

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа ИШНПТ
 Направление подготовки Машиностроение
 Отделение школы (НОЦ) Материаловедения

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

| Тема работы |
|---|
| "Механоактивированный синтез композиционных порошков "карбид титана – связка на основе железа" для применения в технологиях нанесения износостойких покрытий." |

УДК 621.762.8:66.091

Студент

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|---------------------------|---------|------|
| 4AM81 | Хомяков Виталий Вадимович | | |

Руководитель ВКР

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|------------------|---------------------------|---------|------|
| К.т.н. | Коростелёва Е.Н. | доцент | | |

Консультант

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|-----|---------------------------|---------|------|
| | | | | |

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|---------------|---------------------------|---------|------|
| К.э.н. | Рыжакина Т.Г. | доцент | | |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|------------|---------------------------|---------|------|
| Д.т.н. | Сечин А.И. | профессор | | |

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

| Руководитель ООП | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|-----|---------------------------|---------|------|
| | | | | |

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП
15.04.01 «Машиностроение»

| Код результата | Результат обучения (выпускник должен быть готов) |
|-------------------------------------|--|
| Профессиональные компетенции | |
| Р1 | Применять глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания для создания и обработки новых материалов |
| Р2 | Применять глубокие знания в области современных технологий машиностроительного производства для решения междисциплинарных инженерных задач |
| Р3 | Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа, связанные с созданием и обработкой материалов и изделий, с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов машиностроения |
| Р4 | Разрабатывать технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование и инструменты для обработки материалов и изделий, конкурентоспособных на мировом рынке машиностроительного производства |
| Р5 | Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области современных технологий обработки материалов, nano технологий, создания новых материалов в сложных и неопределенных условиях |
| Р6 | Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современные высокотехнологичные линии автоматизированного производства, обеспечивать их высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на машиностроительном производстве, выполнять требования, на защите окружающей среды |
| Универсальные компетенции | |

| | |
|-----|---|
| P7 | Использовать глубокие знания по проектному менеджменту для ведения инновационной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности |
| P8 | Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, разрабатывать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности |
| P9 | Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации |
| P10 | Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах устойчивого развития |
| P11 | Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности |

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа ИШНПТ
 Направление подготовки (специальность) Машиностроение
 Отделение школы (НОЦ) Материаловедение

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

| Группа | ФИО |
|--------|-----------------------------|
| 4AM81 | Хомякову Виталию Вадимовичу |

Тема работы:

"Механоактивированный синтез композиционных порошков "карбид титана – связка на основе железа" для применения в технологиях нанесения износостойких покрытий."

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

Объектом исследования является СВС с предварительной механоактивацией – композиционные порошки ферротитан - железо покрытия на их основе.

| | |
|---|---|
| Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i> | Изучение литературных источников с целью выяснения достижений мировой науки в области получения и применения композиционных порошков; актуальность работы и постановка задачи; методы получения и исследования объекта исследования; анализ результатов выполненной работы; заключение. |
| Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i> | Презентация в Microsoft PowerPoint |

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

| Раздел | Консультант |
|---|---------------|
| Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | Рыжакина Т.Г. |
| Социальная ответственность | Сечин А.И. |
| Разделы, выполненные на иностранном языке | Ажель Ю.П. |

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Основная часть, Литературный обзор, Результаты исследования, Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», Социальная ответственность – русский язык

На иностранном языке выполнены следующие разделы диссертации:

Литературный обзор, СВС синтез композитных порошков, механоактивация реакционных смесей, карбид титана, механические и технологические особенности карбид титана, химические свойства карбид титана, виды и методы нанесения износостойких покрытий, материалы и методы.

| | |
|---|--|
| Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику | |
|---|--|

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|------------------|------------------------|---------|------|
| доцент | Коростелева Е.Н. | канд.тех.наук | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|--------------|---------|------|
| 4АМ81 | Хомяков В.В. | | |

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 108с., 20 рисунков, 20 таблиц, 26 источник, 1 прил.

Ключевые слова: композиционный порошок, карбид титана, технический углерод, электроннолучевые покрытия, порошковая наплавка, плазменное напыление, самораспространяющийся высокотемпературный синтез, механоактивация, механоактивация.

Объектом исследования являлись композиционные порошки «TiC – связка на основе железа».

Целью настоящей работы было исследование порошковых композитов TiC – связка железо, подвергнутым предварительной механоактивации с последующим спеканием способом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза.

В результате исследований описаны структурные особенности и некоторые физико – механические свойства композиционных порошков «карбид титана – связка на основе железа», а также технология СВС и механоактивации.

Степень внедрения: внедрение в производство не осуществлено.

Область применения: порошковая металлургия, получение износостойких покрытий, ремонтно – восстановительные технологии.

Экономическая эффективность/значимость работы – проект обладает высокой ресурсоэффективностью и является ресурсосбережливым.

| | |
|--|----|
| Оглавление | |
| Реферат..... | 6 |
| Введение..... | 10 |
| 1. Литературный обзор..... | 15 |
| 1.1 СВС синтез композитных порошков..... | 16 |
| 1.2 Механоактивация реакционных смесей..... | 21 |
| 1.3 Карбид титана..... | 25 |
| 1.3.1 Механические и технологические особенности карбид титана.... | 27 |
| 1.3.2 Химические свойства карбид титана..... | 28 |
| 1.3.3 Виды и методы нанесения износостойких покрытий..... | 29 |
| 1.3.4 Метод плазменного напыления покрытий..... | 31 |
| 1.3.5 Детонационный способ напыления..... | 33 |
| 1.3.6. Лазерный способ наплавки..... | 34 |
| 2. Материалы и методы..... | 35 |
| 2.1 Используемые порошки..... | 35 |
| 2.2 Механоактивация порошковых смесей..... | 36 |
| 2.3 Установки синтеза в режиме послойного горения и теплового взрыва..... | 37 |
| 2.4 Анализ продуктов синтеза и механоактивированных смесей..... | 40 |
| 3. Результаты работы..... | 41 |
| 3.1 Структура порошка ФТi35C5 и кинетика помола после МА..... | 41 |
| 3.2 Анализ дисперсности после МА..... | 43 |
| 3.3 Механоактивация порошковых смесей ФТ+С..... | 45 |

| | |
|---|----|
| 3.4 Сравнение результатов отжига и СВС механоактивированных порошков..... | 46 |
| 3.5 Влияние длительности МА смесей на синтез в волновом режиме горения..... | 48 |
| 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..... | 52 |
| 4.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения..... | 52 |
| 4.2 SWOT-анализ..... | 54 |
| 4.3 Расчёт затрат..... | 55 |
| 4.3.1 Расчёт затрат на материалы..... | 55 |
| 4.3.2 Расчёт затрат на оборудование | 57 |
| 4.3.3 Расчет амортизационных расходов..... | 58 |
| 4.3.4 Расчет заработной платы..... | 59 |
| 4.3.5 Социальные отчисления работникам..... | 65 |
| 4.3.6 Расчет затрат на электроэнергию..... | 65 |
| 4.3.7 Расчет общей себестоимости разработки..... | 66 |
| 4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования..... | 67 |
| 4.4.1 Оценка абсолютной эффективности исследования..... | 67 |
| 5. Социальная ответственность..... | 78 |
| 5.1 Введение..... | 78 |
| 5.2 Техногенная безопасность..... | 78 |
| 5.2.1 Анализ вредных факторов производственной среды..... | 78 |
| 5.2.1.1 Шум..... | 78 |

| | |
|--|----|
| 5.2.1.2 Вредные вещества..... | 79 |
| 5.2.1.3 Микроклимат..... | 80 |
| 5.2.1.4 Освещение на рабочем месте..... | 81 |
| 5.2.1.5 Расчет общего равномерного освещения..... | 82 |
| 5.2.2 Анализ опасных факторов производственной среды..... | 83 |
| 5.2.2.1 Электрический ток..... | 83 |
| 5.2.2.2 Пожаробезопасность..... | 84 |
| 5.2.3 Региональная безопасность..... | 85 |
| 5.2.4 Организационные мероприятия обеспечения безопасности..... | 86 |
| 5.2.5 Особенности законодательного регулирования проектных решений..... | 87 |
| 5.2.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях..... | 87 |
| 6. Основные результаты и выводы..... | 90 |
| 7. Список публикаций..... | 91 |
| 8. Список используемой литературы..... | 92 |

Введение

Порошковая металлургия, а также другие передовые технологии и энергосберегающие отрасли промышленности основное направление прогрессивного и эффективного производства, применяющиеся для разработки запчастей для авиакосмической промышленности, электроники и транспорта стран мирового сообщества.

Одни из важнейших технологий порошковой металлургии включают самые старые методы переработки рудного сырья в изделия – ковку, металлический порошок нагревают до температуры 800-1000 ° С. Передовые методы порошковой металлургии включают процесс: извлечение порошков с использованием методов, основанных на процессах механической или физико-химической обработки материалов, которые имеют определенное общее состояние; пористые порошковые заготовки; получение необходимых свойства с помощью спекания формованных пористых материалов.

Основное развитие отрасли порошковой металлургии началось с 19 века во всех возможных направлениях. В 20 веке порошковая металлургия получила промышленное применение, предоставив возможность сократить затраты на производство путем уменьшения отходов производства, а именно, с помощью использования остаточных материалов для получения порошков металла. Также технология уменьшала количество выполняемых операций по достижению готовой продукции.

Порошки очень длительное время используются в промышленности. Не обходится и без проблем. Так, в простых порошковых смесях разнородных компонентов были обнаружены проблемы сегрегации. На настоящий момент времени эта проблема простых порошковых смесей решается применением композиционных порошков, в которых каждая гранула уже обладает сложным многокомпонентным составом.

Рассматривая порошковые материалы на металлической основе следует отметить основные особенности некоторых используемых в работе классов сплавов железа: стали и чугуна.

Стали имеют высокую прочность, пластичность и твёрдость, но наряду с этим неустойчивость к окислению, относительную жаростойкость, сталь прекрасно подходит как матричная основа для получения композиционного материала. Стали находят широкое применение в качестве инструментальных материалов для обработки нелегированных и легированных сталей в условиях умеренных ударных нагрузок, к примеру, в качестве сверл, штампов, нарезного инструмента из быстрорежущей стали Р6М5 [ГОСТ 19265-73 Прутки и полосы из быстрорежущей стали].

Чугун по прочности сравним с сталью, обладает высокой теплоёмкостью, стойкость к кислотно щелочной среде, долговечность, но низкую пластичность, хрупкость, коррозионная стойкость. Порошки чугуна широко применяются в качестве материалов для наплавки деталей металлургического и энергетического оборудования, сельскохозяйственных машин, работающих в условиях абразивного изнашивания при температуре до 500 °С с умеренными ударными нагрузками.

Композиционные материалы обладают существенно лучшими характеристиками по некоторым из предъявляемым свойствам – так, например, высокая коррозионная стойкость, однако этот же композит, например, может из-за легирования быть крайне хрупким. Прочный композит, наоборот может не обладать коррозионной стойкостью. Композиты, в отличие от исходных материалов, имеют какие-либо специфичные свойства, необходимые для конкретных задач.

Метало матричные композиты (МКМ) – новый класс гетеро фазных конструкционных материалов, которые будут использоваться в будущем. Редкое не встречающееся сочетание свойств материала (высокие удельные жесткость и прочность, вязкость разрушения, электро- и теплопроводность, износостойкость и прочее) [1].

Многокомпонентные материалы принято называть композиционными, которые состоят из пластичной основы (матрицы) и наполнителя (армирующего компонента). Матрицы служат для сохранения необходимых размеров и форм, является связкой для наполнителя, имеет непрерывность по всему объёму и определяет технологические параметры получаемого материала. Наполнитель необходим для того, чтобы воспринимать на себя внешнюю нагрузку, является разделителем в объёме компонента материала и придаёт специальные свойства. Между фазами (компонентами) композиционного материала располагается граница раздела [1].

К наиболее распространённым твердофазным методам получения металломатричных композиционных материалов (МКМ) относят порошковые технологии следующих видов:

- горячее прессование или прокатка пакетов из матричной фольги и волокон;
- горячее прессование или прокатка пакетов однослойных композиционных полуфабрикатов, подготовленных плазменным напылением;
- горячее прессование полуфабрикатов виде волокон или жгутов, покрытых металлом;
- изготовление однослойных или многослойных МКМ динамическим прессованием с высокими энергиями или скоростями;
- экструзия матрицы с распределёнными в ней короткими волокнами и частицами [2].

Из МКМ с основой из металлической матрицы в современном мире используется алюминий, армированный борными или углеродными волокнами, эвтектические композиты, имеющие основу никелевых сплавов. Исследования проведённые в области МКМ в плане финансового инвестирования опережают работы, выполняемые по полимерным композитам. Такая же ситуация происходит с МКМ на основе керамики, несмотря на то, что в настоящее время использование таких композитов не так распространено, кроме стеклобетонов. В промышленном применении МКМ

на основе металлов и особенно керамики одним из передовых является их использование при повышенных температурах, что предоставляет возможность повышать температуры при которых работают двигательные установки и тем самым повысить их рентабельность на рынке [3].

МКМ являются одними из таких материалов, в которых матрицей выступают металлы и их сплавы, а арматурой - металлические и неметаллические волокна.

Для изготовления МКМ используют сплавы и металлы промышленного применения, которые задействуют в разных видах техники, а также сплавы, полученные в 21 веке, выполненные для армирования за счёт волокон. От того в каких условиях будут работать матричные композиты, каким температурам будут подвержены, используют следующие сплавы:

- о сплавы меди;
- о сплавы на основе титана;
- о легкие металлы и их сплавы (на основе алюминия и магния);
- о жаростойкие и жаропрочные сплавы на основе железа, никеля и кобальта;
- о тугоплавкие металлы и сплавы.

Все перечисленные металлические матрицы по технологическому принципу можно разделить на три больших класса: деформируемые, литейные и порошковые [3].

Из металлических матриц на основе железа, никеля и кобальта при создании МКМ чаще всего применяют окалиностойкие и жаропрочные стали и сплавы. Окалиностойкими (жаростойкими) обычно называют стали и сплавы, обладающие стойкостью против разрушения поверхности в газовых средах при нагревании выше 500°C и работающие в ненагруженном или слабонагруженном состоянии (нихромы, силхромы и т.д.). Жаропрочные сплавы также обладают значительной окалиностойкостью, но главное их качество - это способность работать в нагруженном состоянии при высоких

температурах. Недостаток применения композитов на основе никеля и кобальта является их высокая стоимость на рынке. В следствие чего возникает потребность в получении сплавов с похожими свойствами и низкой ценной сырья [15].

Широкое применение из сплавов на основе железа можно отметить быстрорежущие стали, применяемые в промышленном масштабе. Одним из примеров данного вида стали может служить сталь Р6М5 – имеющая повышенную вязкость, сопротивление длительному износу, шлифуемость.

При работе с высокой температурой сталь продолжает сохранять свои первоначальные свойства. Как пример, можно привести тот факт, что после термообработки твердость металла остается такой же, как у Р18. Более того, его прочность на изгиб достигает 4700 МПа. Превышает сталь Р6М5 марку Р18 и по таким характеристикам, как ударная вязкость или термопластичность. При этом в количественном отношении превосходство составляет 50%.

Не смотря на большое количество плюсов стали Р6М5 она имеет довольно высокую стоимость и требует немалого времени изготовления, так как закалка происходит при температуре 1230 °С.

Рассматривая порошки на основе чугуна, можно отметить сплав ПГ-С27, использующийся для напыления на детали, работающие при интенсивном абразивном износе с умеренными ударными нагрузками, однако температура эксплуатации очень ограничена и колеблется в пределах от 40 до 500 °С.

Титан и его сплавы чаще всего задействуют благодаря особым физико-механическими свойствами. Малая плотность сплавы титана имеет относительно высокую прочность от 500 до 1500 МПа. Технический титан имеет хорошие литейные свойства и активно применяются в литейном производстве. Также титан используется в различных сферах жизни: медицине, напыление покрытий, легирования, авиастроение, автомобилестроение, судостроение.

Не смотря на ценные свойства и возможность к легированию, титан является довольно дорогостоящим металлом, в следствие чего использование порошков для напыления с большим содержанием титана будет экономически не выгодно.

Ферротитан – углерод ФТи35С используется при производстве нержавеющей и жаропрочных сталей, а также сварочных электродов. Выступает в качестве легирующего и раскисляющего элемента, способствует удалению газов из стали. Имеет в своём составе 0,2% С, 23-30% Ti, 6-8% Al, 4-6% Si, до 4% Cu, остальное Fe. Не смотря на низкую стоимость и использование в вторичном производстве данного материала, имеется возможность использовать ценный титан, который находится в составе ФТи35С, как упрочняющее покрытие.

Сажа П803 (технический углерод), необходимый компонент для достижения реакции в карбидо-стали при спекании и получения композиционного порошка с полностью прореагировавшим углеродом.

Целью настоящей работы является получение металломатричного композита «карбид титана – связка на основе железа» из порошков титаносодержащего сплава (ФТи35С5) и углерода (П-803) для применения в технологиях нанесения износостойких покрытий.

В работе поставлены следующие задачи:

- 1) Исследовать влияние механоактивации порошковой смеси ферротитана ФТи35С5 + Сажа П-803 на синтез в режиме послойного горения (СВС) и теплового взрыва.
- 2) Провести синтез порошковых композитов, определить морфологию и эволюцию фазового состава синтезированных композиционных порошков в зависимости от времени механоактивации.
- 3) Применить полученные композиты в технологиях нанесения износостойких покрытий.

1. Литературный обзор

Широко распространённый метод печного синтеза не имеет требуемой производительности и чистоты получаемого продукта в современных реалиях. В связи с этим появилась необходимость использования другого метода в промышленных масштабах, одним из этих способов стал самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС), который оказался одним из перспективнейших в наше время. В основе СВС лежит явление распространения фронта горения в порошках тугоплавких химических элементов, приводящих к образованию соответствующих соединений. СВС может протекать в любых системах, где теплота соединения компонентов ($Ti+C$, $Ti+B$, $Al+O$) является большой и позволяет прогревать последующие слои вещества и инициировать там реакцию.

Механоактивация используется только тогда, когда СВС не идет по причине маленького тепловыделения (низкое число компонентов реакции или слишком много поглотителей тепла, которые не участвуют в реакции). Важно понимать, что механоактивация не всегда является необходимым инструментом для получения композиционных порошков методом СВС.

1.1. СВС синтез композитных порошков

Существует не один метод получения порошковых композитов, но в данный момент одним из перспективнейших является самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС). Этот способ применяется для синтеза тугоплавких соединений при безгазовом горении смесей порошков металлов и неметаллов, в современности СВС принято понимать, как “самоподдерживающийся процесс типа горения, приводящий к образованию полезных продуктов (материалов)” и насчитывающий около 100 разных технологий, которые позволяют получить свыше тысячи веществ и материалов, наносить покрытия, сваривать детали и т.д. Одной из основ СВС является реакция экзотермического взаимодействия двух или нескольких химических элементов (соединений), протекающая в режиме направленного горения после локального инициирования процесса [3].

Метод СВС является наиболее быстрым и от этого экономически выгодным, с применением наименьшего количества расходуемых затрат труда. С его помощью становится возможным получения композитных порошковых материалов, количество методов, которые могут синтезировать их – очень ограничено.

В зависимости то того, какие используются реагенты для СВС становится возможность выбора каким способом будет производится реакция. В процессе будет иметь значимость агрегатное состояние реагента. Исходя имеющихся условий, СВС может производится в двух основных режимах: послойное горение и объёмный тепловой взрыв.

Применяя послойное горение, химическая реакция, происходящая внутри реагента, начинает своё перемещение по веществу в виде узкой зоны (волны горения). Используемые источники для зажигания СВС-систем, ими служат тела подвергнутые термическому воздействию и дошедшие до накалки (например, электрическая спираль), электродуговой разряд, поток лучистой энергии волна горения вспомогательного состава, активные химические агенты (гипергольное зажигание) [3].

Тепловая энергия, находящаяся на поверхности, нагревает верхний слой и приводит к экзотермической реакции. Поблизости поверхностного слоя образуется фронт горения, начинающий самопроизвольно протекать по телу образца. Момент, когда влияние внешних температур не имеет значения называется задержкой зажигания. Температура в волне горения варьируется от начальной до максимальной за счет тепловыделения химических реакций температуры горения T_g . Одним из важнейших факторов протекания реакции СВС является температура горения и формирование конечных продуктов горения. Температура горения при которых протекает реакция от 2000 до 3500 К встречается чаще всего только в СВС-процессах. Не смотря на это, температура может меняться, в зависимости от того, какова природа материала, существенное отличие можно описать: так, в некоторых системах металл — азот $T_g > 3500$ К, а в системах пероксиды молибдена (хрома) —

алюминий $T_g \sim 3800\text{—}4800\text{ K}$. Ширина волны горения может достигать 4—5 мм. В зоне догорания при температуре, близкой к температуре СВС, происходят коалесценция и спекание частиц продукта с малым тепловыделением [3]. Напротив, в системах для синтеза сложных оксидов из простых температура горения составляет 800—1800 К, в системах металл — металл $T_g = 1100\text{—}1500\text{ K}$, в системах интерметаллид — водород, как правило, не превышает 600—800 К.

Тепловой взрыв, относящийся к СВС реакциям, отличающийся по своей особенности протекания реакции по всему объему с достижением критических условий (нагрева до температуры самовоспламенения). Для этого режима свойственно почти моментальное получение высоких температур (со скоростью порядка тысяч градусов в секунду) рост происходит примерно по телу образца, что приводит к быстрому окончанию процесса. СВС в режиме объемного теплового взрыва обычно применяется для систем (порошковых смесей) с относительно низким экзотермическим эффектом химической реакции взаимодействия реагентов и/или с высокой степенью размешивания начальной смеси реагентов конечным продуктом [3].

