

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

Инженерная школа новых производственных технологий

Направление подготовки: *Материаловедение и технологии материалов*

Отделение материаловедения

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Влияние способа формования на структуру и свойства порошковой стали 04X14H

УДК 621.762:669.14:621.7.04

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ71	Дай Шуай		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Даренская Е.А.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель	Рагозин Д.В.	К.И.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель	Исаева Е.С.	—		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
22.04.01 Материаловедение и технологии материалов	Панин С.В.	Д.Т.Н		

Томск – 2019 г.

Планируемые результаты обучения по ООП 22.04.01

Код результата	Результат обучения
P1	Осуществлять сбор, анализ и обобщение научно-технической информации в области материаловедения и технологии материалов с использованием современных информационно-коммуникационных технологий, глобальных информационных ресурсов
P2	Работать с патентным законодательством и авторским правом при подготовке документов к патентованию и оформлению ноу-хау
P3	Выполнять маркетинговые исследования и анализировать технологический процесс как объекта управления, разрабатывать технико-экономическое обоснование инновационных решений в профессиональной деятельности
P4	Руководить коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
P5	Внедрять в производство технологии получения керамических, металлических материалов и изделий, в том числе наноматериалов, быть готовым к профессиональной эксплуатации современного оборудования и приборов, позволяющих получать и диагностировать материалы и изделия различного назначения.
P6	Разрабатывать новые и модернизировать существующие технологии получения керамических, металлических материалов и изделий, в том числе наноматериалов
P7	Внедрять системы управления качеством продукции в области материаловедения, эксплуатировать оборудование, позволяющее диагностировать материалы и изделия из них, в том числе наноматериалы
P8	Действовать в нестандартных ситуациях, нести социальную и этическую ответственность за принятые решения, выбирать наиболее рациональные способы защиты и порядка в действиях малого коллектива в чрезвычайных ситуациях
P9	Общаться в устной и письменной формах на государственном языке РФ и иностранном языке для решения задач профессиональной деятельности, подготавливать и представлять презентации планов и результатов собственной и командной деятельности, формировать и отстаивать собственные суждения и научные позиции
P10	Самостоятельно осваивать новые методы исследования, изменять научный, научно-педагогический и производственный профиль своей профессиональной деятельности
P11	Применять принципы рационального использования природных ресурсов, основные положения и методы социальные, гуманитарные и экономические подходы при решении профессиональных задач с учетом последствий для общества, экономики и экологии.
P12	Использовать основные категории и понятия общего и производственного менеджмента в профессиональной деятельности

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

Инженерная школа новых производственных технологий

Отделение материаловедения

Направление подготовки: *Материаловедение и технологии материалов*

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) _____ С.В. Панин
(Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
4БМ71	Дай Шуай

Тема работы:

Влияние способа формования на структуру и свойства порошковой стали 04Х14Н	
Утверждена приказом директора ИШ НППТ	Приказ № 2776/с от 10.04.2019

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(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.).</i>	Образцы стали 04Х14Н, полученные методом порошковой металлургии: одноосным прессованием без связующего и со связующими и спеканием при 1380°С. В качестве связующего использованы воск и двухкомпонентное связующее «воск-полипропилен» с разным содержанием полипропилена. В данной работе применены малоотходные технологии, исключающие попадание в атмосферу, гидросферу и литосферу вредных веществ.
--	---

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>	1. Аналитический обзор литературы о МІМ – технологии с целью выяснения достижений мировой науки техники в данной области. 2. Освоение методик пробоподготовки и исследований: металлографический анализ, оценка пористости, измерение микротвёрдости. 3. Проведение исследований и анализ полученных экспериментальных данных. 4. Обсуждение результатов выполненной работы. 5. Дополнительные разделы: «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», «Социальная ответственность», раздел на иностранном языке.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Презентация ВКР в Power Point

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент...	Рагозин Д.В., старший преподаватель НИ ТПУ
Социальная ответственность	Исаева Е.С., старший преподаватель НИ ТПУ
Английский язык	Аксёнова Н.В., доцент НИ ТПУ

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

1 Литье металла под давлением

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Даренская Е. А.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ71	Дай Шуай		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 105 с., 21 рис., 23 табл., 11 источников, 1 прил.

Ключевые слова: порошковая металлургия, пластификатор, пористость, микротвердость, металлографический анализ.

Объектом исследования являются образцы стали 04Х14Н, полученные разными способами порошковой металлургии.

Цель работы – Исследовать влияние способа формования на структуру и свойства порошковой стали 04Х14Н.

В процессе исследования проводились приготовление образцов, подготовка образцов к исследованию, оценка пористости, металлографический анализ, измерение микротвердости.

В результате исследования определено влияние способа формования на структуру и свойства порошковой стали 04Х14Н.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: ферритная, либо ферритная с карбидами, структура со средним размером зерна 77-118 мкм, микротвердость образцов 1110-1390 МПа.

Степень внедрения: результаты работы опубликованы в сборник трудов Международной научно-технической молодежной конференции «Перспективные материалы конструкционного и медицинского назначения» (26–30 ноября 2018 г., г. Томск); подана заявка на участие во II Международном молодежном конгрессе «Современные материалы и технологии новых поколений» (30 сентября – 5 октября 2019 г., г. Томск).

Область применения: изготовление деталей сложной формы в машиностроительной, космической промышленности и авиастроении.

Экономическая эффективность/значимость работы заключается в возможности использования результатов при разработке новых технологий на основе методов порошковой металлургии.

Оглавление

Введение.....	7
1 Литье металла под давлением.....	8
1.1 Общие понятия МІМ-технологии	8
1.2 Сырье, используемое в МІМ-технологии.....	9
1.3 Металлические порошки.....	10
1.4 Требования к связующим веществам	11
1.5 Смешивание порошков со связующим	12
1.6 МІМ-процесс	12
1.7 Свойства МІМ-изделий	14
1.8 МІМ-дизайн	17
1.9 Последние разработки в области МІМ-технологий	19
2 Объекты и методы исследования	24
2.1 Объекты исследования	24
2.2 Методы исследования.....	24
3 Исследование структуры и свойств спеченной стали 04Х14Н	29
3.1 Исследование исходных металлических порошков железа и хрома.....	29
3.2 Определение плотности образцов стали 04Х14Н.....	31
3.3 Определение пористости спеченных образцов.....	33
3.4 Металлографический анализ спеченных образцов стали 04Х14Н	42
3.5 Определение микротвердости образцов стали 04Х14Н.....	50
3.6 Результаты исследования	50
4.Финансовый менеджмент.....	54
5 Социальная ответственность	73
Заключение	88
Список публикаций студента.....	89
Список использованных источников	90
Приложение	92

Введение

С 1981 года в Томском политехническом университете ведутся исследования в области порошковой металлургии. Особенно актуально это направление сейчас, когда активно развиваются технологии инжекционного формования.

В настоящее время большое внимание уделяется развитию высоких технологий для мало- и безотходных производств изделий. В первую очередь к ним относятся технологии, берущие начало от порошковой металлургии, например, аддитивные технологии. При производстве деталей методами порошковой металлургии большое влияние на качество изделий оказывает способ формования: одноосное прессование, прессование с пластификатором и т.п. В связи с этим изучение структуры и свойств порошковых сталей, полученных разными способами формования, является интересным и имеет практическую значимость, т.к. результаты могут быть использованы для разработки технологии получения компактных изделий.

В связи с этим целью настоящей работы является исследование влияния способа формования прессовок из порошковой смеси системы Fe-Cr-C на структуру и свойства спеченных изделий.

Объекты исследования – образцы хромистой стали (04X14Н), полученные методом порошковой металлургии.

Предмет исследования – влияние способа формования на структуру и свойства порошковой стали 04X14Н.

Данная выпускная квалификационная работа будет интересна специалистам, занимающимся исследованиями в области порошковой металлургии.

1 Литье металла под давлением

1.1 Общие понятия MIM-технологии

Литье под давлением металла (Metal Injection Moulding – MIM) - это процесс металлообработки, при котором тонкоизмельченный металл смешивается со связующим материалом для создания «исходного сырья», которое затем формуют и затвердевают с помощью литья под давлением. Использование инжекционного формования для производства сложных деталей из целого ряда полимерных материалов использовалось в течение многих лет, и большинство из нас сталкиваются с ними в той или иной форме каждый день. Важной особенностью таких деталей является то, что они относительно дешевые. Однако для многих технических применений эти термопластичные материалы не могут быть использованы из-за их невысоких механических свойств [1].

Некоторое улучшение механических характеристик возможно за счет использования твердых наполнителей - керамических или металлических порошков. Но настоящий прорыв произошел, когда оказалось возможным включить очень высокую объемную долю металлического порошка в смесь так, что вместо наполненной полимерной детали изготавливается металлическая или керамическая деталь на термопластичной связке. Осторожное удаление полимерного связующего оставляет каркас из металла или керамики, который, хотя и хрупкий, может безопасно обрабатываться и спекаться почти так же, как традиционные уплотненные детали. После спекания достигаются плотности 95 % или более и, следовательно, полученные механические свойства, как правило, превосходят или эквивалентны свойствам традиционных деталей из порошковой металлургии [1].

Схема, показывающая основные этапы процесса литья металла под давлением (MIM), представлена на рисунке 1.1. Процесс формования позволяет формировать сложные объемные детали за один этап. После формования деталь подвергается операциям кондиционирования для удаления связующего (удаления связующего) и уплотнения порошков. Готовые изделия представляют

собой небольшие компоненты, используемые во многих отраслях промышленности и применениях.

