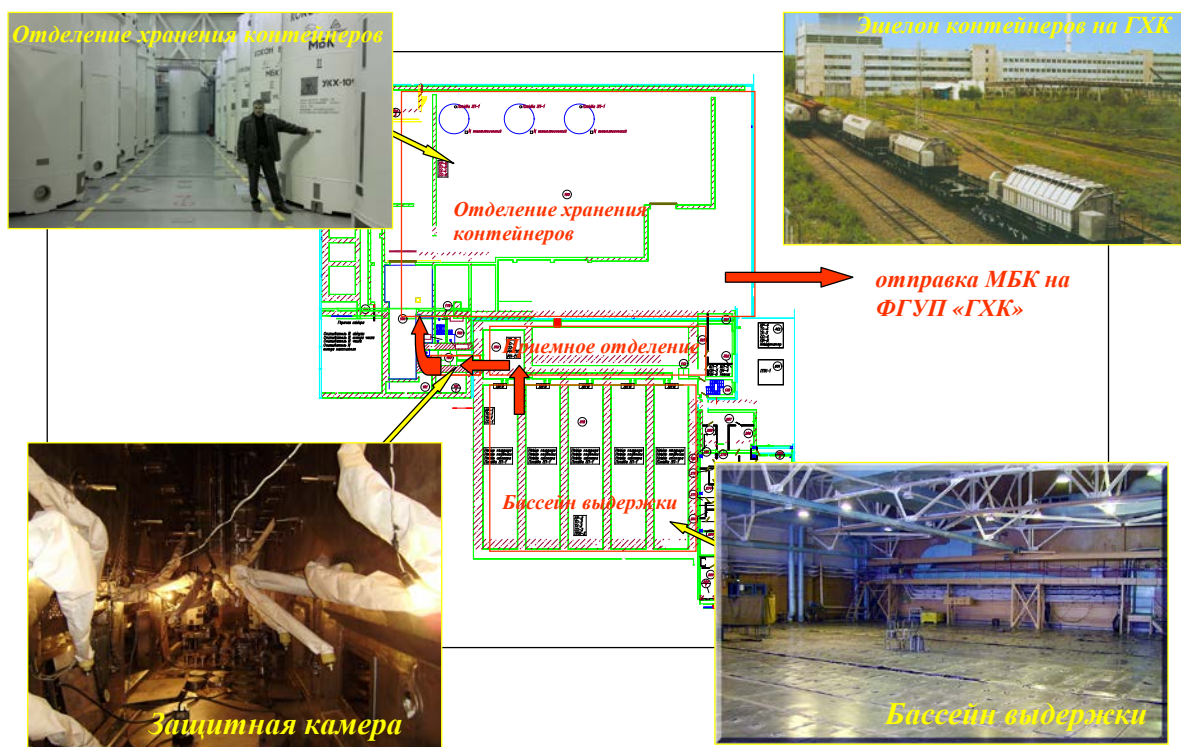
Подгорнов В.А.

ФГУП РФЯЦ-ВНИИТФ им. академика Е.И. Забабахина

В целях повышения уровня технологической безопасности и совершенствования СУиК ЯМ при переводе ОЯТ на сухое хранение на АЭС с РБМК и последующем обращении ОЯТ во ФГУП «ГХК» проводится внедрение автоматизированных систем оперативно-технического учета и контроля ЯМ (АСОТУиК ЯМ).

АСОТУиК ЯМ позволяет обеспечивать в защитной камере разделки ОЯТ в режиме реального времени автоматизированный контроль как за технологическими процессами по обращению, временному хранению, разделке и загрузке ОЯТ в МБК, так и за действиями технического персонала ХОЯТ при выполнении технологических и контрольно-учетных операций.

АСОТУиК ЯМ полностью базируется на отечественных аппаратных средствах, разработанных РФЯЦ-ВНИИТФ для АЭС.



Перевод ОЯТ с «мокрого» на сухое хранение в МБК на ЛАЭС

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ

- А -

- Абдулвагидов Р.Э.** – инж.-технолог группы ВПБ, ПО «Маяк» **123**
- Агеев К.А.** – инж.-технолог, РФЯЦ-ВНИИТФ **21**
- Андреев В.А.** – нач. научн. отдела, доцент каф. ХитМСЭ, к.т.н., СТИ НИЯУ МИФИ **25**
- Антипин А.В.** – инж.-физик, ПО «Маяк» **125**
- Антушевский А.С.** – рук. гр. Лаб. ядерно-физических методов анализа ЦЗЛ, ПО «Маяк» **125**
- Анфалова О.В.** – нач. отдела, РФЯЦ-ВНИИТФ **142**
- Апороски А.В.** – студент, СФТИ НИЯУ МИФИ **26**
- Арапов О.Л.** – инж. РФЯЦ-ВНИИТФ, аспирант СФТИ НИЯУ МИФИ **128**
- Ахлюстина Е.А.** – аспирант, СФТИ НИЯУ МИФИ **27**
- Ахметова Т. В.** – инж.-исследователь, РФЯЦ-ВНИИТФ **131**

