

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт: *Социально-гуманитарных технологий*

Направление подготовки: *Материаловедение и технологии материалов*

Кафедра: *Материаловедение в машиностроении*

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ ИСХОДНОЙ ПОРОШКОВОЙ СМЕСИ НА СВОЙСТВА СПЕЧЕННОГО FE-TI СПЛАВА

УДК *621.762.5:621.893.001.5*

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б30	Лу Сюань		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Программист	Мячин Ю.В.	-		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова С.Н.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Штейнле А. В.	к.м.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Материаловедение в машиностроении	Панин С.В.	Д.т.н. профессор		

Томск – 2017 г.

Планируемые результаты обучения по ООП 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов (бакалавриат)

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P1	Применять основные положения и методы гуманитарных наук при решении социально-общественных и профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов
P2	Использовать современное информационное пространство при решении профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов
P3	Разрабатывать, оформлять и использовать техническую документацию, включая нормативные документы по вопросам интеллектуальной собственности в области материаловедения и технологии материалов
P4	Проводить элементарный экономический анализ ресурсов, технологий и производств при решении профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов
P5	Эффективно работать в коллективе на основе принципов толерантности, использовать устную и письменную коммуникации на родном и иностранном языках в мультикультурной среде
P6	Эффективно выполнять трудовые функции по реализации высокотехнологичных производств материалов и изделий
P7	Проводить комплексную диагностику материалов, процессов и изделий с использованием технических средств измерений, испытательного и производственного оборудования
P8	Готовность к мотивированному саморазвитию, самоорганизации и обучению для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности в области материаловедения и технологии материалов
P9	Успешно использовать методы и приемы организации труда, обеспечивающие эффективное, экологически, социально и технически безопасное производство
P10	Использовать принципы производственного менеджмента и управления персоналом в производственной деятельности в области материаловедения и технологии материалов

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт: Социально-гуманитарных технологий

Направление подготовки: Материаловедение и технологии материалов

Кафедра: Материаловедение в машиностроении

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

_____ Панин С. В.

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
154Б30	Лу Сюань

Тема работы:

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ ИСХОДНОЙ
Порошковой смеси на свойства спеченного Fe-Ti сплава**

Утверждена приказом директора ИФВТ

Приказ № 2048/с от 23.03.2017.

Срок сдачи студентом выполненной работы:

09.06.2017

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.).

Порошковые смеси, содержащие Fe:Ti=95%:5%, Fe:Ti:C=94%:5%:1%, полученные смешиванием в течение 24 часов и механической активации в планетарной мельнице в течение 1, 5, 10 и 20 минут. Из этих смесей прессованием изготовили образцы цилиндрической формы с помощью разрывной машины Р-20. Спекание прессованных образцов проводили в вакуумной электропечи сопротивления типа СНВЗ при температуре 1300°C в течение 1 ч и охлаждали с печью.

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><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></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Аналитический обзор литературы о порошковой металлургии и механической активации с целью выяснения достижений мировой науки техники в данной области. 2. Освоение методик исследований: металлографический анализ, измерение плотности, измерение микротвёрдости. 3. Проведение исследований и анализ полученных экспериментальных данных. 4. Обсуждение результатов выполненной работы. 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 6. Социальная ответственность. 7. Заключение по работе.
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Презентация ВКР в Power Point</p>

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
<i>Финансовый менеджмент...</i>	Попова С.Н. доцент
<i>Социальная ответственность</i>	Штейнле А.В. доцент

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

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Программист	Мячин Ю.В.	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б30	Лу Сюань		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 84 с., 22 рис., 33 табл., 11 источников.

Ключевые слова: механическая активация, порошковая металлургия, плотность, металлографический анализ, микротвердость.

Объектом исследования являются спеченные образцы из порошковой смеси системы Fe-Ti, без механической активации и с применением механической активации.

Цель работы – исследовать влияние механической активации исходной порошковой смеси на свойства спеченных Fe-Ti сплава.

В процессе исследования проводились активирование порошковых смесей, подготовка образцов, измерение плотности, металлографический анализ, измерение микротвердости.

В результате исследования определено влияние механической активации на свойства спеченных образцов Fe-Ti образцов.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: образцы имеют ферритную и перлитно-цементитную структуру, плотность спеченных образцов меняется от 6,9 до 4,8 г/см³, микротвердость спеченных образцов увеличивается в 1,5-1,7 раза с увеличением времени активации.

Степень внедрения: По результатам работы составлены тезисы, представленные на Международную конференцию с элементами научной школы для молодых ученых, аспирантов и студентов «Современные технологии и материалы новых поколений», которая будет проходить в Томске 9-13 октября 2017 г.

Область применения: Данный спеченный материал предполагается использовать в качестве материала антифрикционного назначения.

Экономическая эффективность/значимость работы заключается в возможности использования полученных результатов для разработки новых антифрикционных материалов.

ABSTRACT

Graduation qualification work 84 pp., 22 pic, 33 tables, 11 sources.

Key words: mechanical activation, powder metallurgy, density, metallographic analysis, microhardness.

The object of the study is sintered samples from the powder mixture of the Fe-Ti system, without mechanical activation and with the use of mechanical activation.

The aim of the work is to investigate the effect of mechanical activation of the initial powder mixture on the properties of the sintered Fe-Ti alloy.

In the process of investigation, powder mixtures were activated, sample preparation, density measurement, metallographic analysis, microhardness measurement.

Because of the investigation, the effect of mechanical activation on the properties of sintered samples of Fe-Ti samples was determined.

The main structural, technological, technical, and operational characteristics: the samples have a ferrite and pearlitic-cementite structure, the density of sintered samples varies from 6.9 to 4.8 g / cm³, the microhardness of sintered samples increases by 1.5-1.7 times with increasing activation time.

Degree of implementation: Based on the results of the work, abstracts submitted to the International Conference with elements of the scientific school for young scientists, post-graduate students and students "Modern Technologies and Materials of New Generations", which will be held in Tomsk on October 9-13, 2017

Scope: This sintered material is intended to be used as an antifriction material.

The economic efficiency significance of the work lies in the possibility of using the results obtained for the development of new antifriction materials.

Оглавление

Введение	9
1 Литературный обзор	11
2 Материал и методики исследований	24
2.1 Материалы исследования	24
2.2 Методики исследования	26
2.2.1 Смешение и активация	26
2.2.2 Определение доли частиц сферической формы	26
2.2.3 Определение размера частиц	27
2.2.4 Измерение насыпной плотности	27
2.2.5 Формование	28
2.2.6 Спекание	29
2.2.7 Определение плотности образца	29
2.2.8 Подготовка образца	29
2.2.9 Металлографический анализ	31
2.2.10 Измерение микротвердости	33
3 Практическая часть	37
3.1 Порошковая смесь изготовления	37
3.2 Насыпная плотность	39
3.3 Плотность образцов после прессования	41
3.4 Плотность образцов после спекания	43
3.5 Измерение микротвердости	48
3.6 Металлографический анализ	49
4 Финансовый менеджмент	53
4.1 Экономические цели и актуальность работы исследования	53
4.2 Оценка потенциальных потребителей результата исследования	54
4.3 Амортизация основных фондов	55
4.3.1 Структура работ в научного исследования	55
4.3.2 Разработка графика проведения научного исследования	56
4.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	58

4.4.1	Расчет материальных затрат НИИ	58
4.4.2	Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ	60
4.4.3	Амортизация основных фондов	60
4.4.4	Основная заработная плата исполнителей темы	61
4.4.5	Отчисления во внебюджетные фонды	63
4.4.6	Расчет затрат на научные и производственные командировки	64
4.4.7	Формирования бюджета затрат научно-исследовательского проекта	64
5	Социальная ответственность	65
5.1	Технологичная безопасность	66
5.1.1	Анализ вредных факторов производственной среды	66
5.1.2	Анализ опасных факторов производственной среды	68
5.2	Региональная безопасность	69
5.2.1	Защита атмосферы	69
5.2.2	Защита гидросферы	72
5.2.3	Защита литосферы	74
5.3	Организационные обеспечения безопасности	75
5.4	Особенности законодательного регулирования проектных решений	77
5.5	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	78
	Заключение	82
	Список литературы	84

Введение

Порошковая металлургия находит широкое применение в современном машиностроении. С помощью данной технологии производят изделия, как из металлических, так и из керамических порошков. Особенностью технологии является возможность получения материалов с точно заданным химическим составом. Также порошковая металлургия позволяет создавать материалы, которые либо невозможно, либо достаточно дорого получать другими способами, такими как литье.

Обычно, в качестве недостатков порошковой металлургии приводят сложность получения компактных материалов без остаточной пористости. Однако для некоторого класса изделий пористость является необходимым условием, например для фильтров или для некоторых типов антифрикционных изделий. Наличие определенной пористости в подшипниках скольжения позволяет использовать их в местах, труднодоступных для подачи смазки. Пропитанные маслом, такие подшипники могут длительное время работать в режиме самосмазывания.

