

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 структуры и свойств изделий, полученных методом инъекционного формования из фидстока Catamold 420W

УДК 621.762:620.22-419.8:621.777

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б30	Чэнь Цзяцзюнь		

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
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	Чэнь Цзяцзюнь

Тема работы:

Исследование структуры и свойств изделий, полученных методом инъекционного формования из фидстока Catamold 420W
--

Утверждена приказом директора ИФВТ	№ 2048/с от 23.03.2017
------------------------------------	------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	09.06.2017
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>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></p>	<p>Фидстоки Catamold 420W и спеченное изделие из этого фидстока.</p>
<p>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></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Аналитический обзор литературы о технологии инъекционного формования металлических порошков с целью выяснения достижений мировой науки техники в данной области. 2. Освоение методик пробоподготовки и исследований: металлографический анализ, рентгеноструктурный анализ, оценка пористости, 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.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Презентация ВКР в Power Point
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
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:	
Реферат	

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
154Б30	Чэнь Цзяцзюнь		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 89 с., 23 рис., 27 табл., 17 источников литературы.

Ключевые слова: инжекционное формование, порошковая металлургия, фидсток, рентгеновский анализ, металлографический анализ.

Объектами исследования являются фидстоки Catamold 420W и спеченное изделие из этого фидстока.

Цель работы – Исследование фазового состава и механических свойств изделий, полученных методом инжекционного формования из фидстока Catamold 420W .

В процессе исследования проведены: оценка пористости, металлографический анализ, рентгеноструктурный анализ, измерение микротвёрдости.

В результате исследований определена пористость, структура и микротвердость спеченного изделия.

Степень внедрения: Результаты работы представлены в виде тезисов доклада на Международную конференцию с элементами научной школы для молодежи «Современные технологии и материалы новых поколений» (9-13 октября 2017 г, г. Томск, Россия).

Область применения: для изготовления деталей сложной формы в машиностроительной промышленности.

Экономическая значимость работы заключается в возможности использования результатов при разработке новых составов фидстоков для получения стальных изделий методами инжекционного формования.

Abstract

Graduation work contains 89 pages, 23 figures, 27 tables, 17 sources of reference.

Key words: injection molding, powder metallurgy, feedstock, X-ray analysis, metallographic analysis.

Objects of the research are feedstocks Catamold 420W and a sintered product from this feedstock.

The purpose of this research is to study the phase composition and mechanical properties of products obtained by injection molding from the Catamold 420W feedstock.

In the course of research, the followings were carried out: evaluation of porosity, metallographic analysis, X-ray diffraction analysis, measurement of microhardness.

As a result, the porosity, structure and microhardness of the sintered product are determined.

Degree of implementation: The result of the work was reported and discussed at the International Conference with Elements of the Scientific School for young people "Modern Technologies and Materials of New Generations" (October 9-13, 2017, Tomsk, Russia).

Field of application: for the manufacture of complex parts in engineering industry.

The economic significance of the research lies in the possibility of using the results in the development of new feedstock compositions for the production of steel products by injection molding methods.

Оглавление

Введение.....	9
1 Технология инжекционного формования.....	10
1.1 Описание технологии инжекционного формования.....	10
1.1.1 Общие понятия инжекционного формования.....	10
1.1.2 Связующее для инжекционного формования.....	12
1.1.3 Процесс формования.....	14
1.1.4 Удаление связующего.....	15
1.1.5 Спекание.....	16
1.2 Оборудование и сырье для инжекционного формования.....	17
1.2.1 Оборудование для инжекционного формования.....	17
1.2.2 Порошки для МІМ-технологии.....	18
1.2.3 Фидсток.....	18
2 Материалы и методы исследования.....	20
2.1 Материалы исследования.....	20
2.1.2 Фидсток Catamold 420W.....	20
2.1.3 Спеченное изделие из фидстока Catamold 420W.....	22
2.2 Методы исследования.....	23
2.2.1 Металлографический анализ.....	23
2.2.2 Измерение микротвёрдости.....	26
2.2.3 Рентгеновский анализ.....	28
3 Исследование фидстока Catamold 420W и спеченных изделий.....	32
3.2 Исследование фидстока Catamold 420W.....	32
3.1.1 Металлографические исследования фидстока.....	32
3.1.2 Рентгеноструктурный анализ фидстока 420W.....	34
3.2 Спеченное изделие из фидстока 420W.....	39
3.2.1 Металлографический анализ.....	39
3.2.2 Оценка пористости.....	42
3.2.3 Рентгеноструктурный анализ спеченного изделия.....	43
3.2.4 Определение микротвердости спеченного изделия.....	50

3.3 Результаты исследований.....	51
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсобережение	54
5 Социальная ответственность	68
Заключение	86
Список литературы	87

Введение

За последние годы, развитие порошковой металлургии было в центре внимания в связи с активным развитием технологии изготовления деталей литьем порошковых смесей под давлением (Metal Injection Molding, или МІМ). Инжекционное формование применяется для керамики и пластмасс уже много лет, но только в последнее время технологии инъекционного формования применяется для металлических порошков. Большие успехи в развитии МІМ-технологий имеют страны Европы (Германия, Великобритания) и США, разработано оборудование и сырье (фидстоки). В настоящее время в России нет собственного производства фидстоков. Для разработки новых составов фидстоков необходимо исследовать существующие успешные примеры, например фирмы BASF (Германия), которая производит фидстоки в широком ассортименте.

В связи с этим целью настоящей работы является исследование структуры и свойств изделий, полученных методом инъекционного формования из фидстока Catamold 420 W.

Объект исследования – фидсток Catamold 420 W; изделие, полученное методом инъекционного формования из фидстока Catamold 420 W.

Предмет исследования – пористость, структура, фазовый состав микротвердость изделия, полученного методом инъекционного формования из фидстока Catamold 420 W.

Результаты работы будут полезны при разработке технологии инъекционного формования.

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.