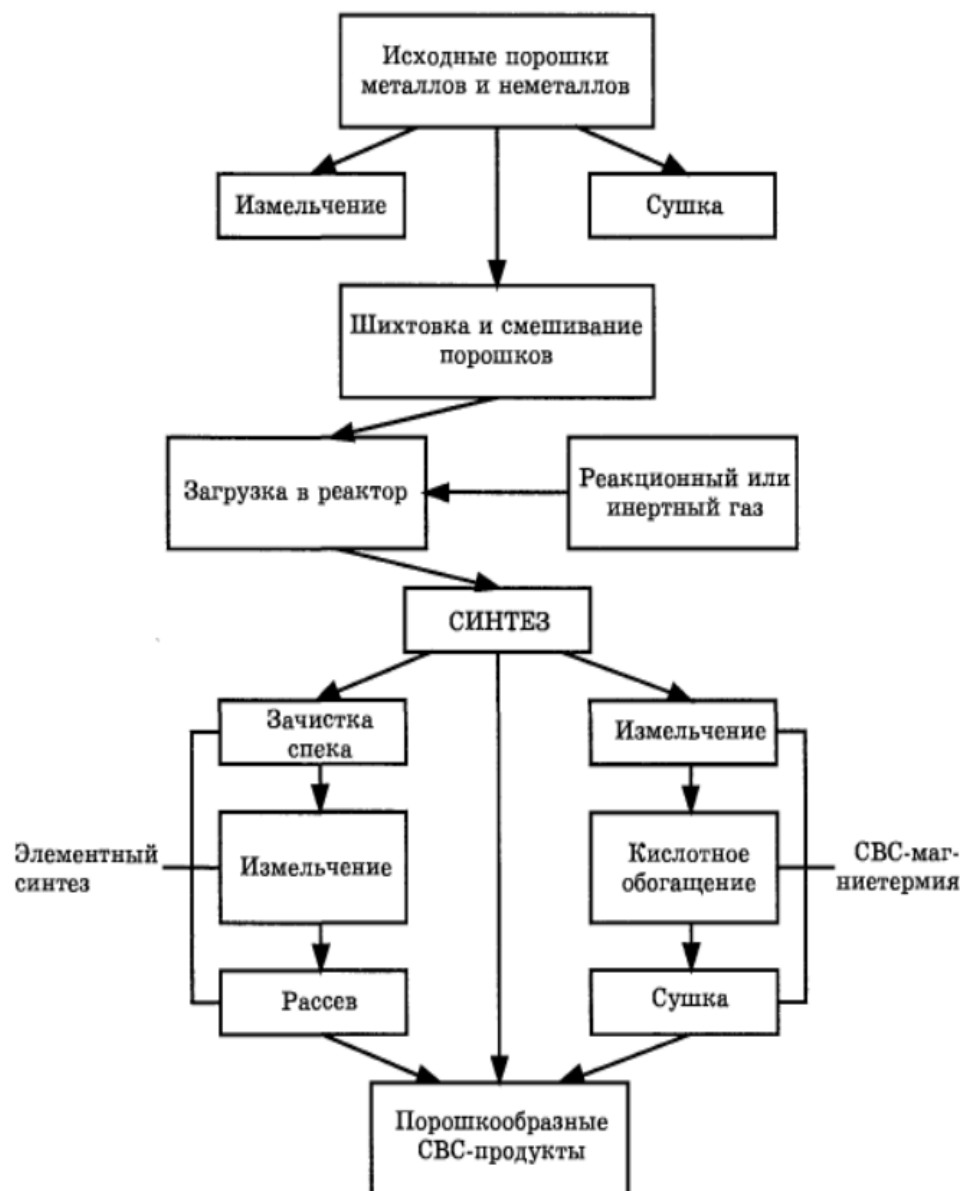


Рисунок 1. Схема СВС технологии производства порошков.

К плюсам СВС технологии относится: протекание реакции с температурой, превышающей температуру плавления хоть одного из реагентов состава материала; получение конечного продукта с улучшенными свойствами в ходе термического воздействия и простоте используемого оборудования.

Не смотря на очевидные плюсы технологии, имеются недостатки, ограничивающие использование в промышленном масштабе, это проблема воспроизводимости структуры и свойств материалов в условиях самоорганизации процесса. В отдельном участке использования СВС

происходит протекание узкой области параметров, которые плохо поддаются контролю, способом управления могут являться изменение состава и изначальной температуры.

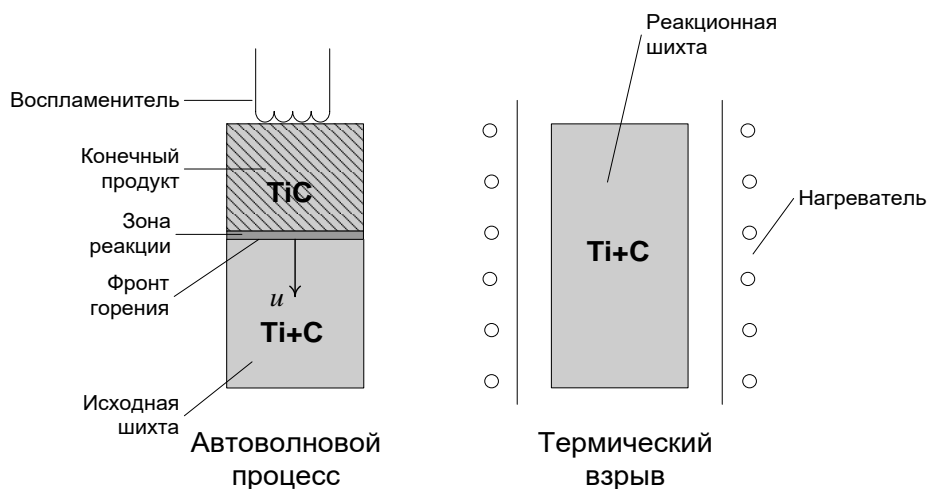


Рисунок 2. Способы инициирования реакции СВС.

Одним из самых действенных методов, позволяющим целенаправленно повлиять на структурное состояние реакционной шихты и параметры СВС, обеспечивающим регулировку механизмов фазо- и структурообразования материалов в процессе синтеза, является предварительная механоактивация (МА). Об использовании механоактивации реакционной шихты перед СВС сообщалось, начиная с 80-х гг. 20в. Однако количество исследований, связанных с комбинированием этих двух технологий (механоактивация и самораспространяющийся высокотемпературный синтез), резко увеличилось в начале 90-х гг. (когда были показаны возможности формирования методом МА м СВС передовых, в том числе и наноструктурных, материалов) и с каждым годом продолжает расти.

Метод механически активируемого самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (МАСВС) является сразу двух стадийным процессом. На начальной стадии реакционная шихта подвергается обработки в течение короткого продолжения времени в энергонапряженном аппарате— активаторе, на второй стадии — используется как реакционная смесь для СВС. Выявлено, что МА увеличивает диапазон для проведения реакций в самораспространяющемся режиме в концентрационных областях, где обычно

СВС не было возможности инициировать реакцию горения. МА требуется для инициирования реакции горения низкокалорийных систем, в которых предварительная МА может использоваться вместо предварительного подогрева. МА предоставляет возможность трансформировать условия протекания химических реакций и существенно изменить термические параметры фронта горения (температуру, скорость горения, скорость разогрева и др.) изменяя структуру и свойства продуктов подвергнутых синтезу. Таким образом, возможности МА с точки зрения модифицирования условий СВС чрезвычайно широки. Однако данных о систематических исследованиях влияния МА на процессы фазо- и структурообразования при СВС до настоящего времени в литературе нет. Подавляющее большинство работ посвящены экспериментальным исследованиям теплофизических и кинетических особенностей процесса МАСВС, а также структуры и свойств продуктов синтеза в конкретных системах [3].

1.2. Механоактивация реакционных смесей

Во многих трудах описано влияние механоактивации на СВС реакцию, но всегда есть отличие от полученного эффекта, так как физическое влияние на кристаллическую решётку и внутреннюю структуру в общем, всегда различна для каждого различного объекта исследования. В признаки, которые будут являться разграничивающими в получении результатов относятся: различные режимы МА, размер порошкового реагента, процент составляющих материалов композита.

Одной из важнейших причин выполнения механоактивации отмечается, как повышение энтальпии твёрдого вещества в результате накопления изменений, дефектов кристаллического строения – вакансий, межузельных атомов, дислокаций, границ зёрен и субзёрен.

Если рассмотреть с другой стороны данный процесс накопления дефектов одновременно с этим сопровождается релаксацией. Поэтому при скорости образования дефектов выше чем скорость релаксации происходит активация материала, если ниже – дезактивация.

Механоактивация выполняемая в аппаратах-активаторах (шаровых и планетарных мельницах, атриторах и др.) — процесс включающий в себя множество факторов, от которых он зависит, от таких как физических и химических характеристик, как энергия и частота соударений, продолжительность измельчения, тип мельницы, температура измельчения, соотношение масс шаров и обрабатываемого порошка, природа атмосферы, в которой происходит обработка, химический состав смесей и др. Большинство перечисленных параметров являются тесно связанными. Тем самым конечный результат будет зависеть от совокупности выполненных действий, дающих максимальный результат, вклад каждого из параметров измерить невозможно. Это затрудняет теоретическое предсказание неравновесных процессов (фазовых переходов, фазообразования) при механоактивации [3].

Таким образом при проведении исследований, за частую многое зависит от выбранных режимов активации, который в совокупности может показать совершенно разные результаты в зависимости от наличия охлаждения, интенсивности, продолжительности.

Механическая активация (МА) порошковых материалов выводит их из равновесного состояния, что определяет их необычные свойства. В зависимости от расстояния от состояния равновесия, которое определяет параметры системы, оно растет, в результате чего увеличивается разнообразие структур, используемых в материале, и, следовательно, его свойства. МА позволяет получать активные состояния в твердом теле, открывая определенную перспективу для проведения и ускорения химических реакций между твердыми веществами и для получения материалов в высоконеравновесном состоянии. [4].

В совокупности активация порошковых смесей приводит к формированию механокомпозитов — порошковых частиц, в которых изначальные компоненты и взаимодействующие продукты связаны между и равномерно распределены между собой. В остальных случаях, процесс формирующий механокомпозиты определяется природой составляющих его

компонентов, в зависимости от которых можно выделить: пластичный – пластичный, хрупкий – пластичный, хрупкий – хрупкий.

При предварительной механической активации происходит структурное изменение в материалах, которые наиболее благоприятны для процессов: отжиг, спекание, СВС и др. Получаемые при МА дефекты создают условия для само- и гетеродиффузии внутри активированных частиц. Так как перечисленные процессы требуют высокой энергии активации, предварительная МА способствует снижению энергетического барьера образования соединений за счёт выделяемого в процессе реагирования запасённой при активации энергии, которая видимо придаёт уменьшение температуры реагирования механоактивированных материалов. Накопленная энергия при МА может быть высвобождена при СВС, в ходе избыточного тепла, этот факт является особенно важным при протекании термической реакции, по сколько позволяет расширить составы композиций за счет, не выделяющих при нормальных условиях тепла компонентов.

Рассматривая влияние МА на последующее термическое воздействие, можно разделить два основных вида изменений микроструктурные и энергетические. К Микроструктурным воздействиям относится образование более мелкой структуры реагента и увеличение площади контакта частиц между собой, приводящее к более быстрому началу реакции. Энергетическим принято считать изменение внутренней энергии в следствии накопления и её освобождения в ходе механических воздействий, приводящей к пластической деформации.

Подробно анализируется случай стационарного горения авторами [16]. Отмечается, что влияние предварительной МА на скорость волны синтеза — результат действия нескольких противоположных факторов: с одной стороны, увеличение реакционной поверхности, активация реагентов и выделение избыточной энергии, запасенной на этапе механоактивации, с другой, — частичное химическое превращение, снижающее энергетические возможности системы. Показано, что если на этапе механоактивации

химического превращения не произошло, то предварительная обработка конденсированных реагентов увеличивает скорость синтеза, так как в отсутствие химического взаимодействия все остальные факторы интенсифицируют реагирование (с ростом межфазной поверхности и избыточной энергии скорость горения монотонно возрастает). Увеличение скорости фронта обусловлено перестройкой его структуры (рис. 3) по сравнению с не активированной системой.

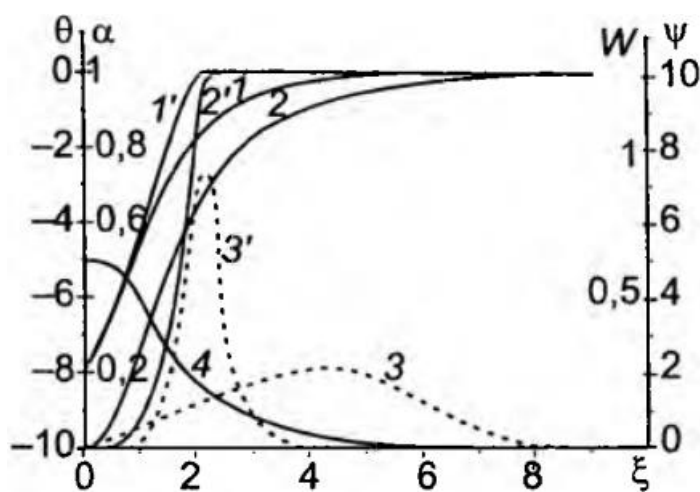


Рисунок 3. Структура волны горения активированной (1-4) и не активированной (1' – 3') смесей: 1,1'- температура Θ , 2,2' – глубина превращения α ; 3,3' – скорость тепловыделения ψ ; 4 – избыточная энергия W .

В образцах, которые были подвергнуты активации наблюдается химическое воздействие при более низких температурах. Максимум скорости тепловыделения становится виден при значительно меньших температурах, величина максимума меньше, чем не у активированных систем, а тепловыделение проявляется в разных местах по волне горения (кривые 3,3'), в отличие от не активированных систем. Температура в области волны увеличивается медленнее (кривые 1,1'), сопровождается догоранием. Структура волны горения определяется избыточной энергией - чем её больше, тем сильнее от неё зависит область химических превращений. Длительная выдержка между этапами активации и синтеза снижает избыточную энергию, максимум скорости тепловыделения смещается в область максимальной

температуры, структура области с более широкой зоной реакции трансформируется в структуру с узкой зоной.

Таким образом следует ожидать, что в порошковых смесях с большим содержанием инертной железной добавки механоактивация может позволить расширить концентрационные пределы горения путем рассмотренных механизмов.

1.3. Карбид титана

Карбид титана является материалом с уникальными свойствами. Его преимуществом является высокая твёрдость, высокая температура плавления, высокая теплопроводность, низкое электросопротивление, стойкость в агрессивных средах и к абразивному износу.

Карбид титана известен человечеству более 100 лет, с момента его открытия были выявлены основные способы получения (углетермическое восстановление оксидов титана), также его физические, химические, механические свойства. На использование карбид титана в промышленных масштабах повлияло 3 фактора.

Один из первых является, разработка и быстрое развитие в промышленных масштабах безвольфрамовых твёрдых сплавов на основе карбида титана. Особо актуально это становится в связи с дефицитом вольфрама.

Вторым фактором является, получение покрытий, используемых для нанесения на инструментальные, конструкционные и другие изделия. Существует большое количество способов нанесения покрытий в промышленных масштабах, и в настоящее время не самая малая часть рынка имеет покрытие карбид титана.

В – третьих, карбид титана с каждым годом всё чаще используется в абразивных материалах [5].

Все перечисленные факторы привели к увеличению производства карбид титана, и тем самым к поиску более эффективных способов его получения. В связи с этим в технологии получения появились новые

необходимые параметры: высокая дисперсность порошка, чистота конечного продукта, наличия сырья, которое будет удовлетворять производство в промышленных масштабах, высокая производительность и малая энергоёмкость, не высокая стоимость. В результате для достижения всех перечисленных параметров были разработаны эффективные способы получения карбид титана: плазменный (высокая дисперсность частиц карбид титана), СВС (высокая производительность), карбидизация и помол стружковых отходов титана (низкая стоимость).

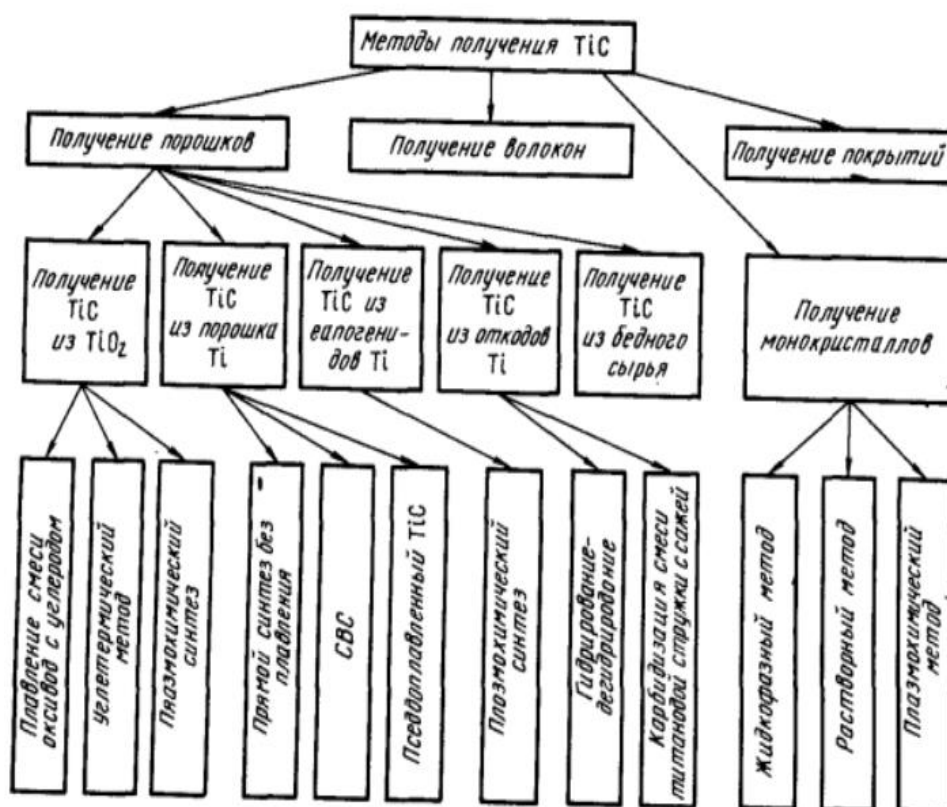


Рисунок 4. Методы получения карбид титана [5].

В качестве титаносодержащих реагентов могут использоваться: титан, диоксид титан, галогены титана, бедные титановые руды, а также отходы титановых сплавов, источником углерода служат различные углеродосодержащие материалы [5].

Исследуя порошковую металлургию и её потенциал в получении композитов, было принято решение попытки синтезировать карбид титана из титаносодержащего порошка.

Получение карбид титана из смеси порошков титана и сажи может осуществляться несколькими способами: прямым способом без плавления титана, псевдо плавлением, методом СВС. В данной дипломной работе будет рассмотрен способ СВС, как наиболее экономически эффективный и доступный.

Также одним из наиболее важных факторов, влияющих на характеристики полученного карбид титана, является фрикционный состав исходных порошков. Карбид титана несёт в себе максимальное содержания связанного углерода и минимальное содержание свободного углерода, полученного из титана размером 60-120 мкм. Когда частицы титана имеют крупный размер, например, более 120 мкм сложно приготовить однородную смесь Ti и сажи из-за значительной разницы между размерами их частиц и горение проходит не равномерно [6]. При карбидизации титана с размером частиц менее 60 мкм увеличивается газовыделение, тем самым ухудшается качество образующегося карбид титана, что приводит к повышенного содержания в порошке титана адсорбированного кислорода.

1.3.1. Механические и технологические особенности карбид титана

Одним из главных факторов, отвечающих за прочность карбид титана, является его пористость и уменьшение дефектности TiC по углероду, способ получения и размер зёрен. В связи с этим при увеличении пористости примерно на 5% его прочность уменьшается в 2 раза.

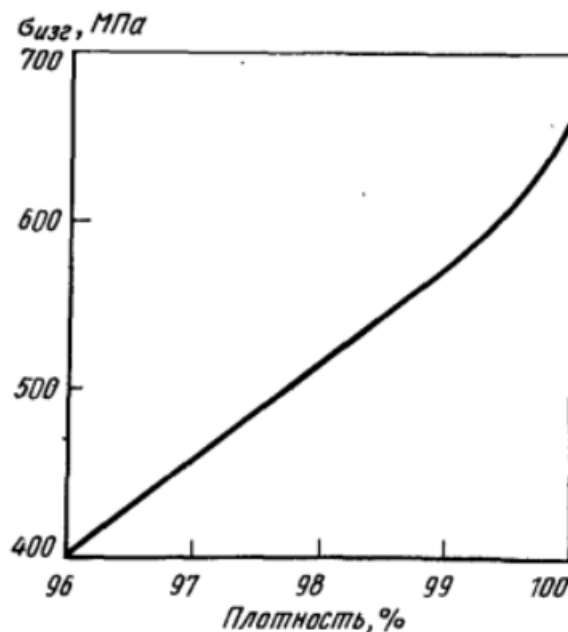


Рисунок 5. Предел прочности при изгибе в зависимости от пористости.

Основными причинами, по которым карбид титана имеет высокотемпературную прочность является наличие в нём примесей железа, свободного углерода, кремния, образующие на границах зёрен легкоплавкие фазы.

После достижения температур в 400 °С карбид титана имеет характер разрушения - хрупкий, как только температура продолжает расти, происходит переход в вязкое разрушение. Чем меньше содержание связывающего углерода, тем меньше температура перехода разрушения из хрупкого в вязкое [5].

1.3.2. Химические свойства карбид титана

Карбид титана получил широкое распространение также благодаря своим химическим свойствам. С увеличением дефектности по углероду карбид титана, возникает устойчивость к растворам фосфорной и соляной кислоты содержащих перекись водорода. Сплав имеет устойчивость к воздействию соляной, серной, и фосфорной кислот и щелочей, но подвержен растворению при воздействии с царской водкой и смеси азотной и плавиковой кислот

Карбид титана обладает высокой коррозионной стойкостью в области потенциально отрицательнее 0,05 в щелочных и 0,7 в кислых растворах [5].

Карбид титана имеет относительно высокую стойкость против окисления. Активное окисление карбид титана происходит при температурах равных около 1100 °С [7]. При окислении TiC изначально происходит образование твёрдого раствора TiC-TiO, препятствующего дальнейшему окислению. Когда температура достигает 1100°С и выше, кислород начинает диффундировать через слой твёрдого раствора образуя TiO [8].

При высоких температурах водяной пар окисляет карбид титана, а в атмосфере CO₂ или N₂O TiC распадается, образуя диоксид титана [8].

Значительные физико – механические и химические свойства карбид титана (тугоплавкость, твёрдость, жаростойкость, жаропрочность, электропроводность, низкая скорость испарения) обеспечивает его широкое применение в различных областях техники [5].

1.3.3. Виды и методы нанесения износостойких покрытий

В большинстве своём машиностроительный комплекс имеет прямую зависимость от того, в каком состоянии и как долго может проработать металлорежущий инструмент.

Одним из наиболее распространенных способов повышения эффективности работы инструмента является нанесение износостойких покрытий. Известно, что физико-механические и теплофизические свойства износостойких покрытий могут значительно отличаться от изначальных свойств инструмента. Изменяя свойства поверхности материала инструмента, износостойкие покрытия оказывают существенное влияние на характеристики процесса резания и повышают стойкость контактных площадок режущего инструмента макро- и микроразрушениям.

Одним из наиболее распространенных в отрасли считается однослойное покрытие, которое может значительно повысить эффективность работы режущего инструмента. Однако в некоторых случаях эффективность этого инструмента недостаточна. Дальнейшее совершенствование режущего

инструмента с покрытиями может пойти по пути создания новых композиций покрытий, в том числе многослойных, которые могут более полно соответствовать требованиям к износостойким покрытиям. Однако отсутствие научно-обоснованных принципов их формирования приводит к тому, что часто одни и те же многослойные покрытия рекомендуются для использования при разных условиях резания, и наоборот - разные многослойные покрытия рекомендуются при одинаковых условиях обработки. Эта проблема осложняется недостаточными знаниями о влиянии технологических параметров процесса нанесения многослойных покрытий, его состава и структуры на производительность режущего инструмента, а также отсутствием научно достоверных методов. разработать многослойные покрытия для различных операций обработки. [9].