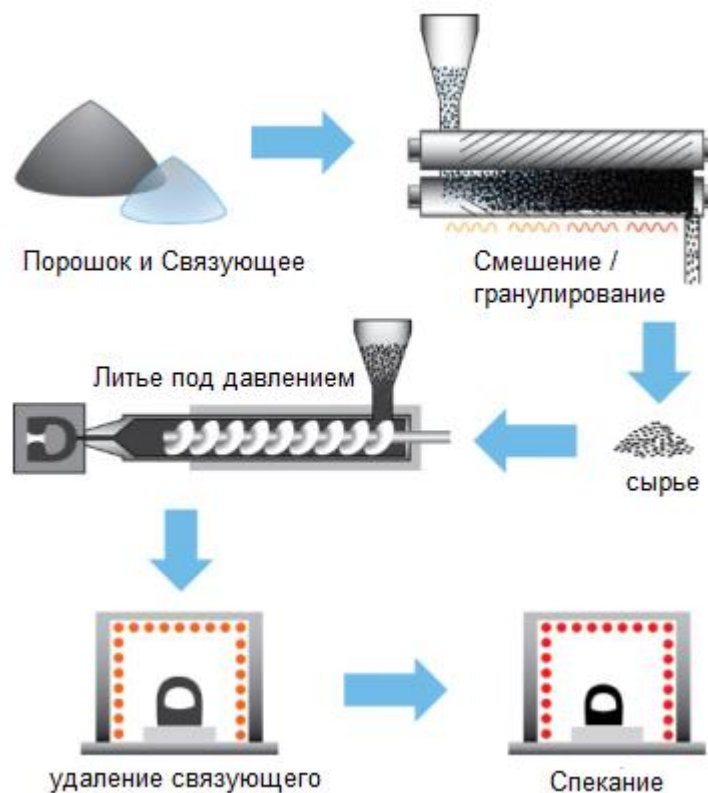


Рисунок 1.1 – Процесс литья под давлением металла

1.2 Сырье, используемое в MIM-технологии

В традиционном процессе порошковой металлургии детали, полученные после спекания, имеют размеры, которые очень близки к исходному «зеленому» компакту, следовательно, относительно просто достичь узких допусков по размерам [2]. Однако с MIM ситуация совершенно иная. Компакты, полученные после стадии литья под давлением, содержат большой объемный процент связующего, вплоть до 50 %, так что при удалении связующего во время спекания происходит значительная усадка. Поэтому очень важно, чтобы процесс спекания точно контролировался, чтобы обеспечить равномерный и предсказуемый уровень усадки. По сравнению с обычным процессом порошковой металлургии, преимущество MIM состоит в том, что металлическая форма в зеленом компакте является однородной при условии, что исходное сырье было изготовлено правильно. В MIM усадка, хотя и большая, также

является равномерной. Эти два комбинированных фактора устраняют возникновение искажений, которые наблюдаются в прессованных деталях из-за различий в плотности.

1.3 Металлические порошки

MIM-технология может обрабатывать практически любой металл, который может быть получен в подходящей порошковой форме. Основными исключениями являются алюминий и магний [1]. Оксидная пленка, присутствующая на поверхности порошка этих металлов, препятствует спеканию. Список металлов, которые используются в MIM-технологии, постоянно расширяется и включает в себя разные металлы и сплавы (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Металлы, используемые в MIM-технологии [2]

Нержавеющая сталь	Тугоплавкие металлы и твердые сплавы
Низколегированные стали	Медные сплавы
Инструментальная и быстрорежущая сталь	Титан
Суперсплавы на основе никеля	Интерметаллиды
Кобальтовые сплавы	Магнитные сплавы

Возможность получения с помощью MIM-технологии близких к заданной форме изделий делает перспективным её использование для изготовления деталей из дорогостоящих сплавов, так как можно избежать образования технологических отходов, которые связаны с механической обработкой.

Средний размер частиц и гранулометрический состав порошка также важны. Другим фактором, который следует учитывать, является то, что мелкие порошки будут спекаться легче, чем более грубые порошки, и потенциально можно достигать более высоких уровней плотности. В следующей таблице 1.2

сравниваются различные методы производства порошка, используемые сегодня для производства МІМ-порошков.

Таблица 1.2 - Сравнение методов производства порошков металлов и сплавов [2].

Технология	Размер частиц, мкм	Форма частиц	Материалы
Газовое распыление	от 5 до 40	сферическая	Металлы, Сплавы
Водное распыление	от 6 до 40	округлая, полосовидная	Металлы, Сплавы
Карбонильная метод	от 0,2 до 40	округлая, остроконечный	Металлы

1.4 Требования к связующим веществам

Выбор оптимального связующего вещества имеет решающее значение для успешного производства отлитых под давлением компонентов. По большей части связующие вещества представляют собой смеси органических соединений, основными ингредиентами которых являются натуральные воски или синтетические полимеры. Другие вещества могут быть добавлены для изменения свойств [3].

Смешивание проводят при повышенной температуре, так что связующее находится в жидком состоянии; в этом состоянии оно должно «смачивать» все частицы порошка, образуя однородную смесь, не создавая кластеров частиц. Поверхностно-активные вещества часто добавляют в композицию связующего для ускорения процесса смачивания. Другое требование заключается в том, что не должно быть химической реакции между связующим веществом и металлом, кроме того, связующее не должно портиться во время процесса [1]. Наконец, по экономическим причинам и для максимального использования материала, должна быть возможность повторно использовать любые литники (бегуны) и отклоненные «зеленые» части в начальной стадии грануляции. Еще одним важным фактором является легкость, с которой связующее может быть удалено из отлитой детали.

1.5 Смешивание порошков со связующим

Тумблерные смесители (такие как двухконусные смесители) широко используются для сухого смешивания или смешивания порошков, мало пригодны для переработки МІМ-сырья [4]. Чтобы обеспечить получение однородного сырья, необходимо выполнить сдвиговое действие. Доступно несколько различных типов, таких как Z-лопасти и планетарные миксеры. Когда для достижения требуемой однородности исходного сырья требуется большой объем работы, двухшнековые экструдеры могут использоваться для окончательной подготовки исходного сырья. Ключевым требованием является обеспечение того, чтобы вся поверхность каждой частицы была покрыта связующим веществом.

Иногда порошок подвергается предварительной обработке, чтобы облегчить и интенсифицировать контакт между поверхностью частиц и связующим веществом. Следует использовать наименьшее возможное количество связующего, однако подходящая объемная доля зависит от характеристик порошка. В промышленной практике объемная доля порошка варьируется от около 0,5 до 0,7. Обычно в процессе гранулирования порошкообразная смесь превращается в твердые гранулы.

1.6 МІМ-процесс

МІМ-процесс представляет собой поэтапный процесс, который состоит из формования, удаления связующего и спекания. Последующие процессы могут включать механическую обработку, закалку, удаление заусенцев или обработку поверхности. Каждый из этих процессов влияет на конечные свойства. Некоторые свойства, на которые влияет какой-либо из процессов, могут быть определены только в готовой детали [4].

1.6.1 Литье под давлением

Первый шаг - литье под давлением. Литье под давлением МІМ-сырья во многом аналогично литью пластмасс под давлением. Используются те же формовочные машины и аналогичные конструкции инструмента. Однако, поскольку МІМ-сырьё является более абразивным, чем пластмассы, и поскольку они обычно впрыскиваются при более высоких давлениях, компоненты, которые вступают в контакт с сырьем, изготовлены из более износостойких материалов [4].

Однако сам процесс литья под давлением металлических порошков является более сложным для мониторинга, потому что, в отличие от литья пластмасс под давлением, полученные литьем под давлением МІМ-компоненты еще не находятся в своем конечном состоянии и, следовательно, свойства не являются окончательными. Свойства могут контролироваться на этапе формования. Процесс формования - это только процесс формования, в то время как другие свойства, такие как прочность и размеры, развиваются только на последующих этапах технологической цепочки.

1.6.2 Удаление связующего

Это этап подготовки к спеканию, и он необходим в МІМ-технологии для удаления связующего материала. После того, как компоненты имеют пористую структуру, поскольку связующее было удалено, они все еще имеют тот же размер, что и после формования. Время, необходимое для удаления связующего, зависит от плотности деталей и применяемого метода.

После стадии удаления связующего, в зависимости от используемого связующего и применяемого метода удаления связующего, детали имеют тенденцию быть достаточно хрупкими и иногда трудными в обращении. Если процесс применяется неправильно, детали могут деформироваться, возникать волдыри или трещины на этапе удаления связующего [4].

1.6.3 Спекание

Спекание - это процесс термодиффузии, при котором огромная площадь поверхности порошковых прессовок превращается в твердый материал с высокой плотностью. Толчок для этого преобразования основан на термодинамике. Поверхностная энергия мелких частиц намного выше, чем у крупных, и поэтому сильно способствует диффузии атомов. В течение спекания уровень поверхностной энергии значительно снижается. Поскольку, в отличие от классической порошковой металлургии, МІМ-технология работает с очень мелким порошковым сырьем, после спекания МІМ-компонентов их конечная плотность намного выше, чем после спекания деталей, полученных обычной порошковой металлургией. Плотность МІМ-компонентов обычно превышает 96 % от теоретической плотности применяемого сплава [4].

Как удаление, так и спекание могут быть выполнены прерывистым способом или в непрерывных процессах. Прерывистые процессы, которые происходят в отдельных частях технологического оборудования для каждого этапа процесса, имеют то преимущество, что они более гибкие и маршруты процесса могут быть разработаны для каждого отдельного типа продукта. Непрерывное технологическое оборудование для разложения и спекания является более экономичным, если объемы обработки велики и когда не так много программ смены разложения связующего и спекания от продукта к продукту. В целом большие объемы крупных деталей обычно обрабатываются непрерывно, тогда как меньшие объемы и мелкие детали лучше подходят для прерывистой обработки.

1.7 Свойства МІМ-изделий

1.7.1 Коррозионная стойкость

Для характеристики коррозионной стойкости металлов до настоящего времени был определен широкий спектр методов испытаний. Методы включают

в себя испытание в нейтральном солевом тумане, испытание на выделение синтетического пота, испытание на искусственную слюну, испытание на коррозию под напряжением, подверженность межкристаллитной коррозии, измерения потенциала пассивации или измерения потенциала точечной коррозии [5].