Свойства спеченного материала в значительной степени определяются качеством исходного сырья, т.е. порошковых смесей. Применяя дополнительные обработки исходных порошковых смесей, можно существенно влиять на свойства спеченных материалов, а также на последующие технологические процессы. Очень часто для увеличения реакционной способности используют механическую активацию порошков. В процессе механической активации многокомпонентных систем могут происходить фазовые превращения, возможно протекание механохимических реакций, а спекание активированных порошковых смесей может происходить при температурах на десятки и даже сотни градусов ниже, чем не активированных порошков.

В настоящей работе приводятся результаты исследования влияния механической активации исходной порошковой смеси на основе железа с добавкой титанового порошка и углерода на свойства спеченного материала.

Данный спеченный материал предполагается использовать в качестве материала антифрикционного назначения.

1 Литературный обзор

1.1 Порошковая металлургия

1.1.1 История развития порошковой металлургии

Началом развития порошковой металлургии в России считается 1826 год, когда русские учёные Пётр Григорьевич Соболевский и Василий Васильевич Любарский изготовили первые промышленные изделия путем прессования и спекания платинового порошка.

Аналогичный способ получения компактных изделий из платинового порошка был также разработан в Англии, но несколько позднее – в 1929 году. Таким образом, становление порошковой металлургии считается заслугой русских ученых.

С бурным развитием электротехники в начале XX в. потребовались новые материалы такие как проволока, из вольфрама и молибдена, медно-графитовые щётки и др., которые нельзя было, изготовить обычными для того времени методами. С помощью порошковой металлургии удалось успешно преодолеть возникшие трудности. После этого, порошковая металлургия стала активно развиваться - появлялись спечённые магнитные и контактные материалы, самосмазывающиеся подшипники, твёрдые сплавы и т.д. [1].

В 1918 г. в стране рассматривались вопросы о добыче тугоплавких материалов таких как вольфрам и молибден. При Главхиме ВСНХ была организована комиссия по редким металлам, которая в 1921 г. превратилась в Научно-техническое бюро по промышленному применению редких элементов – «Бюрэль». На основе исследований этого бюро в СССР было создано промышленное производство тугоплавких металлов, а также твёрдых сплавов и тугоплавких соединений редких металлов с применением методов порошковой металлургии. С освоением технологий изготовления различных типов порошков начали развиваться работы, направленные на разработку спечённых изделий конструкционного назначения. Помимо технологических разработок проводились глубокие исследования позволившие создать научные основы порошкового металловедения и порошковой металлургии.

К 70-ым годам в СССР имелось несколько сотен научных организаций и специализированных производств, которые активно участвовали в развитии порошковой металлургии. Среди этих предприятий крупнейшими были Центральный научно-исследовательский институт чёрной металлургии, Всесоюзный научно-исследовательский институт электромеханики, Всесоюзный научно-исследовательский и проектный институт тугоплавких металлов и твёрдых сплавов и др.

1.1.2 Подготовка порошков к прессованию

Приготовление порошков к прессованию является ответственной операцией при производстве порошковых изделий, так как качество смеси сильно отражается на свойствах готовых деталей.

Приготовление порошков состоит в очистке химическими гидромеханическими или магнитными методами от различного рода примесей; механической обработке (например, дополнительное измельчение), расसेве и фракции по величине частиц (называется классификацией), грануляции, термической обработке.

Под термической обработкой понимается отжиг порошков с целью снятия внутренних напряжений, восстановления окислов, рафинирования частиц по химическому составу, удаления примесей, снижения содержания углерода, повышения однородности структуры частиц и химического состава. Режимы отжига назначаются в зависимости от его задач, природы металла и устойчивости его окислов.

Классификация, или рассев порошков производится для разделения их по фракциям с целью получения при смешивании смеси заданного гранулометрического состава. Рассев порошков производится с помощью сит, путем воздушной сепарации и другими способами.

Важнейшей операцией приготовления смеси является смешивание различных порошковых компонентов или различных фракций порошков для

получения однородной смеси, где проба, взятая в любом объеме смеси соответствует ее среднему химическому или гранулометрическому составу.

Смешивание производится в смесителях, среди которых наибольшее применение нашли смесители типа «пьяной бочки» и конусные. Смешиванию подвергаются как порошки различных компонентов, так и порошки одного и того же компонента различной дисперсности или метода получения. Для улучшения смешивания разнородных порошковых компонентов в смесь вводится иногда жидкость (минеральное масло, спирт, бензин, дистиллированная вода, глицерин). В связи с этим смешивание подразделяется на «сухое» (без введения жидкости) и «мокрое». Время смешивания зависит от свойств компонентов и может колебаться от нескольких минут до нескольких часов.

В случае плохих технологических характеристик смеси (низкая текучесть, прессуемость) ее подвергают грануляции под которой понимают операцию образования временно устойчивых сфероидальной формы комочков, которые состоят из относительно большего числа частиц.

С целью улучшения прессуемости и грануляции порошков при смешивании, в смеситель вводят пластифицирующие добавки, такие как растворы в органических жидкостях парафина, воска, каучука, камфоры и т. п. Такие добавки обволакивают частицы при прессовании и создают дополнительную прочность прессовок, что облегчает трение частиц между стенками пресс-формы и самими частицами (внешнее трение), а при грануляции облегчают их объединение (консолидацию). Кроме пластифицирующих присадок, улучшающих процесс прессования, в смесь могут вводиться добавки, с целью придания тех или иных свойств прессовкам. Например, поризаторы, обеспечивающие высокую пористость изделий.

1.1.3 Формование порошков

Основными технологическими операциями порошковой металлургии являются прессование (формование) и спекание порошковых материалов,

характер применения которых определяется прежде всего степенью нагруженности деталей. Малонагруженные детали (антифрикционные, различного рода втулки, уплотнительные кольца) изготавливаются однократным прессованием и спеканием. Детали средне- и тяжелонагруженные требуют применения более сложной технологии, такой как многократное прессование с промежуточными отжигами и высоко температурным окончательным спеканием, горячее динамическое прессование (ДГП) и горячая штамповка предварительно спрессованных до 70-75% плотности и спеченных заготовок, горячая экструзия, пропитка пористых заготовок жидкими металлами и т.п.

Под прессованием (формованием) металлических порошков подразумевается операция, в результате которой под действием приложенного усилия из бесформенного сыпучего порошка получается относительно прочное тело-прессовка, которая по форме и размерам близко отвечает форме и размерам готового изделия с учетом допусков на усадку и калибровку, а если необходимо, то и на механическую обработку. Прессование порошковых материалов проходит поэтапно:[2]

- 1) дозировка и засыпка порошка в пресс-форму;
 - 2) прессование и выпрессовка заготовок;
 - 3) контроль качества прессовок.
- Дозировка и засыпка порошка в пресс-формы

Дозировка смеси при прессовании в пресс-формы производится весовым или объемным способом (Рисунок 1.1). Величина навески смеси рассчитывается по формуле:

$$P = V d_c \left(1 - \frac{\pi}{100}\right) K_1 K_2, (1.1)$$

где V - объем готовой детали, см^3 ; d_c - плотность смеси, соответствующая ее компактному состоянию, $\text{г}/\text{см}^3$; π - заданная пористость готовой детали, об. %; K_1 и K_2 - коэффициенты, учитывающие потери порошка во время прессования ($K_1=1.005/1.09$) и спекания ($K_2=1.01/1.03$).

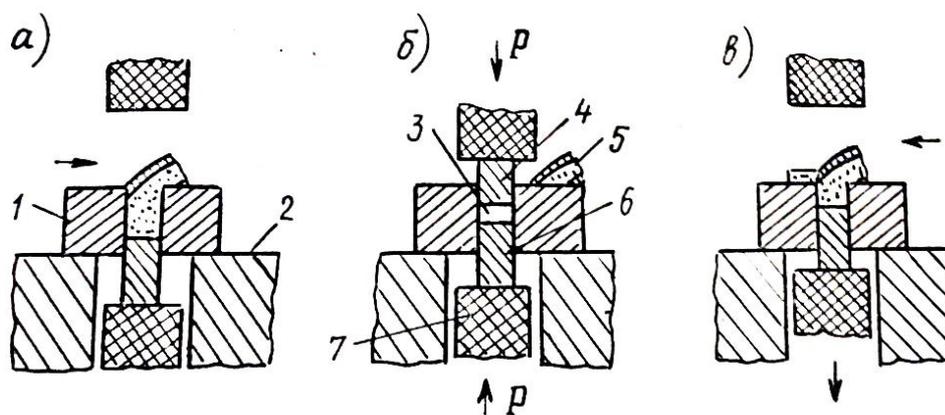


Рисунок 1.1 – Схема объемной автоматической дозировки
а - засыпка порошком матрицы пресс-формы; *б* - прессование; *в* - выпрессовка; 1 - матрица пресс-формы; 2 - плита пресса; 3 - прессуемый порошок; 4, 6 - пуансоны; 5 - питатель дозирующего устройства; 7 - плунжер пресса

При прессовании многокомпонентной смеси d_c рассчитывается по правилу аддитивности.[2]

$$d_c = \frac{100 \times d_1 d_2 d_3, \dots, d_n}{P_1 d_2 d_3, \dots, d_n + P_n d_1 d_2, \dots, d_{n-1}}, \quad (1.2)$$

где $d_1, d_2, d_3, \dots, d_n$ - плотность компонентов в компактном состоянии, г/см³, $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ - содержание компонентов в смеси, мас. %.