1 Технология инжекционного формования

1.1 Описание технологии инжекционного формования

1.1.1 Общие понятия инжекционного формования

Основные этапы технологии состоят из получения металлического порошка, получения фидстока, формирования под давлением, удаления связующего и спекания. Сырье для изготовления деталей методом МПМ – мелкодисперсные металлические порошки железа и легирующих элементов от 1 до 20 мкм, смешанные с термопластичным связующим (пластификатором) и специальными смазками [1]. Такая композиция называется гранулят или фидсток. Гранулят засыпают бункер литейной машины, нагревают до определенной температуры. Отливают деталь при высоком давлении порядка 800-1000 Бар, затем полученную «зеленую» деталь помещают в печь для удаления связующего. Этот процесс называется «дебиндингом». Заключительным процессом является спекание. Инжекционное формование металлических порошков является одним из методов получения заготовки (формовки) порошковой металлургии. По сравнению с другими способами формования порошковой металлургии, технология МПМ имеет следующие достоинства [1]:

- В технологии МПМ используются порошки размером меньше 10 мкм; круг сырья более широкий, включает Fe, Ni, Co, W, WC, Ti и др.
- После спекания деталь имеет линейный коэффициент усадки больше 15 %, теоретически плотность может достигать больше 95 %, поэтому изделие достаточно прочное.
- Точность размеров детали может достигать $\pm 0,3$ %; высокое качество поверхности; шероховатость поверхности 1-5 мкм.
- Возможность дополнительной обработки, включая цементацию, осаждения и др.
- Экономия сырья.

Развитие МІМ технологий началось в 1979 году (Parmatech Corp.), когда были получены первые примеры успешного применения при изготовлении крепежа, имеющего сложную геометрию, для самолетов Боинг 707/727 и др., а чуть позднее распорной системы ракетного двигателя Rocketdyne [2]. В 1988 году компанией Remington Arms были получены для винтовки Remington model 700 BDL прицельные планки, а в 2000 году – детали для механизма затвора. В настоящее время изготавливаемые по МІМ технологии детали нашли применение в различных областях, список которых ограничен лишь отсутствием технологий и внедрения [2]:

- 1) автомобилестроение;
- 2) точное машиностроение, приборостроение, авиаракетостроение;
- 3) электроинструмент, электроника;
- 4) медицина;
- 5) бытовая техника, потребительские товары, спортивный инвентарь, музыкальный инструмент, ювелирная и часовая промышленность.

С помощью МІМ-технологии из порошков можно изготавливать детали почти любых металлов и сплавов: сталей, никелевых и кобальтовых сплавов, жаропрочных материалов, сплавов на основе титана, меди. Однако сплавы, имеющие низкую температуру плавления (бронза, олово, алюминий, цинк), для МІМ экономически маловыгодны [2]. Вместе с тем, рынок вариантов порошковых композиций, предлагаемых для МІМ технологий разными компаниями, широк. Насчитывается более 200 основных серийно выпускаемых по всему миру фидстоков и более 1000 протестированных. Можно выделить основные группы материалов, идущих на изготовление изделий с помощью МІМ технологии [2]:

- нержавеющие стали (аустенитные, мартенситные, ферритные, дуплексные, дисперсно-упрочненные) с пределом прочности 0,4-2,0 ГПа и прочностью на сдвиг 0,2-1,9 ГПа;

- магнитомягкие сплавы и материалы с контролируемым коэффициентом теплового расширения (сплавы железа с никелем, кобальтом) с пределом прочности 0,4-1,3 Мпа и сдвиговой прочностью 0,1-1,3 ГПа;
- низколегированные (никель, кобальт) сплавы и углеродистые стали с пределом прочности 0,3-0,6 Гпа и прочностью на сдвиг 0,1-0,4 ГПа;
- имплантируемые материалы (кобальт-хром) с пределом прочности на уровне 650 МПа и прочностью на сдвиг 450 МПа;
- сплавы цветных металлов (медь, бронза).

Процесс МІМ-технологии представляет собой следующую технологическую цепочку, показанную на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 – Технологическая цепочка МІМ-технологии

1.1.2 Связующее для инжекционного формования

Подбор связующего для изготовления фидстока, которое бы обеспечивало требуемые характеристики течения композиции «металлический порошок-связующее» сравнивают с искусством [2]. Первое поколение связующих являлось двухкомпонентным: воск, теряющий при низких

температурах устойчивость и обеспечивающий при формовании течение композиции, и термопластичных полимеров, утрачивающих устойчивость при более высоких температурах и обеспечивающих прочность заготовки. При этом процесс термообработки композиций с таким связующим, состоящим из двух компонентов, был также двухстадийным [2].

Для сглаживания тепловых режимов и уменьшения времени дебиндинга создали второе поколение связующих, представляющих собой многокомпонентные составы [3]. Одно из широко известных связующих второго поколения разработали в компании BASF (Германия) в 1992 году. Оно состояло из основного компонента – полиацетата или полиметилэтилена – и небольших добавок полиолефинов. Фидсток BASF состоял из 40-70 % (по объему) металлического порошка и 30-60 % связующего, в состав которого входило 80-98 % мас. полиметилэтилена и 2-20 % мас. нерастворимого полимера (полиэтилен, полипропилен, полистирол). Это связующее быстро и легко полностью удаляется кислотой, что обеспечило сокращение в 10 раз времени процесса дебиндинга (удаления связующего) [2].

В литературе [2] известны связующие на водной основе, используемые для коррозионностойких материалов. Такой вид связующих удаляется в процессе вымывания. Первыми такое связующее предложила компания PPT (Planet Polymer Technologies) в 1998 г., права на которое позднее приобрела и довела до рынка другая компания Ryer Enterprises LLC. Технология, использующая связующее на водной основе получила название AquaMIM.

Благодаря проводимыми различными компаниями исследованиям в данной области предложены гибридные и альтернативные технологии производства связующих и фидстоков. Так компания ААТ (Apex Advanced Technologies) в 2002 году запатентовала гибридную технологию получения связующего, в состав которого входили поликарбонат, этилендиаминовый воск, увлажняющий агент и гуанидин [2]. Двухкомпонентная система, состоящая из водорастворимого компонента и удаляемого при высокой температуре компонента разработана компанией ТРТ (Thermal Precision Technologies) [2].

Компания Honeywell разработала связующее на основе агара (Powderflo), которое обеспечило течение гелеобразной массы, а также достаточную прочность для формирования «зеленой» детали [2]. Все эти технологии стремятся приблизить зависимость массы связующего от температуры, являющейся основной характеристикой связующего, к так называемой «идеальной» TGA (Thermogravimetric analysis) кривой [2], рисунок 1.2. Эта кривая показывает, как должно протекать полное монотонное разложение связующего в интервале температур от 220°C (100 % масс) до 480°C (0 % масс). Для MIM-технологов показанная кривая является опорной характеристикой.