Взаимосвязь коррозионной стойкости и других свойств

Коррозионные свойства МІМ-деталей во многом зависят от условий производства. В общем, можно описать взаимосвязи между коррозионной стойкостью и другими свойствами, такими как пористость, плотность, фазы в микроструктуре, размер зерна или механические свойства.

Пористость

Сама пористость не оказывает заметного влияния на коррозионную стойкость. Однако наличие открытой пористости и значительная шероховатость поверхности могут привести к увеличению коррозии материала, в основном из-за щелевой коррозии. Поверхностные углубления также могут быть предпочтительными местами для прилипания примесей, которые могут вызывать локальную коррозию.

Размер зерна

Лучшая коррозионная стойкость связана с наименьшим размером зерна. Мелкая структура зерна также важна для обработки и полировка материалов. Условия спекания и охлаждения важны для достижения мелкозернистой микроструктуры.

δ -феррит

Процент аустенита, превращенного в δ -феррит во время спекания, напрямую связан с термическим циклом, применяемым для спекания, а затем с размером зерна. Большинство образцов, имеющих высокую или очень высокую коррозионную стойкость, содержат δ -феррит и имеют мелкий размер зерна. Однако слишком большое количество феррита вредно, если требуется высокое качество отделки. Неоднородность поверхности из-за δ -феррита также может оказывать вредное влияние на коррозионную стойкость.

Содержание углерода

Влияние содержания углерода на коррозионную стойкость MIM-316L хорошо известно [5]. Малоуглеродистая аустенитная нержавеющая сталь требуется для хорошей коррозионной стойкости. Даже использование порошка хорошего качества, если материал загрязнен поступающим из связующего углеродом, может привести к ухудшению коррозионной стойкости.

Содержание хрома и распределение хрома

Хром необходим для формирования пассивной пленки на стальной поверхности. Если некоторое количество хрома испаряется во время вакуумного спекания, поверхностная концентрация хрома может быть уменьшена. Материал легче подвергается коррозии. Во время охлаждения хром также может реагировать с углеродом с образованием карбидов хрома, которые осаждаются на границах зерен. Они образуют неоднородности, которые позволяют начаться коррозии. Поскольку карбиды осаждаются легче на границах раздела феррита и аустенита, следует избегать большого количества феррита. Температуру следует очень быстро снизить с 900 до 600°C, чтобы ограничить образование карбида хрома.

1.7.2 Механические свойства

Из-за специальных правил для проектирования формы в MIM-технологии, очевидно, что образцы для испытаний на растяжение, которые могут быть изготовлены без дополнительных операций обработки, имеют явные преимущества как с точки зрения экономии затрат, так и с технической точки зрения. Поскольку MIM, как правило, является производственным процессом окончательной или почти окончательной формы, техническое преимущество заключается в том, что состояние поверхности образцов для испытаний такое же, как и у компонента MIM. Вот почему индустрия MIM уже на ранней стадии разработала собственную геометрию испытаний на растяжение [5].

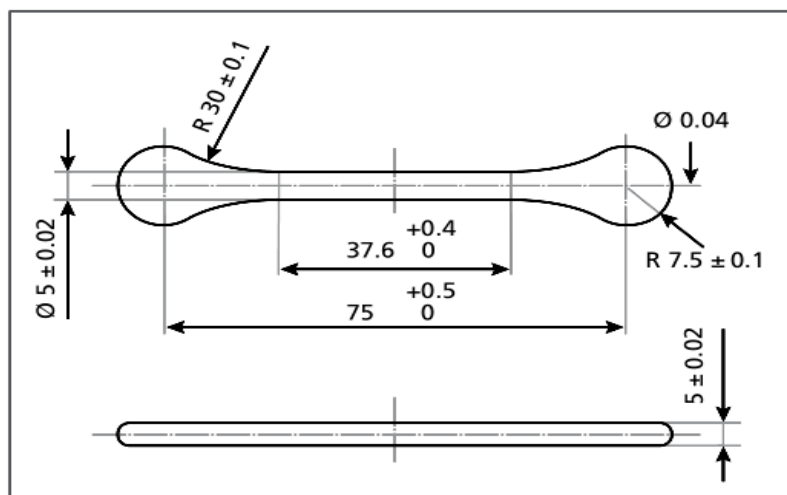


Рисунок 1.2 – Образец, полученный литьём под давлением металла, для испытаний на растяжение согласно ISO 2740

Европейские производители МІМ обнаружили, что эти испытательные образцы, которые были разработаны с отверстиями в их зажимных головках для облегчения зажима, имеют тенденцию к разрушению за пределами длины колеи, если линии сварки или трещины образуются из-за неправильного заполнения формы. Чтобы избежать этой проблемы, была предложена форма «зеленой» МІМ-детали без отверстий, которая указана в ISO 2740 (рисунок 1.2). Острые края были исключены, и существуют только плавные переходы в поперечном сечении, чтобы обеспечить равномерный фронт потока для однородного заполнения формы. Линия разделения формы находится в середине полости [5].

1.8 МІМ-дизайн

1.8.1 Моделирование формования

Компьютерное моделирование также может быть использовано для МІМ. В принципе, для МІМ могут использоваться те же программы, что и для литья пластмасс под давлением, однако важно, чтобы в программу загружались данные о характеристиках исходного сырья. Пакеты программ, такие как SIGMASOFT или MOLDFLOW, доступны и дают хорошо согласуются с реальностью. Моделирование подходит для оптимизации конструкции детали, конструкции пресс-формы и планирования процесса формования. Работа над программным

обеспечением для моделирования заполнения пресс-формы непрерывно продолжается, и модели сегодня могут прогнозировать даже эффекты сегрегации связующего порошка, принимая во внимание, что исходное МІМ-сырье является многофазным непрерывным соединением с частицами порошка различного размера [4].

Моделирование формования также может использоваться для прогнозирования и оптимизации влияния конструкции охлаждения формы, стробирования, вентиляции и линий сварки.

1.8.2 Сравнение МІМ с конкурирующими процессами

МІМ и точное литье

Обычно МІМ используется для деталей весом до 30 г, в то время как точное литье имеет тенденцию быть более конкурентоспособным для больших деталей. МІМ, как правило, точнее точного литья и лучше воспроизводит мелкие геометрические детали [4].

МІМ и прессование-спекание

Прессование и спекание - это относительно дешевый способ получения металлических компонентов с плотностью, обычно находящейся в диапазоне около 90 % от теоретической плотности используемого сплава. Процесс формования состоит из одноосного сжатия металлического порошка в матрице. Поэтому никакие подрезы не возможны. Преимущество МІМ заключается в том, что можно формировать действительно трехмерные детали сложной формы. МІМ, как правило, дороже, но производит детали с более высокой плотностью. Поэтому всякий раз, когда геометрия может быть сделана с помощью прессы и агломерата, МІМ будет дороже [4].

МІМ и механическая обработка

Механическая обработка имеет преимущество перед МІМ в отношении стоимости, когда требуются очень точные детали с размерами более 15 мм, поскольку детали МІМ требуют дорогостоящей доработки, чтобы

соответствовать точности обработанных деталей. Обработка также имеет преимущество, когда требуется лишь небольшое количество деталей. Несмотря на то, что мелкие детали могут быть изготовлены очень точно с помощью МІМ, несуществующие формы и затраты на разработку в пользу механической обработки. Однако, если детали требуются в больших объемах с допусками, которые могут быть соблюдены МІМ, МІМ является предпочтительным методом производства [4].

МІМ и литье пластмасс под давлением

Если необходимы механические свойства металлов, литье пластмасс под давлением не может быть применено. Если свойства пластмассы соответствуют цели, ее всегда следует выбирать, потому что она намного дешевле, чем МІМ.

МІМ и холодная ковка

Холодная ковка - это процесс, применяемый для массового производства очень больших объемов деталей. МІМ может конкурировать только тогда, когда геометрия достаточно сложна, чтобы создать очень высокие затраты на штамп.

МІМ и штамповка или точная вырубка

Для штамповки и тонкой вырубки используют листовой материал, который довольно недорог. Пока геометрия детали может быть сделана этими процессами, МІМ не конкурентоспособен.

В целом, МІМ - это решение проблем, которое вступает в игру, когда набор требований не может быть удовлетворен дешевыми процессами или, когда геометрия такова, что МІМ имеет преимущество, несмотря на его относительно высокую стоимость [4].

1.9 Последние разработки в области МІМ-технологий

1.9.1 Получение двухкомпонентных МІМ-деталей

Двухкомпонентное литье под давлением металла было разработано в качестве производственного маршрута для изготовления МІМ-деталей из двух материалов [6]. Основным преимуществом двухкомпонентного МІМ является

прямое сочетание двух материалов с разными свойствами на одном этапе производства, что устраняет необходимость в последующем процессе соединения. Разнообразие частей, которые могут быть диапазон выпускаемых изделий - от полых предметов со сложной внутренней структурой до гибких неразъемных соединений и комбинаций различных материалов в одной детали МІМ.

Целью во всех случаях является производство промышленных деталей с расширенными функциональными возможностями по выгодным ценам. Несколько успешных тематических исследований с новыми комбинациями материалов, таких как титан и сталь, Со-Сг и сталь, магнитная и немагнитная нержавеющая сталь (рисунок 1.3), были недавно опубликованы в Metal Powder Report в 2016 году [6]. Тематические исследования демонстрируют потенциал применения двух материалов для деталей МІМ. Например, детали, которые подвержены износу, могут быть усилены путем использования более жесткого или более износостойкого материала только в критических областях и, таким образом, имеющего индивидуальный компонент для индивидуального применения [6].