- Б -

- Баева Ю.Н.** – инж.-программист, РФЯЦ-ВНИИТФ **15**
- Белов А. Д.** – инж.-испытатель, РФЯЦ-ВНИИТФ **131,134**
- Белоногов М.Н.** – м.н.с., РФЯЦ-ВНИИТФ **9**
- Белоногова Е.А.** – м.н.с., РФЯЦ-ВНИИТФ **10,16**
- Белоусов С.В.** – н.с., РФЯЦ-ВНИИТФ **21**
- Бесов С.С.** – инж., РФЯЦ-ВНИИТФ
- Бибикина Н.Б.** – инж.-технолог, РФЯЦ-ВНИИТФ **30**
- Борисов А.В.** – студент, СФТИ НИЯУ МИФИ **84**
- Брунеткина Е.В.** – инж.-исследователь, РФЯЦ-ВНИИТФ **34,38**
- Бурова Е.А.** – студент, СТИ НИЯУ МИФИ **25**

- В -

- Ваганов Д.А.** – с.п., ТИ НИЯУ МИФИ, аспирант СФТИ НИЯУ МИФИ **41,67**
- Веселова В.Е.** – инж., ИМАШ УрО РАН **137**
- Власевский Р.М.** – инж. РФЯЦ-ВНИИТФ, аспирант СФТИ НИЯУ МИФИ **45**
- Власов М.И.** – аспирант, ИПЭ УрО РАН **150**
- Волков А.В.** – инж.-программист РФЯЦ-ВНИИТФ, аспирант СФТИ НИЯУ МИФИ **49**

- Волков И.А.** – м.н.с., РФЯЦ-ВНИИТФ, аспирант РФЯЦ-ВНИИТФ **9, 11, 12**

- Г -

- Гареев И.С.** – инж.-исследователь, РФЯЦ-ВНИИТФ **34, 50**
- Гладковский С.В.** – зав. лаб., д.т.н., ИМАШ УрО РАН **137**
- Горин Н. В.** – в.н.с., к.ф.-м.н., РФЯЦ-ВНИИТФ **131**
- Горбоконица О.И.** – инж., РФЯЦ-ВНИИТФ **54**
- Горюшкин Д.С.** – инж., РФЯЦ-ВНИИТФ, аспирант СФТИ НИЯУ МИФИ **57**
- Григорьева Р.А.** – студент, СФТИ НИЯУ МИФИ **26**
- Гришин Ю.А.** – нач. гр., РФЯЦ-ВНИИТФ **61, 130**

- Д -

- Доровских И.А.** – н.с., РФЯЦ-ВНИИТФ **19**
- Дубосарский В.Г.** – инж., РФЯЦ-ВНИИТФ **18**
- Дудкин В.А.** – инж.-технолог, ПО «Маяк» **138, 140**
- Дырда Н.Д.** – м.н.с., РФЯЦ-ВНИИТФ **9, 12**

- Е -

- Ефремова А.А.** – инж.-физик ЦЗЛ, ПО «Маяк» **125**

- З -

- Завьялов З.И.** – инж.-исследователь, РФЯЦ-ВНИИТФ **64**
- Зуев Ю.С.** – зав. каф. ТМ, с.н.с., к.т.н., СФТИ НИЯУ МИФИ **45, 57, 128**

- И -

- Ильвес В.Г.** – н.с., к.т.н., ИЭ УрО РАН **150**

- К -

- Казаков В.А.** – инж.-технолог, ПО «Маяк» **138, 140**
- Каманцев И.С.** – инж., ИМАШ УрО РАН **137, 147**
- Катаргин В.П.** – студент, СФТИ НИЯУ МИФИ **88**
- Коковихин Е.А.** – с.н.с., к.т.н., ИМАШ УрО РАН **137**