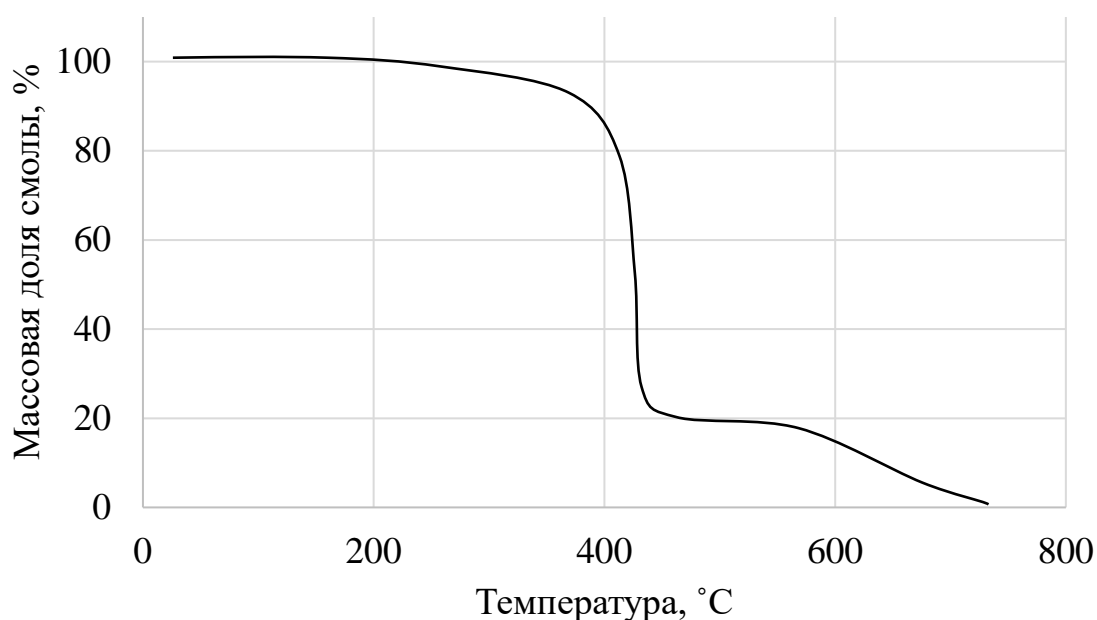


Рисунок 1.2 – TGA кривая разложения смолы в атмосфере азота

1.1.3 Процесс формования

В отличие от других способов формования порошковой металлургии, MIM-технология дает возможность получать детали сложной формы с высокой плотностью и прочностью (другие методы формования обеспечивают лишь 80-90 % от теоретической плотности, что существенно снижает свойства сплава). Качество MIM-деталей определяется качеством исходного сырья (фидстоков), его компонентов (порошки, связующие) и основными технологическими параметрами процесса – давлением и температурой [2]. Для каждого

конкретного изделия разрабатывается уникальный набор параметров Р-Т, обеспечивающий изготовление качественных изделий.

1.1.4 Удаление связующего

Нашедшие сегодня применение связующие разделяют на 3 типа [2]:

- а) для изделий из сплавов на основе железа;
- б) для изделий из сплавов на основе титана;
- в) для изделий из керамики.

Удаление связующего из изделия осуществляют следующими способами: осаждение или испарение растворителем в каталитической среде углерода, дихлорида, этилена гептана и др. (для связующих из воска и полиацеталей); вымывание с последующей дистилляцией при повышенной температуре (для водорастворимых связующих); капиллярное термическое разложение или экстракция в контролируемой газовой среде, вакуумная возгонка, сушка и отжиг (агар) [2]. Длительность удаления связки зависит от его состава и применяемого метода и может длиться от 4 (в случае удаления воск-полиэтилена капиллярным методом в водородной среде) до 60 часов (в случае удаления воск-полипропилена оксидированием в среде воздуха). Водно-гелевые связующие удаляют вакуумной сублимацией при низких температурах в течение 8 часов, последующей сушкой на воздухе в течение 10 часов. Связующее «полиацеталь-полиэтилен» удаляют с помощью паров щавелевой или азотной кислот при температуре 150°C в течение 6 часов. Способы удаления связующих с высокой скоростью процесса обычно неэкологичны, к тому же могут способствовать появлению внутренних напряжений, растрескивания, требуют соблюдения температурных режимов и давления. Относительно низкой стоимостью процесса удаления связующего с эффективным временем процесса от 6 до 24 часов характеризуются водорастворимые связующие [2]. Они обеспечивают высокую текучесть при литье и хорошую прочность «зеленой» детали. Связующие на основе воска

имеют низкую себестоимость, но невысокую прочность «зеленой» детали и очень длительное время процесса от 24 до 48 ч.

1.1.5 Спекание

Чтобы улучшить прочность и плотность зеленых изделий требуется операции спекания. Спекание порошков металлов – это тепловая обработка формовок при температуре, равной 0,7-0,9 абсолютной температуры плавления металла, либо, в случае многокомпонентных порошков, ниже температуры плавления основного металла [2].

При спекании формовок из металлических порошков удаляются газы и адсорбированные на поверхности частицы, возгоняются примеси, снимаются остаточные напряжения на контактных участках между частицами и в самих частицах, восстанавливаются и растворяются окислы, в результате диффузии и переноса металла с одних мест в другие в виде пара изменяется поверхностный слой, происходит изменение контактов между частицами, изменение формы пор и их «залечивание» [4].

Термин «спекание» можно определить с позиции практического металловедения как операцию, при которой в результате термической обработки из свободно насыпанного или уплотненного порошка создается единое тело, обладающее определенной структурой, механическими и физико-химическими свойствами [2].

С позиции физикохимии твердого тела спекание – это сложный многоступенчатый самопроизвольный кинетический процесс приближения конгломерата частиц порошка к термодинамическому равновесному состоянию [2].

Термодинамическая неустойчивость металлических порошков обуславливается большой развитостью свободной поверхности частиц порошка, наличием микроискажений кристаллической структуры металла частиц (микропоры, дислокации, избыточные вакансии, атомы в междуузлии, дефекты

упаковки) и несовершенством контакта между ними, а в случае смесей из порошков дополнительно различием компонентов и химической неоднородностью системы из-за неравномерного 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 – это процесс восстановления атомно-кристаллического строения металла порошка и процесс передвижения атомов из энергетически «невыгодных» мест туда, где минимальна свободная энергия системы. Следовательно, процесс спекания может быть определен как кинетический процесс освобождения порошковой системы от неравновесных дефектов [2].

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 Френкелю [2].

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 поверхности и границе раздела, поверхностная и объемная диффузия, термически активируемые дислокационные процессы [2].

1.2 Оборудование и сырье для инъекционного формования

1.2.1 Оборудование для инъекционного формования

Фидстоки получают на стандартном смесительном оборудовании различного типа: двухкамерных смесителях, плунжерных и винтовых

экструдерах, планетарного типа миксерах, барабанных, роликовых, лопастных смесителях.