Одним из главных преимуществ нанесений износостойких покрытий является их нанесение на определённые рабочие зоны инструмента с сохранением характеристик твёрдого тела. Свойства, которыми наделяется инструмент сильно зависят от их метода нанесения, но в любом случае являются наиболее эффективными в отличии от инструмента, не имеющего напыление.

Существует трехуровневое разделение факторов, определяющих свойства покрытий [10]:

1. Некоторые из них связаны с регулированием параметров нанесения (например, температура подложки и сам процесс, взаимодействие реагентов и продуктов реакции, механические напряжения, которые образуются на покрытии за счет термического и ударного воздействия удары при бомбардировке потоками и различными частицами и другие).

2. Факторы, связанные с состоянием подложки, покрытия и вся система подложки-покрытия в целом.

3. Факторы, которые относятся к структурному упрочнению или так называемая микроструктура, они включают размер, границы зерна, пористость, ориентация зерна.

1.3.4. Метод плазменного напыления покрытий

Этот метод включает в себя формирование покрытия на поверхности продукта из слоя частиц, которые имеют тепловой запас и кинетическая энергия, возникающая в результате действия плазмы струй. Температура плазменной струи может достигать до 5000-5500 ° С, скорость около 1000-1500 м / с. [11].

В плазменной струе частицы ускоряются со скоростью 50-200 м / с. Скорость, которую достигнут частицы, будет зависеть от их размера, плотности материала, тока дуги, природы и потока газа, образующего плазму. Образование плазменной струи получают в специальных устройствах, называемых плазменными генераторами или плазмотронами (рис. 6).

При плазменном напылении порошок вдувается транспортным газом в плазменную струю непосредственно через специальные отверстия плазмотрона (рис. 6, а). Проволока и прутки могут подаваться двумя способами (рис 6, б, в)

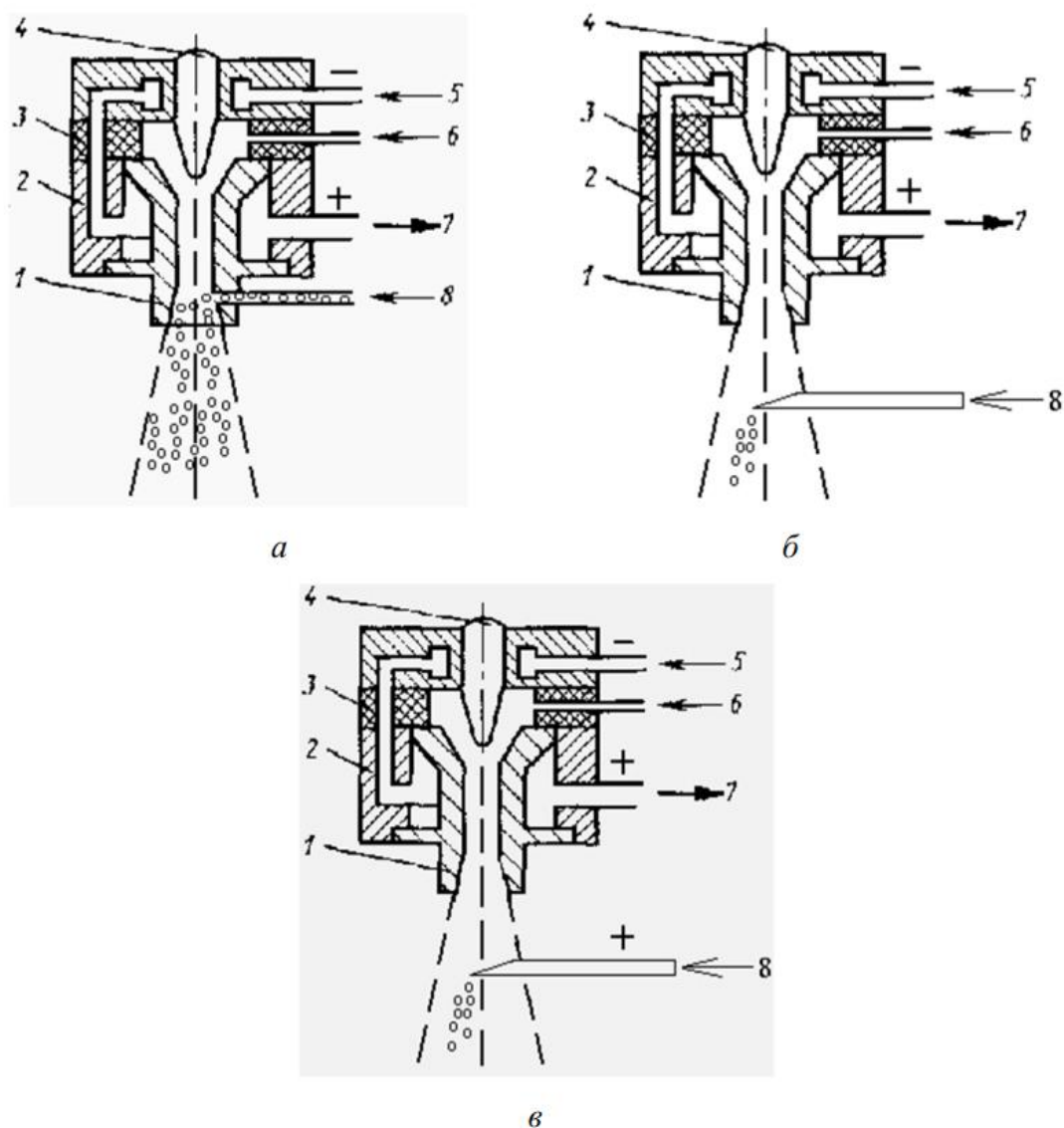


Рисунок 6. Схема плазменного напыления порошковых материалов (а); проволоки и прутков (б, в): 1 - водоохлаждаемое сопло (анод); 2 - корпус; 3 - изолятор; 4 - электрод (катод); 5, 7 - подвод и отвод воды; 6 - подвод плазмообразующего газа; 8 - подвод распыляемого материала

Преимуществами способа являются:

- 1) получить покрытия из различных материалов, которые могут плавиться и не разлагаться без температурных ограничений.
- 2) подлежит регулированию электрических и газовых режимов работы плазменной горелки, а также в процессе нанесения покрытия, что позволяет изменить энергетические характеристики частиц и условия распыления формирование покрытия;

3) относительно высокая производительность способа: 3-20 кг / час плазмотрона с электрической мощностью 30-40 кВт и 50-80 кг / час для плазмотроны мощностью 150-200 кВт;

4) Коэффициент использования напыляемого порошка гораздо выше чем с помощью других способов напыления, около 50-70 %.

1.3.5. Детонационный способ напыления

При использование данного способа производится нагрев и разгон частиц напыляемого материала, происходящее из-за энергии продуктов детонации от газовой смеси. Распространение детонационной волны происходит со скоростью порядка 2000–4000 м/с, а температура может достигать 2200–5500°C (в зависимости от состава смеси). Что обеспечивает разгона частиц до скорости 600–1000 м/с. Детонационное напыление является циклическим процессом [11].

Напыляющее устройство (рис. 7) представляющее канал круглого или прямоугольного сечения, закрытый с одного конца. В канал через специальные механизмы подается горючий газ и порошок. Достичь воспламенения помогают запалы 3, которые расположены около закрытого торца [11].

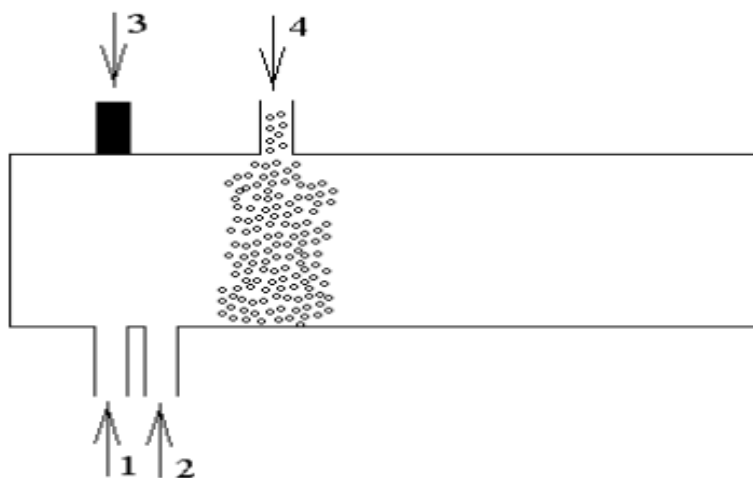


Рисунок 7. Схема детонационного напыления: 1 – подача флегматизирующего газа (азот); 2 – подача горючей смеси; 3 – блок инициирования взрыва; 4 – подача порошка.

Для рабочих газов чаще всего выбирают азот, кислород, ацетилен, пропан-бутан.

К преимуществам данного метода можно отнести:

- 1) Получение покрытий с повышенной прочностью сцепления в диапазоне от 10 до 160 МПа, и низкой пористостью 0,5-1%;
- 2) возможность нанесения на разные виды подложек, без струйно-абразивной подготовки поверхности;
- 3) Простота конструкции.

1.3.6. Лазерный способ наплавки

Одним из основных принципов напыления лазером является достижения получаемой на рабочей поверхности расплавленной основы и присадочного материала. Так как основа расплавляется минимально, свойства получаемого покрытия будут зависеть только от присадочного материала. Создание современного лазерного оборудования различных типов позволяет в широких пределах реализовать возможности нового метода, полностью автоматизировать технологический процесс, включить его в интегральную систему высокоэффективного производства [12, 13].

Данный вид наплавки хорошо подходит для напыления порошка, достигается хорошая адгезия, при этом тепловое воздействие на подложку не значительно. [14].

Основные особенности процесса лазерной наплавки:

- формирование наплавленного слоя с малым коэффициентом перемешивания (0,05—0,15) в результате незначительного подплавления основы;
- минимальное термическое воздействие на основной металл, что особенно важно для материалов, претерпевающих структурные и фазовые превращения;

- отсутствие остаточных деформаций на детали;
- повышенные свойства наплавленных слоёв;
- возможность наплавки малых поверхностей, соизмеримых диаметром пятна нагрева в случае применения импульсных импульсно-периодических лазеров;
- ремонтпригодность деталей и инструмента [14].

2. Материалы и методы.

2.1. Используемые порошки

В работе использовались порошки ферротитана марки ФТи35С5 и технического углерода (сажи) П-803.

Ферротитан марки ФТи35С5 содержит 32,45 масс % титана; 9,75 % алюминия; 4,65 % кремния и остальное железо. Рентгеноструктурный анализ ферротитана обнаружил две фазы: твердый раствор алюминия в интерметаллиде TiFe_2 [$\text{Ti}(\text{Fe}_{0.875}\text{Al}_{0.125})_2$] и твердый раствор железа в силициде титана Ti_5Si_3 ($\text{Ti}_{5.21}\text{Fe}_{0.02}\text{Si}_{2.77}$).

Исходный порошок сажи П-803 (рисунок 8б) имеет субмикронные размеры и аморфную структуру.

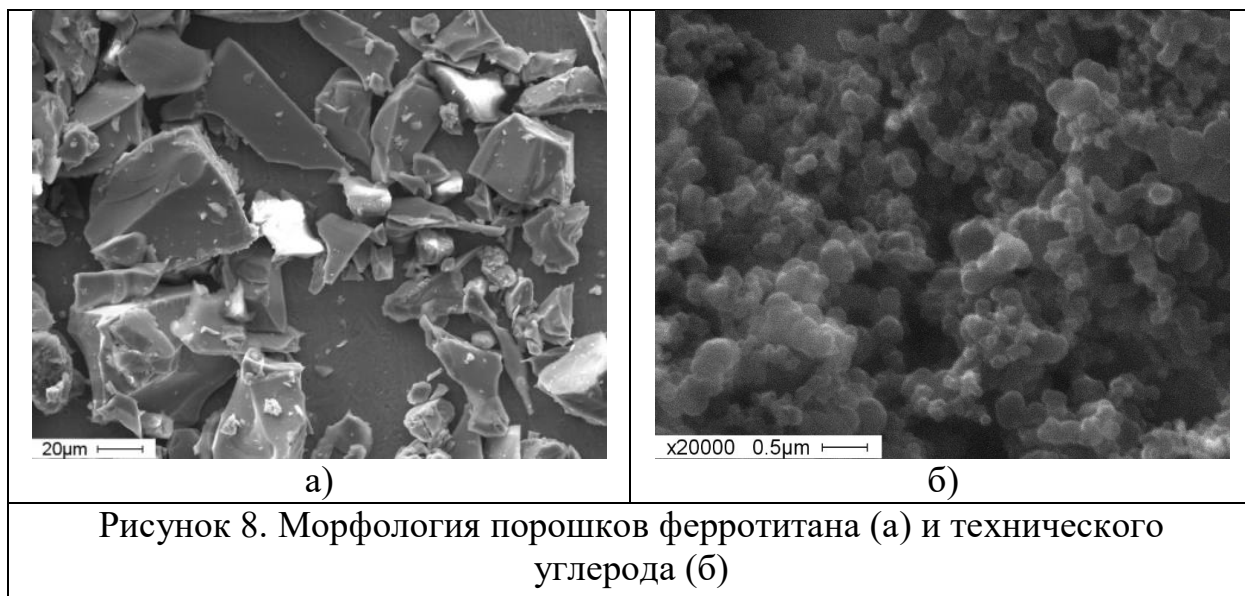


Рисунок 8. Морфология порошков ферротитана (а) и технического углерода (б)

Так как оба промежуточных соединения в структуре ферротитана хрупкие, то дроблением кусков под гидравлическим прессом (рисунок 9) был легко получен порошок дисперсностью менее 56 мкм. После дробления порошки имели осколочную форму (рисунок 8а).



Рисунок 9. Гидравлический пресс с усилием 160 тонн.

Полученный порошок ферротитана смешивался с техническим углеродом (сажей) в количестве 7,5 масс %. Такое содержание углерода в смеси с порошком ферротитана было получено расчетом в предположении, что весь титан в процессе синтеза прореагирует с углеродом с образованием карбида титана эквиатомного состава. Гомогенизацию порошковой смеси производили в смесителе типа “пьяная бочка” в течение 4 часов. Полученные порошковые смеси ФТ+С использовали для механоактивации и синтеза.

2.2 Механоактивация порошковых смесей

Механоактивацию порошковых смесей проводили в планетарной мельнице «Активатор - 2S» (рисунок 10) с объемом барабанов 250 мл. и соотношением массы шаров и порошковой загрузки 20:1. Диаметр шаров составлял 6мм. Масса порошковой загрузки в каждый из барабанов составляла

15г. Скорости вращения планетарного диска изменяли для вариации интенсивности механоактивации: интенсивный (960 об/мин – 64,2г) и средний (720 об/мин - 36г). Для предотвращения окисления во время МА барабаны с образцами заполняли аргоном.

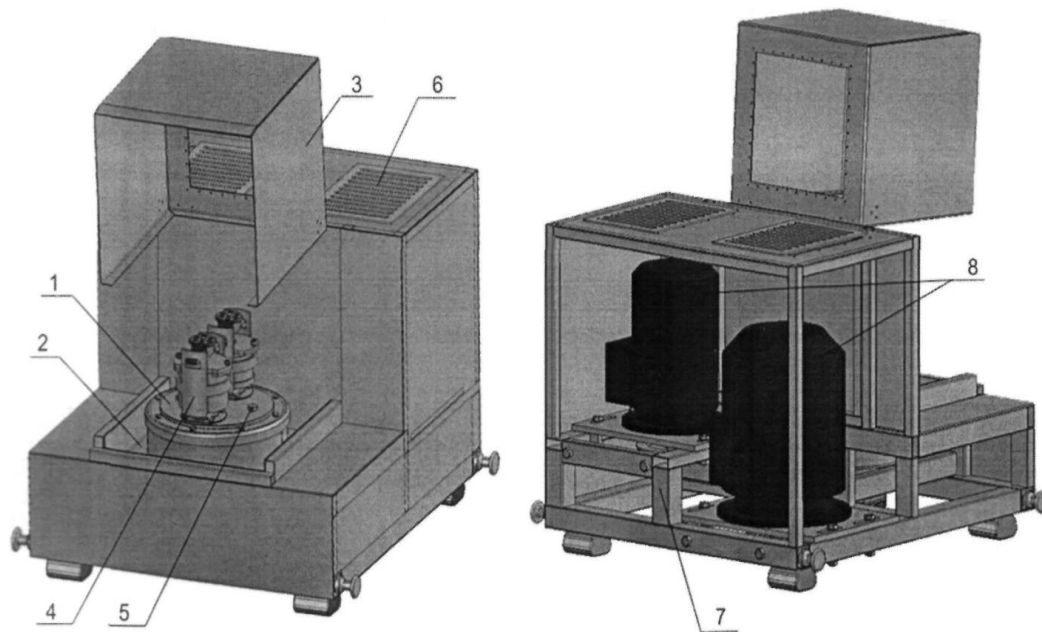


Рисунок 10. Планетарная шаровая мельница “Активатор-2S”. Основные узлы мельницы смонтированы на металлической раме 7. На раме установлены: два электродвигателя 8 с устройствами натяжения ремней, поддон для сбора воды 2, защитный кожух 3 и основной узел – вращающий редуктор 1 с барабанами.

В процессе исследования производилась механическая активация как с прмежуточным охлаждением барабанов, так и без нее, с длительностями обработки 2, 5, 10, 15, 20, 30 минут. Максимальное безостановочное время работы установки по паспортным данным составляет 30 минут при максимально напряженном режиме работы (64г).

2.3 Установки синтеза в режиме послойного горения и теплового взрыва

Синтез в режиме послойного горения проводили в герметичном реакторе в среде аргона с избыточным давлением около 0,5 атм. Реакционные смеси помещались в свободной насыпке в стаканчик из калки Ø2,5 см.

Средняя высота образцов составляла 2,5 см., а пористость образцов – около 60%. Горение инициировали сверху нагревом поджигающей таблетки молибденовой спиралью.

Термопару ВР20-ВР5 для измерения температуры горения помещали в отверстие, проколотое сбоку примерно на половине высоты порошковой засыпки. Температуру горения вычисляли как среднее по 4-5 образцам.

Синтез в режиме теплового взрыва (ТВ) производили на специальном устройстве (рисунок 11), представляющим собой цилиндрическую трубу из нержавеющей стали Х18Н10Т с внутренним диаметром 50 мм и толщиной 3.5 мм (6), с запаянным дном (10). Внутренний объем установки составляет 841 см³. Верхняя часть установки закрывается крышкой (3), в которой расположено два электрических ввода (11) для контактов термопары ВР20-ВР5, а также газовые входы (17).

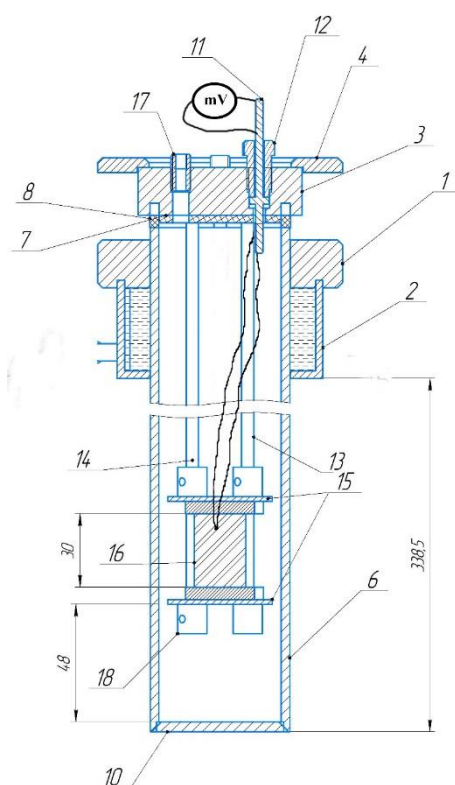


Рисунок 11. Чертеж установки. 1 – Обечайка; 2 – Кожух охлаждения; 3 – Крышка; 4 – Кольцо; 5 – Перемычка; 6 – Труба; 7 – Термозащита; 8 – Уплотнительная прокладка; 9 – Втулка охлаждения; 10 – Дно; 11 – Токоввод; 12 – Прижимной болт; 13 – Стержни столика; 14 – Газовая трубка; 15 – Планка столика; 16 – Образец; 17 – Переходник для газового ввода; 18 – Втулка.

Напуск газа осуществляется локально к образцу через газовую трубку внутри установки. Выпуск газа происходит через газовый вывод в крышке. Над дном установки на высоте 50 мм на металлических стержнях (13)

подвешены планки столика (15), на который помещается спрессованная смесь порошков (16). Образец представляет собой цилиндр высотой 20-30 мм в зависимости от насыпной плотности порошка, и диаметром 20 мм. До проведения эксперимента производится продувка реакционного объема аргоном (4 л/мин, 1 мин). В процессе проведения эксперимента поддерживалось постоянный поток инертного газа на уровне 2 л/мин.

Устройство после загрузки и продувки помещают в предварительно прогретую до 800°C печь, где производится ее постепенный нагрев до достижения процесса теплового взрыва. Время от помещения устройства в печь до инициации теплового взрыва составляло 10-15 минут.

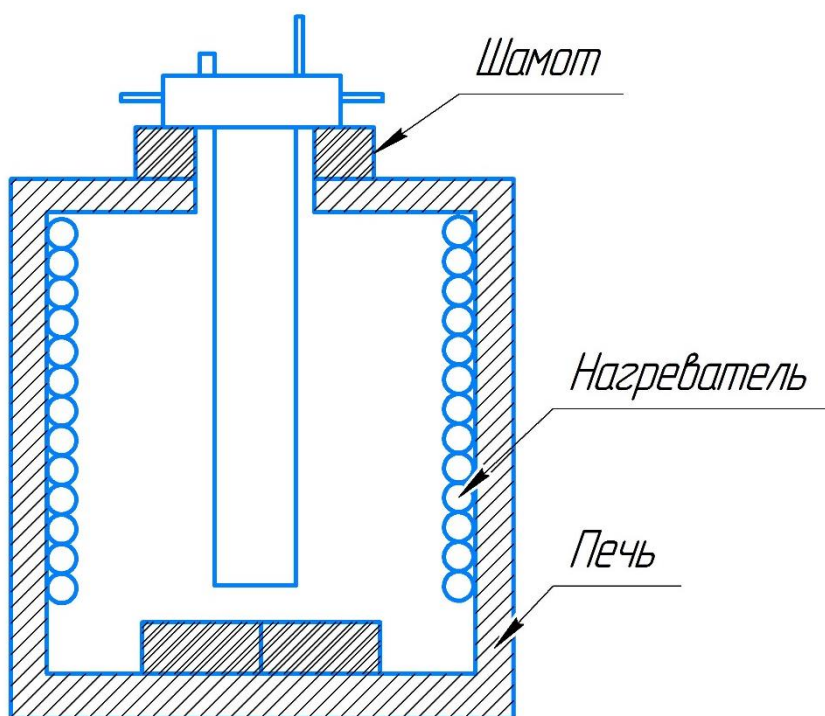


Рисунок 12. Схема синтеза в режиме теплового взрыва

Образец в стаканчике из титановой фольги помещался на шамотных пластинах на металлический столик в нижней части трубы. Термопара ВР20-ВР5 помещалась внутрь отверстия в верхней части образца по центру на глубину около 5мм. На внешней поверхности трубы, напротив образца, накрытая шамотной пластиной от нагревателей, помещалась термопара ХА.