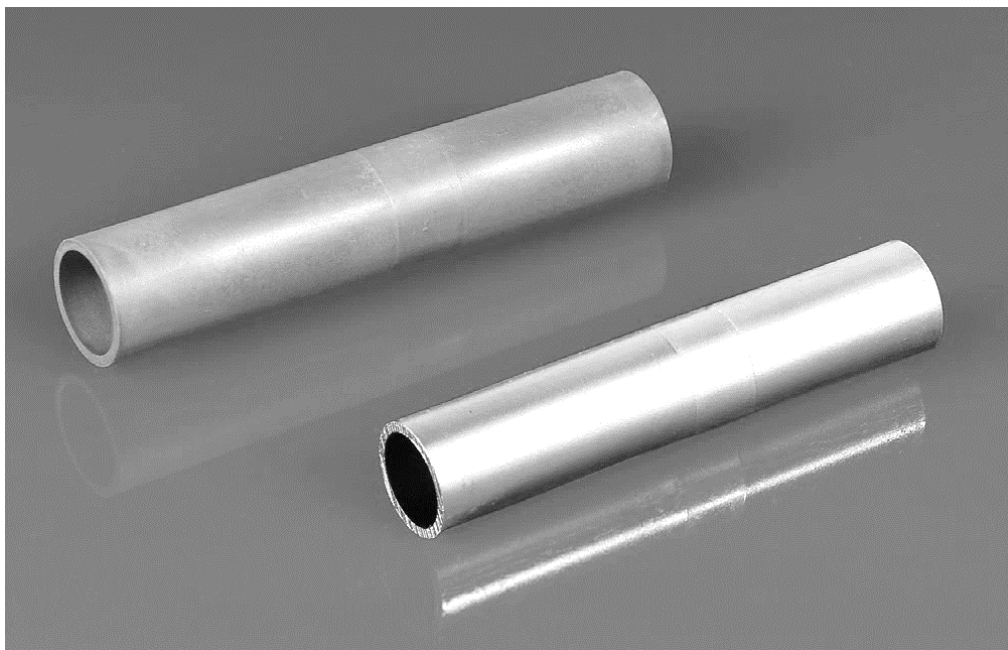


Рисунок 1.3 – Магнитная/немагнитная втулка клапана в виде «зеленой» и спеченной двухкомпонентной МІМ-детали

Некоторые характеристики материала и обработки должны учитываться при производстве МІМ-деталей по этому маршруту. Два материала должны быть спечены в одной и той же печи при одинаковой атмосфере спекания и тепловых условиях. Во время взаимного спекания, также называемого совместным спеканием, важно, чтобы два материала сжимались с одинаковой степенью усадки, чтобы расслаивание и растрескивание были исключены. Кроме того, диффузия легирующих элементов вдоль границы должна поддерживаться в определенной степени, чтобы предотвратить образование нежелательных фаз, которые могут снизить свойства материала на границе раздела [6].

Первые двухкомпонентные МІМ-детали, произведенные по промышленным стандартам, доступны на коммерческом рынке. Благодаря своей уникальной способности включать материалы с различными свойствами в пределах одной МІМ-детали без дополнительных операций сборки, двухкомпонентный МІМ, несомненно, будет стимулировать потенциальный рынок для отрасли МІМ.

1.9.2 Binder Jet 3D-печать для макетирования и мелкосерийного производства МІМ

3D-печать Binder Jet (струйное нанесение связующего) для создания прототипов и мелкосерийного производства МІМ - это процесс аддитивного производства (АМ), при котором порошковый материал наносится тонкими слоями и избирательно соединяется в соответствии с данными САD, поэтому детали создаются без специальных инструментов или форм. Но вместо плавления материала, как это происходит при селективном лазерном плавлении (SLM) или электронно-лучевой плавке (EBM), в процессе Binder Jetting металлический порошок соединяется адгезивными чернилами и после термического связывания либо непосредственно спекается до полной плотности или частично спекается и пропитывается. Эти два способа обработки предлагают широкий выбор материалов и гибкость в достижимых свойствах [7].

Поскольку технологическая цепочка струйного и скоростного спекания до полной плотности в целом аналогична МІМ-процессу, эта технология обладает потенциалом, который можно использовать при создании прототипов или в мелкосерийном производстве деталей МІМ. Напечатанный прототип МІМ-детали может быть использован для проверки условий спекания, корректировки геометрии в зависимости от усадки и определения механических свойств даже до изготовления пресс-формы. Это может значительно сократить время, необходимое для проектирования новых МІМ-компонентов, разработки инструментов или изменения деталей в соответствии с конкретными потребностями клиентов [7].

Уже сегодня принтеры для Binder Jet 3D-Printing доступны в продаже вплоть до систем промышленного размера. До сих пор производители станков квалифицировали этот процесс только для нескольких материалов: разных марок стали (420, 316L и 17-4PH), сплавов на никелевой основе (IN 625 и IN 718) и кобальт-хрома. Изделия, полученные Binder Jet 3D-Printing, показаны на рисунке 1.4. Однако ожидается, что ассортимент доступных материалов будет быстро расти, поскольку теоретически все спекаемые материалы можно использовать в системах Binder Jetting. Кроме того, размер и форма частиц, требуемые для струйной переплетки, аналогичны МІМ, поэтому можно использовать легкодоступные сорта порошка [7].

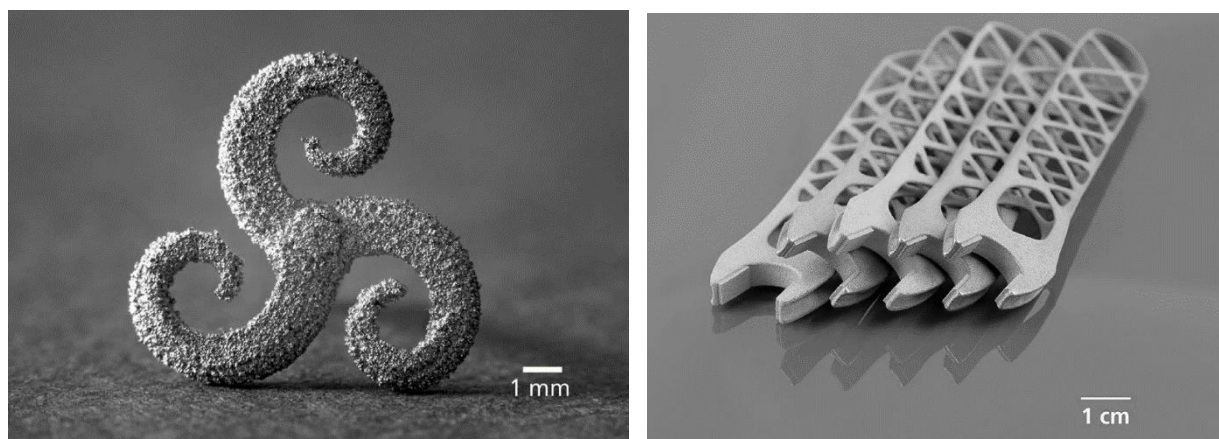


Рисунок 1.4 – Изделия, полученные Binder Jet 3D-Printing:
а - серьга 3D-печать из нержавеющей стали 316L;
б - гаечный ключ 3D-печать из нержавеющей стали 420

В настоящее время плотность, точность размеров и качество поверхности, достигаемые Binder Jetting, не так хороши, как в обычных процессах РМ. Необходимы дальнейшие исследования и разработки, чтобы оптимизировать параметры процесса для широкого спектра материалов и улучшить плотность и однородность упаковки. Однако с улучшением свойств деталей и стабильности процесса Binder Jet 3D-Printing откроет новые возможности и рынки для индустрии MIM.

2 Объекты и методы исследования

2.1 Объекты исследования

В работе исследовали пять образцов порошковой стали 04X14H, полученных разными способами формования порошков: без связующего в фидстоке. Фидстоки изготавливали из порошковой смеси 04X14H (таблица 2.1) и связующих (таблица 2.2).

Порошковую смесь 04X14H готовили смешиванием в течение 24 часов из отдельных порошков металлов: карбонильного железа, никеля.

Таблица 2.1 – Состав порошковой смеси

Компоненты	Карбонильное Fe	Cr	Ni
Масса, г	42,5	7	0,3
Содержание, % масс.	85	14	0,6

Таблица 2.2 – Исследуемые образцы

№	Условное обозначение образца	Вид связующего	Содержание в фидстоке, % масс.	
			связующее	металлическая порошковая смесь
1	0	без связующего	-	100
2	В	воск	3	97
3	30ПП	30 % полипропилена + 70 % воска	5	95
4	35ПП	35 % полипропилена + 65 % воска		
5	65ПП	65 % полипропилена + 35 % воска		

2.2 Методы исследования

2.2.1 Приготовление образцов

Смешивание

Для получения фидстоков смешали порошковые смеси и связующее в металлической ёмкости при температуре, достаточной для расплавления

связующего. Таким образом получили четыре вида фидстока, отличающиеся типом связующего.

Прессование

Из порошковой смеси без использования связующего методом холодного одноосного прессования получена прессовка при комнатной температуре и давлении прессования 760 МПа. В работе будем называть её прессовка 0, а спеченный из нее образец – образец 0.

Из фидстоков прессованием изготовили четыре образца цилиндрической формы с помощью разрывной машины Р-20 (рисунок 2.1) при давлении прессования 127 МПа и при температуре 50 °С для фидстока В и 100°С для остальных трех фидстоков. Будем называть в данной работе прессовка В, прессовка 30ПП, прессовка 35ПП и прессовка 65ПП, а спеченные образцы из этих фидстоков – образец В, образец 30ПП, образец 35ПП и образец 65ПП соответственно.