Проектирование МІМ-форм осуществляют с помощью специализированного программного обеспечения (Moldex3D, Ansys, Moldflow, ProCAST, PIMSolver, Sigmasoft). В качестве входных параметров используют реологические свойства фидстоков, отличающиеся для разных материалов.

1.2.2 Порошки для МІМ-технологии

Требования, предъявляемые к порошкам для МІМ-технологии, зависят от области применения. Так для применения в автомобильной промышленности и другим потребительским товарам средний размер порошков должен быть 12-13 мкм; для электроники – 11,3-22 мкм, для медицины – 5-10 мкм, для микро МІМ и точной механики – 2,8-5 мкм [2].

Основными требованиями, предъявляемыми к порошкам являются: требуемое распределение по размерам частиц порошка, низкая стоимость при высокой насыпной плотности, отсутствие агломератов частиц, равноосная или сферическая форма частиц, достаточное трение между частиц, для предотвращения искажения детали после удаления связующего, средний размер частиц не более 20 мкм (для быстрого синтеза), отсутствие в частицах пор, минимальный риск взрыва и токсичных загрязнений, чистая поверхность частиц для предсказуемого контакта со связующим.

1.2.3 Фидсток

Стоимость основных фидстоков (сталь и т.д.) находится в интервале от 15 до 50 \$/кг. При этом фидстоки из дорогостоящих порошков компании изготавливают только для нужд собственного производства и, как правило, эти фидстоки не входят в линейку продаваемой продукции и не поставляются другим организациям. Всего лишь несколько крупных компаний производят и поставляют основные фидстоки [2]:

- BASF – связующие на полимерной основе, каталитически удаляемые, железо и сталь (торговая марка Catamold): 4600 (4650), 4100 (4140), Fe-Ni, Fe-Si, 17-4 PH, 316L, 420, 440C.
- Advanced Metalworking Practices – железо, сталь, нержавеющие стали, неферромагнитные металлы и сплавы, инструментальные стали: 4600(4650), 4100 (4140), Fe-Ni, Fe-Si, 17-4 PH, 316L, 420, 440C F-75, Mo-Cu, W-based, Ni, F-15.
- Ryer, Inc – крупный поставщик фидстоков (производимых по технологии AquaMIM) типа 316L, 17-4PH, 420, 440C и др.
- F-75, Mo-Cu, W-based, Ni, F-15.
- Inmatest – керамические фидстоки на основе порошков оксида алюминия (Al₂O₃) Inmafeed K1008, K1010, K1013 и иттрий-стабилизированных циркониевых порошков (ZrO₂) Inmafeed K1009 и K1012. стали, Ti и Ti сплавы, медь и медные сплавы, сплавы тяжелых металлов и карбид вольфрама, кобальт.
- ТСК (Доминиканская республика) - МIM фидстоки со связующими на восковой основе.
- Zschimmer & Schwarz Inc – фидстоки основных и тяжелых металлов. Керамические порошки (торговая марка Elutec).

2 Материалы и методы исследования

2.1 Материалы исследования

В качестве материала исследования выбран фидсток Catamold 420W и стальной образец, полученный методом инъекционного формования из фидстока 420W.

2.1.2 Фидсток Catamold 420W

Catamold 420W – готовые к формованию гранулы для производства спеченных компонентов из закаляемой мартенситной нержавеющей стали типа 40X13. Гарантируемый состав после спекания показан на таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Состав стали после спекания [5]

C (%)	Cr (%)	Mo (%)	Nb (%)	Ni (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Fe
0,35-0,50	12-14	≤0,65	1,0-2,0	≤0,60	≤1,0	≤1,0	≤0,040	≤0,030	Осн.

Фидсток Catamold 420W предназначен для формования на стандартных машинах для литья под давлением, используемых для термопластичных полимеров. Каталитический дебиндинг в соответствии с системой BASF. Спекание в атмосфере азота.

На таблице 2.2 показаны свойства детали после спекания и термообработки, заявляемые производителем [5].

Таблица 2.2 – Свойства детали после спекания и термообработки

Свойства	После спекания	После термообработки
Плотность	≥ 7,6 г/см ³	≥ 7,6 г/см ³
Предел текучести $\sigma_{0,2}$	≥ 650 МПа	–
Предел прочности σ_b	≥ 800 МПа	≥1560 МПа
Удлинение	≥ 0,97 %	≥ 0,85 %
Твердость	≥ 600 HV	≥ 730 HV

Изделие из фидстока 420W применяются как компоненты с высокой твердостью и износостойкостью в сочетании с хорошей коррозионной стойкостью к воде и пару; например, инструменты, режущие лезвия, хирургические инструменты, насадки и подшипники.

Типичная микроструктура после спекания показана на рисунке 2.1.