Режим нагрева печи: $U=160V$, предварительный прогрев закрытой шамотными кирпичами печи до $800^{\circ}C$. Затем отверстие для устройства открывалось и выжидалось время, пока температура восстановит значение $800^{\circ}C$. Продувка трубы Ar постоянна с момента вдевания в печь на уровне 1л/мин (подается через трубку вниз к образцу), выпускной ниппель в крышке установки выкручивался. Выдержка после получения пика производилась до момента выравнивания показаний температур обеих термопар.

2.4 Анализ продуктов синтеза и механоактивированных смесей

Получаемые механоактивированные смеси и продукты синтеза исследовались на оборудовании Центра коллективного пользования «Нанотех» ИФПМ СО РАН методом растровой электронной микроскопии (EVO 50, Zeiss, Germany и Philips SEM 515). Для получения металлографических шлифов порошки продуктов синтеза заливались эпоксидной смолой и полировались. Полирование проходило в несколько этапов:

- 1) Шлифовка на грубой шкурке – 10 минут, нагрузка 40Н, скорость вращения 310 об/мин, охлаждение водой.
- 2) Полировка на сукне с алмазной пастой, фракция 14-10 мкм. – 10 минут, 30Н, 400об/мин.
- 3) Алмазная паста, фракция 5-3 мкм. – 10 минут, 30Н, 450 об/мин.
- 4) Алмазная паста, фракция 1-0 мкм – 10 минут, 30Н, 500 об/ мин.

Производилась данная операция на специальном станке Saphir 720 (рисунок 13).



Рисунок 13. Шлифовально-полировальный станок Saphir 720.

Рентгенофазовый анализ производился с помощью автоматического рентгеновского дифрактометра общего назначения ДРОН-7 (рисунок 14)



Рисунок 14. Автоматический рентгеновский дифрактометр общего назначения ДРОН-7

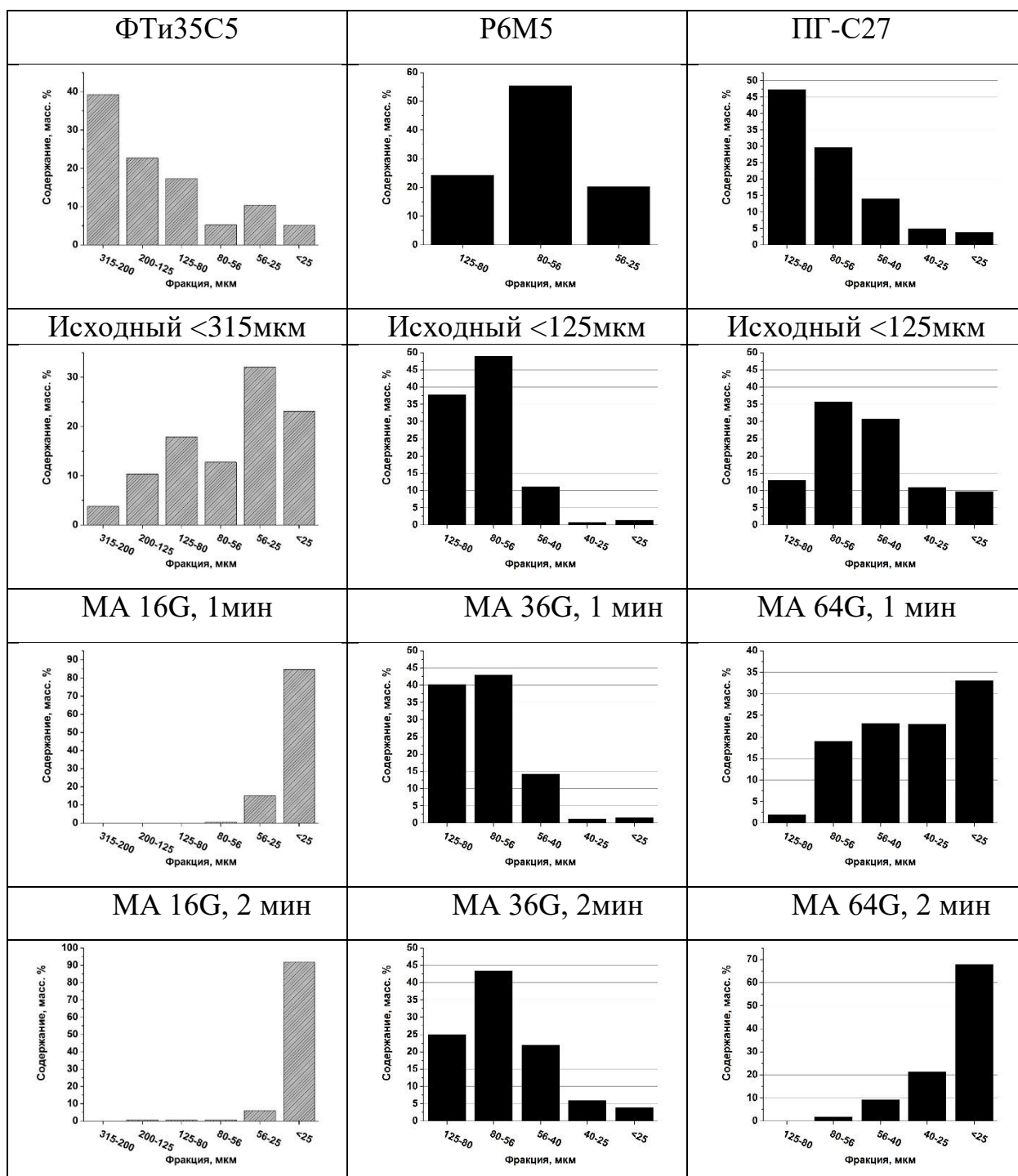
Расшифровка рентгенограмм производилась с использованием баз данных ASTM.

3 Результаты работы

3.1 Структура порошка ФТi35C5 и кинетика помола после МА.

Перед обработкой порошковых смесей ФТ+С была исследована кинетика помола порошка ферротитана в малонапряженном режиме 480 об/мин (16G), соотношение шары/смесь – 20/1 с вариацией времени. В

качестве исходного порошка использовалась фракция <315мкм, полученная дроблением крупных кусков ферротитана в состоянии поставки. Для сравнения были проведены аналогичные исследования для порошка стали Р6М5 фракции <125мкм и порошка чугуна ПГ-С27 фракции 125-80мкм. Анализ производился ситовым рассевом двух порций порошка (120г) согласно ГОСТ 24598-81. Результаты ситового отсева после МА для каждого сплава приведены на гистограммах.



| | | |
|--|---------------|---------------|
| МА 16G, 3 мин | МА 36G, 3 мин | МА 64G, 3 мин |
| Рисунок 15. Гистограммы результатов ситового отсева МА порошков. | | |

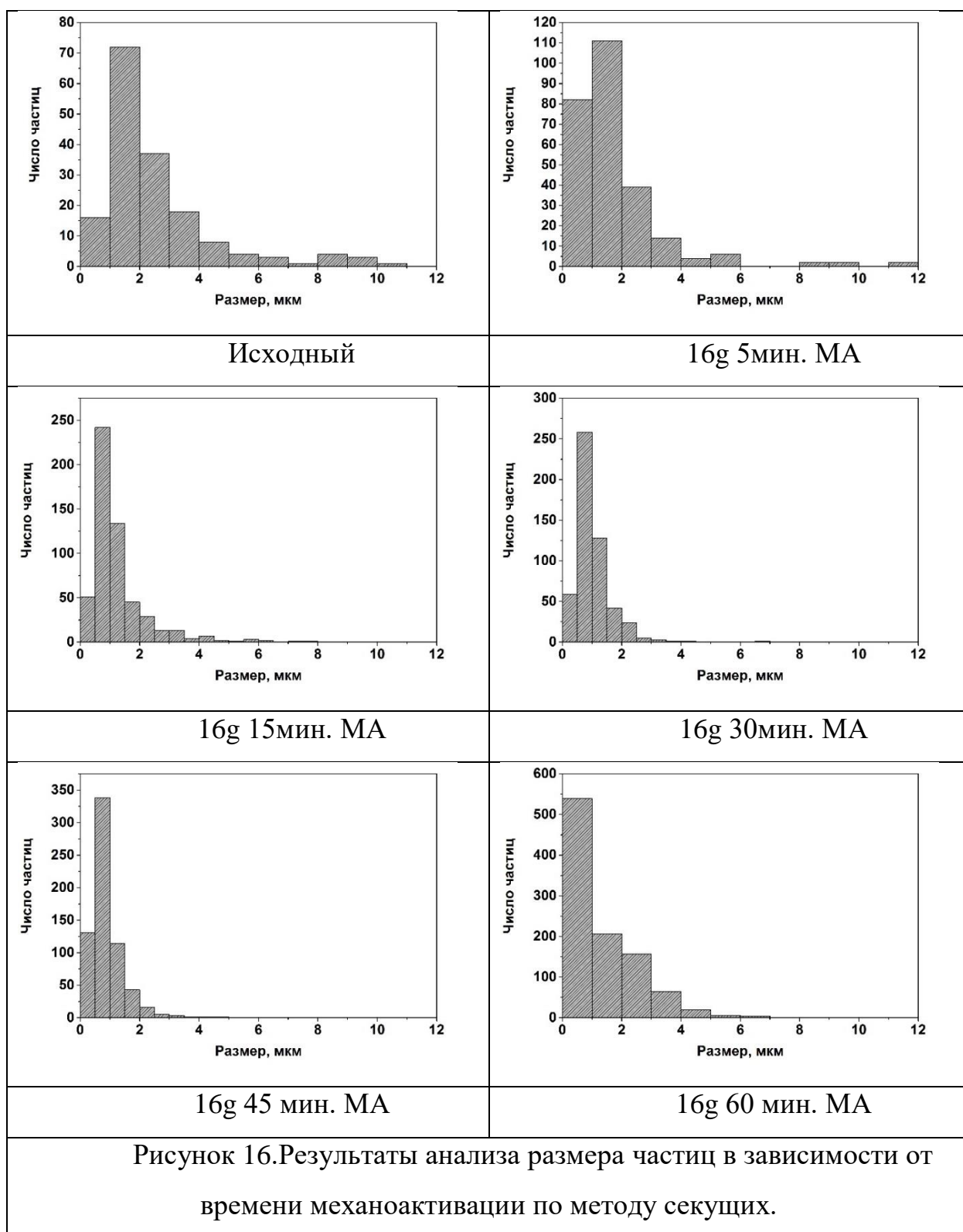
Как видно из результатов ситового отсева (рисунок 15), эффективность измельчения порошка ферротитана при малонапряженном режиме (16G) сравнительно высока, что обусловлено наличием в структуре хрупких интерметаллидных соединений. Порошок чугуна, содержащий в своем составе хрупкий игольчатый карбид хрома, также хорошо измельчается, но при существенно более напряженных режимах обработки (64G). Порошок стали обладает запасом пластичности и при интенсивных режимах вбивается в стенки барабанов и шары, а при использовании средненапряженного режима МА (36G) он измельчается относительно неэффективно.

Таким образом сравнением кинетики помола порошка ФТi35C5 в условиях механоактивации с другими металлическими сплавами была показана эффективность его измельчения.

3.2 Анализ дисперсности после МА

В последующих исследованиях было изучено измельчение порошка ферротитана при МА с нагрузкой 16g и с различными временами обработки. Порошки после механоактивации были слишком мелкими для использования в ситовом отсеве, поэтому анализ размера частиц порошка был проведен по изображениям, полученным на растровом электронном микроскопе. Измерения производились методом секущих для не менее 300 частиц на каждый режим МА. Для загрузки использовали порошки ферротитана дисперсностью <56мкм.

Результаты анализа изображений методом секущих приведены на рисунке 16.



Видим, что уже после 5 мин. МА появляется существенное количество частиц размером менее 1мкм. Спустя 15 мин МА количество относительно крупных частиц уменьшается, а число частиц до 1мкм продолжает расти. Длительные времена обработки увеличивают количество субмикронных

частиц, однако наблюдается рост частиц более 2мкм. Вероятно, при времени МА от 45 до 60 минут происходит нагрев, достаточный для агломерирования мелких частиц ферротитана.

Таким образом, на основании результатов исследования кинетики помола ферротитана в малонапряженном режиме (16g) при различных длительностях обработки и сравнения полученных результатов с результатами на порошках стали и чугуна, можно уверенно утверждать, что ферротитан измельчается существенно эффективнее даже при малонапряженном режиме МА (16g) в процессе механоактивации, что должно отразиться на его реакционной способности в процессе СВС. Следует отметить, что длительные времена обработки (более 45мин.) по-видимому приводят к перегреву порошковой загрузки в процессе обработки и агломерированию мелких частиц ферротитана

3.3 Механоактивация порошковых смесей ФТ+С.

Согласно методикам, описанным в материалах и методах, были приготовлены смеси порошков ФТ_и35С5 с сажой П-803. Полученные смеси были использованы для проведения синтеза.

Попытки инициировать синтез в волновом режиме горения в реакционной смеси ФТ+С не подверженной механоактивации окончились безрезультатно, поэтому смеси порошков были подвергнуты обработке в планетарной мельнице при скорости вращения барабанов 960 об/мин (64g). Соотношение масс смеси и стальных шаров диаметром 6 мм было выбрано 1/20, а время обработки варьировали от 2 до 30 минут.

Так как интенсивная механоактивация (МА) несмотря на непрерывное жидкостное охлаждение наружной поверхности барабанов, неизбежно приводит к нагреву порошковой загрузки, то обработку порошковых смесей ФТ+С проводили при двух режимах. В одном из них через каждые 5 минут мельницу останавливали на 15 минут для охлаждения, а в другом – обработку вели без промежуточных остановок. В таблице 1 приведены результаты фазового анализа смесей ФТ+С после МА. Из-за уширения рентгенограмм от

смесей, подвергнутых МА и, как следствие – частичного перекрытия соседних линий точное определение фазового состава оказалось затруднительным, особенно для фаз с малым содержанием. По этой же причине было трудно определить содержание углерода, представленного частицами сажи субмикронного размера (рисунок 8б). Поэтому фазовый состав в таблице 1 и в таблице 2 указан без учета углерода.

Таблица 1. Относительное содержание фаз (масс. %) в механоактивированных (МА) смесях ферротитана и углерода.

| Время МА, мин. | Относительное содержание фаз, % (без процента содержания углерода) | | | | | | | |
|------------------|--|-------------|-------------------------------|-------------|-----------|-------------|--------------|-------------|
| Фазы | $Ti(Fe_{0.875}Al_{0.125})_2$ | | $Ti_{5.21}Fe_{0.02}Si_{2.77}$ | | TiC | | α -Fe | |
| Режимы обработки | МА с охл. | МА без охл. | МА с охл. | МА без охл. | МА с охл. | МА без охл. | МА с охл. | МА без охл. |
| 2 | 86 | - | 9 | - | 5 | - | - | - |
| 5 | 82 | 77 | 13 | 17 | 5 | 4 | - | 2 |
| 10 | 79 | 76 | 13 | 21 | 8 | 1 | - | 2 |
| 15 | 75 | 75 | 13 | 16 | 8 | 5 | - | 4 |
| 20 | 80 | 75 | 16 | 17 | 4 | 4 | - | 4 |
| 30 | 78 | 79 | 16 | 18 | 6 | 2 | - | 1 |

Согласно данным, представленным в таблице 1, фазовый состав смесей при МА изменяется незначительно независимо от режима обработки. Эти изменения заключаются в том, что наряду с исходными фазами при МА появляются в небольшом количестве карбид титана и α -Fe. Их содержание остается практически неизменным при увеличении длительности МА от 5 до 30 минут.

3.4 Сравнение результатов отжига и СВС механоактивированных порошков

Для того, чтобы уменьшить уширение линий, препятствующее точному определению содержания фаз все смеси после МА были отожжены при 500 °С в течение 1 часа. Однако результат такого отжига оказался неожиданным: исходные фазы, принадлежащие ферротитану в механоактивированных

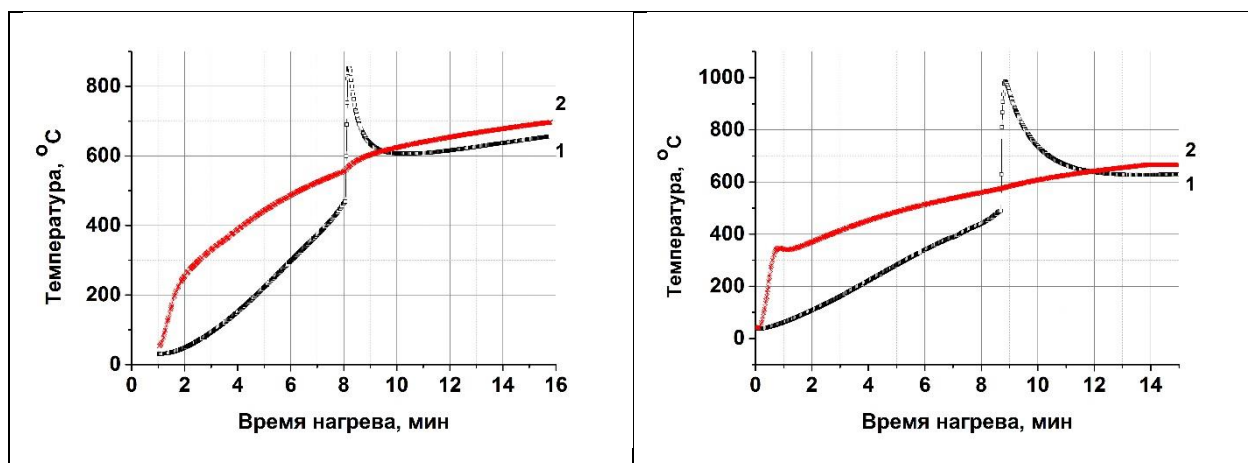
смесях, полностью исчезли в отожженных смесях, предварительно активированных в течение 10 – 30 минут (таблица 2).

Таблица 2. Относительное содержание фаз (масс.%) в механоактивированных (МА) смесях после отжига 500 °С, 1 час и СВС.

| Время МА, мин. | Относительное содержание фаз, % (без процента содержания углерода) | | | | | | | |
|---------------------|--|-----|--|-----|-------|-----|-------|-----|
| | Ti(Fe _{0.875} Al _{0.125}) ₂ | | Ti _{5.21} Fe _{0.02} Si _{2.77} | | TiC | | α-Fe | |
| Режимы обработки | Отжиг | СВС | Отжиг | СВС | Отжиг | СВС | Отжиг | СВС |
| 2 | 77 | 0 | 23 | 0 | 0 | 0 | 0- | 0 |
| 5 | 24 | 15 | - | 3 | 41 | 36 | 35 | 46 |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 49 | 48 | 51 | 52 |
| 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 49 | 51 | 51 | 49 |
| 20 | 0 | 17 | 0 | 5 | 48 | 42 | 52 | 36 |
| 30 | 0 | 45 | 0 | 26 | 51 | 11 | 49 | 18 |

Вместо исходных промежуточных соединений после отжига появился карбид титана и α-Fe. Их содержание оказалось примерно равным и не зависело от длительности МА в указанном выше временном интервале. Так как температура отжига и его длительность были относительно небольшими, то наиболее вероятной причиной описанных фазовых превращений при отжиге был тепловой взрыв, а не реакционное спекание.

Для подтверждения данного предположения был проведен синтез в режиме теплового взрыва после 2х5мин циклов МА. Термограммы экспериментов приведены на рисунке 17.

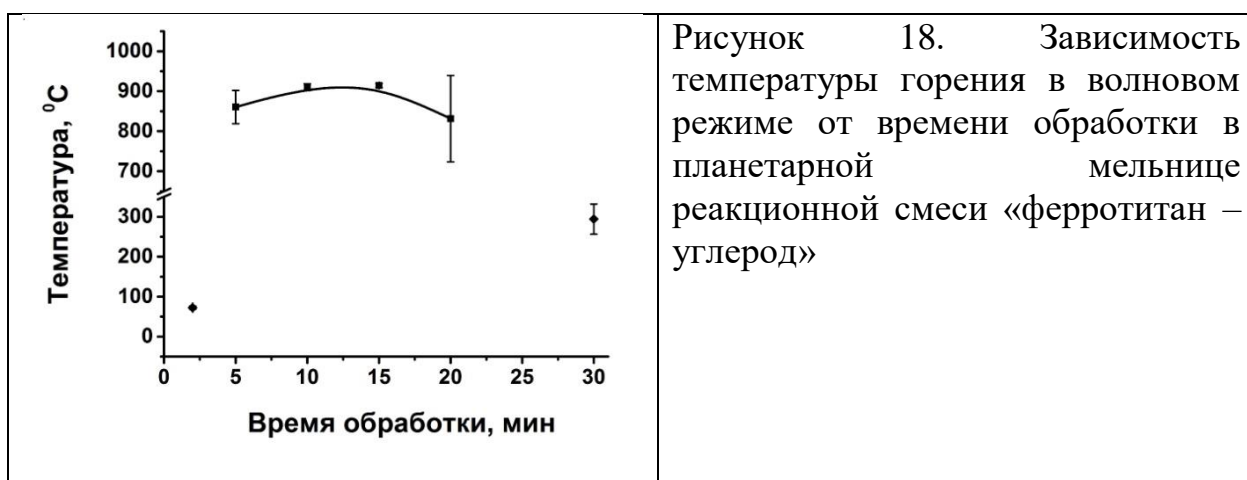


| а | б |
|--|---|
| Рисунок 17. Термограммы теплового взрыва на смесях ФТ+С. а) МА 64g 5+5мин. б) МА 10мин. | |

По виду полученных термограмм можно уверенно утверждать, что при использованной температуре отжига в 500°C действительно имеет место реакция теплового взрыва. Максимальная температура в процессе ТВ достигает 850-950°C.

3.5 Влияние длительности МА смесей на синтез в волновом режиме горения

Целью следующего этапа исследований было выяснить влияние длительности МА смесей на синтез в волновом режиме горения. Значения максимальной температуры горения от времени МА приведены на рисунке 18.