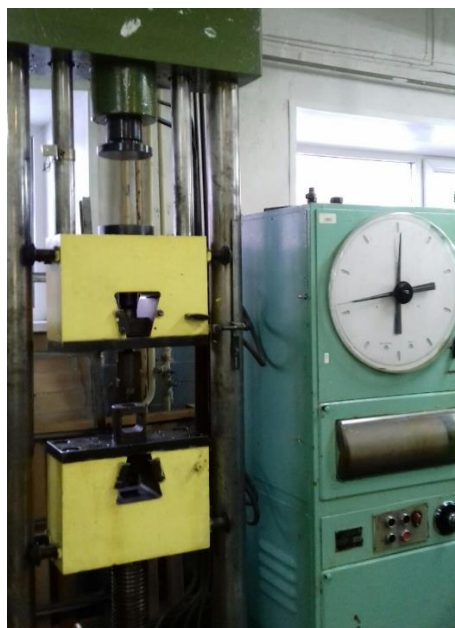


Рисунок 2.1 – Разрывная машина Р-20

Спекание

Спекание проводили по режиму, который показан на рисунке 2.2, в вакуумной печи. Сначала нагревали заготовки до 600 °С со скоростью 300 °С/час и выдерживали 2 часа при этой температуре. Затем продолжали нагревать заготовки до 1380 °С и выдерживали при этой температуре 2 часа. После

охлаждали спеченные образцы с печью до комнатной температуры [8]. Такой ступенчатый режим спекания обеспечивает: 1) удаление связующего при температуре 600 °С и 2) получение компакта при температуре 1380 °С.

Спекание прессовки 0 проводили по такому же режиму.

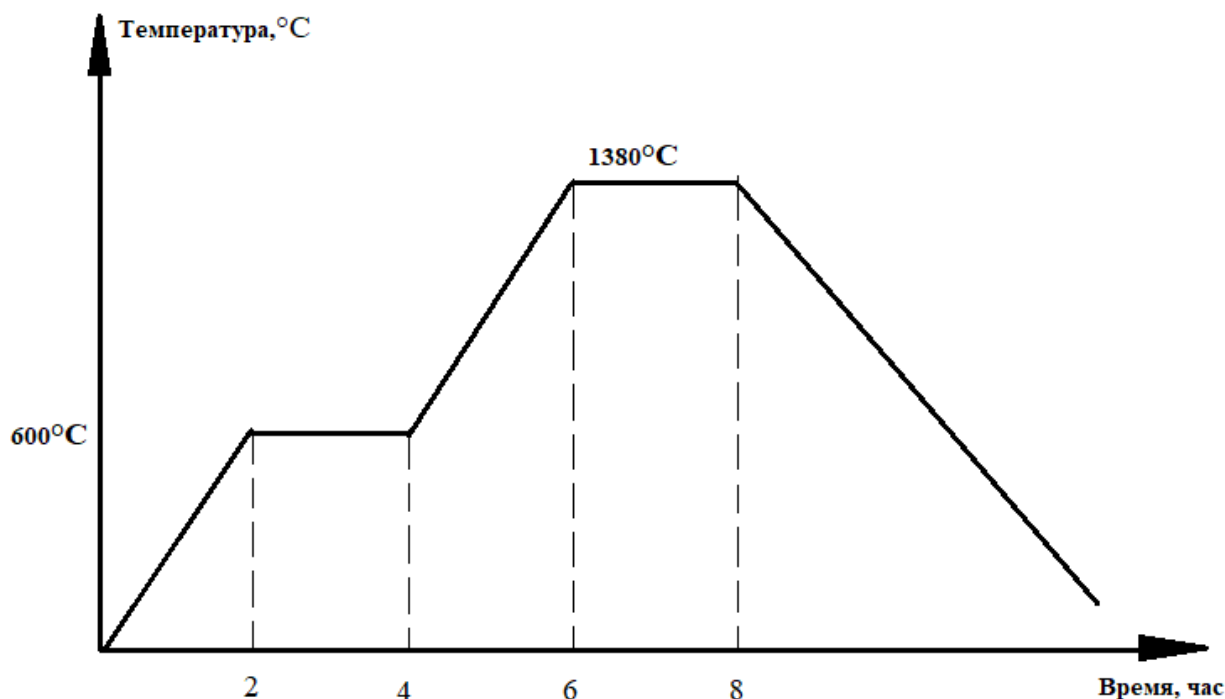


Рисунок 2.2 – Режим спекания прессовки

2.2.2 Металлографический анализ

Металлографический анализ (или металлографическое исследование) проводили для анализа структуры спеченных образцов. Металлографический анализ включал в себя комплекс оптических исследований полученных образцов: изучение макро- и микроструктуры.

В работе использовали оптический микроскоп ЛабоМет-И, оборудованный системой визуализации.

2.2.3 Измерение микротвёрдости

Твёрдость имеет большое практическое значение, так как она отражает многие рабочие свойства материала, например, сопротивляемость истиранию,

режущие свойства, способность обрабатываться шлифованием или резанием, выдерживать местные давления и т.д. Кроме того, по твёрдости можно судить и о других механических свойствах (например, о прочности на разрыв). Следовательно, между твёрдостью и другими свойствами материалов существует определенная связь, подтверждаемая практикой [9].

Большинство методов определения твёрдости основано на принципе вдавливания в испытуемый материал твёрдых тел (закалённого стального шарика, алмазного конуса или алмазной пирамиды) и последующего измерения размеров отпечатков. Поэтому часто твёрдость определяют, как способность материала сопротивляться внедрению в него другого тела.

В работе проводили измерение микротвёрдости с помощью микротвердомера ПМТ-3М при нагрузке 100 г. При вдавливании индентора происходит пластическая деформация испытуемого материала под индентором. Чем больше сопротивление материала пластической деформации, тем на меньшую глубину проникает индентор и тем выше твёрдость [9].

2.2.4 Оценка пористости

Пористость – характеристика материала, совокупная мера размеров и количества пор в твёрдом теле [6]. Является безразмерной величиной от 0 до 1 (или от 0 до 100 %): 0 соответствует материалу без пор; 100 процентная пористость недостижима, но возможны приближения к ней (пена, аэрогель и т. п.). Дополнительно может указываться характер пористости в зависимости от величины пор: мелкопористость, крупнопористость и т. п [9].

Поры, как правило, заполнены вакуумом или газом с плотностью, значительно меньшей, чем истинная плотность материала образца. В этом случае величина пористости не зависит от истинной плотности материала, а зависит только от геометрии пор.

Пористость определяли по формуле:

$$\Pi = \left(1 - \frac{P_v}{P_t}\right) * 100\%,$$

где P_t – истинная плотность материала образца, кг/м³,

P_v – кажущаяся плотность пористого образца, кг/м³.

Также в работе проводили оценку пористости по изображению нетравленных поверхностей образцов с помощью программного комплекса SIAMS. На фото закрашиваются цветом области, которые соответствуют изображениям пор, затем программа подсчитывает суммарную площадь пор и площадь всего изображения. После этого рассчитывается процентное содержание пор. Получаемое число характеризует пористость образца.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕДИНЕНИЕ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4БМ71	Дай Шуай

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	ОМ
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	Материаловедение и технологии материалов

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	<i>Материально-технические ресурсы: материалы для работы (1597,05 руб.), амортизация оборудования (5056,29 руб.). Информационные ресурсы: научные статьи, учебники по теме исследования. Человеческие ресурсы: инженер (магистрант), научный руководитель. ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов». ГОСТ 31532-2012 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность». Ставка страховых взносов 30 % (пункт 2 ст.425 НК РФ)</i>
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет	<i>НИИ проводится в 14 этапов в течение 14 недель. Общий бюджет затрат НИ 177611,82 руб. В статьи расходов включены: материальные затраты, амортизация оборудования, затраты по основной, доп. заработной плате исполнителей темы, отчисления во внебюджетные фонды, накладные расходы</i>
2. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	<i>Экономическая эффективность обусловлена продлением ресурса работы каркасов модуля передней линзы мобильного телефона.</i>

Перечень графического материала:

1. График проведения и бюджет НИИ
2. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИИ

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель	Рагозин Д.В.	к.и.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ71	Дай Шуай		

4. Финансовый менеджмент

4.1 Организация и планирование работ

Темой дипломной работы является «Влияние способа формования на структуру и свойства порошковой стали 04X14H».

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации [9]. Для достижения обозначенной цели необходимо построить таблицу 4.1

Таблица 4.1 - Перечень работ и продолжительность их выполнения

Этапы работы	№ раб	Исполнители	Загрузка исполнителей
Составление и утверждение темы и задания ВКР	1	НР, И	НР – 100% И – 10%
Подбор и изучение теории по порошковой технологии.	2	И	И – 100%
Изучение материала по технологии порошковой металлургией	3	И	И – 100%
Выбор направления исследований	4	НР, И	НР – 100% И – 30%
Календарное планирование работ по теме	5	НР, И	НР – 100% И – 70%
Проведение прессования и спекания	6	НР, И	НР – 30% И – 100%
Подготовка спеченного образца	7	И	И – 100%
Проведение металлографического анализа образца	8	И	И – 100%
Измерение микротвердости образца.	9	И	И – 100%
Измерения пористости образца.	10	И	И – 100%
Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими	11	НР, И	НР – 80% И – 100%
Выполнение отчета	12	И	И – 100%
Формование ВКР	13	И	И – 100%
Проверка ВКР	14	НР, И	НР – 60%

Этапы работы	№ раб	Исполнители	Загрузка исполнителей
			И – 100%

Разработка НИР производится группой квалифицированных работников, состоящей из двух человек – научный руководитель и инженер.

Потенциальными потребителями результатов этого исследования являются предприятия машиностроительной отрасли, расположенные на территории Российской Федерации, включающие в себя судостроительные, автомобильные, авиакосмические, железнодорожные, оборонно-промышленные комплексы и т.д.

4.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Важным этапом данного проекта является составление графика проведения научного исследования, который предназначен для распределения обязанностей по выполнению работ и определения временных рамок производимой работы [9].