- Основные закономерности прессования порошков

Задачей прессования является получение заготовки заданной формы и размеров с равномерной плотностью и прочностью по всему ее объему. Для этого в собранную и установленную на плиту пресса пресс-форму засыпается порция порошковой смеси и устанавливается пуансон (Рисунок 1.2, *а*), через который от пресса на порошковую смесь передается соответствующее давление и под действием усилия смесь прессуется в заготовку (Рисунок 1.2, *б*).

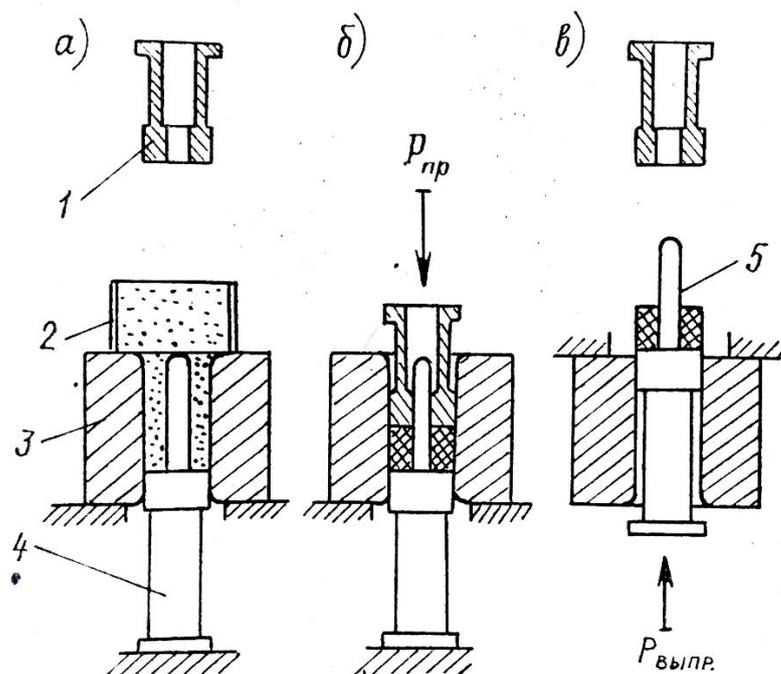


Рисунок 1.2 – Схема одностороннего прессования

а - засыпка порошковой смеси в матрицу; б - прессование верхним пуансоном смеси в изделие; в - выпрессовка заготовки нижним пуансоном;

1 - верхний пуансон 2 - питатель; 3 – матрица;

4 - нижний пуансон; 5 - стержень

После выдержки при заданном давлении нагрузка снимается, пресс-форма переходит в новое положение, при котором из нее выталкивается спрессованная заготовка (Рисунок 1.2, в).

• Выпрессовка изделий и упругое последствие

Последней операцией прессования является выталкивание выпрессовка заготовки из пресс-формы. Давление, необходимое для выпрессовки, пропорционально давлению прессования и зависит от коэффициента внешнего трения и коэффициента Пуассона материала порошка. Обычно давление выпрессовки составляет 20 - 30% давления прессования.

В связи с тем, что при прессовании часть приложенного усилия расходуется на пластическую и упругую деформацию, то при выпрессовке изделий их размеры увеличиваются. Изменение размеров спрессованного

изделия, связанное с воздействием внутренних напряжений после снятия внешних сил, называется упругим последствием. Величина упругого последствия определяется по формуле.

$$\delta_l = \left(\frac{l_1 - l_0}{l_0} \right) \times 100, (1.3)$$

где δ_l - величина упругого последствия, %; Δl - абсолютное расширение тела по длине или диаметру; l_0 - длина (диаметр) прессовки до снятия внешних сил прессования, когда изделие находится в полости пресс-формы; l_1 - длина (диаметр) изделий после выпрессовки из пресс-формы.

Обычно упругое последствие проявляется сильнее по направлению прессования и составляет 4 - 6%, перпендикулярно ему 2 - 3%. В результате снятия упругого последствия контактные поверхности между частицами уменьшаются, между ними может происходить разрыв, что нередко сопровождается появлением расслойных трещин.

Знание величины упругого последствия для каждой порошковой смеси и режима прессования необходимо при проектировании пресс-форм.

1.1.4 Спекание порошковых материалов

Под спеканием порошковых материалов понимается тепловая обработка свободно насыпанного порошка или прессованных заготовок. Выбор температуры спекания зависит от материала и обычно составляет 0,7 – 0,9 от абсолютной температуры плавления металла порошка или от температуры плавления основного металла в многокомпонентной системе порошков.[3]

В процессе спекания порошковых материалов происходит множество процессов: удаление газов, адсорбированных на поверхности частиц, возгонка различных примесей, снятие остаточных напряжений на контактных участках и между частицами, и в самих частицах, восстановление окислов, их растворение или коагуляция, перестройка поверхностного слоя в результате диффузии и переноса металла в виде пара с одних мест в другие, качественное изменение межчастичных контактов и формы пор, их «залёживание».

Термин «спекание» можно определить с позиции практического металловедения как операцию, при которой в результате термической обработки из свободно насыпанного или уплотненного конгломерата частиц порошка создается единое тело, обладающее определенной структурой, механическими и физико-химическими свойствами.[3]

С позиции физикохимии твердого тела спекание представляет собой сложный многоступенчатый самопроизвольный кинетический процесс приближения конгломерата частиц порошка к термодинамическому равновесному состоянию.

Термодинамическая неустойчивость металлических порошков обуславливается большой развитостью свободной поверхности частиц порошка, наличием микроискажений кристаллической структуры металла частиц (микропоры, дислокации, избыточные вакансии, атомы в междузлиях, дефекты упаковки) и несовершенством контакта между ними, а в случае смесей из порошков дополнительно различием компонентов и химической неоднородностью системы из-за неравно мерного распределения частиц порошковых компонентов. Поэтому любая прессованная порошковая заготовка обладает большой избыточной свободной энергией, которая является основной движущей силой спекания. В связи с этим с точки зрения термодинамики спекание можно рассматривать как процесс восстановления атомно-кристаллической структуры металла частиц и как процесс перемещения атомов из энергетически «невыгодных» мест в такие, где свободная энергия системы минимальна. Следовательно, процесс спекания может быть определен как кинетический процесс освобождения порошковой системы от неравновесных дефектов.

Одним из наиболее характерных проявлений процесса спекания порошкового пористого металла является «усадка» (уменьшение размеров тела), сопровождаемое «залечиванием» дефектов кристаллической структуры металла частиц порошков. Увеличение размеров при спекании («рост») в

основном наблюдается только при спекании гетерогенных систем и обуславливается проявлением эффекта Френкеля.

Многообразие макро- и микродефектов в неспеченных металлических заготовках обуславливает и многообразие механизмов их «залечивания». Вследствие этого при спекании наиболее существенными молекулярно-кинетическими процессами являются химические реакции на поверхностях и границах раздела, поверхностная и объемная диффузия, термически активируемые дислокационные процессы

Из утвердившейся теории спекания порошковых металлов, основанной на процессах диффузии вакансий и диффузионновязкого течения металла частиц, следует, что процесс спекания включает три стадии:

1) взаимное припекание частиц, сопровождающееся увеличением площади контакта между собой. На этой стадии частицы сохраняют свою структурную индивидуальность, а их межчастичные границы практически сохраняют свое исходное состояние (Рисунок 1.3, а, б).

2) образование единого пористого тела, представляющего собой совокупность беспорядочно перемежающихся частиц металла порошка и пор. На этой стадии спекания поры в основном сообщающиеся между собой, а межчастичные исходные границы изменяют свою форму по отношению к состоянию после прессования (Рисунок 1.3, в).