Из рисунка 18 следует, что длительность МА 2 минуты недостаточна для инициирования реакции в порошковой смеси. Это заключение согласуется с результатом рентгенофазового анализа (табл. 2). Зафиксированный подъем температуры от комнатной до 70 °C объясняется влиянием теплового импульса от поджигающей таблетки. На смесях, обработанных в течение 5 – 30 минут зафиксирован подъем температуры, свидетельствующий об экзотермических реакциях. Максимальный подъем температуры (до 904-918 °C) наблюдается при горении смесей, активированных в течение 10 и 15 минут. Интервал длительности механоактивации 10-15 минут является

оптимальным с точки зрения завершения реакции синтеза и получения продукта, не содержащего исходных фаз-реагентов. При горении смеси, активированной 5 минут среднее значение подъема температуры значительно меньше и равно 831 °С. Эффект МА при 5 минутной длительности недостаточен для завершения превращения исходных фаз в конечные продукты синтеза (TiC и α -Fe). Остаток в количестве 15% непрореагировавшей исходной фазы $\text{Ti}(\text{Fe}_{0.875}\text{Al}_{0.125})_2$ приводит к указанному выше понижению температуры горения. При длительности МА смесей 20 и 30 минут происходит монотонное снижение подъема температуры. Это снижение можно объяснить тормозящим реакцию действием карбида титана и феррита, которые появляется в небольшом количестве при МА реакционной смеси (таблица 2) как продукты механосинтеза. Результат этого торможения – недореагирование, когда наряду с продуктами реакции синтеза остаются исходные фазы (см. табл. 1).

Все зафиксированные температуры на фронте реакции, по-видимому, лежат значительно ниже температур появления жидкой фазы. Значения ликвидуса в многокомпонентном сплаве Fe-C-Ti-Al-Si неизвестны, но эвтектические температуры во всех двойных системах (кроме системы алюминий – кремний) минимум на 170 градусов выше измеренных нами температур горения. Температура плавления эвтектики Al-Si равна 660 °С, но возможность появления этой эвтектической жидкости при содержании в порошке ФТи35С5 алюминия и кремния меньше 10 и 5 % соответственно, вызывает сомнение. Тем более, что алюминий и кремний находятся в связанном виде в составе соединений. Поэтому, можно предполагать, что мы имеем твердофазный режим горения в исследованных нами механоактивированных смесях. Для выяснения последовательности и механизма реакций, в результате которых исходные промежуточные соединения $\text{Ti}(\text{Fe}_{0.875}\text{Al}_{0.125})_2$ и $\text{Ti}_{5.21}\text{Fe}_{0.02}\text{Si}_{2.77}$, из которых состоит ферротитан, превращаются в карбид титана и твердый раствор на основе α -Fe, требуются дополнительные исследования.

В заключение сравним фазовый состав продуктов синтеза в режиме СВС и теплового взрыва, который происходит при нагреве реакционных смесей до 500 °С. Согласно данным, приведенным в таблице 2, длительность МА 5 минут недостаточна для завершения реакции синтеза, как в режиме теплового взрыва, так и при СВС. Фазовый состав продуктов синтеза после МА 10 и 15 минут совпадает для обоих режимов качественно и количественно. Влияние режима синтеза проявляется на смесях, активированных 20 и 30 минут. Фазовый состав продуктов теплового взрыва остается постоянным при вариации длительности обработки в интервале 10-30 минут, в то время как в продуктах СВС на смесях, активированных 20 и 30 минут остаются непрореагировавшие исходные фазы ферротитана. В условиях теплового взрыва разогрев реакционной смеси продолжается существенно дольше, чем существует фронт горения в СВС, что способствует полноте прохождения синтеза.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

| | |
|--------|-----------------------------|
| Группа | ФИО |
| 4АМ81 | Хомякову Виталию Вадимовичу |

| | | | |
|---------------------|--------------|---------------------------|------------------|
| Школа | ИШНПТ | Отделение школы (НОЦ) | Материаловедение |
| Уровень образования | Магистратура | Направление/специальность | Машиностроение |

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

| | |
|--|--|
| 1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих | - стоимость выполняемых работ, материальных ресурсов, согласно применяемой техники и технологии, в соответствии с рыночными ценами по городу Томску; - ресурсы НИ ТПУ (лаборатория) |
| 2. Нормы и нормативы расходования ресурсов | - районный коэффициент- 1,3; - прочие расходы – 10%. |
| 3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования | - общая система налогообложения; - страховые взносы во внебюджетные фонды 30% |

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

| | |
|---|--|
| 1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ | 1. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения 2. SWOT-анализ 3. Инициация проектом |
| 2. Разработка устава научно-технического проекта | Определение целей и результатов проекта, организационной структуры проекта |
| 3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок | Формирование плана и графика проекта: - Определение структур работ; - Определение трудоемкости работ; - Разработка диаграммы Ганта. Формирование бюджета затрат проекта. |
| 4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности | Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности научного исследования |

Перечень графического материала(с точным указанием обязательных чертежей):

| |
|--|
| 1. Карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок) |
| 2. Матрица SWOT |
| 3. Информация о иерархии целей проекта и критериях достижения целей |
| 4. График проведения и бюджет НТИ |

| | |
|--|------------|
| Дата выдачи задания для раздела по линейному графику | 31.01.2020 |
|--|------------|

Задание выдал консультант:

| | | | | |
|-----------|-----------------------------|------------------------|---------|------------|
| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
| Доцент | Рыжакина Татьяна Гавриловна | К.Э.Н. | | 31.01.2020 |

Задание принял к исполнению студент:

| | | | |
|--------|---------------------------|---------|------------|
| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
| 4АМ81 | Хомяков Виталий Вадимович | | 31.01.2020 |

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Для изготовления деталей и инструментов в машиностроении применяют различные материалы: инструментальные углеродистые, легированные и быстрорежущие стали, твердые сплавы, минералокерамические материалы и алмазы. Методы изготовления изделий также развиваются. Наибольшее распространение при получении режущего инструмента, предназначенного для работы в отсутствии охлаждающих жидкостей и высоких скоростей вращения и подачи, получили технологии порошковой металлургии. Однако на данный момент всё большее распространение получают методы синтеза композиционных порошков, к которым относится самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС).

Инструментальная быстрорежущая сталь Р6М5, используемая в работе в качестве связки, широко используется для изготовления металлорежущего инструмента. Благодаря относительно высокой жаропрочности эта сталь также представляет интерес в качестве материала износостойких покрытий, работающих при повышенных температурах. Важным ее преимуществом при использовании для наплавленных или напылении покрытий является способность самозакалки в процессе охлаждения нанесенного покрытия. Представляется возможным приблизить свойства данной стали до уровня твердых сплавов введением тугоплавкого карбида титана.

Карбид титана является довольно дорогостоящим сырьём, производство и получение которого экономически затратное в условиях не производственных масштабов.

В настоящее время для получения композиционных порошков применяют вакуумное спекание прессованных смесей порошков карбида титана и связующего сплава с последующим дроблением спеков. Однако с

точки зрения производственных и экономических показателей это дорогой и низко производительный способ. В этих отношениях предпочтительней выглядит метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). Произведем конкурентную оценку метода СВС K_{ϕ} и спекания K_{κ} .

Таблица 3. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок).

| Критерии оценки | Вес критерия | Баллы | | Конкурентоспособность | |
|---|--------------|------------|--------------|-----------------------|--------------|
| | | B_{ϕ} | B_{κ} | K_{ϕ} | K_{κ} |
| 1 | 2 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Технические критерии оценки ресурсоэффективности | | | | | |
| 1.Повышение производительности труда пользователя | 0,2 | 4 | 3 | 0,8 | 0,6 |
| 2.Простота технологии нанесения покрытия | 0,1 | 3 | 2 | 0,3 | 0,2 |
| 3.Энергоэкономичность | 0,2 | 5 | 3 | 0,8 | 0,6 |
| 4. Надежность | 0,05 | 4 | 4 | 0,20 | 0,20 |
| 5. Уровень шума | 0,05 | 3 | 3 | 0,15 | 0,15 |
| 6.Экологичность материала | 0,10 | 4 | 3 | 0,4 | 0,3 |
| 7. Область применения покрытия | 0,10 | 3 | 2 | 0,3 | 0,2 |
| Экономические критерии оценки эффективности | | | | | |
| 1.Конкурентоспособность продукта | 0,1 | 4 | 2 | 0,4 | 0,2 |
| 2. Цена | 0,05 | 3 | 3 | 0,4 | 0,45 |
| 3.Финансирование научной разработки | 0,05 | 4 | 2 | 0,2 | 0,1 |
| Итого | 1 | 37 | 27 | 3,95 | 3,0 |

4.2 SWOT-анализ

Известно, что препятствием к широкому использованию технологии СВС является относительная дороговизна исходного сырья, в особенности - титанового порошка. Представляет интерес попытаться использовать в качестве сырья для получения металломатричных композитов с карбидом титана титансодержащие сплавы, например, ферротитан в качестве материала связки и одновременно - источника титана для реакции синтеза. Этот сплав производится в РФ для нужд металлургии в больших количествах и, поэтому, недефицитен и недорог

Таблица 4 Матрица SWOT

| | | |
|---|--|---|
| Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ (т.е. использование научного оборудования); В2. Возможность внедрения технологии в производство; В3. Возможность участия в грантах, для повышения производительности изделия; В4. Появление дополнительного спроса на новый продукт; | С1 В2. Внедрение технологии в различные производства за счет возможности варьирования состава; С4 В2. Вероятность расширения количества поставщиков (снижение себестоимости изделия); С2 В3. участие в грантах приводят к улучшению высокой работоспособности изделия; | В1 Сл4. новейшее оборудование, позволит на ранних стадиях исследование, выявить и предотвратить появление брака; В1 Сл1. Возможность изготовления прототипа; В3 Сл2. Возможность отработки технологии на средства из грантов; |
| Угрозы: У1. Вероятность появления более высокооплачиваемой предложений на рынке, так как в данном направлении ведется большое количество исследований. У2. Отсутствие оборудования для массового производства; У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со | У1 С1. Возможность изменить способ получения с помощью более нового оборудования. У3 С4. Появление резервных средств за счет экономии материала. | В1Сл4 –навейшее оборудование, позволит на ранних стадиях исследование, выявить и предотвратить появление брака |

| | | |
|--|--|--|
| стороны государства приводит к несвоевременно выполнению заказов изделия; | | |
|--|--|--|

4.3 Расчет затрат

В состав затрат на создание проекта включается величина всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости ее выполнения производится по следующим статьям затрат:

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- расходы на электроэнергию (без освещения);
- прочие (накладные расходы) расходы.
- затрат на оборудование
- амортизационные расходы

4.3.1 Расчет затрат на материалы

К данной статье расходов относится стоимость материалов и оборудование. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). Расходы, связанные с приобретением сырья, материалов и комплектующих изделий, а также транспортно-заготовительные расходы для проведения исследования представлены в таблице 5.

Таблица 5– Расчет затрат на материалы

| Наименование материалов | Марка | Кол-во | Цена за ед., руб | Сумма, руб. |
|--|-------|--------|---------------------|----------------|
| Аргон высокой чистоты ТУ 6-21-12-94, объем 40л(6,4 куб.м.) | | 4 шт. | 1200 \ 1500 | 5400 |

| | | | | |
|--|--|--------|------|------|
| Пневматический очиститель | AcelineAirDuster [300мл] | 10 шт | 260 | 2600 |
| Соединитель шланга Т-образный под хомут 14мм | | 2 шт. | 120 | 240 |
| Хомут червячный Ф16-27 | | 10 шт. | 18 | 180 |
| Хомут червячный Ф12-22 | | 10 шт. | 17 | 170 |
| Фитинг Цанга тройник 6540 | | 1 шт. | 207 | 207 |
| Трубка РА12, D1=6, D2=4 | | 4 м | 62 | 248 |
| Фитинг-кран прямой d6 | | 1 шт | 280 | 280 |
| Щетка-металл со шпилькой для дрели 75мм | | 1 шт. | 180 | 180 |
| Фитинг-тройник d6 Т-обр. (пластик) | | 2 шт. | 35 | 70 |
| Клей токопроводящий Kontaktol | | 2 шт. | 119 | 238 |
| Память | Samsung EVO Plus (microSDXC) 256Gb class UHS-I(U3) | 1 шт. | 3999 | 3999 |
| Сверло 4,5мм | P6M5 | 1 шт. | 41 | 41 |
| Сверло 6мм | 10902 | 1 шт. | 47 | 47 |
| Переходник 0,2 мм | DVI-D(M)-VGA(F) Finepower | 1 шт. | 750 | 750 |
| Фитинг прямой трубки (внутр. резьба) M16x1.5 - 6мм | | 1 шт. | 73 | 73 |
| Кисть плоская искуств. Щетина 35 мм | OrelDupont | 1 шт. | 164 | 164 |

| | | | | |
|--|--|--|--|-------------|
| Всего за материалы | | | | |
| Транспортно-заготовительные расходы (3-5%) | | | | 805 |
| Итого | | | | 9487 |

4.3.2 Расчет затрат на оборудование

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме.

Таблица 6 - Список оборудования для исследования

| № | Наименование оборудования | Кол-во | Цена единицы оборудования, тыс.руб. | Общая стоимость оборудования, тыс.руб |
|---------------|-----------------------------------|--------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| 1 | Гидравлический пресс МС-500 | 1 | 590000 | 590000 |
| 2 | Вакуумная печь СНВЭ-1.3.1/16 | 1 | 550000 | 550000 |
| 3 | Активатор 2s | 1 | 500000 | 500000 |
| 4 | Вытяжной шкаф | 1 | 25385 | 25385 |
| 5 | Полировальный станок «Saphir 520» | 1 | 95000 | 95000 |
| 6 | Микроскоп «Axiovert 200 mat» | 1 | 34795 | 34795 |
| 7 | Компьютер | 1 | 35000 | 35000 |
| Итого: | | | | 1 831 870 |

4.3.3 Расчет амортизационных расходов

Во время использования машины, машина неизбежно будет иметь старое явление, поэтому мы должны рассчитать старые потери оборудования.

Затраты на амортизацию оборудования рассчитываются по формуле:

$$З_{об} = (Ц \cdot F_{ф}) / (F_{н} \cdot F_{сс}),$$

где Ц – цена оборудования, руб.;

$F_{н}$ – номинальный фонд времени (рабочее время в году), ч;

$F_{сс}$ – срок службы оборудования, год; $F_{ф}$ – фактическое время занятости оборудования, ч.

$$F_{н} = 250 \text{ дней} = 6000 \text{ ч.}$$

Вычисленная амортизация оборудования представлена в таблице 7.

Таблица 7 – Расчет амортизационных отчислений

| № | Наименование оборудования | Ц, руб | $F_{сс}$, год | $F_{ф}$, ч | $З_{об}$, руб. |
|---------------|-----------------------------------|--------|----------------|-------------|-----------------|
| 1 | Гидравлический пресс MC-500 | 590000 | 25 | 4 | 21,1 |
| 2 | Вакуумная печь СНВЭ-1.3.1/16 | 550000 | 25 | 4 | 20 |
| 3 | Активатор 2s | 500000 | 20 | 3 | 13,25 |
| 4 | Вытяжной шкаф | 25385 | 5 | 25 | 21,9 |
| 5 | Полировальный станок «Saphir 520» | 95000 | 10 | 15 | 23,75 |
| 6 | Микроскоп «Axiovert 200 mat» | 34795 | 10 | 1,5 | 0,87 |
| 7 | Компьютер | 35000 | 5 | 10 | 11,66 |
| Итого: | | | | | 112,53 |

4.3.4 Расчет заработной платы

Для расчета заработной платы нужно определить трудоемкость выполняемой работы.

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ож}$ используется следующая формула (4.2):

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{\min} + 2 \cdot t_{\max}}{5} \quad (4.2)$$

где $t_{ож}$ – ожидаемая трудоёмкость выполнения i -ой работы чел/дн.; t_{\min} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел/дн.; t_{\max} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел/дн.

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести ее в календарные дни. Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ($T_{РД}$) ведется по формуле:

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{вн}} \cdot K_{д} \quad (4.3)$$

где $t_{ож}$ – продолжительность работы, дн.;

$K_{вн}$ – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей, в частности, возможно $K_{вн} = 1$;

$K_{д}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ ($K_{д} = 1-1,2$; в этих границах конкретное значение принимает сам исполнитель).

$$T_{КД} = T_{РД} \cdot T_{К} \quad (4.4)$$

где $T_{\text{КД}}$ – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

$T_{\text{К}}$ – коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях, и рассчитываемый по формуле

$$T_{\text{К}} = \frac{T_{\text{КАЛ}}}{T_{\text{КАЛ}} - T_{\text{ВД}} - T_{\text{ПД}}} \quad (4.5)$$

где $T_{\text{КАЛ}}$ – календарные дни ($T_{\text{КАЛ}} = 365$);

$T_{\text{ВД}}$ – выходные дни ($T_{\text{ВД}} = 118$);

$T_{\text{ПД}}$ – праздничные дни ($T_{\text{ПД}} = 14$).

$$T_{\text{К}} = \frac{365}{365 - 118 - 14} = 1,56$$

В таблице 7 приведена продолжительность этапов работ и их трудоемкости по исполнителям, занятым на каждом этапе. В столбцах (3-5) реализован экспертный способ по формуле (4.2). Столбцы 6 и 7 содержат величины трудоемкости этапа для каждого из двух участников проекта (научный руководитель и инженер) с учетом коэффициента $K_{\text{д}} = 1,2$. Каждое из них в отдельности не может превышать соответствующее значение $t_{\text{ож}} * K_{\text{д}}$. Столбцы 8 и 9 содержат те же трудоемкости, выраженные в календарных днях путем дополнительного умножения на $T_{\text{К}}$ (здесь оно равно 1,205). Итог по столбцу 5 дает общую ожидаемую продолжительность работы над проектом в рабочих днях, итоги по столбцам 8 и 9 – общие трудоемкости для каждого из участников проекта. Две последних величины далее будут использованы для определения затрат на оплату труда участников и прочие затраты. Величины трудоемкости этапов по исполнителям $T_{\text{КД}}$ (данные столбцов 8 и 9 кроме итогов) позволяют построить линейный график осуществления проекта – см. пример в табл. 8.

Расчёт трудозатрат на поиск и изучение материалов:

Определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ож}$:

$$T_{ож} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 4}{5} = 2,8;$$

Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ($T_{рд}$), при $K_d = 1,2$:

$$T_{рд} = \frac{2,8 \cdot 1,2}{1} = 3,36;$$

Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ($T_{рд}$) для научного руководителя, при $K_d = 1,2$:

$$T_{рд} = \frac{2,8 \cdot 1,2 \cdot 0,2}{1} = 0,67;$$

Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ($T_{рд}$) для студента, при $K_d = 1,2$:

$$T_{рд} = \frac{2,8 \cdot 1,2 \cdot 1}{1} = 3,36;$$

Продолжительность выполнения этапа в календарных днях:

$$T_{кд} = 3,36 \cdot 1,56 = 5,24;$$

Продолжительность выполнения этапа в календарных днях, для научного руководителя:

$$T_{кд} = 3,36 \cdot 1,56 \cdot 0,2 = 1,04;$$

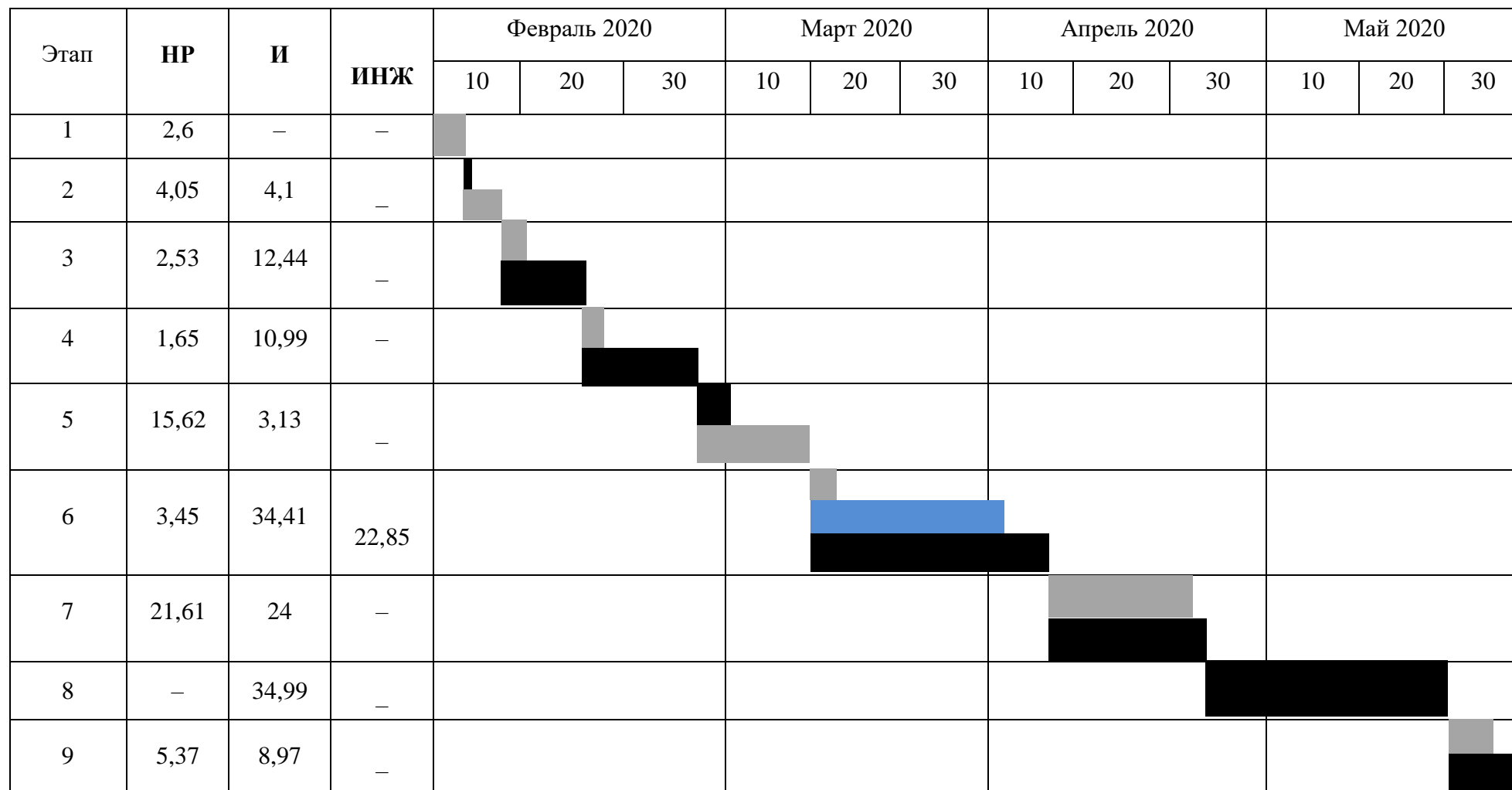
Продолжительность выполнения этапа в календарных днях:

$$T_{кд} = 3,36 \cdot 1,56 = 5,24.$$

Таблица 8 - Трудозатраты на выполнение проекта

| Этап | Исполнитель и | Продолжительность работ, дни | | | Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн. | | | | | |
|---|------------------|------------------------------|-----------|--------------|--|---------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| | | | | | $T_{РД}$ | | | $T_{КД}$ | | |
| | | t_{min} | t_{max} | $t_{ож}$ | НР | И | ИНЖ | НР | И | ИНЖ |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Постановка целей и задач. | НР | 1 | 3 | 1,8 | 2,16 | – | – | 2,6 | – | – |
| Разработка календарного плана. | НР, И | 2 | 4 | 2,8 | 3,36 | 0,34 | – | 4,05 | 4,1 | – |
| Подбор и изучение литературы по тематике. | НР, И | 7 | 11 | 8,6 | 2,1 | 10,32 | – | 2,53 | 12,44 | – |
| Подготовка литературного обзора | НР, И | 6 | 10 | 7,6 | 1,37 | 9,12 | – | 1,65 | 10,99 | – |
| Подготовка материалов | НР, И | 10 | 12 | 10,8 | 12,96 | 2,6 | – | 15,62 | 3,13 | – |
| Выполнение исследовательской работы. | И, ИНЖ | 21 | 28 | 23,8 | 2,86 | 28,56 | 22,85 | 3,45 | 34,41 | 27,53 |
| Анализ результатов | НР, И | 15 | 19 | 16,6 | 17,93 | 19,92 | – | 21,61 | 24 | – |
| Оформление результатов исследования | И | 23 | 26 | 24,2 | – | 29,04 | – | – | 34,99 | – |
| Подведение итогов | НР, И | 5 | 8 | 6,2 | 4,46 | 7,44 | – | 5,37 | 8,97 | – |
| Итого: | | | | 102,4 | 47,2 | 100,34 | 22,85 | 56,88 | 123,03 | 27,53 |

Таблица 9 - Линейный график работ



НР —   — 

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера (в его роли выступает исполнитель проекта), а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя.