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

$$t_{ож} = \frac{3 t_{min} + 2 t_{max}}{5} \quad (4.1)$$

где $t_{ож}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

t_{min} – минимальная продолжительность работы, дн.;

t_{max} – максимальная продолжительность работы, дн.;

Ниже представлены расчеты $t_{ож}$ для каждого этапа работы в днях:

- | | |
|--|--|
| 1) $t_{ож1} = (3 \cdot 2 + 2 \cdot 3)/5 = 2,4$ | $t_{ож8} = (3 \cdot 7 + 2 \cdot 9)/5 = 7,8$ |
| 2) $t_{ож2} = (3 \cdot 5 + 2 \cdot 8)/5 = 6,2$ | $t_{ож9} = (3 \cdot 2 + 2 \cdot 3)/5 = 2,4$ |
| 3) $t_{ож3} = (3 \cdot 4 + 2 \cdot 8)/5 = 5,6$ | $t_{ож10} = (3 \cdot 2 + 2 \cdot 3)/5 = 2,4$ |
| 4) $t_{ож4} = (3 \cdot 1 + 2 \cdot 2)/5 = 1,4$ | $t_{ож11} = (3 \cdot 2 + 2 \cdot 5)/5 = 3,2$ |
| 5) $t_{ож5} = (3 \cdot 2 + 2 \cdot 3)/5 = 2,4$ | $t_{ож12} = (3 \cdot 5 + 2 \cdot 8)/5 = 6,2$ |

$$\begin{aligned}
6) \quad t_{ож6} &= (3 \cdot 7 + 2 \cdot 12)/5 = 9 & t_{ож13} &= (3 \cdot 5 + 2 \cdot 8)/5 = 6,2 \\
7) \quad t_{ож7} &= (3 \cdot 5 + 2 \cdot 7)/5 = 5,8 & t_{ож14} &= (3 \cdot 2 + 2 \cdot 4)/5 = 2,8
\end{aligned}$$

Для выполнения перечисленных в таблице 4.1 работ требуются специалисты:

- инженер – в его роли действует исполнитель НИР (ВКР);
- научный руководитель.

Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ($T_{РД}$) ведется по формуле:

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} \cdot K_{Д} = 1,2 \cdot t_{ож} \quad (4.2)$$

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, примем $K_{Д} = 1,2$.

Ниже представлены расчеты $T_{РД}$ по исполнителям для каждого этапа работы с учетом загруженности исполнителя на данном этапе работы, представленной в таблице 4.1:

1) $T_{РД1}(НР) = 1,2 \cdot 2,4 \cdot 1 = 2,88$	8) $T_{РД8}(И) = 1,2 \cdot 7,8 \cdot 1 = 9,36$
$T_{РД1}(И) = 1,2 \cdot 2,4 \cdot 0,1 = 0,29$	
2) $T_{РД2}(И) = 1,2 \cdot 6,2 \cdot 1 = 7,44$	9) $T_{РД9}(И) = 1,2 \cdot 2,4 \cdot 1 = 2,88$
3) $T_{РД3}(И) = 1,2 \cdot 5,6 \cdot 1 = 6,72$	10) $T_{РД10}(И) = 1,2 \cdot 2,4 \cdot 1 = 2,88$
4) $T_{РД4}(НР) = 1,2 \cdot 1,4 \cdot 1 = 1,68$	11) $T_{РД11}(НР) = 1,2 \cdot 3,2 \cdot 0,8 = 3,07$
$T_{РД4}(И) = 1,2 \cdot 1,4 \cdot 0,3 = 0,5$	$T_{РД11}(И) = 1,2 \cdot 3,2 \cdot 1 = 3,84$
5) $T_{РД5}(НР) = 1,2 \cdot 2,4 \cdot 1 = 2,88$	12) $T_{РД12}(И) = 1,2 \cdot 6,2 \cdot 1 = 7,44$
$T_{РД5}(И) = 1,2 \cdot 2,4 \cdot 0,7 = 2,02$	
6) $T_{РД6}(НР) = 1,2 \cdot 9 \cdot 0,3 = 3,24$	13) $T_{РД13}(И) = 1,2 \cdot 6,2 \cdot 1 = 7,44$
$T_{РД6}(И) = 1,2 \cdot 9 \cdot 1 = 10,8$	
7) $T_{РД7}(И) = 1,2 \cdot 5,8 \cdot 0,4 = 6,96$	14) $T_{РД14}(НР) = 1,2 \cdot 2,8 \cdot 0,6 = 2,02$
	$T_{РД14}(И) = 1,2 \cdot 2,8 \cdot 1 = 3,36$

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{\text{КД}} = T_{\text{РД}} \cdot T_{\text{К}} \quad (4.3)$$

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

$$T_{\text{К}} = \frac{T_{\text{КАЛ}}}{T_{\text{КАЛ}} - T_{\text{ВД}} - T_{\text{ПД}}} = \frac{365}{365 - 52 - 10} = 1,205 \quad (4.4)$$

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

$T_{\text{ВД}}$ – выходные дни ($T_{\text{ВД}} = 52$);

$T_{\text{ПД}}$ – праздничные дни ($T_{\text{ПД}} = 10$).

Ниже представлены расчеты $T_{\text{КД}}$ по исполнителям для каждого этапа работы:

- | | |
|--|--|
| 1) $T_{\text{КД1}}(\text{НР}) = 2,88 \cdot 1,205 = 3,49$ | 8) $T_{\text{КД8}}(\text{И}) = 9,36 \cdot 1,205 = 11,34$ |
| $T_{\text{КД1}}(\text{И}) = 0,29 \cdot 1,205 = 0,35$ | |
| 2) $T_{\text{КД2}}(\text{И}) = 7,44 \cdot 1,205 = 9,02$ | 9) $T_{\text{КД9}}(\text{И}) = 2,88 \cdot 1,205 = 3,49$ |
| 3) $T_{\text{КД3}}(\text{И}) = 6,72 \cdot 1,205 = 8,14$ | 10) $T_{\text{КД10}}(\text{И}) = 2,88 \cdot 1,205 = 3,49$ |
| 4) $T_{\text{КД4}}(\text{НР}) = 1,68 \cdot 1,205 = 2,04$ | 11) $T_{\text{КД11}}(\text{НР}) = 3,07 \cdot 1,205 = 3,72$ |
| $T_{\text{КД4}}(\text{И}) = 0,5 \cdot 1,205 = 0,61$ | $T_{\text{КД11}}(\text{И}) = 3,84 \cdot 1,205 = 4,65$ |
| 5) $T_{\text{КД5}}(\text{НР}) = 2,88 \cdot 1,205 = 3,49$ | 12) $T_{\text{КД12}}(\text{И}) = 7,44 \cdot 1,205 = 9,02$ |
| $T_{\text{КД5}}(\text{И}) = 2,02 \cdot 1,205 = 2,44$ | |
| 6) $T_{\text{КД6}}(\text{НР}) = 3,24 \cdot 1,205 = 3,93$ | 13) $T_{\text{КД13}}(\text{И}) = 7,44 \cdot 1,205 = 9,02$ |
| $T_{\text{КД6}}(\text{И}) = 10,8 \cdot 1,205 = 13,09$ | |
| 7) $T_{\text{КД7}}(\text{И}) = 6,96 \cdot 1,205 = 8,44$ | 14) $T_{\text{КД14}}(\text{НР}) = 2,02 \cdot 1,205 = 2,44$ |
| | $T_{\text{КД14}}(\text{И}) = 3,36 \cdot 1,205 = 4,07$ |

В таблице 4.2 представлены результаты определения продолжительности этапов работ и их трудоемкости по исполнителям, занятым на каждом этапе, в соответствии с данными таблицы 4.1. В таблице 4.3 представлен линейный график выполнения работ.

Таблица 4.2 - Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн.			
					$T_{\text{рд}}$		$T_{\text{кд}}$	
		$t_{\min}$	$t_{\max}$	$t_{\text{ож}}$	НР	И	НР	И
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Составление и утверждение темы и задания ВКР	НР, И	2	3	2.4	2.88	0.29	3.49	0.35
Подбор и изучение теории по порошковой технологии.	И	5	8	6.2	–	7.44	–	9.02
Изучение материала по технологии порошковой металлургией.	И	4	8	5.6	–	6.72	–	8.14
Выбор направления исследований	НР, И	1	2	1.4	1.68	0.50	2.04	0.61
Календарное планирование работ по теме	НР, И	2	3	2.4	2.88	2.02	3.49	2.44
Проведение прессования и спекания	НР, И	7	12	9	3.24	10.80	3.93	13.09
Подготовка спеченного образца	И	5	7	5.8	–	6.96	–	8.44
Проведение металлографического анализа образца	И	7	9	7.8	–	9.36	–	11.34
Измерение микротвердости образца.	И	2	3	2.4	–	2.88	–	3.49
Измерения пористости образца.	И	2	3	2.4	–	2.88	–	3.49
Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими	НР, И	2	5	3.2	3.07	3.84	3.72	4.65
Выполнение отчета	И	5	8	6.2	–	7.44	–	9.02
Формование ВКР	И	5	8	6.2	–	7.44	–	9.02
Проверка ВКР	НР, И	2	4	2.8	2.02	3.36	2.44	4.07
Итого:				68.8	15.77	78.93	19.11	87.17

Таблица 4.3 - Линейный график работ

Этап	НР	И	Март			Апрель			Май			Июнь	
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
1	3.49	0.35											
2	–	9.02											
3	–	8.14											
4	2.04	0.61											
5	3.49	2.44											
6	3.93	13.09											
7	–	8.44											
8	–	11.34											
9	–	3.49											
10	–	3.49											
12	3.72	4.65											
12	–	9.02											
13	–	9.02											

НР – ; И –

4.3 Расчет накопления готовности проекта

Степень готовности проекта на данном этапе определяется формуле:

$$CG_i = \frac{TP_i^H}{TP_{общ}} = \frac{\sum_{i=1}^I TP_i}{\sum_{i=1}^I TP_i} = \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J TP_{ij}}{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J TP_{ij}}, \quad (4.5)$$

где CG_i – степень готовности проекта на i -ом этапе; TP_i^H – накопленная трудоемкость проекта к i -ому этапу; $TP_{общ}$ – общая трудоемкость проекта (таблица 4.2, сумма строки «итого» колонки $T_{КД}$: $TP_{общ} = 19.11 + 87.17 = 106.28$); TP_i – общая (по всем исполнителям) трудоемкость i -ого этапа проекта; TP_{ij} – трудоемкость j -ого исполнителя на i -ом этапе проекта (таблица 4.2, колонка $T_{КД}$); I – общее количество этапов проекта.