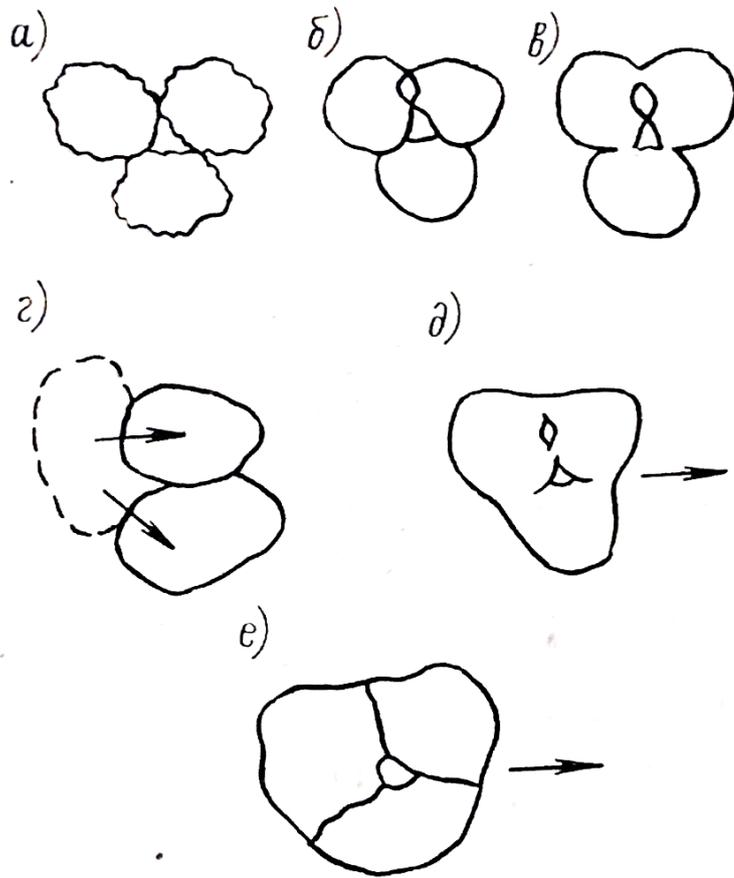


Рисунок 1.3 – Схема спекания порошковых спрессованных заготовок
 а - состояние после прессования; б - поверхности частиц вследствие поверхностной диффузии; в - образование межчастичных «мостиков»;
 г - растворение мелких частиц; д - затекание металла частиц в поры;
 е - образование закрытых пор и общее уплотнение

3) уплотнение объема металла за счет уменьшения общей пористости и образование изолированных пор (Рисунок 1.3, г, д).

На последней стадии наблюдаются интенсивный рост межчастичных контактов и их качественное изменение, связанное с образованием металлической связи между частицами, которая в зависимости от природы металла и условий спекания проявляется в виде образования «мостиков» между частицами, либо сплошных контактов с металлической связью.

1.2 Механическая активация порошков в процессе измельчения

Механическая активация (механоактивация) основана на изменении реакционной способности материалов под действием механических сил, в результате имеет место любое ускорение или повышение эффективности химических, физико-химических или технологических процессов при механических воздействиях на материал (Рисунок 1.4). В процессе механической активации в мельницах различных типов и размеров, а также влияние предварительной активации на последующие процессы термического разложения и синтеза. Установлено, что в ряде обычных технологических процессов кинетика реакции с измельченными порошками определяется их дисперсностью в меньшей мере, чем механической активацией. Механическая активация клинкера в значительной мере определяет скорость гидратации и твердения цемента. Поскольку для обычных степеней измельчения наблюдается пропорциональность между дисперсностью и активностью, вклад механической активации технологически не фиксируется. В области высоких степеней измельчения рост активности все более опережает рост дисперсности порошков. При этом каждому типу и классу мельниц свойственна специфичная кинетика отношения этих величин.[4]

Целесообразно применять механическую активацию в тех случаях, когда она позволяет снизить температуру последующего химического процесса и давление до технологически приемлемых величин, либо существенно повысить скорость протекания процесса в обычных условиях.

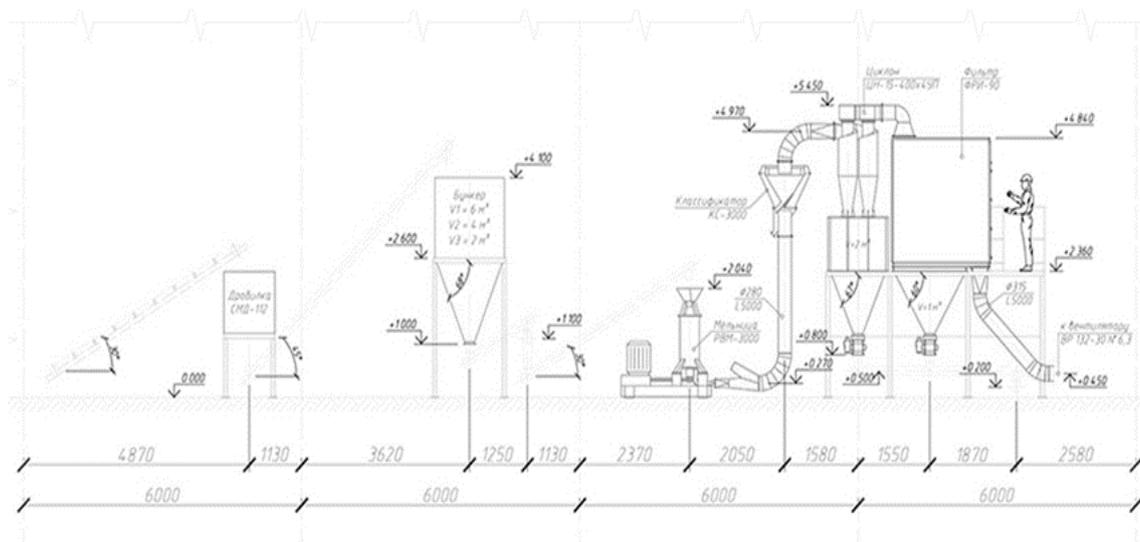


Рисунок 1.4 – Схема механической активации порошков

Среда, в которой производится измельчение-активация, оказывает большое влияние на оба эти процесса. Учитывая особенности взаимодействия поверхностных слоев твердых тел при их диспергировании с жидкостями и газами, можно целенаправленно варьировать дисперсность и активность порошков для достижения за данного технологического эффекта.

Так, диспергирование графита в атмосфере азота позволяет его азотировать без применения нитридов и тем самым снизить температуру, давление и длительность синтеза алмазов, качество которых при такой активации графита заметно повышается.

Условия осуществления механической активации посредством измельчения порошков таковы, что практически исключают возможность ее непосредственного наблюдения. Информацию о характере активационных процессов получают по косвенным данным - по продуктам реакции или состоянию поверхностных слоев частиц порошка.

подавляющая часть экспериментов по механоактивации проведена без учета влияния среды и материала мелющих тел на образование и состояние активированных слоев частиц. Механическая активация и ход механохимических реакций в процессе измельчения. Образование "горячих точек" на поверхности частиц является, возможно, следствием движения и

слияния дефектов в процессе релаксации.

- Изменение энергии в результате механической активации материала после обработки

Установлено, что влияние механической активации материала на его физико-химическую активность не остается постоянным после прекращения механической обработки, а убывает во времени по экспоненте. Это можно объяснить влиянием релаксационных свойств материала.[4]

Материал, обработанный при различных скоростях и длительности воздействий, исследовался на дисперсность и химическую активность. Материал, после ударного воздействия, практически равен скорости химической реакции для не активированного материала того же гранулометрического состава. Такая обработка опытных данных показала, что отношение скоростей химической обработки $V_{отн}$ активированного и не активированного материала одного и того же гранулометрического состава можно записать:

$$V_{отн} = \exp(E_x/RT), (1.4)$$

где: E_x - величина энергии, накопленной частицей в процессе механической активации материала (энергия механической активации); R и T - газовая постоянная и средняя температура химической обработки материала.

В результате обработки опытных данных установлено, что E_x изменяется во времени T выдержки материала по экспоненте и эту зависимость с допустимой погрешностью.

2 Материал и методики исследований

2.1 Материалы исследования

Для исследований готовили две порошковые смеси состава Fe:Ti=95%:5% и Fe:Ti:C=94%:5%:1%. На рисунке 2.1 представлены фотографии исходного порошка карбонильного железа марки VM.