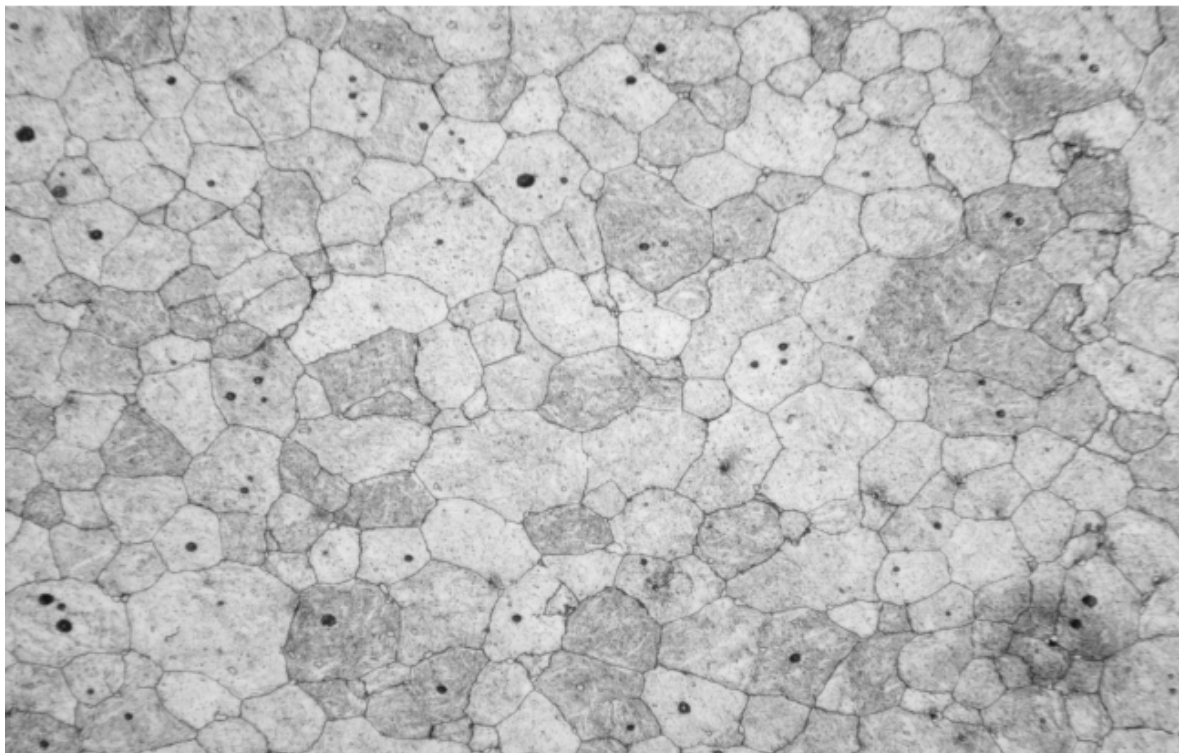


Рисунок 2.1 – Типичная микроструктура спекенного изделия из 420W

Литье данного фидстока осуществляют под давлением на стандартных машинах для термопластичных полимеров. Оптимальные параметры МИМ-процесса представлены в таблице 2.3.

При температуре выше 200°C , скорость вращения шнеков не должна выше 50 мин^{-1} и температура пресс-формы не должна выше 140°C .

В соответствии с технологией BASF, удаление связующего проводят при 110°C с использованием HNO_3 концентрацией более 98 %.

Спекание выполняется в потоке азота. Используемый азот должен быть чистым и сухим (точка росы менее или равно 40°C) на 99,998 %. Рекомендуется использовать подложку для спекания Al_2O_3 с чистотой 99,6%.

Таблица 2.3 – Оптимальные параметры МІМ-процесса

Параметры	Значения
Температура пресс-формы	123 °С
Скорость вращения шнека	30 мин ⁻¹
Скорость инъекции	10 см ³ /с
Амортизатор	5 мм
Давление формования	900 Бар
Давление выдержки	900 Бар
Время выдержки	3 с
Обратное давление	0 Бар

Типичный цикл спекания, таблица 2.4 [6]:

Таблица 2.4 – Оптимальные параметры спекания

Начальная температура	Скорость нагрева – конечная температура	Время выдержки, ч
Комнатная	5 К/мин - 600°С	1
600°С	5 К/мин - 1340°С	3

На ранней стадии процесса спекания сжигают оставшиеся компоненты связующего и продукты пиролиза удаляют с помощью вытяжного вентилятора. Охлаждение в печи.

2.1.3 Спеченное изделие из фидстока Catamold 420W

Спечённое изделие из фидстока Catamold 420W, полученное методом инъекционного формирования, показано на рисунке 2.2.

Исходя из химического состава, можно обозначить марку материала образца как 40X13, который относится к коррозионностойким жаропрочным сталям. Коррозионная стойкость нержавеющей стали находится в прямой зависимости от содержания хрома: 13 и более процентов хрома делают нержавеющей сплавы в обычных условиях и в слабоагрессивных средах.

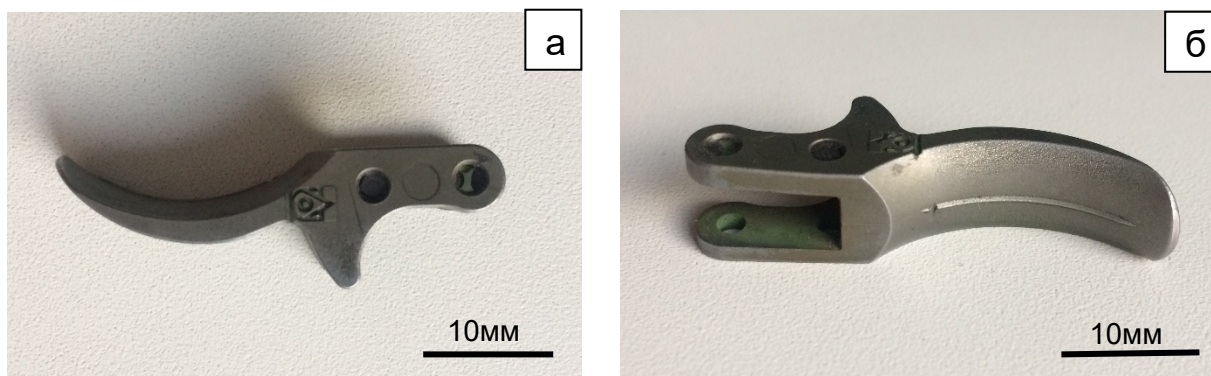


Рисунок 2.2 – Спеченное изделие из фидстока Catamold 420W

Причина стойкости к коррозии нержавеющей стали кроется, главным образом, в том, что на поверхности хромсодержащей стали при контакте с агрессивной средой формируется тонкая плёнка нерастворимых оксидов. Большое значение при этом имеет состояние поверхности стали: отсутствие кристаллических дефектов и внутренних напряжений.

2.2 Методы исследования

2.2.1 Металлографический анализ

Первым этапом исследований является подготовка образцов. Подготовка микрошлифа состоит обычно из следующих основных операций [7]:

1. Вырезка образцов и грубая подготовка поверхности.
2. Шлифовка поверхности.
3. Полировка поверхности.
4. Травление поверхности.

Для приготовления микрошлифов более удобны образцы простых форм: цилиндрической или в форме параллелепипеда с высотой 10–15 мм и диаметром или стороной основания 10–20 мм. Для изготовления шлифов мелких образцов (лента, проволока) или образцов сложной формы после вырезки их помещают в пластические массы или легкоплавкие сплавы с помощью заливки или запрессовки в оправки. Часто используют эпоксидные смолы для холодной заделки шлифов. Эпоксидные смолы имеют достаточную твердость, малую

объемную усадку при отверждении и хорошо смачивают большинство металлических образцов.

Процесс шлифования проводили на шлифовальном станке серии НЕРИС. Для этого использовали наждачную бумагу разной зернистости от крупной до мелкой. Шлифование на одном номере бумаги вели до исчезновения рисок от предыдущей шлифовальной бумаги, при смене зернистости бумаги меняли направление движения образца на 90° и удаляли оставшиеся частички абразива со шлифа. После окончания шлифования тщательно промывали шлиф в воде для предотвращения попадания частичек абразива на полировальный круг.