Ниже представлены расчеты удельного веса каждого этапа работы по трудоемкости TP и степень готовности работы на данном этапе CG :

1)	$TP_1 = \frac{3,49 + 0,35}{106,28} \cdot 100 \% = 3,61 \%$	8)	$TP_8 = \frac{11,34}{106,28} \cdot 100 \% = 10,67 \%$
	$CG_1 = 3,61 \%$		$CG_8 = 51,79 + 10,67 = 62,46 \%$
2)	$TP_2 = \frac{9,02}{106,28} \cdot 100 \% = 8,49 \%$	9)	$TP_9 = \frac{3,49}{106,28} \cdot 100 \% = 3,28\%$
	$CG_2 = 3,61 + 8,49 = 12,10 \%$		$CG_9 = 62,46 + 3,28 = 65,74 \%$
3)	$TP_3 = \frac{8,14}{106,28} \cdot 100 \% = 7,66 \%$	10)	$TP_{10} = \frac{3,49}{106,28} \cdot 100 \% = 3,28 \%$
	$CG_3 = 12,10 + 7,66 = 19,76 \%$		$CG_{10} = 65,74 + 3,28 = 69,03\%$
4)	$TP_4 = \frac{2,04 + 0,61}{106,28} \cdot 100 \% = 2,49 \%$	11)	$TP_{11} = \frac{3,72 + 4,65}{106,28} \cdot 100 \% = 7,88 \%$
	$CG_4 = 19,76 + 2,49 = 22,25 \%$		$CG_{11} = 69,03 + 7,88 = 76,90 \%$
5)	$TP_5 = \frac{3,49 + 2,44}{106,28} \cdot 100 \% = 5,58 \%$	12)	$TP_{12} = \frac{9,02}{106,28} \cdot 100 \% = 8,49 \%$
	$CG_5 = 22,25 + 5,58 = 27,83 \%$		$CG_{12} = 76,90 + 8,49 = 85,39 \%$
6)	$TP_6 = \frac{3,93 + 13,09}{106,28} \cdot 100 \% = 16,01 \%$	13)	$TP_{13} = \frac{9,02}{106,28} \cdot 100 \% = 8,49 \%$
	$CG_6 = 27,83 + 16,01 = 43,85 \%$		$CG_{13} = 85,39 + 8,49 = 93,87 \%$

$$7) \quad TP_7 = \frac{9,54 + 8,44}{106,28} \cdot 100 \% = 7,94 \% \quad 14) \quad TP_{14} = \frac{2,44 + 4,07}{106,28} \cdot 100 \% = 6,13 \%$$

$$CG_7 = 43,85 + 7,94 = 51,79 \% \quad CG_{14} = 93,87 + 6,13 = 100 \%$$

В таблице 4.4 представлены результаты определения степени готовности проекта на данном этапе и удельный вес каждого этапа.

Таблица 4.4 – Нарастание технической готовности работы и удельный вес каждого этапа

№ работы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ТР, %	3,61	8,49	7,66	2,49	5,58	16,01	7,94	10,67	3,28	3,28	7,88	8,49	8,49	6,13
СГ, %	3,61	12,10	19,76	22,25	27,83	43,85	51,79	62,46	65,74	59,03	76,90	85,39	93,87	100

4.4 Расчет сметы затрат на выполнение проекта

4.4.1 Расчет затрат на материалы

При расчете материальных затрат учитываются затраты на приобретение всех материалов, которые необходимы для выполнения работы. Материальные затраты представили в таблице 4.5. Расчет материальных затрат произведен по формуле:

$$C_{mat} = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{рас\ i}, \quad (4.6)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования; $N_{рас\ i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования; C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных; k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы (принят равным 5%).

Таблица 4.5 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, З _м , руб.
Образец	г.	5	50	250
Абразивные шкурки	шт.	10	10	100

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, $З_m$, руб.
Паста ГОИ	г.	5	10	50
фильтровальная бумага	шт.	2	20	40
Царская водка	мл.	10	0,5	5
Ватные палочки	шт.	20	0,2	4
Спирт	мл.	100	0,12	12
Флеш-карта 16 GB	шт.	1	600	600
Бумага формата А4	экз.	1	300	300
Ручка шариковая	шт.	2	80	160
Итого				1521

Допустим, что ТЗР составляют 5 % от отпускной цены материалов, тогда расходы на материалы с учетом ТЗР равны $C_{\text{мат}} = 1521 \cdot 1,05 = 1597,05$ руб

4.4.2 Расчет заработной платы

Произведен расчет заработной платы работников, непосредственно занятых выполнением работы. Заработная плата руководителя, лаборанта, инженера рассчитывается по формуле:

$$C_{\text{зн}} = C_{\text{дн}} \cdot T_p \cdot k_{\text{пр}} \cdot k_{\text{д}} \cdot k_p, \quad (4.7)$$

где T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн., взятые из таблицы 4.2 с округлением до целого; $C_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб; $k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 1,1; $k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок, учитывающий дополнительную заработную плату (принят равным 1,188); k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Среднедневная заработная плата рассчитана по формуле:

$$C_{\text{дн}} = \frac{C_M}{M}, \quad (4.8)$$

где C_M – месячный должностной оклад работника, руб.; M – среднее количество рабочих дней в месяце ($M = 303/12 = 25,25$).

Ниже представлены расчеты заработной платы $C_{\text{зн}}$ и среднедневной заработной платы для каждого участника проекта в рублях:

$$C_{zn}(P) = \frac{33664}{25,25} \cdot 16 \cdot 1,1 \cdot 1,188 \cdot 1,3 = 36239,05$$

$$C_{zn}(И) = \frac{15470}{25,25} \cdot 79 \cdot 1,1 \cdot 1,188 \cdot 1,3 = 82225,87$$

Результаты расчетов занесены в таблицу 4.6

Таблица 4.6 - Затраты на заработную плату

Исполнитель	С _м , руб	С _{дн} , руб	Т _р , раб. дн.	k _{пр}	k _д	k _р	С _{зп} , руб.
Р	33 664	1342,09	16	1,1	1,188	1,3	36 239,05
И	15 470	616,75	79				82 225,87
Итого:							118464,92

4.4.3 Расчет затрат на социальный налог

Рассчитаны обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования, пенсионного фонда и медицинского страхования от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений за единый социальный налог определена по формуле:

$$C_{соц} = k_{внеб} \cdot \sum_{j=1}^j C_{знj}, \quad (4.9)$$

где $C_{знj}$ – заработная плата j -ого исполнителя, представленная в таблице 4.6, руб.; $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды, принят – 30 %;

и составляет:

$$C_{соц} = 0,3 \cdot 118464,92 = 33539,48 \text{руб.}$$

4.4.4 Расчет затрат на электроэнергию

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование,

составляют 30 % от полной заработной платы по проекту, т.е. Величина отчислений за единый социальный налог определена по формуле:

$$C_{\text{эл.об.}} = P_{\text{об}} \cdot t_{\text{об}} \cdot Ц_{\text{э}} \quad (4.10)$$

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

$Ц_{\text{э}}$ – тариф на 1 кВт·час;

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

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

Ниже представлены расчеты затрат на электроэнергию $C_{\text{эл.эн.}}$, потребляемую используемым оборудованием, в рублях (номер оборудования в соответствии с таблицей 4.7):

- 1) $C_{\text{эл.эн.1}} = 2 \cdot 0,02 \cdot 5,748 = 459,84$
- 2) $C_{\text{эл.эн.2}} = 2 \cdot 0,5 \cdot 5,748 = 258,66$
- 3) $C_{\text{эл.эн.3}} = 20 \cdot 0,8 \cdot 5,748 = 86,22$
- 4) $C_{\text{эл.эн.4}} = 16 \cdot 20 \cdot 5,748 = 862,20$
- 5) $C_{\text{эл.эн.5}} = 6 \cdot 0,1 \cdot 5,748 = 86,22$
- 6) $C_{\text{эл.эн.6}} = 8 \cdot 0,1 \cdot 5,748 = 862,20$
- 7) $C_{\text{эл.эн.7}} = 500 \cdot 0,3 \cdot 5,748 = 2,76$

Результаты расчета представлены в таблице 4.7

Таблица 4.7 – Затраты на электроэнергию технологическую

№	Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{\text{об}}$, час	Потребляемая мощность $P_{\text{об}}$, кВт	Затраты $C_{\text{эл.об.}}$, руб.
1	Микротвердомер	2	0,02	0,23
2	Прессовка Р20	2	0,5	5,75
3	Оборудование для полировки и шлифовки	20	0,8	91,97
4	Вакуумная печь	16	20	1839,36
5	Фотокамера для микроскопа	6	0,1	3,45
6	Металлографический микроскоп	8	0,1	4,60
7	Персональный компьютер	500	0,3	862,2
	Итого:			2807,55

4.4.5 Расчет амортизационных расходов

Амортизация основных фондов – сумма амортизационных отчислений на полное восстановление основных производственных фондов, вычисленная исходя из их балансовой стоимости и утвержденных норм амортизации. Корректно при расчете затрат учитывать в году приобретения и в последующие годы только ту часть затрат, которая происходит от старения основных фондов в каждом году.

В статье «Амортизационные отчисления» рассчитывается амортизация используемого оборудования за время выполнения проекта.