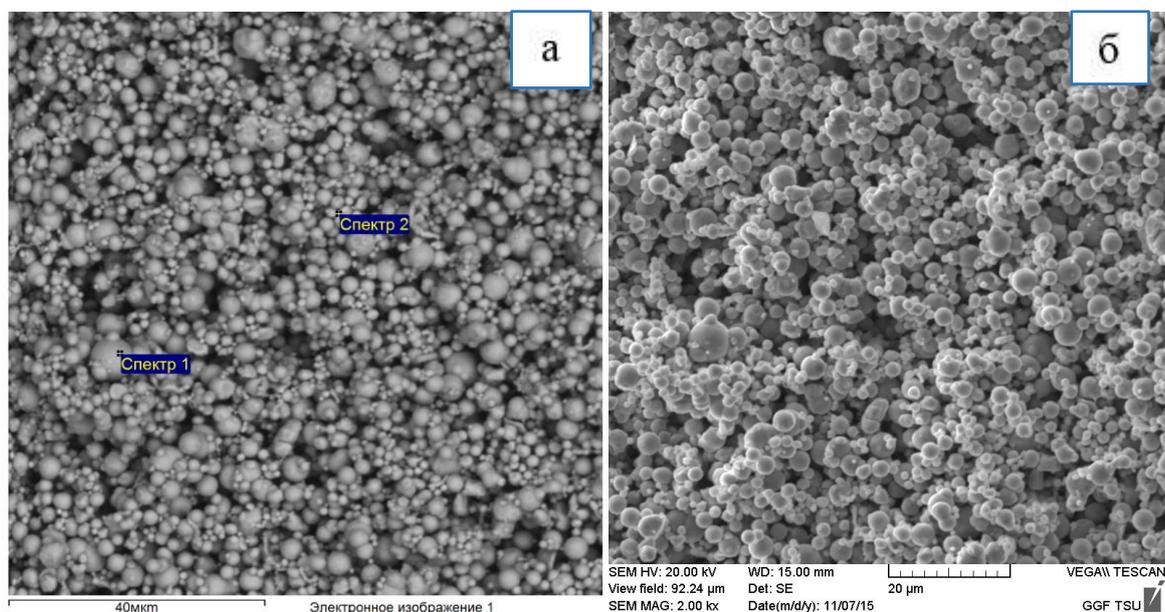


Рисунок 2.1 – Порошок железа марки VM

Химический состав порошка железа представлен в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Химический состав порошка Fe

Элемент	Усл.	Интенсивность	Весовой %	Весовой %	Атомный%
	Конц.	Попр.			
Fe K	97.83	1.0000	100.00	0.00	100.00
Fe K	98.94	1.0000	100.00	0.00	100.00
Итоги			100.00		

На рисунке 2.2 представлены фотографии исходного порошка титана марки ПТОМ.

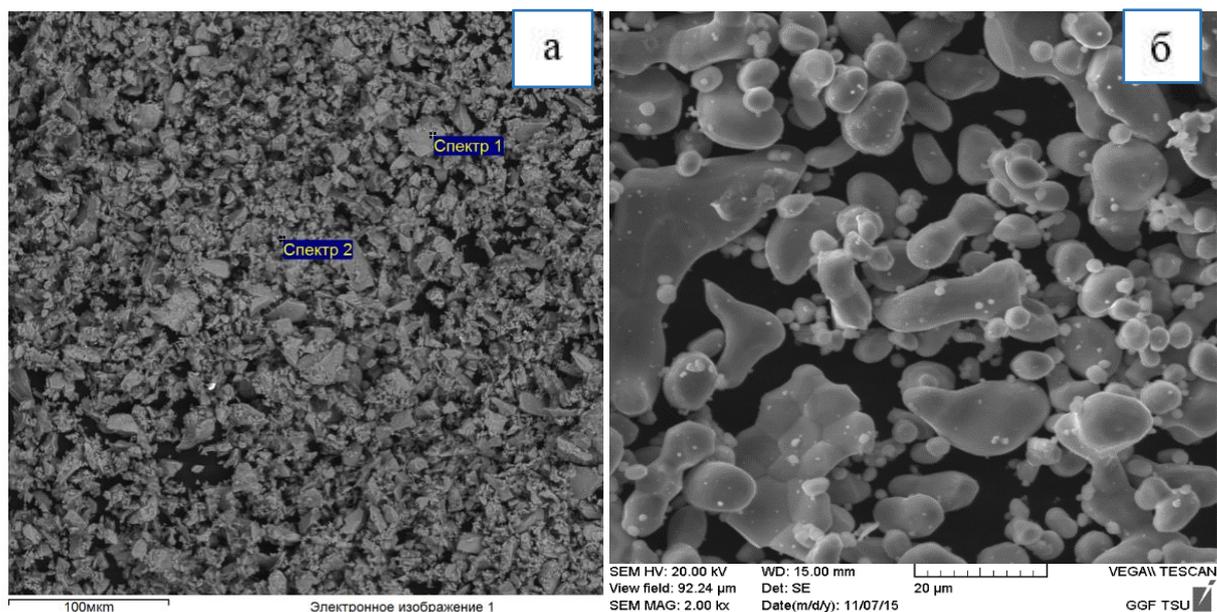


Рисунок 2.2 – Порошок титана марки ПТОМ

В таблице 2.2 представлен химический состав порошка титана.

Таблица 2.2 – Химический состав порошка титана

Элемент	Усл.	Интенсивность	Весовой %	Весовой %	Атомный%
	Конц.	Попр.		Сигма	
Ti K	100.54	1.0000	100.00	0.00	100.00
Ti K	98.96	1.0000	100.00	0.00	100.00
Итоги			100.00		

В качестве углерода в порошковую смесь добавляли сажу.

2.2 Методики исследования

2.2.1 Смешение и активация

1) Частота вращения смесителя: 50 об/мин.

Смешивание порошков проводили в смесителе Турбула С 2.0 в течение 24 часа.

2) Частота вращения барабанов активатора: 1820 об/мин.

Времени активации: 0,1,5,10 и 20 мин в Активаторе 2SL.

2.2.2 Определение доли частиц сферической формы

Определение доли частиц сферической формы в порошковой композиции производили по фотографиям порошковой композиции, полученных на растровом электронном микроскопе. Для повышения точности измерения на каждой пробе получали по 4 фотографии.

Измерения производили по точечному методу стереометрической металлографии. Для этого на изображение накладывали квадратную сетку 20x20 и подсчитывали количество узлов сетки, которое попало в область частицы сферической формы. Сферической считали частицы эллипсоидной формы, отношение главных осей которых отклоняется от 1 не более чем на 25%. Зная общее количество точек ($4 \times 20 \times 20 = 1600$) и количество точек, которое попало в область частиц сферической формы, можно определить объемную долю частиц сферической формы в порошковой композиции по формуле:

$$V_c = (N_c / N) * 100$$

где V_c – объемная доля частиц сферической формы в порошковой композиции, %; N_c – общее количество точек, которое попало в область частицы сферической формы; N – общее количество точек сетки во всех измерениях (1600).

2.2.3 Определение размера частиц

Измерение размеров частиц проводили при непосредственном наблюдении микроскопического изображения, по микроскопическим снимкам.

На изображение накладывали сначала 300 вертикальных линий и считали размеры сечений частиц, через которые проходит каждая линия. Затем накладывали 300 горизонтальных линий и таким же образом повторяли измерения. После этого проводили статистическую обработку результатов измерений. Наконец, по результатам измерений строили график распределения частиц по внешнему диаметру.

2.2.4 Измерение насыпной плотности

Определение насыпной плотности порошковых композиций проводили согласно требованиям ГОСТ 19440-94, часть 1 с применением воронки диаметром 5 мм. Количество измерений – 3.

Воронку с выходным отверстием диаметром 5 мм, закрытым сухим пальцем, заполняли порошком. Открывали выходное отверстие воронки и пропускали порошок через отверстие до полного заполнения емкости объемом $(25 \pm 0,05) \text{ см}^3$ и до начала пересыпания из нее порошка. Одноразовым движением с помощью немагнитной линейки выравнивали в емкости поверхность порошка, не оказывая на него давления.

В случаях, когда порошок не протекал через отверстие воронки, вызвали его течение, протолкнув один раз через воронку в направлении сверху вниз проволоку диаметром 1мм.

Массу порошка определяли с точностью до 0,05г. Определение выполняли на трех испытуемых порциях.

Насыпную плотность $\rho_{as}, \text{ г/см}^3$, вычисляли по формуле:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{250}, \frac{g}{\text{см}^3}, (1.5)$$

где m – масса испытуемого порошка в емкости (стакане), г; V – вместимость емкости, см^3 .

Массу испытуемого порошка m , г, вычисляли по формуле:

$$m = m_1 - m_2, (1.6)$$

где m_1 – масса емкости с порошком, г; m_2 – масса емкости, г.

Записывали среднее арифметическое значение трех определений с точностью до $0,01 \text{ г/см}^3$ (то есть с округлением до второго десятичного знака).

2.2.5 Формование

Формирование проводили методом холодного одностороннего прессования на гидравлическом прессе Р-20. Давление прессования составляло 400 МПа . После формирования заготовки имели цилиндрическую форму с размерами d и H .