Далее проводили процесс полирования, которое направлено на удаление оставшихся после шлифования мелких царапин и получение гладкой зеркальной поверхности шлифа. Полирование проводили фильтровальной бумаге с алмазной пастой, основные характеристики которых приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Основные характеристики алмазных паст для полирования [8]

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

Образцы подвергали полированию до получения зеркальной поверхности, т.е. до исчезновения на поверхности шлифа рисок и царапин, видимых под микроскопом. После полирования поверхность шлифа промывали спиртом, а затем сушили фильтровальной бумагой.

Структуру материала исследуемого образца выявляли с помощью травления реактивом – 5-ти процентным раствором «царской водки» в спирте. «Царская водка» – это смесь кислот: 3 части HCl и 1 часть HNO₃ [7]. Реактив действует на разные фазы по-разному: одни фазы растворяет, другие – окисляет и окрашивает. В результате под микроскопом можно увидеть границы зерен и

различные фазы, оценить их взаимное расположение; определить фазы сплава по их цвету, форме и размерам, т. е. выявить микроструктуру сплава.

«Металлографический анализ – это анализ структурообразования металлов и сплавов, то же, что и металлографическое исследование» [9]. Под понятием «металлографический анализ» понимают метод визуального наблюдения при различном увеличении для изучения макро- и микроструктуры металлов и сплавов. Другими словами, металлографический анализ – это комплекс оптических исследований металлов и сплавов.

Металлографический микроскоп – основной инструмент металлографического анализа. В представленной работе использовали металлографический инвертированный микроскоп ЛабоМет-И вариант 1 с системой визуализации и программным обеспечением SIAMS.

На рисунке 2.3 показаны схематично два принципа освещения объекта, используемые в металлографических микроскопах [8]. От источника света 1 лучи попадают на призму полного внутреннего отражения 2, рисунок 2.3, а, или полупрозрачную плоскопараллельную пластинку 2, рисунок 2.3, б. Затем поток света направляется через объектив 3 на шлиф 4. Отраженные от шлифа лучи снова попадают в объектив 3, далее в окуляр 5 и от него в глаз человека.

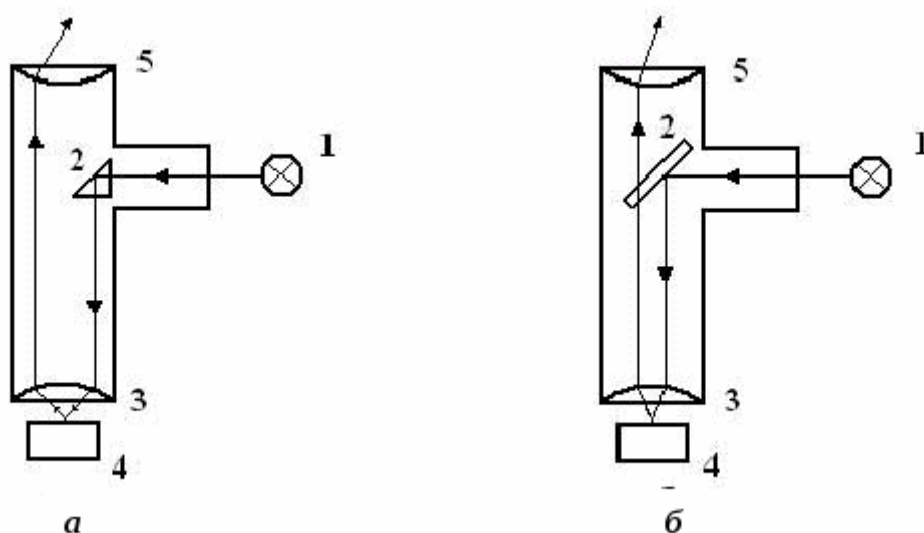


Рисунок 2.3 – Схема освещения шлифа в металлографических микроскопах

От нетравленного шлифа металла практически весь поток света отражается и попадает в окуляр микроскопа, рисунок 2.4, а [8]. Травленный

шлиф имеет микрорельеф из-за разной способности к растворению и окислению границ зерен, основы зерна и различных фаз, рисунок 2.4, б. В следствии этого поверхность шлифа отражает лучи света неодинаково, что позволяет видеть в микроскоп структуру металлов и сплавов, рисунок 2.4, в, г.

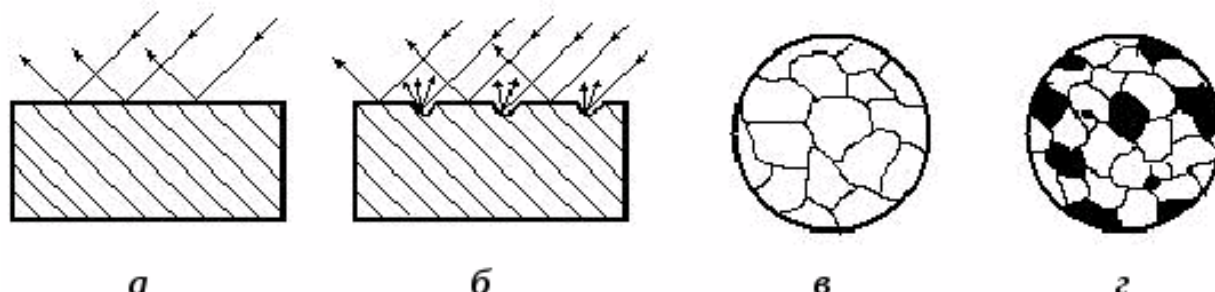


Рисунок 2.4 – Формирование изображения структуры шлифа в металлографическом микроскопе:

а – 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

Программный анализатор SIAMS 700 имеет модульное строение, которое можно варьировать в зависимости от задач, стоящих перед металловедом.

2.2.2 Измерение микротвёрдости

Твёрдость является важной характеристикой для практики, так как она показывает разные рабочие свойства материалов: режущие свойства, выдерживать местные давления, сопротивляемость истиранию, способность обрабатываться шлифованием или резанием, и т.д. Кроме того, о других механических свойствах, например, о прочности при растяжении, можно судить по твёрдости. Таким образом, твёрдость и другие свойства материалов имеют определенная связь, подтверждаемую практикой [8].

Часто под твёрдостью понимают способность материала сопротивляться внедрению в него другого тела, т. к. в основе большинства способов измерения твёрдости лежит принцип вдавливания твёрдых тел в испытуемый материал

(закалённого стального шарика, алмазного конуса или пирамиды) и последующего измерения размеров отпечатков.