Среднедневная тарифная заработная плата ($ЗП_{\text{дн-т}}$) рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{\text{дн-т}} = МО/20,58 \quad (4.5)$$

учитывающей, что в году 247 рабочий день и, следовательно, в месяце в среднем 20,58 рабочих дня (при пятидневной рабочей неделе).

Расчет затрат на полную заработную плату приведены в таблице 5. Затраты времени по каждому исполнителю в рабочих днях с округлением до целого взяты из таблицы 8. Для учета в ее составе премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов: $K_{\text{ПР}} = 1,1$; $K_{\text{доп.ЗП}} = 1,113$; (при пятидневной рабочей неделе) $K_{\text{р}} = 1,3$. Таким образом, для перехода от тарифной (базовой) суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку (зарплатной части сметы) необходимо первую умножить на интегральный коэффициент $K_{\text{и}} = 1,1 * 1,113 * 1,3 = 1,62$.

Таблица 10 - Затраты на заработную плату

| Исполнитель | Оклад, руб./мес. | Среднедневная ставка, руб./раб.день | Затраты времени, раб.дни | Коэффициент | Фонд з/платы, руб. |
|-------------|---------------------|---|--------------------------------|-------------|--------------------------|
| НР | 33664 | 2178,9 | 47 | 1,62 | 165901,06 |
| ИНЖ | 26298 | 1702,14 | 23 | 1,62 | 111491,64 |
| И | 10 633 | 688,22 | 100 | 1,62 | 63 603,79 |
| Итого: | | | | | 340814,69 |

4.3.5 Социальные отчисления работникам

Социальные отчисления работникам включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30 % от полной заработной платы по проекту, т.е. $C_{\text{соц.}} = C_{\text{зп}} \cdot 0,3$. Итак, в нашем случае $C_{\text{соц.}} = 340\,814,69 \cdot 0,3 = 102\,244,32$ руб.

4.3.6 Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования, рассчитываемые по формуле:

$$C_{\text{эл.об.}} = P_{\text{об}} \cdot t_{\text{об}} \cdot \text{Цэ} \quad (4.6)$$

где $P_{\text{об}}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

Цэ – тариф на 1 кВт·час;

$t_{\text{об}}$ – время работы оборудования, час.

Для ТПУ $\text{Цэ} = 5,748$ руб./кВт·час (с НДС).

Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных таблицы 3 для инженера ($T_{\text{рд}}$) из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

$$t_{\text{об}} = T_{\text{рд}} \cdot K_t, \quad (4.7)$$

где $K_t \leq 1$ – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к $T_{\text{рд}}$, определяется исполнителем самостоятельно. В ряде случаев возможно определение $t_{\text{об}}$ путем прямого учета, особенно при ограниченном использовании соответствующего оборудования.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{\text{об}} = P_{\text{ном.}} \cdot K_C \quad (4.8)$$

где $P_{\text{ном.}}$ – номинальная мощность оборудования, кВт;

$K_C \leq 1$ – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности. Для технологического оборудования малой мощности $K_C = 1$.

Пример расчета затраты на электроэнергию для технологических целей приведен в таблице 10.

Таблица 11 - Затраты на электроэнергию технологическую

| Наименование оборудования | Время работы оборудования $t_{об}$, час | Потребляемая мощность $P_{об}$, кВт | Затраты $\Delta_{об}$, руб. |
|-----------------------------------|---|--------------------------------------|------------------------------|
| Гидравлический пресс МС-500 | 9,8 | 1,5 | 84,5 |
| Вакуумная печь СНВЭ-1.3.1/16 | 11,2 | 18 | 1158,8 |
| Полировальный станок «Saphir 520» | 7 | 3,2 | 128,8 |
| Микроскоп «Axiovert 200 mat» | 7,7 | 0,1 | 4,42 |
| Персональный компьютер | 34 | 0,3 | 58,63 |
| Итого: | | | 1435,15 |

4.3.7 Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта «Исследование синтезированных порошковых композитов $Ti-Al-C$ ».

Таблица 12– Смета затрат на разработку проекта

| Статья затрат | Затраты, руб. |
|--------------------------------|-------------------|
| Затраты на материалы | 9487 |
| Затраты на электроэнергию | 1435,15 |
| Стоимость оборудования | 1831870 |
| Заработная плата | 340814,69 |
| Отчисления на социальные нужды | 102244,32 |
| Итого: | 2285851,94 |

4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

4.4.1 Оценка абсолютной эффективности исследования

В основе проектного подхода к инвестиционной деятельности предприятия лежит принцип денежных потоков (cashflow). Особенностью является его прогнозный и долгосрочный характер, поэтому в применяемом подходе к анализу учитываются фактор времени и фактор риска. Для оценки общей экономической эффективности используются следующие основные показатели:

- чистая текущая стоимость (NPV);
- индекс доходности (PI);
- внутренняя ставка доходности (IRR);
- срок окупаемости (DPP).

Чистая текущая стоимость (NPV) – это показатель экономической эффективности инвестиционного проекта, который рассчитывается путём дисконтирования (приведения к текущей стоимости, т.е. на момент инвестирования) ожидаемых денежных потоков (как доходов, так и расходов).

Расчёт NPV осуществляется по следующей формуле:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{опt}}{(1+i)^t} - I_0$$

где: $ЧДП_{опt}$ – чистые денежные поступления от операционной деятельности;

I_0 – разовые инвестиции, осуществляемые в нулевом году;

t – номер шага расчета ($t = 0, 1, 2 \dots n$)

n – горизонт расчета;

i – ставка дисконтирования (желаемый уровень доходности инвестируемых средств).

Расчёт NPV позволяет судить о целесообразности инвестирования денежных средств. Если $NPV > 0$, то проект оказывается эффективным.

Расчет чистой текущей стоимости представлен в таблице 13. При расчете рентабельность проекта составляла 20 %, норма амортизации - 10 %. Бюджет проекта=2285851 руб. **Стр.4** (Операционные затраты)=Сырье+Амортизация +ФОТ(Осн.ЗП+доп.ЗП.соц.отч.) Вреал.=Бюджет (себестоимость)*1,2; Ц=C*(1+P/100)

Таблица 13 – Расчет чистой текущей стоимости по проекту в целом

| № | Наименование показателей | Шаг расчета | | | | |
|----|---|-------------|----------|----------|----------|----------|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | Выручка от реализации, руб. | 0 | 2743021 | 2743021 | 2743021 | 2743021 |
| 2 | Итого приток,руб. | 0 | 2743021 | 2743021 | 2743021 | 2743021 |
| 3 | Инвестиционные издержки, руб. | -2285851 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | Операционные затраты, руб. | 0 | 452657 | 452657 | 452657 | 452657 |
| 5 | Налогооблагаемая прибыль | 0 | 2290364 | 2290364 | 2290364 | 2290364 |
| 6 | Налоги 20 %, руб. | 0 | 474770 | 474770 | 474770 | 474770 |
| 7 | Итого отток, руб. | -2285851 | 927427 | 927427 | 927427 | 927427 |
| 8 | Чистая прибыль, руб. | 0 | 1862959 | 1862959 | 1862959 | 1862959 |
| 9 | Чистый денежный поток (ЧДП), руб. | -2285851 | 2091544 | 2091544 | 2091544 | 2091544 |
| 10 | Коэффициент дисконтирования (КД) | 1 | 0,833333 | 0,694444 | 0,578704 | 0,482253 |
| 11 | Чистый дисконтированный доход (ЧДД), руб. | -2285851 | 1904875 | 1587395 | 1322831 | 1102358 |
| 12 | \sum ЧДД | 3631608 | | | | |
| 12 | Итого NPV, млн руб. | 1345757 | | | | |

Коэффициент дисконтирования рассчитан по формуле:

$$КД = \frac{1}{(1 + i)^t}$$

где: i – ставка дисконтирования, 20 %;

t – шаг расчета.

Таким образом, чистая текущая стоимость по проекту в целом составляет 1345757 рублей, что позволяет судить об его эффективности.

Индекс доходности (PI) – показатель эффективности инвестиции, представляющий собой отношение дисконтированных доходов к размеру инвестиционного капитала. Данный показатель позволяет определить

инвестиционную эффективность вложений в данный проект. Индекс доходности рассчитывается по формуле:

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_t}{(1+i)^t} / I_0$$

где: ЧДД - чистый денежный поток, млн. руб.;

I_0 – начальный инвестиционный капитал, млн. руб.

$$PI = 3631608 / 2285851 = 1,58$$

Так как $PI > 1$, то проект является эффективным.

Значение ставки, при которой **NPV** обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или **IRR**. Формальное определение «внутренней ставки доходности» заключается в том, что это та ставка дисконтирования, при которой суммы дисконтированных притоков денежных средств равны сумме дисконтированных оттоков или **NPV**=0. По разности между **IRR** и ставкой дисконтирования i можно судить о запасе экономической прочности инвестиционного проекта. Чем ближе **IRR** к ставке дисконтирования i , тем больше риск от инвестирования в данный проект.

$$\sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{опт}}{(1+IRR)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{I_t}{(1+IRR)^t}$$

Между чистой текущей стоимостью (**NPV**) и ставкой дисконтирования (i) существует обратная зависимость. Эта зависимость представлена в таблице 14 и на рисунке 19.

Таблица 14 - Зависимость **NPV** от ставки дисконтирования

| № | Наименование показателя | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | NPV, млн. руб. |
|---|-----------------------------------|----------|---------|---------|---------|---------|----------------|
| 1 | Чистые денежные потоки, млн. руб. | -2285851 | 2091544 | 2091544 | 2091544 | 2091544 | |
| 2 | Коэффициент дисконтирования | | | | | | |
| | 0,1 | 1 | 0,909 | 0,826 | 0,751 | 0,683 | |

| | | | | | | | |
|---|--|----------|---------|----------|----------|----------|----------|
| | 0,2 | 1 | 0,833 | 0,694 | 0,578 | 0,482 | |
| | 0,3 | 1 | 0,769 | 0,592 | 0,455 | 0,350 | |
| | 0,4 | 1 | 0,714 | 0,510 | 0,364 | 0,260 | |
| | 0,5 | 1 | 0,667 | 0,444 | 0,295 | 0,198 | |
| | 0,6 | 1 | 0,625 | 0,390 | 0,244 | 0,153 | |
| | 0,7 | 1 | 0,588 | 0,335 | 0,203 | 0,112 | |
| | 0,8 | 1 | 0,556 | 0,309 | 0,171 | 0,095 | |
| | 0,9 | 1 | 0,526 | 0,277 | 0,146 | 0,077 | |
| | 1 | 1 | 0,500 | 0,250 | 0,125 | 0,062 | |
| 3 | Дисконтированный денежный доход, млн. руб. | | | | | | |
| | 0,1 | -2285851 | 1901213 | 1727615 | 1570750 | 1428525 | 4342252 |
| | 0,2 | -2285851 | 1742256 | 1451532 | 1208912 | 1008124 | 3124973 |
| | 0,3 | -2285851 | 1608397 | 1238194 | 951652,5 | 732040,4 | 2244433 |
| | 0,4 | -2285851 | 1493362 | 1066687 | 761322 | 543801,4 | 1579322 |
| | 0,5 | -2285851 | 1395060 | 928645,5 | 617005,5 | 414125,7 | 1068986 |
| | 0,6 | -2285851 | 1307215 | 815702,2 | 510336,7 | 320006,2 | 667409,1 |
| | 0,7 | -2285851 | 1229828 | 700667,2 | 424583,4 | 234252,9 | 303480,5 |
| | 0,8 | -2285851 | 1162898 | 646287,1 | 357654 | 198696,7 | 79685,26 |
| | 0,9 | -2285851 | 1100152 | 579357,7 | 305365,4 | 161048,9 | -139927 |
| | 1,0 | -2285851 | 1045772 | 522886 | 261443 | 129675,7 | -326074 |

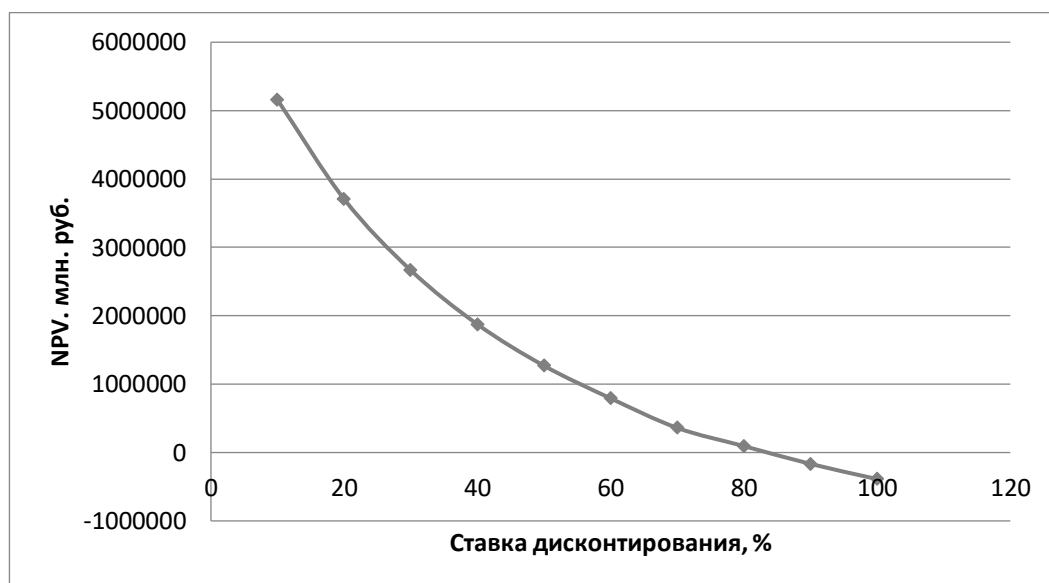


Рисунок 19 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

Из таблицы и графика следует, что по мере роста ставки дисконтирования чистая текущая стоимость уменьшается, становясь отрицательной. Значение ставки, при которой NPV обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или «внутренней нормы прибыли». Из графика получаем, что IRR составляет 81%.

Запас экономической прочности проекта: $81\% - 20\% = 61\%$

Как отмечалось ранее, одним из недостатков показателя простого срока окупаемости является игнорирование в процессе его расчета разности ценности денег во времени.

Этот недостаток устраняется путем определения дисконтированного срока окупаемости. То есть это время, за которое денежные средства должны совершить оборот.

Наиболее приемлемым методом установления дисконтированного срока окупаемости является расчет кумулятивного (нарастающим итогом) денежного потока (таблица 15).

Таблица 15 – Дисконтированный срок окупаемости

| № | Наименование показателя | Шаг расчета | | | | |
|---|---|--|---------|---------|---------|---------|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | Дисконтированный денежный доход ($i=0,20$), млн. руб. | -2285851 | 1904875 | 1587395 | 1322831 | 1102358 |
| 2 | То же нарастающим итогом, млн. руб. | -2285851 | -380976 | 1206419 | 2529250 | 3631608 |
| 3 | Дисконтированный срок окупаемости | $PP_{диск} = 1 + (380976 / 1587395) = 1.24$ года | | | | |

Социальная эффективность научного проекта (таблица 16) учитывает социально-экономические последствия осуществления научного проекта для общества в целом или отдельных категорий населения или групп лиц, в том числе как непосредственные результаты проекта, так и «внешние» результаты в смежных секторах экономики: социальные, экологические и иные внеэкономические эффекты.

Таблица 16 – Критерии социальной эффективности

| ДО | ПОСЛЕ |
|----|-------|
|----|-------|

| | |
|---|--|
| Нерациональное использование металлов | Уменьшение использование материалов |
| Не смешиваемость из за разнородности по химическому составу | КМ превосходят по характеристикам любой из своих компонентов по отдельности. |

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется по следующей формуле:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}$$

где: $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i-го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить по следующей формуле:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i$$

где: I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i-го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i-го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i-го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в форме таблицы (таблице 17).

Таблица 17– Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

| ПО Критерии | Весовой коэффициент параметра | Текущий проект | Аналог 1 | Аналог 2 |
|---|-------------------------------------|-------------------|----------|----------|
| 1. Выход продукта (системы мониторинга) | 0,25 | 5 | 4 | 4 |
| 2. Удобство в эксплуатации | 0,10 | 3 | 4 | 4 |
| 3. Надежность | 0,20 | 4 | 4 | 4 |
| 4. Безопасность | 0,10 | 5 | 4 | 5 |
| 5. Простота эксплуатации | 0,15 | 4 | 5 | 4 |
| 6. Возможность автоматизации данных | 0,20 | 5 | 4 | 3 |
| Итого | 1 | 24 | 24 | 25 |

$$I_m^p = 5 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,10 + 4 \cdot 0,20 + 5 \cdot 0,10 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,20 = 4,45$$

$$I_1^A = 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,10 + 4 \cdot 0,20 + 4 \cdot 0,10 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,20 = 4,15$$

$$I_2^A = 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,10 + 4 \cdot 0,20 + 5 \cdot 0,10 + 4 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,20 = 3,90$$

Интегральный показатель эффективности разработки $I_{\text{финр}}^p$ и аналога $I_{\text{финр}}^a$ определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\phi}^p}; I_{\text{финр}}^a = \frac{I_m^a}{I_{\phi}^a}$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта. Сравнительная эффективность проекта определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финр}}^a}$$

где: $\mathcal{E}_{\text{ср}}$ – сравнительная эффективность проекта;

$I_{\text{финр}}^p$ – интегральный показатель разработки;

$I_{\text{финр}}^a$ – интегральный технико-экономический показатель аналога.

Сравнительная эффективность разработки по сравнению с аналогами представлена в таблице 18.

Таблица 18 – Сравнительная эффективность разработки

| № п/п | Показатели | Разработка | Аналог 1 | Аналог 2 |
|-------|---|------------|----------|----------|
| 1 | Интегральный финансовый показатель разработки | 0,19 | 0,18 | 0,17 |
| 2 | Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки | 4,45 | 4,15 | 3,90 |
| 3 | Интегральный показатель эффективности | 23,42 | 23,05 | 22,94 |
| 4 | Сравнительная эффективность вариантов исполнения | 1,02 | 1,01 | 1,00 |

Вывод: Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять, что разработанный вариант проведения проекта является наиболее эффективным при решении поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

В ходе выполнения раздела финансового менеджмента рассчитан бюджет научного исследования, определена чистая текущая стоимость, (NPV), равная 1345757 млн. руб.; индекс доходности $PI=1,24$; внутренняя ставка доходности $IRR=81\%$, срок окупаемости $PP_{дск}=1,24$ года, тем самым инвестиционный проект можно считать выгодным и экономически целесообразным.

Заключение по разделу

В ходе проделанной работы определены затраты на научно исследовательскую работу. Рационально спланирована занятость каждого из участников и сроки проведения отдельных работ для организации процесса реализации исследовательской работы.

С учетом всех рассмотренных вопросов по разделу, анализе различных факторов и расчетов денежных затрат исследовательского проекта, можно резюмировать, что данная научно исследовательская работа перспективна.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

| | |
|--------|-----------------------------|
| Группа | ФИО |
| 4AM81 | Хомякову Виталию Вадимовичу |

| | | | |
|---------------------|---------|---------------------------|----------------|
| Институт | ИФВТ | Кафедра | ФВТМ |
| Уровень образования | магистр | Направление/специальность | машиностроение |

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

| | |
|--|--|
| <p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) – опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) – негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) – чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера) | <p>Исследование проводилось на базе лаборатории физики наноструктурных функциональных материалов ИФПМ СО РАН. При выполнении исследовательской работы существует вероятность воздействия следующих производственных факторов: шума, недостаточной освещенности, электрического тока, вредных веществ, физических и эмоциональных перегрузок, умственного перенапряжения. Рабочее помещение по опасности относится к 1 группе, т.е. пожарная нагрузка относительно мала. В лаборатории в процессе работы с порошковыми материалами присутствуют пыль и аэрозоли. Для их удаления применяют вытяжную вентиляцию, для снижения выбросов этих веществ в атмосферу применяют фильтры.</p> |
| <p>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</p> | <p>При выполнении работы все данные были приняты по нормативам и стандартам РФ.</p> |

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

| | |
|--|---|
| <p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства) | <p>При выполнении работы для исследования образцов, в лаборатории используется 4%раствор азотной кислоты в спирте. Она является едким веществом и относится к веществам 3-го класса опасности. Азотная кислота вызывает сильные ожоги при контакте с кожей, а её пары поражают слизистые оболочки, дыхательные пути, вызывают конъюнктивит. Предельно допустимая концентрация вредного вещества третьего класса опасности в воздухе рабочей зоны составляет от 1,1 до 10 мг/м³. Для работы с опасными веществами применяют такие средства индивидуальной защиты, как латексные перчатки, защитные маски. Все работы проводятся в вытяжном шкафу.</p> |
| <p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); | <p>Рабочее место удовлетворяет всем требованиям безопасности жизнедеятельности: нет доступа к токоведущим частям, все источники питания пронумерованы, корпуса компьютеров заземлены. Рабочее помещение по опасности относится к 1 группе, т.е. пожарная нагрузка относительно мала. Помещение лаборатории можно отнести к первой ступени огнестойкости. Предусмотренные средства пожаротушения (согласно требованиям</p> |

| | |
|--|--|
| – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения) | противопожарной безопасности СНиП 2.01.02.-85). |
| <p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. | <p>В лаборатории в процессе работы с порошками неизбежно образуются взвеси пыли и аэрозолей. Для их удаления работы производятся в шкафах с вытяжной вентиляцией, для снижения выбросов этих веществ в атмосферу применяют фильтры.</p> <p>Вследствие использования работниками душевых, туалетов, специальных веществ для обработки материалов, а также средств хозяйственного назначения, образуются жидкие отходы для удаления которых применяют канализационную систему. Система канализации подсоединена к городской канализационной сети, поэтому полная очистка сточных вод на нем не проводится.</p> |
| <p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий | <p>Возможные чрезвычайные ситуации при выполнении проекта являются: поражение электрическим током, короткое замыкание электрической цепи, и как следствие, пожар. Для предотвращения ЧС необходимо осуществлять меры по технике безопасности на рабочем месте.</p> |
| <p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны | <p>Расстояния между рабочими зонами, параметры освещения и микроклимата соответствуют нормам. Эффективный и безопасный труд возможен только в том случае, если производственные условия на рабочем месте отвечают всем требованиям международных стандартов в области охраны труда.</p> |

| | |
|--|--|
| Дата выдачи задания для раздела по линейному графику | |
|--|--|

Задание выдал консультант:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|--------------------------|------------------------|---------|------|
| Профессор | Сечин Александр Иванович | Д.т.н. | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|---------------------------|---------|------|
| 4АМ81 | Хомяков Виталий Вадимович | | |

5. Социальная ответственность

5.1 Введение

В данном разделе дипломной работы будут рассмотрены вопросы по охране труда и окружающей среды. Работа была проведена в Институте физики прочности и материаловедения СО РАН в лаборатории физики наноструктурных функциональных материалов.