Коробейников К.А. – доцент, к.т.н., СФТИ НИЯУ МИФИ **100**

Краев В.С. – нач. подразделения, РФЯЦ-ВНИИТФ **142**

Кревский А.К. – с.п. ТИ НИЯУ МИФИ, аспирант СФТИ НИЯУ МИФИ **67**

Крутиков В.С. – инж., РФЯЦ-ВНИИТФ, аспирант СФТИ НИЯУ МИФИ **90**

Куликов В.А. – нач. гр., РФЯЦ-ВНИИТФ **69**

Куприянец Т.А. – м.н.с., РФЯЦ-ВНИИТФ **13**

Куранов В.В. – нач. отделения, д.т.н., РФЯЦ-ВНИИТФ **61**

- Л -

Лавренюк И.В. – м.н.с., РФЯЦ-ВНИИТФ, аспирант СФТИ НИЯУ МИФИ **14**

Левунин С.Л. – нач. лаб. ядерно-физических методов анализа ЦЗЛ, к.т.н., ПО «Маяк» **125**

Левченко Д. И. – инж.-испытатель, РФЯЦ-ВНИИТФ **131**

Лежнев Д.Н. – инж.-исследователь, РФЯЦ-ВНИИТФ, аспирант РФЯЦ-ВНИИТФ **38**

Лызлова Е.В. – инж. технолог, ПО «Маяк» **147**

Лысенко О. В. – инж., РФЯЦ-ВНИИТФ **54**

- М -

Макасеов Ю.Н. – доцент каф. ХитМСЭ, к.х.н., СТИ НИЯУ МИФИ **25**

Макеева И.Р. – с.н.с., к.ф.-м.н., РФЯЦ-ВНИИТФ **10, 11, 12, 15, 18, 19**

Малых М.В. – инж.-исследователь, РФЯЦ-ВНИИТФ **61, 72, 76**

Мильман И.И. – проф., д.ф.-м.н., УрФУ **150**

Миндигалиев В.А. – инж.-исследователь, РФЯЦ-ВНИИТФ **72, 80**

Миронова Ю.А. – студент, СФТИ НИЯУ МИФИ **88**

Мякушко Э.В. – с. п. кафедры АИВС, СФТИ НИЯУ МИФИ **48**

- Н -

Новиков Л.Г. – зав. ТСКУ, к.т.н., ТИ НИЯ МИФИ **41, 67**

- О -

Окулова А.А. – студент, СФТИ НИЯУ МИФИ **104**

Оленин И.В. – нач. группы, РФЯЦ-ВНИИТФ **142**

Орлов А.А. – декан мех.-маш. факультета, доцент, к.т.н., СФТИ НИЯУ МИФИ **49, 112, 119**

Орлова Н.Ю. – зав. каф. тех. маш., к.т.н., доцент, СФТИ НИЯУ МИФИ **88, 90, 93, 111**