Наиболее широкое применение нашли испытания твёрдости по Бринеллю, Роквеллу, Виккерсу и метод определения микротвёрдости. Во всех указанных методах происходит пластическая деформация испытуемого материала под индентором при его вдавливании. Большое сопротивление материала пластической деформации приводит к меньшей глубине проникновения индентора и тем самым к высокой твёрдости [8].

Твёрдость в очень тонких слоях или пределах отдельных зёрен обычно измеряется методом микротвёрдости. Часто этот метод используют при проведении исследовательских работ.

Для определения твердости по Виккерсу использовали микротвердомер ПМТ-3, рисунок 2.5. Данный прибор состоит из механизма для вдавливания алмазной пирамиды с нагрузкой и металлографического микроскопа для оценки отпечатка. В поверхность испытываемого образца вдавливали алмазный наконечник Виккерса, имеющий четырехгранное пирамидное основание, с нагрузкой 100 г. Твёрдость HV определяли по формуле:

$$H = 0,189 \frac{P}{d^2} .$$



Рисунок 2.5 – Микротвердомер ПМТ-3М

2.2.3 Рентгеновский анализ

Цель рентгеновского анализа представляет собой изучение измерений положения линий на рентгенограммах и оценки их интенсивности. Определение кристаллической структуры фазы путем индцирования линий рентгенограммы предполагает установление ячейки Бравэ, ее периодов, числа атомов и расположения их в ячейке [10].

Индцирование линий рентгенограммы является операцией определения индексов интерференции (HKL) каждой линии рентгенограммы. Индексы интерференции равны произведению индексов семейства плоскостей (hkl), отражение от которых дает данную линию на рентгенограмме, на порядок отражения n [10]:

$$H=nh; K=nk; L=nl.$$

Так как числа hkl не могут иметь общего делитель, то, зная индексы HKL данной линии, можно определить, за счет отражения какого порядка и от каких плоскостей получилась эта линия.

Для определения индексов интерференции для разных сингоний используется формула Вульфа-Брэгга [10]:

$$2d_{HKL}\sin\theta = \lambda$$

Период ячейки имеет связь с межплоскостным расстоянием. Например, для кубической ячейки, эта связь определяется выражением:

$$a^2 = (d/n)^2(H^2 + K^2 + L^2).$$

Поставив в выражение значение $d_{HKL} = d/n$, получим выражение

$$\sin^2\theta = (\lambda^2/4a^2)(H^2 + K^2 + L^2),$$

которое носит название квадратичной формы для кубической сингонии.

Таким образом, каждому значению $\sin\theta$, a , следовательно, и d_{HKL} соответствуют определенные значения индексов интерференции HKL. В случае сложных решеток с базисом некоторые отражения гасятся закономерно, и линии с соответствующими индексами HKL отсутствуют на рентгенограмме.

Закономерности погасания зависят от симметрии решетки и расположения атомов в элементарной ячейке (т.е. от типа решетки) и их определяют из условий равенства нулю структурного фактора интенсивности.

В случае объемноцентрированной решетки гасятся линии, для которых сумма индексов (H+K+L) является нечетным числом.

В случае гранецентрированной решетки гасятся линии, для которых индексы H, K и L являются числами разной четности.

Возможные индексы интерференции для первых десяти линий наиболее важных кубических решеток приведены в таблице 2.5 [10].

Таблица 2.5 – Индексы интерференции первых десяти линий рентгенограммы

Номер линии в порядке возрастан ия угла θ	Решетки					
	Простая кубическая		ОЦК		ГЦК	
	$H^2 + K^2 + L^2$	HKL	$H^2 + K^2 + L^2$	HKL	$H^2 + K^2 + L^2$	HKL
1	1	100	2	110	3	111
2	2	110	4	200	4	200
3	3	111	6	211	8	220
4	4	200	8	220	11	311
5	5	210	10	310	12	222
6	6	211	12	222	16	400
7	8	220	14	321	19	331
8	9	300,211	16	400	20	420
9	1	310	18	411,330	24	422
10	11	311	20	420	27	333,511

Из квадратичной формы для кубической сингонии следует, что отношения квадратов синусов углов отражения для разных линий рентгенограммы (λ и $a=const$) должны быть равны соответствующему отношению сумм квадратов индексов и, следовательно, отношению целых чисел:

$$\frac{\sin^2 \theta_i}{\sin^2 \theta_1} = \frac{H_i^2 + K_i^2 + L_i^2}{H_1^2 + K_1^2 + L_1^2} = Q_i$$

Справедливым будет также выражение

$$\frac{d_{H_1K_1L_1}}{d_{H_iK_iL_i}} = \frac{H_i^2 + K_i^2 + L_i^2}{H_1^2 + K_1^2 + L_1^2} = Q_i$$

Из данных, приведенных в таблице 2.6, следует, что ряд отношений Q_i для всех линий рентгенограммы в порядке возрастания углов θ (где θ_i – угол данной линии, а θ_1 – угол первой линии) должен представлять собой строго определенный ряд чисел, различный для решеток Бравэ разного типа.

Таблица 2.6 – Ряд Q для кубических решеток

Тип решетки	$Q_i = \frac{H_i^2 + K_i^2 + L_i^2}{H_1^2 + K_1^2 + L_1^2}$
Примитивная	1; 2; 3; 4; 5; 6; 8; 9; 10; 11
Объемноцентрированная	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10
Гранецентрированная	1; 1,33; 2,66; 3,67; 4; 5,33; 6,33; 6,67; 8; 9

Цель индцирования является тем, чтобы найти отношения $\sin^2\theta_i / \sin^2\theta_1 = Q$ всех линий на рентгенограмме и сопоставить полученный ряд с данными в таблице 2.6.

Для определения размеров элементарной ячейки найдем период кубической решетки легко определяется по формуле

$$a = (\lambda/2\sin\theta)\sqrt{H^2 + K^2 + L^2}$$

или

$$a = d_{HKL}\sqrt{H^2 + K^2 + L^2}$$

Для определения параметра решетки a в кубической решетке достаточно воспользоваться одной линией. Рекомендуется при возможности рассчитать a по нескольким линиям с большими углами θ .

Неточность определения a в первом приближении может быть подсчитана для разных линий, по которым ее определяли согласно формуле:

$$\Delta a = a \operatorname{ctg} \theta \Delta \theta$$

Поскольку Δa зависит от θ , значения a , полученные по разным линиям, нельзя усреднять.