При проведении исследовательских работ было использовано следующее оборудование: установка электронно-лучевой наплавки "ЛУНА-1", микроскоп AXIOVERT-200MAT, шлифовально-полировальный станок Saphir 520, дифрактометр ДРОН-7.

В процессе подготовки исследуемых образцов выполняется настройка оборудования, работа с ручным инструментом, ЭВМ.

5.2 Техногенная безопасность.

5.2.1 Анализ вредных факторов производственной среды

Существует множество проявлений факторов рабочей зоны, таких как электромагнитное и ионизирующее излучения, производственные метеоусловия, освещение, вредные вещества, виброакустические поля. При выполнении исследовательской работы очевидно влияние следующих факторов: шум, тепловыделение, недостаточная освещенность рабочего места, воздействие электрического тока, физическая и эмоциональная перегрузка.

5.2.1.1 Шум

Сочетание различных по силе и частоте звуков может оказывать негативное воздействие на организм человека.

Источником шума является любой процесс, вызывающий местное изменение давления или механические колебания в твердых, жидких и газообразных средах. Шум имеет определенную частоту, или спектр, выражаемый в герцах, и интенсивность — уровень звукового давления, измеряемый в децибелах. Для человека область слышимых звуков определяется в интервале от 16 до 20000 Гц [17].

Основными источниками шума при выполнении исследовательской работы в помещении являются принтер, вентиляторы системы охлаждения, шлифовально-полировальный станок Saphir 520.

Уровень шума в лабораториях для теоретических работ и обработки данных, не должен превышать 50 - 60 дБ А [18].

В целях уменьшения или устранения шума в лаборатории применяются следующие меры: машины, производящие сильный шум, находятся в отдельной комнате, изолированной от помещений, в которых находиться рабочий персонал; при длительном использовании данного оборудования, рабочим выдаются средства индивидуальной защиты, в виде противошумных наушников.

5.2.1.2 Вредные вещества

Вредными являются вещества, которые при контакте с организмом могут вызвать производственные травмы, профессиональные заболевания или отклонения в состоянии здоровья, как в процессе работы, так и в отдалённые сроки жизни настоящего и последующего поколений.

Токсическое действие вредных веществ характеризуется показателями токсикометрии, в соответствии с которыми вещества классифицируют на чрезвычайно опасные (1-го класса), высокоопасные (2-го класса), умеренно опасные (3-го класса) и малоопасные (4-го класса). Эффект токсического действия различных веществ зависит от количества попавшего в организм вещества.

Для выявления структуры металлических наплавов применяется метод травления азотной кислотой. Она является едким веществом и относится к веществам 3-го класса опасности. Азотная кислота вызывает сильные ожоги при контакте с кожей, а её пары поражают слизистые оболочки, дыхательные пути, вызывают конъюнктивит. Предельно допустимая концентрация вредного вещества третьего класса опасности в воздухе рабочей зоны составляет от 1,1 до 10 мг/м³ [19].

Для работы с опасными веществами применяют такие средства индивидуальной защиты, как латексные перчатки, защитные маски. Все работы проводятся в вытяжном шкафу.

Первая помощь - при попадании азотной кислоты в глаза их промывают проточной водой в течение 10 – 30 мин.; при попадании на кожу пораженную поверхность обмывают водой, прибавляя к ней питьевую соду, мыло. При проглатывании азотной кислоты показано промывание желудка обильным количеством воды, инъекции морфина, атропина.

5.2.1.3 Микроклимат

Микроклимат – это сочетание температуры, влажности и скорости движения воздуха в рабочих помещениях. Микроклимат влияет на процессы теплообмена и характер работ. Длительное воздействие на человека неблагоприятных условий ухудшает его самочувствие, что снижает производительность труда и приводит к заболеваниям.

Таблица 19. Оптимальные параметры микроклимата в помещениях с использованием ПК

| Период года | Категория работ по уровням энергозатрат, Вт | Параметр микроклимата | Величина |
|-------------|---|---------------------------------|-------------|
| Холодный | Iб (140-174) | Температура воздуха в помещении | 21-23°C |
| | | Относительная влажность | 40-60% |
| | | Скорость движения воздуха | до 0,1 м/с |
| Теплый | Iб (140-174) | Температура воздуха в помещении | 22-24°C |
| | | Относительная влажность | 40-60% |
| | | Скорость движения воздуха | 0,1-0,2 м/с |

Вычислительная техника является источником существенных тепловыделений, что может привести к повышению температуры и снижению относительной влажности в помещении. В санитарных нормах СН-245-71 установлены величины параметров микроклимата, создающие комфортные условия [20].

Кондиционирование воздуха должно обеспечивать поддержание параметров микроклимата в необходимых пределах в течение всех сезонов года, очистку воздуха от пыли и вредных веществ, создание необходимого избыточного давления в чистых помещениях для исключения поступления неочищенного воздуха. Температура подаваемого воздуха должна быть не ниже 19°C [21].

В помещении имеется только естественная вентиляция (форточки окон, двери). Отопление зимой осуществляется только через систему общего отопления (городская). В крайнем случае, устанавливаются электрические обогреватели в зимнее время и вентилятор в летнее [22].

5.2.1.4 Освещение на рабочем месте

Создание комфортных световых условий труда улучшает условия зрительной работы, снижает утомляемость, способствует повышению производительности труда, благотворно влияет на производственную среду, оказывая положительное психологическое воздействие на работающего, повышает безопасность труда и снижает травматизм.

В соответствии со СНиП II-4-79 в вычислительных центрах применяется система комбинированного освещения. Для работ категории высокой зрительной точности (наименьший размер объекта различения 0,3 - 0,5мм) величина коэффициента естественного освещения (КЕО) должна быть не ниже 1,5%, а при зрительной работе средней точности (наименьший размер объекта различения 0,5 - 1,0 мм) КЕО должен быть не ниже 1,0%. В качестве источников искусственного освещения обычно используются люминесцентные лампы типа ЛБ или ДРЛ, которые попарно объединяются в

светильники, которые должны располагаться над рабочими поверхностями равномерно [23].

В помещениях, где установлены компьютеры действуют следующие требования:

- при выполнении зрительных работ высокой точности общая освещенность должна составлять 300лк, а комбинированная - 750лк; аналогичные;
- при выполнении работ средней точности - 200 и 300лк соответственно.

При этом крайне важно, чтобы все поле зрения было освещено равномерно. Это значит, что степень освещения помещения и яркость экрана компьютера должны быть примерно одинаковыми, так как яркий свет в районе периферийного зрения значительно увеличивает напряженность глаз и, как следствие, приводит к их быстрой утомляемости.

Для работы на ЭВМ с ВДТ рекомендуются помещения с односторонним боковым естественным освещением с северной, северо-восточной или северо-западной ориентацией светопроемов. Площадь световых проемов должна составлять 25% площади пола. Удовлетворительное естественное освещение проще создать в небольших помещениях на 5-6 рабочих мест, а больших помещений с числом работающих более 20, лучше избегать. В случае, если экран ПЭВМ обращен к окну, должны быть предусмотрены специальные экранизирующие устройства.

5.2.1.5 Расчет общего равномерного освещения

Для проведения расчета освещенности рабочего места необходимо выбрать систему освещения, определить необходимое число светильников, их тип и размещение. Рассчитаем параметры искусственного освещения. Существует два исполнения искусственного освещения: с использованием ламп накаливания и люминесцентных ламп. У люминесцентных ламп существует ряд существенных преимуществ:

- Близкий к дневному свету спектральный состав;

- КПД люминесцентных ламп выше в 1,5 – 2 раза, чем у ламп накаливания;
- Обладают повышенной светоотдачей (в сравнении с лампами накаливания);
- Имеют длительный срок службы.

В соответствии с указаниями [23] произведем расчет освещения. Помещение имеет площадь 48 м^2 , ширина составляет 6м, длина – 8м, высота – 2,5 м. Воспользуемся методом светового потока. В помещении лаборатории используются люминесцентные лампы ШОД, использование которых допускается при умеренной влажности и запыленности [24].

5.2.2 Анализ опасных факторов производственной среды

5.2.2.1 Электрический ток

Опасность поражения электрическим током зависит от таких факторов, как сырость, жара, едкие пары и газы, токопроводящая пыль. При наличие данных факторов возникает возможность перехода напряжения на нетоковедущие части электрооборудования (корпуса, станины, кожухи), с которыми работающий находится в контакте. В таких условиях также понижается электрическое сопротивление тела человека, дополнительно увеличивая опасность поражения током.

Предельно допустимые величины напряжения и тока согласно ГОСТ 12.1.038-82 приведены в таблице 4

Таблица 20. Предельно допустимые величины напряжения и тока

| Допустимое время действия, с | Длительность | До 30 | 1 | 0,5 | 0,2 | 0,1 |
|------------------------------|--------------|-------|----|-----|-----|-----|
| Величина тока, мА | 1 | 6 | 50 | 100 | 250 | 500 |
| Величина напряжения, В | 6 | 36 | 50 | 100 | 250 | 500 |

Поражение электрическим током возникает при соприкосновении с электрической цепью, в которой присутствуют источники напряжения и/или

источники тока, способные вызвать протекание тока по попавшей под напряжение части тела. Обычно чувствительным для человека является пропускание тока силой более 1 мА. [25]

По условиям электробезопасности установки, используемые при выполнении работы, относятся к категории установок, работающих с напряжением до 1000В. Устройства относятся к 1 классу, так как имеют рабочую изоляцию и место заземления.

Безопасность эксплуатации при нормальном режиме работы установок обеспечивается следующими защитными мерами:

1. применение изоляции;
2. недоступность токоведущих частей;
3. применение малых напряжений;
4. изоляция электрических частей от земли.

Рабочее помещение по опасности относится к 1 группе, т.е. пожарная нагрузка относительно мала.

Категория персонала – I (неэлектротехнический персонал), то есть это люди, прошедшие только первичный инструктаж.

Рабочее место удовлетворяет всем требованиям безопасности жизнедеятельности: нет доступа к токоведущим частям, все источники питания пронумерованы, корпуса компьютеров заземлены.

5.2.2.2 Пожаробезопасность

Пожар – это явление неконтролируемого процесса горения, причиняющего материальный ущерб, вред жизни и здоровью граждан, интересам общества и государства.

Согласно нормам пожарной безопасности, в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д [26].

Источниками воспламенения могут быть электросхемы ЭВМ, устройства электропитания, в которых в результате неполадки образуются

перегретые элементы, возникают электрические искры и дуги, способные вызывать загорание горючих материалов. Для отвода тепла от ЭВМ используются системы охлаждения, кондиционирования воздуха.

Пожарная безопасность обеспечивается системой предотвращения пожара и системой пожарной защиты. Во всех служебных помещениях обязательно должен быть «План эвакуации людей при пожаре», регламентирующий действия персонала в случае возникновения очага возгорания и указывающий места расположения пожарной техники.

5.2.3 Региональная безопасность

Любое предприятие, осуществляющее деятельность, неизбежно наносит тот или иной вред окружающей среде. В настоящей работе основными факторами воздействия на среду являются:

- токсичность или другое физиологическое действие порошков ряда металлов и неметаллов, газов применяемых в производстве;
- взрывоопасность и пожароопасность некоторых материалов и газов;
- слив кислот, щелочей, солей отходов вредных веществ в общую систему канализации;
- пыль на рабочем месте.

Наибольшее внимание в природохране уделяется охране атмосферы, в которые включено:

- уменьшение и полное прекращение выбросов вредных веществ в атмосферу;
- сохранение и увеличение биомассы производителей кислорода и поглотителей углекислоты;
- сохранение и восстановление оптимальной циркуляции атмосферы в региональном масштабе;
- утилизация отходов вредных производств.

Полностью исключить факторы загрязнения невозможно, однако есть методы, позволяющие их существенно снизить. Оснащение производственных

площадок современными пылеуловителями, использование современных фильтрационных установок, новых видов фильтров и мембран.

5.2.4 Организационные мероприятия обеспечения безопасности

При поступлении на работу с каждым сотрудником проводится первичный инструктаж по технике безопасности, что фиксируется в журнале.

Сотруднику разъясняются основные опасные факторы среды, правила оказания первой помощи, расположения средств пожаротушения, планов эвакуации и аптек первой помощи.

На стенах лаборатории вывешены инструкции по технике безопасности, план эвакуации при пожаре.

Меры по технике безопасности на рабочем месте.

1. К работе с электроустановками допускаются лица, имеющие третью либо четвертую группу допуска, устанавливаемые квалификационной комиссией.
2. Лица, не имеющие непосредственного отношения к обслуживанию электроустановок, к работе с ними не допускаются.
3. Все питающие части должны быть заземлены. Сопротивление заземления должно не превышать 4 Ом.
4. При замене (установке) плат расширения необходимо пользоваться браслетом заземления, либо перед осуществлением этой операции избавиться от накопленного на теле статического заряда посредством прикосновения к зануленной части компьютера, в противном случае возможно повреждение чувствительных к статике микроэлементов ЭВМ.
5. Для исключения поражения электрическим током запрещается: часто включать и выключать компьютер без необходимости, прикасаться к экрану и к тыльной стороне блоков компьютера, работать на средствах вычислительной техники и периферийном оборудовании мокрыми руками, работать на средствах вычислительной техники и периферийном оборудовании, имеющих нарушения целостности корпуса, нарушения

изоляции проводов, неисправную индикацию включения питания, с признаками электрического напряжения на корпусе, класть на средства вычислительной техники и периферийном оборудовании посторонние предметы.

6. Запрещается под напряжением очищать от пыли и загрязнения электрооборудование.

5.2.5 Особенности законодательного регулирования проектных решений

В соответствии с законодательством Российской Федерации нормальная продолжительность рабочего дня не может превышать 40 часов в неделю. Сокращенная продолжительность рабочего дня устанавливается для лиц в возрасте 16-18 лет и составляет не более 36 часов в неделю, а для учеников от 14 до 15 лет, а также работников в возрасте 15 и 16 лет – 24 часа в неделю. При наличии вредных условий труда рабочий день лимитирован 26 часами в неделю. Накануне официальных праздничных дней продолжительность рабочего дня сокращается на один час. При работе в ночное время (с 22 до 6 утра) продолжительность рабочего дня также сокращается на час.

5.2.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

При выполнении работ возможны следующие чрезвычайные ситуации: Поражение электрическим током, короткое замыкание и пожар. Для предотвращения ЧС необходимо осуществлять меры по технике безопасности на рабочем месте, указанные в следующем разделе.

При возникновении пожара крайне важно соблюдать правила поведения при данном ЧС, так как данное явление может развиваться непредсказуемо и стремительно. Действия при пожаре прописаны в инструкции, которую обязан знать каждый сотрудник.

Действия персонала при пожаре на предприятии:

- услышав крики: "Пожар", ни в коем случае не поддаваться панике, сохранять спокойствие;

- осмотреться вокруг. Заметив телефон или кнопку пожарной безопасности, действовать незамедлительно - сообщить службам о возгорании;
- попробовать самостоятельно потушить возгорание, используя огнетушитель, землю;
- если ликвидировать пожар не получается, покинуть помещение через эвакуационный выход;
- не поддаваться панике, стараться успокоить других;
- двигаться к выходу, дышать через рукав одежды или носовой платок;
- если в помещении сильная задымленность, перемещаться, опираясь на стены или поручни;
- оказавшись на свежем воздухе, немедленно вызвать "Скорую помощь".

Основными мероприятиями, обеспечивающими успешную эвакуацию людей и имущества из горящего здания, являются:

- составление планов эвакуации;
- назначение лица, ответственного за эвакуацию, которое должно следить за исправностью дверных проемов, окон, проходов и лестниц;
- ознакомление работающих в лаборатории сотрудников с планом эвакуации (рисунок 20), который должен висеть на видном месте.



Рисунок 20. План эвакуации

Заключение

В настоящее время для выполнения работ в разных условиях труда необходимо создавать условия для комфортного выполнения трудовых обязанностей и отсутствием влияния вредных факторов на рабочий персонал. Важно соблюдать меры предосторожностей, которые позволят избежать возникновения чрезвычайных ситуаций и проводить инструктаж с рабочим персоналом для избежание и устранения вредоносных последствий.

Достижение безопасного труда, исключающего несчастные случаи в производстве, отсутствие выбросов вредных веществ в окружающую среду достигнуто в связи с соблюдением техники безопасности.

Социальная ответственность является одним из важнейших разделов, позволяющим организовать правильные условия труда, с максимальной эффективностью производства.

6. Основные результаты и выводы

1. В результате исследования кинетики помола порошков ферротитана, быстрорежущей стали Р6М5 и чугуна ПГ-С27 показана сравнительная эффективность измельчения порошков ФТi35С5.
2. В порошковых смесях “ферротитан-углерод” с использованием предварительной механоактивации был инициирован синтез в режиме послыйного горения (СВС) и теплового взрыва.
3. Показано, что в зависимости от времени МА изменяется фазовый состав продуктов синтеза. Прослежено влияние времени МА на максимальную температуру горения порошковых смесей ФТ+С в режиме СВС.
4. Получено, что в результате последовательной МА смесей порошка ферротитана и технического углерода (сажи) при режиме 64G 10мин может быть синтезирован металломатричный композит «карбид титана – связка из феррита α -Fe» в виде рыхлого спека, дроблением и рассевом которого можно получить композиционные порошки для нанесения покрытий и применения в аддитивных технологиях.

7. Список публикаций

1) Mechanical activation of self-propagating high temperature synthesis in titanium, carbon Black and iron-based alloy powder mixtures, AIP conf. Proc. 2167, 020031(2019).

2) Extending the SHS Combustion concentration limits in Ti+C+Fe powder mixtures by preliminary mechanical activation. Mat. Today Proc.

3) Механоактивация СВС синтеза в порошковых смесях ферротитана и углерода / А. В. Барановский [и др.] // Современные проблемы машиностроения : сборник научных трудов XII Международной научно-технической конференции, г. Томск, 28 октября - 1 ноября 2019 г. — Томск : Изд-во ТПУ, 2019. — [С. 178-183].

8. Список используемой литературы

1. Прибытков Г.А., Храмогин М.Н., Коржова В.В. / СВС композиционные порошки карбид титана – связки из сплавов на основе железа для наплавки износостойких покрытий / Физическая мезомеханика 9 Спец. выпуск (2006) 185-188.
2. Курганова Ю.А., Колмаков А.Г. / Конструкционные металломатричные композиционные материалы / Учебное пособие 2015г. 144 стр.
3. Ляхов Н.З., Талако Т.Л., Григорьева Т.Ф. / Влияние механоактивации на процессы фазо- и структурообразования при самораспространяющемся высокотемпературном синтезе / — Новосибирск: Параллель, 2008. — 168 с.
4. Каченюк М.Н., Сметкин А.А. / Эволюция структуры композиционных частиц при механоактивации порошковых смесей на основе титана, карбида, кремния и углерода / Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6.
5. Кипарисов С.С., Левинский Ю.В., Петров А.П. / Карбид титана: получение, свойства, применение / М.: Металлургия, 1987. 216 с.
6. Прокудина В.К., Ратников В.И., Маслов В.М. и др. / – В кн.: Процессы горения в химической технологии и металлургии / Черноголовка: АН СССР. Ин-т Химической физики, 1975, с. 136-138.
7. Самсонов Г.В., Эпик А.П. / Тугоплавкие покрытия / М.: Металлургия, 1973, 399 с.
8. Войтович Р.Ф. / Окисление карбидов и нитридов / Киев: Наукова думка, 1981. 192 с.
9. Табаков В.П. / Износостойкие покрытия режущего инструмента, работающего в условиях непрерывного резания / - Ульяновск: УлГТУ, 2007. -255 с.

10. М. Хокинг / Металлические и керамические покрытия: получение, свойства и применение: пер. с англ / М. Хокинг, В. Васантасри, П. Сидки. – М.: Мир, 2000. – 518 с.
11. Лобанов М.Л., Кардолина Н.И., Россина Н.Г., Юровских А.С. / Защитные покрытия: учеб. пособие / – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 200 с.
12. Е. В. Попова, Т. В. Тарасова, И. Ю. Смуров, Б. С. Сарбаев / Наука и образование / № 03: 77-30569/330149 (2012).
13. V. Yu / Fominskii, S. N. Grigoriev, A. G. Gnedovets et al., Tech. Phys. Lett., 38, Iss. 7: 683 (2012).
14. Т. В. Тарасова, Е. В. Попова / Формирование покрытий методом лазерной наплавки порошков титана и карбида кремния на поверхность малоуглеродистой стали, Металлофиз. Новейшие технол. / Metallofiz. Noveishie Tekhnol. 2013, т. 35, № 11, сс. 1487—1500.
15. О.А. Коваленко, / Конспект лекций: Технология конструкционных материалов и материаловедение / Алчевск, 2011 г.
16. А.А. Сметкин, М.Н. Каченюк, В.Г. Гилев / Термодилатометрический анализ механоактивированной порошковой композиции Ti-SiC-C / ВЕСТНИК ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение Т. 20, № 4, 2018.
17. Малая медицинская энциклопедия. — М.: Медицинская энциклопедия. 1991—96 гг.
18. ГОСТ 12.1.003 – 83. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
19. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
20. Безопасность жизнедеятельности. /Под ред. Н.А. Белова - М.: Знание, 2000 - 364с.
21. СанПиН: 2.2.2/2.4.1340-03 "Гигиенические требования к персональным вычислительным машинам и организации работы".