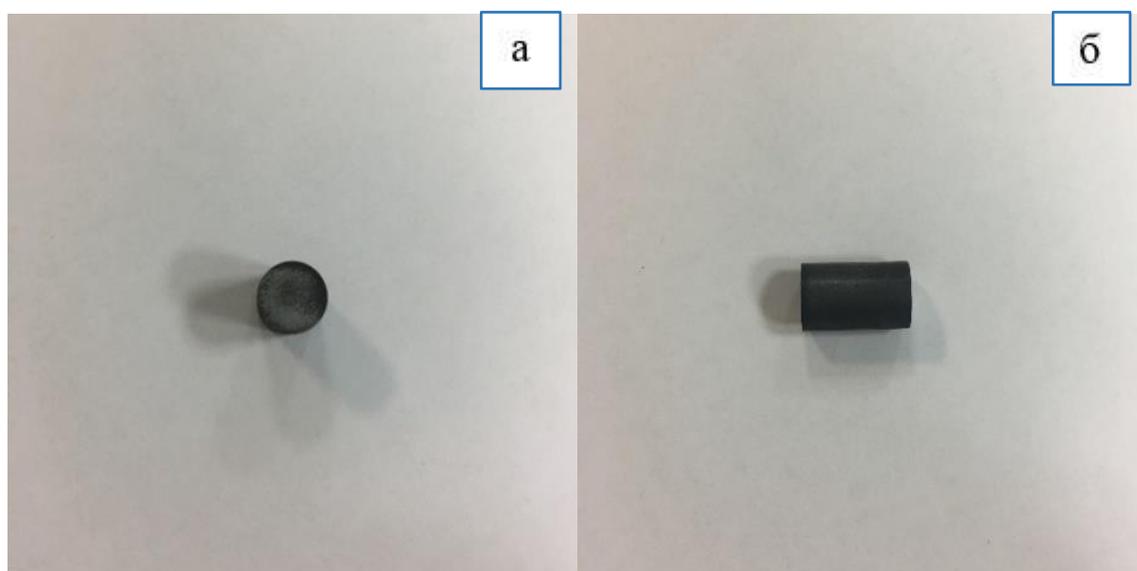


Рисунок 2.3 – Образец формирования

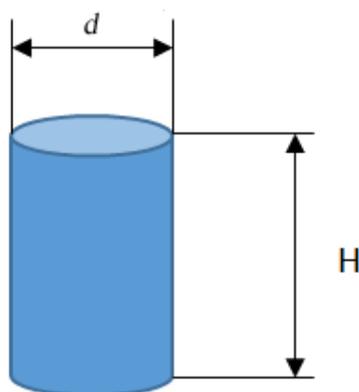


Рисунок 2.3 – Образец формирования

2.2.6 Спекание

Печь: вакуумная печь сопротивления

Температура: 1300°C

Времени термической обработки:

$$\tau_M = \tau_H + \tau_B, \text{ ч}$$

$$\tau_M = 1 + 1.5 = 2.5, \text{ ч}$$

2.2.7 Определение плотность образцов

Уплотняемость определяли путём оценки плотности формовок.

Проводили измерение образцов d , h , m .

После этого определении плотность формовок.

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$v = \frac{\pi d^2}{4} \times h$$

2.2.8 Подготовка образца

Первым этапом исследований является подготовка образцов.

Приготовление микрошлифа обычно включает следующие основные операции:

Вырезку образцов и подготовку поверхности.[5]

- 1) Шлифование.
- 2) Полирование.
- 3) Травление.

Наиболее удобны простые формы образцов следующих размеров: цилиндр или параллелепипед с диаметром или стороной основания 10–20 мм и высотой 10–15 мм. Образцы малых размеров (лента, проволока) или сложной конфигурации после вырезки для изготовления шлифов помещают в пластмассы или легкоплавкие сплавы, используя заливку или запрессовку в цилиндрические обоймы. Наиболее часто для холодной заделки шлифов используют эпоксидные смолы. Они обладают достаточной твердостью, малой

объемной усадкой при отверждении и хорошо соединяются с большинством металлических образцов.

Шлифование осуществляли на шлифовальном станке серии НУ на наждачной бумаге разной зернистости, начиная с крупной и последовательно уменьшая размер абразива. Направление движения образца по наждачной бумаге при смене номера бумаги следует изменять на 90°, а шлифование на одном номере вести до исчезновения рисок от предыдущей шлифовальной бумаги. При смене номера бумаги удаляли со шлифа частички абразива. После шлифования на последней бумаге шлиф тщательно промывали в воде, чтобы частички абразива не попали на полировальный круг. [5]

После шлифования проводили полирование. Полирование служит для удаления мелких рисок, оставшихся после шлифования, и получения гладкой зеркальной поверхности шлифа. Применяют ручное, механическое или электрохимическое полирование.

Использовали ручное полирование на полировальном материале (фильтровальная бумага), на который периодически наносили алмазную пасту. Основные характеристики использованных алмазных паст приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Основные характеристики полировальных алмазных паст

Обозначение зернистости по ГОСТ 9206-70	Размеры абразивных частиц, мкм	Концентрация алмазного порошка, %		Цвет пасты и этикетки
		нормальная Н	повышенная П	
3/2	3-2	2	4	желтый
2/1	2-1	1	2	желтый

Полирование вели до получения зеркальной поверхности, до тех пор, пока на поверхности шлифа под микроскопом перестали наблюдаться риски и

царапины. После полировки шлиф промывали в спирте и сушили полированную поверхность фильтровальной бумагой.[6]

После полирования проводили травления. Для выявления структуры отполированную поверхность образца подвергали травлению реактивом – процентным раствором «азотная кислота» в спирте. Состав раствора «азотная кислота»: 40% кислоты и 60% воды. Под воздействием реактива происходит растворение одних фаз, окисление и окрашивание других. В результате созданной различной отражающей способности фаз, самих зерен и их границ можно увидеть под микроскопом очертания зерен и различных фаз, определить их взаимное расположение; по цвету, форме и размерам определить присутствующие в сплаве фазы, т. е. выявить микроструктуру сплава.[6]

Качество травления проверяли под микроскопом при том же увеличении, при котором предполагали изучение шлифа. После первого травления поверхность шлифа, видимая под микроскопом, была очень светлой, без четкого контура структуры, т. е. шлиф был недотравлен; тогда проводили повторное травление. После окончания травления шлиф промывали спиртом и высушивали прикладыванием фильтровальной бумаги.

2.2.9 Металлографический анализ

Металлографический анализ – это анализ структурообразования металлов и сплавов, то же, что и металлографическое исследование. Понятие «металлографический анализ» трактуют, как метод изучения микро- и макроструктуры металлов и сплавов с помощью визуального наблюдения при различном увеличении. То есть металлографический анализ – это комплекс оптических исследований металлов и сплавов.[7]

Основным инструментом металлографического анализа является металлографический микроскоп. В данной работе использовали микроскопный комплекс на базе металлографического инвертированного микроскопа ЛабоМет-И вариант 1 с системой визуализации.

В металлографических микроскопах освещение объекта осуществляется через объектив. На рисунке 2.4 показаны две принципиальные схемы освещения шлифа. Лучи света от источника света 1 попадают на призму полного внутреннего отражения 2, рисунок 2.4, а, или полупрозрачную плоскопараллельную пластинку 2, рисунок 2.4, б. Их назначение направить поток света в объектив 3 и через него – на шлиф 4. Отраженные от шлифа лучи попадают в объектив 3, далее в окуляр 5 и от него в глаз человека. [7]

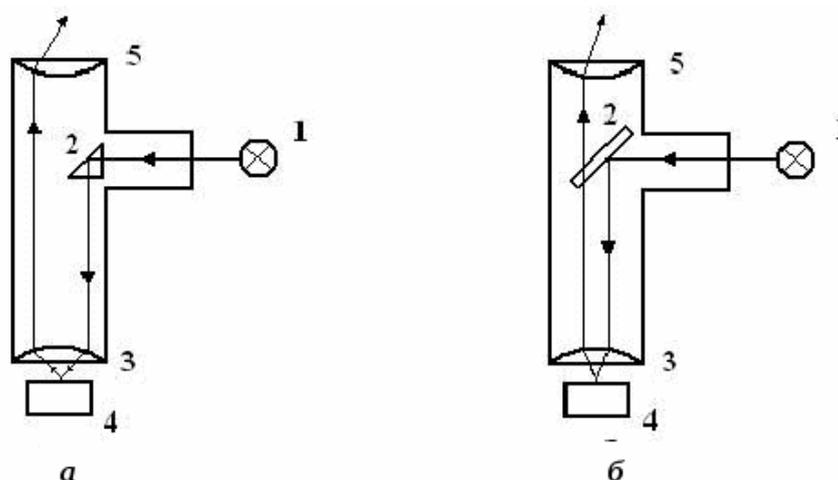


Рисунок 2.4 – Схема освещения шлифа в металлографических микроскопах

Если шлиф металла не травлен, то практически весь световой поток отражается от шлифа и попадает в окуляр микроскопа, рисунок 2.5, а. На травленном шлифе образуется микрорельеф из-за различной способности к растворению и окислению границ зерен, основы зерна и различных фаз, рисунок 2.5, б. В результате различные участки шлифа по-разному отражают лучи света, что и позволяет наблюдать в микроскоп структуру металлов и сплавов, рисунок 2.5, в, г.