Используется формула

$$C_{AM} = \frac{H_A \cdot C_{OB} \cdot t_{pf} \cdot n}{F_D}, \quad (4.11)$$

где H_A – годовая норма амортизации единицы оборудования;

C_{OB} – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР. При невозможности получить соответствующие данные из бухгалтерии она может быть заменена действующей ценой, содержащейся в ценниках, прейскурантах и т.п.;

F_D – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования, берется из специальных справочников или фактического режима его использования в текущем календарном году. При этом второй вариант позволяет получить более объективную оценку C_{AM} .

t_{pf} – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, учитывается исполнителем проекта;

n – число задействованных однотипных единиц оборудования.

Ниже представлены расчеты амортизации использованного в проекте оборудования на время проекта в рублях (номер оборудования в соответствии с таблицей 4.8):

$$1) \quad C_{AM1} = \frac{0,1 \cdot 145000 \cdot 2 \cdot 1}{200} = 145 \quad 5) \quad C_{AM5} = \frac{23000 \cdot 6 \cdot 0,07}{1600} = 6,04$$

$$\begin{aligned}
2) \quad C_{AM2} &= \frac{20000 \cdot 0,05 \cdot 2 \cdot 1}{500} = 4 & 6) \quad C_{AM6} &= \frac{56000 \cdot 8 \cdot 0,07}{3000} = 10,45 \\
3) \quad C_{AM3} &= \frac{70000 \cdot 0,05 \cdot 20}{2500} = 28 & 7) \quad C_{AM7} &= \frac{73000 \cdot 500 \cdot 0,33}{500} = 4818 \\
4) \quad C_{AM4} &= \frac{80000 \cdot 16 \cdot 0,07}{2000} = 44,8
\end{aligned}$$

Таблица 4.8 – Расчет амортизации оборудования на время проекта

№	Наименование оборудования	Ц _{об} , тыс. руб.	Н _А	t _{об} , час	F _д , час	C _{ам} , руб.
1	Микротвердомер	145000	0,1	2	200	145
2	Прессовка Р20	20000	0,05	2	500	4
3	Оборудование для полировки и шлифовки	70000	0,05	20	2500	28
4	Вакуумная печь	80000	0,07	16	2000	44,8
5	Фотокамера для микроскопа	23000	0,07	6	1600	6,04
6	Металлографический микроскоп	56000	0,07	8	3000	10,45
7	Персональный компьютер	73000	0,33	500	2500	4818
Итого:						5056,29

4.4.6 Расчет прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов, т.е.

$$C_{\text{проч.}} = (C_{\text{мат}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{соц}} + C_{\text{эл.об.}} + C_{\text{ам}}) \cdot 0,1 \quad (4.12)$$

Для нашего примера это

$$C_{\text{проч.}} = (1597,05 + 118464,92 + 33539,48 + 2807,55 + 5056,29) \cdot 0,1 = 16146,53 \text{ руб.}$$

4.4.7 Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта.

Таблица 4.9 - Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{мат}}$	1597,05
Основная заработная плата	$C_{\text{зп}}$	118464,92
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{соц}}$	33539,48
Расходы на электроэнергию	$C_{\text{эл.}}$	2807,55
Амортизационные отчисления	$C_{\text{ам}}$	5056,29
Прочие расходы	$C_{\text{проч}}$	16146,53
Итого:		177611,82

Таким образом, по результатам приведенных выше данных, общие затраты на выполнение проекта составили 177611,82 рублей.

4.5 Оценка экономической эффективности проекта

Ожидаемая экономическая эффективность проекта связана с долговечностью материала и всего производственного оборудования. Например, материал используется в каркасе смарт-модуля смартфона, а срок его службы составляет 5-10 лет.

В последние годы, когда потребители стали более требовательны к мобильным телефонам, все больше и больше смартфонов имеют более одной или даже трех фронтальных камер. Очень важен структурный дизайн и выбор материала рамки переднего объектива модуля смартфона. При ежедневном использовании факторами, которые повреждают металлический каркас модуля объектива, являются в основном износ и коррозия. При выборе изготовления металлических каркасных конструкций следует учитывать материалы из нержавеющей стали с низкой плотностью, коррозионной стойкостью и

износостойкостью. Эффект повреждения в основном отражается в деформации металлического каркаса и повреждении компонентов световой трубки объектива, которые влияют на восприятие потребителем.

Материал для металлического каркаса модуля передней линзы мобильного телефона поставляется немецким производителем металлического порошкового материала BASF. В процессе от порошкового сырья до конечной части в порошковом сырье смешивают различные порошковые связующие, которые являются предпочтительными по однородности порошка и формообразующим свойствам, и сравнивают свойства конечной формованной детали путем сравнения различных адгезивов. Влияние определяет коэффициент распределения, который наиболее подходит для металлического каркаса модуля передней линзы смартфона.

4.5.1 Определение срока окупаемости инвестиций (PP – payback period)

Данный показатель определяет продолжительность того периода, через который инвестиции будут возвращены полученной благодаря им прибылью. Использование показателя предполагает установление для него приемлемого значения как меры эффективности инвестиций. Используется формула

$$PP = n_{цj} + \frac{\Delta PP_{чj}}{PP_{чj+1}}, \quad (4.13)$$

где $n_{цj}$ – целое число лет, при котором накопленная сумма прибыли наиболее близка к величине инвестиций I_0 , но не превосходит ее;

$\Delta PP_{чj}$ – непокрытая часть инвестиций по истечении $n_{цj}$ лет реализации проекта;

$PP_{чj+1}$ – прибыль за период, следующий за $n_{цj}$ -м.

Пример подобного расчета приведен в таблице 4.10.

Потому что период реализации проекта больше одного года и величины $ПР_{чj}$ существенно различаются по годам реализационного периода, то необходимо учесть изменение ценности денег во времени.

Поэтому в этом случае при расчете по формулам вместо величин $\Delta ПР_{чj}$ и $ПР_{чj+1}$ следует использовать их дисконтированные аналоги, получаемые путем деления $\Delta ПР_{чj}$ и $ПР_{чj+1}$ на $(1 + i)^j$, где i – ставка дисконтирования (целевой уровень годовой доходности инвестируемых средств).

В таблице 4.11 показано, как определяется значение $РР$ для тех же исходных данных, что и в таблице 4.10, но с учетом убывания реальной стоимости результатов в будущие периоды (годы) относительно периода инвестирования – чем дальше в будущее, тем она меньше на единицу номинального эффекта, принято, что $i = 0,1$.

Таблица 4.10 – Накопленные денежные поступления по проекту

Год	Инвестиции	Прибыль	Накопленный денежный поток
0	-15	-15	-15
1		-12,1	-12,1
2		-8,9	-8,9
3		-5,1	-5,1
4		-1,5	-1,5
5		2	2
6		4,9	4,9
7		7,5	7,5

Здесь 4-й год эксплуатационного периода дает минимум непокрытого остатка (1,5) инвестированной суммы 15 млн. руб., следовательно, $n_{цj}=4$. Тогда

$$\frac{\Delta ПР_{чj}}{ПР_{чj+1}} = 1,5/2 = 0,75; \text{ следовательно, } РР = n_{цj} + \frac{\Delta ПР_{чj}}{ПР_{чj+1}} = 3 + \frac{1,5}{2} = 4,75 \text{ лет.}$$

Чтобы отражает масштаб проекта и соответственно объем полученного результата. Поэтому наряду с $РР$ целесообразно рассчитать величину накопленного чистого эффекта по формуле

$$NPV = \sum_{j=1}^n ПР_{чj} - I_0 \quad (4.14)$$

где **n** – продолжительность в годах периода оценки эффекта, например, жизненного цикла проекта или прогнозируемого периода.

Таблица 4.11 – Расчет дисконтированного срока окупаемости

Год	Инвестиции	Номинальная прибыль	Коэффициент дисконтирования $1/(1+0,1)^j$	Дисконтированная прибыль	Накопленный денежный поток
0	-15	0	1	0	-15
1		2,9	0,9091	2,6364	-12,3636
2		3,2	0,8264	2,6445	-9,7191
3		3,8	0,7513	2,8549	-6,8642
4		3,6	0,683	2,4588	-4,4054
5		3,5	0,6209	2,1732	-2,2322
6		2,9	0,5645	1,6369	-0,5953
7		2,6	0,5131	1,3342	0,7388

Следовательно, $NPV = \sum_{j=1}^n \text{ПР}_{чj} - I_0 = (0 + 2,6364 + 2,6445 + 2,8549 + 2,4588 + 2,1732 + 1,6369 + 1,3342) - 15 = 0,7388$.

Вывод: Таким образом, в соответствии с двумя показателями экономической эффективности, рассчитанными выше, срок окупаемости инвестиций $PP=4,75$ лет, а величина накопленного чистого эффекта составляет 0,7388 млн. руб. поэтому экономические выгоды от проекта не могут быть получены за короткий период времени. Требуется много времени, чтобы инвестировать и исследовать детали, которые могут сэкономить затраты и увеличить прибыль, такие как экономия ресурсов, управление качеством, экономия времени производства и бизнес-процессов.

Список публикаций студента

1. Дай Шуай. Влияние давления прессования на структуру и свойства спеченных изделий из порошковой смеси системы Fe-Cr / Дай Шуай, Чжан Кань ; науч. рук. Е. А. Даренская // Современные технологии и материалы новых поколений : сборник трудов Международной конференции с элементами научной школы для молодежи, г. Томск, 9-13 октября 2017 г. — Томск : Изд-во ТПУ, 2017. — [С. 160-161].
2. Дай Шуай. Исследование структуры и свойств ферритной стали 04X14N, полученной методом порошковой металлургии / Дай Шуай, Чжан Кань ; науч. рук. Е. А. Даренская // Перспективные материалы конструкционного и медицинского назначения : сборник трудов Международной научно-технической молодежной конференции, г. Томск, 26–30 ноября 2018 г. — Томск: Изд-во ТПУ, 2018. — [С. 260-261].