22. ГОСТ Р 52084-2003. Приборы электрические бытовые. Общие технические условия.
23. СНиП 23 – 05 –95. Нормы проектирования. Естественное и искусственное освещение. М.: Минстрой России, 1995.
24. СП 52.13330.2011 “Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95.
25. ГОСТ 12.1. 045 – 84 ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.
26. ГОСТ 12.1.018-93. Пожаровзрывобезопасность статического электричества.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Раздел на иностранном языке

Студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|--------------|---------|------|
| 4AM81 | Хомяков В.В. | | |

Консультант школы ИШНПТ:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент | Коростелева Е.Н. | К.Т.Н., ДОЦЕНТ | | |

Консультант школы ШБИП:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|--------------------------|------------|---------------------------|---------|------|
| Старший преподаватель | Ажель Ю.П. | | | |

1. Literature review: «Mechanically activated synthesis of composite powders "titanium carbide - iron-based binder" for use in wear-resistant application technologies coatings. »

The method for furnace synthesis of metal-like compounds does not allow meeting modern requirements of applied materials science in terms of the obtained product purity and productivity. Therefore, other methods for producing such powders are actively developing, among which self-propagating high-temperature synthesis (SHS), which is currently of greatest importance can be noted. The SHS is based on the phenomenon of the combustion front propagation in powders of refractory chemical elements, leading to the formation of the corresponding compounds. SHS can occur in any systems, where the heat of components connection ($\text{Ti} + \text{C}$, $\text{Ti} + \text{B}$, $\text{Al} + \text{O}$) is large and allows the subsequent layers of the substance to be heated initiating a reaction there.

Mechanical activation is used only when SHS does not occur due to low heat generation (low number of reaction components or too many heat sinks that are not involved in the reaction). It is important to understand that mechanical activation is not always a necessary tool for producing composite powders by the SHS method.

1.1. SHS synthesis of composite powders

One of the promising methods for producing powder materials is self-propagating high temperature synthesis (SHS). Having emerged as a method for the synthesis of refractory compounds during gas-free combustion of mixtures of powders of metals and nonmetals, the concept of SHS is now broadly interpreted as a “self-sustaining type of combustion process that leads to the formation of useful products (materials)” and includes more than 100 varieties of technology that allow synthesizing over a thousand substances and materials, applying coatings, welding parts, etc. The SHS method is based on the exothermic reaction of two or more chemical elements (compounds) that proceeds in the directional combustion mode after local process initiation [3].

The SHS method is the fastest and, therefore, economically profitable due to the use of the least amount of expendable labor costs. With its help, it becomes

possible to obtain composite powder materials: the number of methods that can synthesize them is very limited.

Depending on what reagents are used for SHS, it becomes possible to choose the way the reaction will be performed. In the process, the aggregate state of the reagent will be significant. Based on the conditions, SHS can proceed in two modes: layer-by-layer combustion and volumetric thermal explosion.

During the layer-by-layer combustion mode, a chemical reaction after its local initiation spontaneously moves through the substance in the form of a narrow zone (combustion wave). As sources of ignition for SHS systems, incandescent bodies (for example, an electric spiral), an electric arc discharge, a stream of radiant energy (radiation from a discharge of a xenon lamp or a laser), a combustion wave of auxiliary composition, and active chemical agents (hypergolic ignition) are used [3].

The heat supplied to the surface of the sample warms up the surface layer and initiates an exothermic reaction. Near the surface, a combustion front is formed, which begins spontaneously propagate along the sample. The time after which external heat input becomes unnecessary is called the ignition delay time. The temperature in the combustion wave varies from initial to maximum due to the heat release of the chemical reactions of the combustion temperature T_c . Combustion temperature plays a key role in the course of the SHS process and the formation of the final combustion products. The combustion temperature range from 2000 to 3500 K is typical for SHS processes. However, depending on the nature of the materials, the combustion temperature can differ significantly: for example, in some metal-nitrogen systems, $T_c > 3500$ K, and in molybdenum (chromium) peroxide systems, aluminum $T_c \sim 3800\text{--}4800$ K. On the contrary, in systems for the synthesis of complex oxides of the simple ones the combustion temperature is 800–1800 K; in metal – metal systems - $T_c = 1100\text{--}1500$ K; in intermetallic – hydrogen systems, as a rule, it does not exceed 600–800 K. The width of the combustion wave can reach 4–5 mm. In the afterburning zone at the temperature close to the SHS temperature, coalescence and sintering of product particles with low heat release occur [3].

The thermal explosion mode is characterized by the course of the reaction almost simultaneously in the entire volume of the reaction system upon reaching critical conditions (heating to the auto-ignition temperature). In this mode, a very rapid temperature increase is observed (at a speed of the order of thousands of degrees per second) almost simultaneously in the entire sample volume, which leads to the rapid completion of the process. High temperature synthesis in the volumetric thermal explosion mode is most often used for systems (powder mixtures) with a relatively low exothermic effect of the chemical reaction of the interaction of reagents and / or with a high degree of dilution of the initial mixture of reagents with the final product [3].

The advantages of SHS technology include: the occurrence of a reaction with a temperature exceeding the melting temperature of at least one of the reagents of the material composition; the obtainment of the final product with improved properties during thermal exposure and the simplicity of the equipment used.

Despite the obvious advantages of the technology, there are drawbacks that limit the use on an industrial scale; this is the problem of reproducibility of the structure and properties of materials in the process of self-organization. In a separate area of SHS use, a narrow range of parameters that are difficult to control occurs; the control method can be a change in composition and initial temperature.

An effective tool that allows you to purposefully influence the structural state of the reaction mixture and SHS parameters, thereby providing the ability to control the mechanisms of phase and structure formation of materials during the synthesis, is preliminary mechanical activation (MA). The use of mechanical activation of the reaction mixture before SHS has been reported since the 1980s. However, the number of studies related to the combination of these two technologies (MA and SHS) increased sharply in the early 1990s (when the possibilities of the formation of promising including nanostructured materials by the method for mechanically activated self-propagating high-temperature synthesis were shown) and continues to grow every year).

Thus, the possibilities of MA from the point of view of modifying the SHS conditions are extremely wide. However, data on systematic studies of the effect of MA on the processes of phase and structure formation during SHS are still not available in the literature. The vast majority of works are devoted to experimental studies of the thermophysical and kinetic features of the MASHS process, as well as to the structure and properties of the synthesis products in specific systems [3].

1.2. Mechanical activation of reaction mixtures

Many works describe the effect of mechanical activation on the SHS reaction, but there is always a difference from the effect obtained, since the physical effect on the crystal lattice and internal structure in general is always different for each different object of study. The signs that will be delineating in obtaining the results include: various MA modes, the size of the powder reagent, the percentage of constituent materials of the composite.

One of the most important reasons for performing mechanical activation is noted as an increase in the enthalpy of a solid substance as a result of the accumulation of changes, defects in the crystal structure — vacancies, interstitial atoms, dislocations, grain boundaries and subgrains.

On the other hand, this process of defects accumulation is simultaneously accompanied by relaxation. Therefore, when the defect formation rate is higher than the relaxation rate, the material is activated, if lower, deactivation occurs.

Mechanical activation in energy-loaded apparatus activators (ball and planetary mills, attritors, etc.) is a complex process that depends on many factors, for example, such physical and chemical parameters as energy and frequency of collisions, grinding time, type of mill, grinding temperature, the mass ratio of the balls and the powder to be processed, the nature of the atmosphere in which the processing takes place, the chemical composition of the mixtures, etc. In addition, part of the parameters is interconnected. Therefore, the result depends on the total effect of a number of factors; it is almost impossible to single out the quantitative contribution of each of them. This complicates the theoretical prediction of non-

equilibrium processes (phase transitions, phase formation) during mechanical activation [3].

Thus, when conducting research, much depends on the selected activation modes, which together can show completely different results depending on the presence of cooling, intensity, and duration.

The mechanical activation (MA) of powder materials removes them from an equilibrium state, which determines their unusual properties. As you move away from the equilibrium state, the number of parameters that determine the state of the system grows, as a result of which the variety of structures realized in the material expands, and, consequently, its properties. Mechanical activation allows you to create active states in a solid, opening up a definite prospect for conducting and accelerating chemical reactions between solids and obtaining materials in a highly non-equilibrium state. The structures that are formed under highly non-equilibrium conditions are stable; therefore, a more thorough study of the evolution of the particle structure upon the mechanical activation of multicomponent mixtures is necessary [4].

Together, the activation of powder mixtures leads to the formation of mechanocomposites - powder particles, in which the initial components and interacting products are interconnected and evenly distributed among themselves. In other cases, the process forming mechanocomposites is determined by the nature of its constituent components, depending on which one can distinguish: plastic - plastic, brittle - plastic, brittle - brittle.

With preliminary mechanical activation, a structural change occurs in the materials that are most favorable for the processes: annealing, sintering, SHS, etc. The defects obtained by MA create conditions for self and heterodiffusion inside activated particles. Since the above processes require a high activation energy, preliminary MA helps to reduce the energy barrier to the formation of compounds due to the energy stored during activation released during the reaction, which apparently gives a decrease in the reaction temperature of mechanically activated materials. The accumulated energy during MA can be released during SHS during

excess heat; this fact is especially important in the course of a thermal reaction, since it allows expanding the compositions due to the components that do not emit heat under normal conditions.

Considering the effect of MA on the subsequent thermal effect, two main types of microstructural and energy changes can be divided. Microstructural influences include the formation of a finer reagent structure and an increase in the area of contact of the particles with each other, leading to a faster onset of the reaction. A change in internal energy due to the accumulation and its release during mechanical stresses, leading to plastic deformation, is considered to be energetic.

The case of stationary combustion by the authors is analyzed in detail [16]. It is noted that the influence of preliminary MA on the synthesis wave velocity is the result of several opposite factors: on the one hand, an increase in the reaction surface, activation of reagents and the release of excess energy stored during the mechanical activation stage, on the other hand, is a partial chemical transformation that reduces the energy potential of the system. It was shown that if at the stage of mechanical activation a chemical transformation did not occur, then the preliminary.

1.3. Titanium carbide

Titanium carbide is a material with unique properties. Its advantage is a high melting point, high hardness, low electrical resistance, high thermal conductivity, resistance to aggressive environments and abrasion.

Titanium carbide has been known to mankind for over 100 years, during this time the main methods for production (carbon thermal reduction of titanium oxides), as well as its physical, chemical, mechanical properties, have been identified. The use of titanium carbide on an industrial scale was affected by 3 factors.

The first one is the development and rapid development on an industrial scale of tungsten-free carbides based on titanium carbide. This is especially true in connection with a deficiency of tungsten.

The second factor is the production of coatings used for application on instrumental, structural and other products. There are a large number of coating

methods on an industrial scale, and currently not the smallest part of the market has titanium carbide coating.

Thirdly, titanium carbide is increasingly used in abrasive materials every year [5].

All these factors led to an increase in the production of titanium carbide, and thereby to the search for more efficient methods for its production. In this regard, new necessary parameters have appeared in the production technology: high dispersion of the powder, purity of the final product, availability of raw materials that will satisfy industrial production, high productivity and low energy consumption, not high cost. As a result, to achieve all of the above parameters, effective methods for producing titanium carbide: plasma (high dispersion of particles of titanium carbide), SHS (high performance), carbidizing and grinding of titanium chip waste (low cost) have been developed.

Titanium-containing reagents can be used as follows: titanium, titanium dioxide, titanium halogens, poor titanium ores, as well as waste titanium alloys, various carbon-containing materials serve as a carbon source [5].

Investigating powder metallurgy and its potential in producing composites, a decision was made to attempt to synthesize titanium carbide from a titanium-containing powder.

The production of titanium carbide from a mixture of titanium and carbon black powders can be carried out in several ways: by the direct method without melting titanium, by pseudo melting, by the SHS method. In this thesis, we will consider the SHS method, as the most cost-effective and affordable.

Also, one of the most important factors affecting the characteristics of the obtained titanium carbide is the frictional composition of the starting powders. The maximum content of bound carbon and the minimum content of free carbon are found in titanium carbide obtained from titanium with a size of 60-120 microns. During titanium carbidization with a particle size of less than 60 μm , gas evolution increases, and therefore, the quality of the titanium carbide formed is deteriorated due to the increased content of adsorbed oxygen in the titanium powder. When

titanium with a particle size of more than 120 microns is used as the initial reagent, it is difficult to prepare a homogeneous mixture of Ti and soot due to the significant difference between the sizes of their particles and the combustion does not proceed uniformly [6].

1.3.1. Mechanical and technological features of titanium carbide

One of the main factors responsible for the strength of titanium carbide is its porosity and significantly less carbon defectiveness of TiC, the manufacturing method and grain size. Thus, with an increase in porosity of about 5%, its strength decreases by half.

The main reason for the high temperature strength of TiC is the presence of iron, silicon, and free carbon impurities in it, which form at the grain boundaries and form low-melting phases.

At temperatures below 400 Degrees Celsius, the fracture mechanism of titanium carbide is mainly brittle, and at a higher temperature, a transition to the brittle - viscous region is observed. With a decrease in the content of bound carbon in titanium carbide, the temperature of the brittle-viscous transition decreases [5].

1.3.2. Chemical properties of titanium carbide

Titanium carbide is also widespread due to its chemical properties. This alloy is resistant to hydrochloric, sulfuric, and phosphoric acids and alkalis, but it is subject to dissolution when exposed to aqua regia and a mixture of nitric and hydrofluoric acids. With an increase in carbon defects in titanium carbide, resistance to solutions of phosphoric and hydrochloric acid containing hydrogen peroxide is lost.

Titanium carbide has a high corrosion resistance in the region of potentially less than 0.05 in alkaline and 0.7 in acidic solutions [5].

TiC has a relatively high resistance to oxidation. Intensive oxidation of TiC begins at temperatures of 1100 Degrees Celsius [7]. During oxidation, titanium carbide at the initial stage forms a solid solution of TiC-TiO, which prevents further oxidation. At temperatures above 1100 Degrees Celsius, oxygen diffuses through the solid solution layer to form TiO [8].

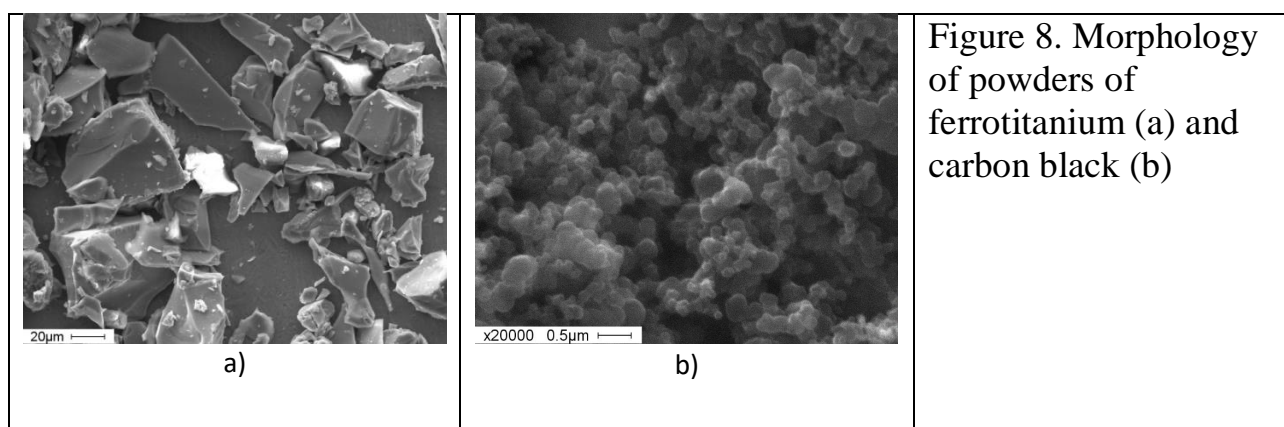
At high temperatures, water vapor oxidizes titanium carbide, and in the atmosphere CO₂ or N₂O TiC decomposes forming titanium dioxide [8].

High physicomechanical and chemical properties of titanium carbide (refractoriness, hardness, heat resistance, electrical conductivity, and low evaporation rate) ensure its wide application in various fields of technology [5].

2. Materials and methods.

For the preparation of powder mixtures, powders of ferrotitanium grade FTi35C5 and carbon black (soot) P-803 were used. Ferrotitanium grade ФТi35C5 contains 32.45 mass% of titanium; 9.75% aluminum; 4.65% silicon and the rest is iron. X-ray diffraction analysis of ferrotitanium revealed two phases: a solid solution of aluminum in the TiFe₂ intermetallic compound [Ti (Fe_{0.875}Al_{0.125})₂] and a solid solution of iron in titanium silicide Ti₅Si₃ (Ti_{5.21}Fe_{0.02}Si_{2.77}). Since both intermediate compounds in the structure of ferrotitanium are brittle, by grinding the pieces under a press, a powder fineness of less than 56 microns was easily obtained. The powder having a fragment form (Fig. 8a) was mixed with carbon black (soot) in an amount of 7.5 wt%. Such carbon content in a mixture with ferrotitanium powder was calculated by assuming that all titanium in the synthesis process will react with carbon to form titanium carbide with an equiatomic composition. The initial P-803 carbon black powder (Fig. 8b) has submicron sizes and an amorphous structure.

The initial P-803 carbon black powder (Fig. 8b) has submicron sizes and an amorphous structure.



X-ray phase analysis was performed using a general-purpose automatic x-ray diffractometer DRON-7 (Fig. 9)

The processing of powder mixtures was carried out in a planetary mill "Activator - 2S" with a drum volume of 250 ml. and the ratio of the mass of balls and powder load 20:1. The diameter of the balls was 6 mm. The mass of powder loading in each of the drums was 15 g. The planetary disk rotation speeds were changed to vary the intensity of mechanical activation: intensive (960 rpm - 64.2 g) and medium (720 rpm - 36 g). To prevent oxidation during MA, the sample drums were filled with argon.

The planetary mill Activator 2S is designed for fine grinding of solids and mechanical reactions.

Figure 10. The main components of the mill are mounted on a metal frame 7. On the frame are installed: two electric motors 8 with belt tension devices, a water collection tray 2, a protective casing 3 and the main unit - a rotary gearbox 1 with drums.

During the study, mechanical activation was performed both with and without intermediate cooling of the drums, with processing times of 2, 5, 10, 15, 20, 30 minutes. The maximum non-stop operating time of the installation according to the passport data is 30 minutes at the most intense operating mode (64g).

The mechanically activated powder was then placed in a loose filling in a cup of tracing paper of Ø 2.5 cm. The average height of the samples was 2.5 cm, and the porosity of the samples was about 60%. CB synthesis was carried out in a sealed reactor in argon atmosphere with an overpressure of about 0.5 atm. Combustion was initiated by heating the firing tablet with a molybdenum coil. A thermocouple BP20-BP5 for measuring the combustion temperature was placed in a hole punctured on the side at about half the height of the powder charge. The combustion temperature was calculated as the average of 4-5 samples.

The SHS product obtained in this way was crushed using a hydraulic press (Fig. 12).

The crushed powder is subjected to sieve analysis, followed by separation of the fraction less than 56 microns. Powders were poured with epoxy and polished. Grinding took place in the following stages:

- 1) Grinding on a rough skin - 10 minutes, load 40N, rotation speed 310 rpm, water cooling.
- 2) Diamond paste, fraction of 14-10 microns. - 10 minutes, 30H, 400 rpm.
- 3) Diamond paste, fraction 5-3 microns. - 10 minutes, 30H, 450 rpm.
- 4) Diamond paste, fraction 1-0 microns - 10 minutes, 30N, 500 rpm.

This operation was performed on a special Saphir 720 machine (Fig. 13).

The SHS method was used to obtain a composite product based on iron with the addition of titanium carbide and soot.

The formation of titanium carbide by mixing two powders of titanium and carbon black and exposure to SHS will relate to the categories of combustion reaction that occur in a narrow zone that passes through the briquette due to heat transfer after local reaction initiation in a heated reagent mixture.

The reaction beakers with a mixture of titanium powder and carbon black, which is pre-briquetted, are placed in sealed reactors. Before igniting the mixture, which is carried out using the ignition system, the reactor is evacuated through a vacuum system or filled with an inert gas through a gas pipeline. The combustion reaction occurs within a few seconds, and the cooling of the reaction mass continues for 1.5-2 hours, after which grinding of cake is required [5].

The qualitative characteristics of titanium carbide (the free and bound carbon and oxygen contained in it) obtained by the SHS method are influenced by the initial titanium and carbon black powders, loading of the initial reagents, and carbidization medium.

The powder used as raw material should contain the least amount of impurities, primarily oxygen, which adversely affects the burning rate and quality of titanium carbide.

The structure that needs to be achieved before using SHS will be achieved through preliminary mechanical activation.

In addition to using SHS technology, the thermal explosion method is also used.

The apparatus for studying the synthesis of composites from powder mixtures in the thermal explosion (TB) mode is a cylindrical pipe made of stainless steel C18N10T with an inner diameter of 50 mm and a thickness of 3.5 mm (6), with a sealed bottom (10). The internal volume of the installation is 841 cm³. A cover (3), in which there are two electrical inputs (11) for the thermocouple contacts BP20-BP5, as well as gas inlets (17), closes the upper part of the installation.

Gas inlet is carried out locally to the sample through a gas tube inside the unit. Gas is released through the gas outlet in the cap. Above the bottom of the installation at a height of 50 mm on the metal rods (13) are suspended the trims of the table (15), on which a compressed mixture of powders (16) is placed. The sample is a cylinder with a height of 20-30 mm, depending on the bulk density of the powder, and a diameter of 20 mm. Prior to the experiment, the reaction volume is purged with argon (4 l / min, 1 min). During the experiment, a constant flow of inert gas was maintained at a level of 2 l / min.

After loading and purging, the device is placed in a furnace preheated up to 800 Degrees Celsius, where it is gradually heated until a thermal explosion is achieved. The time from placing the device in the furnace to the initiation of a thermal explosion was 10-15 minutes.

A sample in a titanium foil cup was placed on chamotte plates on a metal table at the bottom of the pipe. The thermocouple BP20-BP5 was placed inside the hole in the upper part of the sample in the center to a depth of about 5 mm. On the outer surface of the pipe, opposite the sample, covered with a chamotte plate from heaters, an HA thermocouple was placed.

Oven heating mode: $U = 160V$, preliminary heating of the furnace closed with chamotte bricks up to 800 Degrees Celsius. Then the opening for the device was done, followed by waiting until the temperature returns to 800 Degrees Celsius. The purge of the Ar pipe is constant from the moment it is injected into the furnace at the level of 1 l / min (it is fed through the tube down to the sample), the outlet nipple in

the installation cover was twisted. Exposure after the peak is obtained until the temperature readings of both thermocouples are equalized.