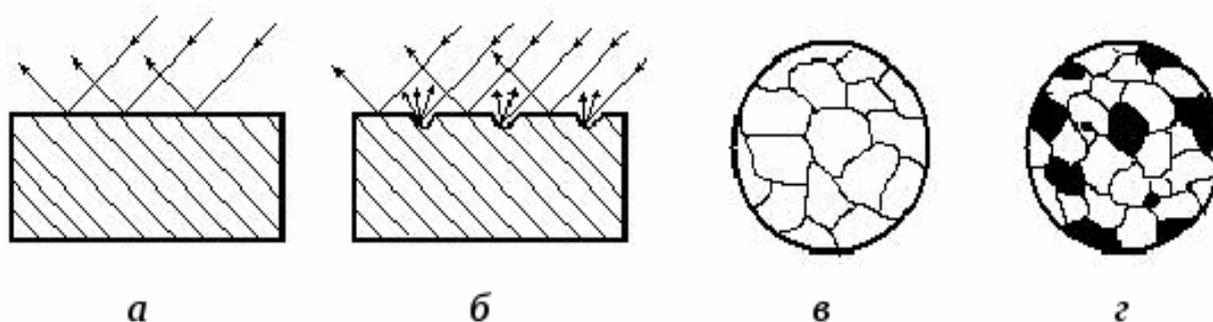


Рисунок 2.5 – Формирование изображения структуры шлифа в металлографическом микроскопе:

a – отражение лучей от полированной поверхности;

б – отражение лучей от травленной поверхности;

в – вид в микроскопе травленной поверхности однофазного шлифа;

г – вид в микроскопе травленной поверхности двухфазного шлифа

Анализатор SIAMS 700 имеет модульную конструкцию, которая может варьироваться в зависимости от выполняемых лабораторией задач металлографического контроля.

2.2.10 Измерение микротвердости

Методом микротвердости обычно измеряется твёрдость в пределах отдельных зёрен или очень тонких слоев. Этот метод чаще всего используются в исследовательских работах.[8]

Для определения микротвердости использовали микротвердомер ПМТ-3, рисунок 2.6. Прибор для определения микротвердости состоит из механизма для вдавливания алмазной пирамиды с небольшой нагрузкой и металлографического микроскопа. В испытываемую поверхность вдавливают алмазную пирамиду под нагрузкой 0,05 - 5,00 Н. Твёрдость HV определяют по формуле:

$$H = 0,189 \frac{P}{d^2}, (1.7)$$



Рисунок 2.6 – Микротвердомер ПМТ-3М

В испытуемый материал вдавливается алмазный наконечник Виккерс имеющий четырехгранное пирамидное основание. Замер проводится по подобию отпечатков (геометрического и механического). За счет удобных сменных наконечников прибор микротвердомер ПМТ-3М имеет расширенный диапазон применения. Прибор имеет ручную нагрузку управления. Микроскоп, используемый в приборе, позволяет просматривать измеряемые объекты в темном и светлом поле.

Испытания на микротвёрдость проводят следующим образом [8]:

1 Устанавливают нагрузку на стержень нагружающего устройства, обеспечивающую получение отпечатка 15-30 мкм.

2 Закрепляют исследуемый образец на опорном столике. Вращением настроечных винтов фокусируют микроскоп на поверхности образца.

3 Выводят в центр поля наблюдения перекрестье нитей.

4 Центрируют прибор до совпадения образующегося отпечатка с перекрестьем нитей окулярного микрометра.

5 Вращением микрометрических винтов опорного столика подводят под перекрестье нитей требуемый участок поверхности образца. Соблюдая расстояние между центрами соседних отпечатков и от центра отпечатка до края образца не менее двух длин диагонали большего отпечатка.

6 Плавно поворачивают столик на 180° до упора и медленно опускают индентор на образец. После выдержки под нагрузкой 5-7 с аккуратно поднимают индентор и плавно возвращают столик в исходное положение. Если произошел сбой центровки, выводят центр перекрестья нитей на центр отпечатка.

7 С помощью окуляр-микрометра определяют длину диагонали отпечатка в единицах деления винта шкалы микрометра. Для этого перекрестье нитей с помощью винта отводят в крайне правое положение так, чтобы перекрестье охватывало две стороны квадрата отпечатка, и отмечают показание шкалы объект микрометра справа (рисунок 2.7). Затем вращением винта перемещают перекрестье нитей в крайне левое положение по отношению к сторонам отпечатка слева (рисунок 2.7), и вновь отмечают показания шкалы. Разность показаний шкалы в обоих положения дает размер диагонали в единицах деления шкалы микровинта.

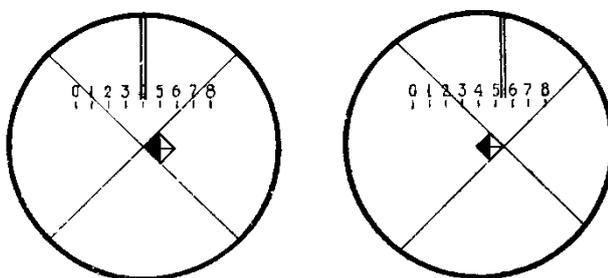


Рисунок 2.7 – Схема измерения диагонали отпечатка

8 Вычисляют размер диагонали отпечатка в микрометрах, умножив полученное значение в единицах деления шкалы микровинта на переводной коэффициент $k=0,315$.

9 Аналогичным образом измеряют вторую диагональ отпечатка. Находят среднее арифметическое длин обеих диагоналей и значение микротвёрдости по таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Числа твердости при испытании алмазной пирамидой с углом при вершине 136° (по М.М. Хрущеву), нагрузка 50 кгс, кг/мм²

Диагональ отпечатка	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	—	—	—	—	—	3710	2575	1890	1450	1145
10	925	765	645	550	473	412	362	321	286	257
20	232	210	192	175	161	148	137	127	118	110.5
30	103	96.5	90.5	85.0	80.0	75.5	71.5	67.5	64.0	61.2
40	58.0	55.0	52.5	50.0	47.9	45.8	43.8	42.0	40.25	38.6
50	37.1	35.65	34.3	33.0	31.8	30.65	29.55	28.55	27.55	26.65

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 Экономические цели и актуальность работы исследования

Данная работа посвящена исследованию темы «Исследование влияния механической активации исходной порошковые смеси на свойства спечённого Fe-Ti сплава»

Мы изготовили порошковые смеси, созданы из порошки железа, титана и углерода, потом изучили физические и механические свойства спеченного Fe-Ti сплава.

Актуальность исследования определяется влиянием активации на свойства спечённого сплава.

Целью работы является определение стоимости и себестоимости технологии обработки. Мы изучили свойства спечённого сплава и сравнили разные свойства сплава, создан из активационной смеси и неактивированной смеси.

В связи с поставленной целью намечены следующие задачи:

- 1) Оценка потенциальных потребителей результата исследования;
- 2) Осуществить планирование этапов выполнения исследования;
- 3) Рассчитать бюджет НИИ;

Таблица 4.1 – Дополнительные информации:

Выдачи работы	20.03.2017
Место исследования	Корпус №8, ТПУ
Участники	Мячин Ю.В.; Лу Сюань
Оборудования	1) оборудование прессования; 2) вакуумная печь; 3) шлифовальный станок; 4) Компьютер; 5) твердомер ПМТ-3

4.2 Оценка потенциальных потребителей результата исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование. [9]

Из выявленных критериев целесообразно выбрать два наиболее значимых для рынка. На основании этих критериев строится карта сегментирования рынка.

В нашем случае целевой рынок является машиностроительной промышленностью. Проведем сегментирование и строим карту сегментирования рынка. Сегментировать рынок технологии инжекционного формирования (порошковая металлургия) можно по следующим критериям: уровень цены, конкретные применения (Таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Карта сегментирования рынка порошковая металлургия

		Конкретные применения			
		Машина-строение	Авиастроение	Трансмиттер	Медицинские инструменты
Уровень цены	Высокая	*	*	***	***
	Средняя	**	**	**	*
	Низкая	***	***	*	*

*** - очень высокая степень, ** - высокая степень, * - невысокая степень.

В карте сегментирования показано, где наши на рынке порошковая металлургия уровень конкуренции высоко. Как видно, для рынка машиностроение и авиастроение, продукции с низкой ценой заняты очень высокой степенью конкуренции. Следовательно, продукции порошковой металлургии с низкой ценой, привлекают предприятия, занимающиеся машиностроениями и авиастроениями в будущем.

4.3 Календарный план выполнения научного исследования

4.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

С оставление этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка задания на ВКР	1	Составление и утверждение темы и задания ВКР	Мячин Ю.В. Лу С.
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение теории по порошковой технологии.	Лу С.
	3	Выбор направления исследований	Мячин Ю.В. Лу С.
	4	Календарное планирование работ по теме	Мячин Ю.В. Лу С.
Проведение ВКР			
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Приготовление порошки	Лу С.
	6	Активация испытанных смесей	Мячин Ю.В.
	7	Измерение насыпной плотности	Лу С.
	8	Формирование и спекание	Мячин Ю.В. Лу С.
	9	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими	Мячин Ю.В. Лу С.
	10	Измерение микротвердости	Лу С.
	11	Металлографический анализ	Лу С.
Выполнение отчета	12	Выполнение отчета	Лу С.
Обобщение и оценка результатов	13	Формование ВКР	Лу С.
	14	Проверка ВКР	Мячин Ю.В. Лу С.