- П -

Паукова Е.А. – м.н.с., РФЯЦ-ВНИИТФ **15**

Пачурин Д.В. – инж.-конструктор РФЯЦ-ВНИИТФ, аспирант СФТИ НИЯУ МИФИ **93**

Пешкичев И.В. – м.н.с., РФЯЦ-ВНИИТФ, аспирант РФЯЦ-ВНИИТФ **10, 15, 16**

Пешков Д.А. – инж., РФЯЦ-ВНИИТФ, аспирант СФТИ НИЯУ МИФИ **27**

Писарев М.С. – нач. группы, РФЯЦ-ВНИИТФ **34, 50**

Подгорнов В.А., нач. отдела ФГУП РФЯЦ-ВНИИТФ, к.ф.-м.н. **156**

Поляков В.Н. – к.т.н. **95**

Попцова К.В. – инж.-программист, РФЯЦ-ВНИИТФ **17**

Потапов Р.А. – студент, СФТИ НИЯУ МИФИ **100**

Приб И.А. – инж., РФЯЦ-ВНИИТФ, аспирант СФТИ НИЯУ МИФИ **102**

Пугачев В.Ю. – инж.-программист, РФЯЦ-ВНИИТФ **15, 18**

- Р -

Романова Н.Ю. – инж.-программист, РФЯЦ-ВНИИТФ **19**

Романенко Н.Н. – инж. РФЯЦ-ВНИИТФ **64**

- С -

Савина Н. П. – инж.-исследователь, РФЯЦ-ВНИИТФ **131**

Садовский А.А. – к.т.н., доцент, СФТИ НИЯУ МИФИ **143, 144**

Садыков Н.Р. – профессор, д.ф.-м.н., СФТИ НИЯУ МИФИ **26, 27, 104**

Сартаков Д.А. – студент, СФТИ НИЯУ МИФИ **64**

Семенов М.А. – инж.-физик ЦЗЛ, ПО «Маяк» **125**

Сивков С.И. – с.п., ТИ НИЯУ МИФИ, аспирант СФТИ НИЯУ МИФИ **67**

Симоненко В.А. – зам. науч. рук., д.ф.-м.н., РФЯЦ-ВНИИТФ **10, 11, 12**

Скибо А.А. – оператор ЭВМ, РФЯЦ-ВНИИТФ **16**

Скоробогатов А.А. – инж.-исследователь, РФЯЦ-ВНИИТФ **30, 61**

Смачная О.В. – инж.-исследователь, РФЯЦ-ВНИИТФ **38, 54**

Смирнов Ю.Г. – зам. нач. отдела, РФЯЦ-ВНИИТФ **54**
Смирнова А.С. – инж.-исследователь, РФЯЦ-ВНИИТФ **72, 80**
Собко С.А. – нач. отдела, к.т.н., РФЯЦ-ВНИИТФ **38, 50, 69, 72, 76, 107**
Соковнин С.Ю. – в.н.с., д.т.н., ИЭ УрО РАН, УрФУ **150**
Соколов Е. С. – инж.-исследователь, РФЯЦ-ВНИИТФ
Соколов С.Ю. – нач. лаб., к.т.н., РФЯЦ-ВНИИТФ **155**
Сорокин А. Н. – инж., РФЯЦ-ВНИИТФ **21**
Старовойтов Н.П. – рук. гр. ВПБ, ПО «Маяк» **123, 138, 140, 147**
Стрельцов С.И. – н.с., РФЯЦ-ВНИИТФ **154, 155**
Суворов Е.А. – инж.-исследователь, РФЯЦ-ВНИИТФ, аспирант РФЯЦ-ВНИИТФ **72, 80**
Сырцова Ю.Г. – инж.-программист 2 кат., РФЯЦ-ВНИИТФ **19**
Сюрдо А.И. – гл.н.с., д.ф.-м.н., ИПЭ УрО РАН, УрФУ **150**

- Т -

Трапезников М.А. – м.н.с., РФЯЦ-ВНИИТФ **9**
Трунина Т.А. – с.н.с., к.т.н., ИМАШ УрО РАН **137**

- У –

Уваров П.Н. – студент, СТИ НИЯУ МИФИ **25**

- Ф -

Фетеркевич М.Д. – инж., РФЯЦ-ВНИИТФ, аспирант СФТИ НИЯУ МИФИ **143**

- Ц -

Царенков А.И. – н.с., РФЯЦ-ВНИИТФ **144**

- Ч -

Черников И.Д. – студент, СФТИ НИЯУ МИФИ **144**
Чернухин Ю.И. – с.н.с., д.ф.-м.н., СФТИ НИЯУ МИФИ **154, 155**
Чубаев А.Н. – мастер участка мех. обр., РФЯЦ-ВНИИТФ, аспирант СФТИ НИЯУ МИФИ **111**

- Ш -

Шульгин А.Н. – нач. технолог. группы ОАО «Радий» **112, 119**
Шульц О.В. – м.н.с., РФЯЦ-ВНИИТФ, аспирант РФЯЦ-ВНИИТФ **10, 15, 16, 20**

- Ю -

Юдов А.А. – инж., РФЯЦ-ВНИИТФ, аспирант СФТИ НИЯУ МИФИ **154, 155**
Юрченко О.С. – инж.-исследователь, РФЯЦ-ВНИИТФ **54**
Юсупов Р. И. – нач. отд., РФЯЦ-ВНИИТФ **131**

ОРГАНИЗАЦИИ

Российская Академия Наук

1. Институт промышленной экологии УрО РАН, Екатеринбург
2. Институт электрофизики УрО РАН, Екатеринбург
3. Институт машиноведения УрО РАН, Екатеринбург

Учебные организации

1. Северский технологический институт НИЯУ МИФИ, Свердловская обл.
2. Снежинский физико-технический институт НИЯУ МИФИ, Челябинская обл.
3. Технологический институт НИЯУ МИФИ, г. Лесной Свердловская обл.
4. УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург

Научно-исследовательские, производственные и другие организации ГК «Росатом»

1. ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск, Челябинская обл.
2. ФГУП «ПО «Маяк», Озерск, Челябинская обл.

Производственные предприятия ГК «Ростехнологии»

1. ОАО «Радий», Касли, Челябинская обл.

Материалы получены до 23.01.2014
Статьи сборника публикуются в авторской редакции

Ответственный редактор Н.А. Певнева
Оригинал-макет подготовлен В.Г. Матвеевым

Подписано в печать 25.01.2014. Формат 60x84 1/16
Печ. л. 10,5 Тираж 100 экз.

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ».
115409, Москва, Каширское ш., 31
Издательско-полиграфический отдел СФТИ НИЯУ МИФИ.
456776, Снежинск, Комсомольская, 8*