4.3.2 Разработка графика проведения научного исследования

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3 t_{mimi} + 2t_{maxi}}{5}, (4.1)$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.; t_{mimi} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.; t_{maxi} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.[10]

Определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p :

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, (4.2)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.; $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн. $Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Длительность каждого из этапов работ из рабочих дней:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}, (4.3)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях; T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях; $k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, (4.4)$$

где $T_{кал}$ – количество календарных дней в году; $T_{вых}$ – количество выходных дней в году; $T_{пр}$ – количество праздничных дней в году.

$$\text{В 2017-ом году } k_{кал} = \frac{365}{365 - 51 - 14} = 1.22$$

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} необходимо округлить до целого числа.

Все рассчитанные значения свести в таблицу 4.4. На основе таблице 4.4 строится календарный план таблице 4.5.

Таблица 4.4 – Временные показатели проведения научного исследования

Номер работы	Трудоемкость работ						Длительность работ в рабочих днях, T_{pi}		Длительность работ в календарных днях, T_{ki}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ожі}$, чел-дни					
	Мячин Ю.В.	Лу С.	Мячин Ю.В.	Лу С.	Мячин Ю.В.	Лу С.	Мячин Ю.В.	Лу С.	Мячин Ю.В.	Лу С.
1	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2
2	-	4	-	5	-	4	-	4	-	6
3	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2
4	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2
5	-	1	-	2	-	1	-	1	-	2
6	1	-	2	-	1	-	1	-	2	-
7	-	1	-	2	-	1	-	1	-	2
8	2	2	4	4	3	3	3	3	4	4
9	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2
10	-	1	-	2	-	1	-	1	-	2
11	-	1	-	2	-	1	-	1	-	2
12	-	6	-	7	-	8	-	8	-	12
13	-	6	-	7	-	8	-	8	-	12
14	3	3	7	7	5	5	5	5	7	7

Таблице 4.5 – Календарный план-график



- Мячин Ю.В. - Руководитель



- Лу С. - Дипломник

№ работ	Вид работ	Исполнители	T _{кi} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				Февр.		март			апрель			май			июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение темы и задания ВКР	Мячин Ю.В.	2														
		Лу С.	2														
2	Подбор и изучение теории по порошковой технологии.	Лу С.	6														
3	Выбор направления исследований	Мячин Ю.В.	2														
		Лу С.	2														
4	Календарное планирование работ по теме	Мячин Ю.В.	2														
		Лу С.	2														
5	Приготовление порошки	Лу С.	2														
6	Активация испытанных смесей	Мячин Ю.В.	2														
7	Измерение насыпной плотности	Лу С.	2														
8	Формирование и спекание	Мячин Ю.В.	4														
		Лу С.	4														
9	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими	Мячин Ю.В.	2														
		Лу С.	2														
10	Измерение микротвердости	Лу С.	2														
11	Металлографический анализ	Лу С.	2														
12	Выполнение отчета	Лу С.	12														
13	Формование ВКР	Лу С.	12														
14	Проверка ВКР	Мячин Ю.В.	7														
		Лу С.															

4.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

4.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi}, \quad (4.5)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования; $N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.); C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.); k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы (5% от стоимости материалов).[10]

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 4.6.

Таблица 4.6 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, Z_M , руб.
Порошки железа	г.	380	0.12	46
Порошки титана	г.	20	0.15	3
Порошки углерода	г.	2	0.1	0.2
Абразивные шкурки	шт.	10	10	105
Паста ГОИ	г.	10	10	105
Азотная кислота	мл.	20	0,4	9
Спирт	мл.	20	0,12	13
Ватные палочки	шт.	50	0,2	11
Бумага формата А4	экз.	1	250	250
Ручка шариковая	шт.	2	80	160
итого				542

4.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

Все расчеты по приобретению спецоборудования и оборудования, имеющегося в организации, но используемого для каждого исполнения конкретной темы, сводятся в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Срок службы, год	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.
1	Оборудование прессования	10	1	100000
2	Печь типа СНОЛ	5	1	46000
3	Шлифовальный станок	10	1	70000
4	Металлографический анализ	5	1	150000
5	Твердомер ПМТ-3	10	1	23000
Итого:				389000

4.4.3 Амортизация основных фондов

Рассчитаем амортизацию оборудования техники $I_{ам.обор}$, по следующей формуле

$$I_{ам.обор} = \left(\frac{T_{исп.обор}}{365} \right) \times K_{обор} \times H_a, \quad (4.6)$$

где $T_{исп.обор}$ – время использования оборудование; 300 дней – количество дней в году; $K_{обор}$ – стоимость оборудования; H_a – норма амортизации.

$$H_a = \frac{1}{T_{с.с.обор}}, \quad (4.7)$$

где $T_{с.с.обор}$ – срок службы оборудования

$$I_{ам.пресс.} = (T_{исп.обор}/300) * K_{исп.пресс.} * H_a = (1/300) * 100000 * (1/10) = 33 \text{ руб.}$$

$$I_{ам.печь} = (T_{исп.обор}/300) * K_{исп.печь} * H_a = (1/300) * 27400 * (1/10) = 8 \text{ руб}$$

$$I_{\text{ам. шлиф.ста.}} = (T_{\text{исп.обор}}/300) * K_{\text{исп. шлиф.ста.}} * N_{\text{а}} = (1/300) * 70000 * (1/10) = 23 \text{ руб.}$$

$$I_{\text{ам.метал.микр}} = (T_{\text{исп.обор}}/300) * K_{\text{исп.метал.микр}} * N_{\text{а}} = (1/300) * 150000 * (1/5) = 82 \text{ руб.}$$

$$I_{\text{ам. ПМТ-3}} = (T_{\text{исп.обор}}/300) * K_{\text{исп. ПМТ-3}} * N_{\text{а}} = (1/300) * 46000 * (1/5) = 25 \text{ руб}$$

Считать исходя из календарного плана-графика количество часов загрузки оборудования:

$$I_{\text{ам.обор}} = 33 * 3 + 8 * 1 + 23 * 6 + 82 * 2 + 25 * 2 = 459 \text{ руб.}$$

4.4.4 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада.

Заработную плату:

$$Z_{\text{сп}} = Z_{\text{осн}} , (4.8)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{р}} , (4.9)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника; $T_{\text{р}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.; $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} , (4.10)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 48 раб. дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 4.8).

Таблица 4.8 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Значение, чел.-дн.
Календарное число дней	365
Количество нерабочих дней	65
Потери рабочего времени	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	300

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = k_p * Z_{тс.}, (4.11)$$

где $Z_{тс.}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.; k_p – районный коэффициент, равный 1,3ж; k_t – тарифный коэффициент, учитывается по единой;

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Расчёт основной заработной платы руководителя.

Исполнители	Разряд	k_t	$Z_{тс.}$ руб.	k_p	Z_m , руб	$Z_{дн.}$ руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн.}$ руб.
Руководитель	1	1	26400	1,3	34320	1445	17	24565

Расчет основной заработной платы руководителя сводится в таблице 4.10.

Таблице 4.10 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Трудоемкость, чел.-дн.	Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.
1	Составление темы	2	1445	2890
2	Выбор направления исследований	2	1445	2890
3	Календарное планирование работ	2	1445	2890
4	Активация испытанных смесей	2	1445	2890
5	Формирование и спекание	4	1445	5780
6	Сопоставление результатов	2	1445	2890
7	Проверка ВКР	7	1445	10115
Итого:				20230

4.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внед}} = k_{\text{внед}} * Z_{\text{осн}}, \quad (4.12)$$

где $k_{\text{внед}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды, равен 30.2%.

Отчисления во внебюджетные фонды:

$$Z_{\text{внед}} = 0,302 * 20230 = 6109 \text{ руб.}$$

4.4.6 Расчет затрат на научные и производственные командировки

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и

телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:[10]

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей 1 – 5}) * k_{\text{нр}}, \quad (4.13)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. можно взять в размере 16%.

$$Z_{\text{накл}} = (542+459+20230+6109) * 0,16 = 4374 \text{ руб.}$$

4.4.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по варианту руководителя приведен в таблице 4.11.

Таблица 1.11 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Материальные затраты НИИ	542	Пункт 4.1
2. Затраты по амортизация основных фондов	459	Пункт 4.3
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	20230	Пункт 4.4
4. Отчисления во внебюджетные фонды	6109	Пункт 4.5
5. Накладные расходы	4374	Пункт 4.6
Бюджет затрат НИИ		31714 руб.