Чтобы определить окончательную величину a следует:

- 1) Принять значение для линии с максимальным углом θ ;
- 2) Принять среднее из значений для двух последних линий с углами $\theta > 70^\circ$;
- 3) Построить график $a = f(\theta)$ и экстраполировать величину a до угла $\theta = 90^\circ$.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
154Б30	Чэнь Цзяцзюнь

Институт	ИСГТ	Кафедра	ММС
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Материаловедение и технологии материалов

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Материально-технические ресурсы: образец спеченное изделие, фидсток Cataold 420W; энергетические ресурсы: электрическая энергия; информационные ресурсы: научные журналы, монографии, учебники по теме исследований; человеческие ресурсы: сотрудник кафедры ММС.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Для данной работы нормы и нормативы расходования ресурсов отсутствуют.</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством РФ нормам органам государственного социального страхования, пенсионного фонда и медицинского страхования от затрат на оплат у труда работников.</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения и оценка конкурентоспособности исследования.</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Разработка календарного плана НИР и формирование сметы расходов на проектирование.</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i>
2. <i>Этапы и работы НИ</i>
3. <i>Календарный план-график</i>
4. <i>График проведения и бюджет НИ</i>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Попова Светлана Николаевна	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б30	Чэнь Цзяцзюнь		

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсобережение

4.1 Экономические цели и актуальность работы исследования

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 [11]. Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) Оценка потенциальных потребителей результата исследования;
- 2) Осуществить планирование этапов выполнения исследования;
- 3) Рассчитать бюджет НИИ;
- 4) Произвести оценку ресурсной и экономической эффективности исследования.

4.2 Оценка потенциальных потребителей результата исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование [12].

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 (технология МИМ) можно по следующим критериям: уровень цены, конкретные применения (рисунок 4.1).

В карте сегментирования показано, где наши на рынке технология инжекционного формирования уровень конкуренции низок. Как видно, для рынка медицинских инструментов и наручных часов, продукции с низкой ценой заняты низкой степенью конкуренции. Следовательно, продукции

технологии МІМ с низкой ценой, привлекают предприятия, занимающие медицинскими инструментами и наручными часами в будущем.

		Конкретные применения			
		Медицинские инструменты	Наручные часы	Двигатели автомобиля	Дисковод компьютера
Уровень цены	Высокая	***	**	*	*
	Средняя	**	**	**	*
	Низкая	*	*	***	***

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

Рисунок 4.1 – Карта сегментирования рынка технологии МІМ

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 4.1.

Таблица 4.1 – 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	Даренская Е.А. Чэнь Ц.
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение теории по порошковой технологии.	Чэнь Ц.
	3	Изучение материала по технологии инъекционного формирования.	Чэнь Ц.
	4	Выбор направления исследований	Даренская Е.А. Чэнь Ц.
	5	Календарное планирование работ по теме	Даренская Е.А. Чэнь Ц.

Проведение ВКР			
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Проведение металлографического анализа фидстока 420W и изделия.	Чэнь Ц.
	7	Проведение рентгеновского анализа фидстока и изделия.	Даренская Е.А.
	8	Проведение теоретических расчетов.	Чэнь Ц.
	9	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими	Даренская Е.А. Чэнь Ц.
	10	Измерение микротвердости изделия.	Чэнь Ц.
Выполнение отчета	11	Выполнение отчета	Чэнь Ц.
Обобщение и оценка результатов	12	Формование ВКР	Чэнь Ц.
	13	Проверка ВКР	Даренская Е.А. Чэнь Ц.

4.3.2. Разработка графика проведения научного исследования

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула [12]:

$$t_{ожі} = \frac{3 t_{mimi} + 2t_{maxi}}{5}$$

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.

Определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p :

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожi}$ – 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:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}$$

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:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}$$

где $T_{кал}$ – количество календарных дней в году;

$T_{вых}$ – количество выходных дней в году;

$T_{пр}$ – количество праздничных дней в году.

В 2017-ом году $k_{кал} = 366 / (366 - 105 - 14) = 1,48$

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

Все рассчитанные значения свести в таблицу 4.2. На основе таблице 4.2 строится календарный план таблице 4.3.

Таблица 4.2 – Временные показатели проведения научного исследования

Номер работы	Трудоёмкость 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					
	Даренская Е.А.	Чэнь Ц.	Даренская Е.А.	Чэнь Ц.	Даренская Е.А.	Чэнь Ц.	Даренская Е.А.	Чэнь Ц.	Даренская Е.А.	Чэнь Ц.
1	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2
2	-	4	-	5	-	4	-	4	-	6
3	-	4	-	5	-	4	-	4	-	6
4	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2
5	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2
6	-	3	-	5	-	5	-	5	-	7
7	1	-	2	-	1	-	1	-	2	-
8	-	1	-	2	-	1	-	1	-	2
9	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2
10	-	1	-	2	-	1	-	1	-	2
11	-	6	-	7	-	8	-	8	-	12
12	-	6	-	7	-	8	-	8	-	12
13	3	3	7	7	5	5	5	5	7	7

Таблице 4.3 – Календарный план-график  - Даренская Е.А. - Руководитель.  - Чэнь Ц. - 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	Даренская Е.А.	2													
		Чэнь Ц.	2													
2	Подбор и изучение теории по порошковой технологии.	Чэнь Ц.	6													
3	Изучение материала по технологии инжекционного формования.	Чэнь Ц.	6													
4	Выбор направления исследований	Даренская Е.А.	2													
		Чэнь Ц.	2													
5	Календарное планирование работ по теме	Даренская Е.А.	2													
		Чэнь Ц.	2													
6	Проведение металлографического анализа фидстока 420W и изделия.	Чэнь Ц.	7													
7	Проведение рентгеновского анализа фидстока и изделия.	Даренская Е.А.	2													
8	Проведение теоретических расчетов.	Чэнь Ц.	2													
9	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими	Даренская Е.А.	2													
		Чэнь Ц.	2													
10	Измерение микротвердости изделия.	Чэнь Ц.	2													
11	Выполнение отчета	Чэнь Ц.	12													
12	Формование ВКР	Чэнь Ц.	12													
13	Проверка ВКР	Даренская Е.А.	7													
		Чэнь Ц.	7													

4.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

4.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

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

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).

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 4.4.

Таблица 4.4 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, Z_M , руб.
Фидсток Catamold 420W	г.	15	1,45	23
Абразивные шкурки	шт.	5	10	53
Паста ГОИ	г.	5	10	52
Эпоксидная смола	г.	20	0,6	13
Металлическая обойма	шт.	1	10	11
Царская водка	мл.	5	0,4	21
Ватные палочки	шт.	10	0,2	21
Спирт	мл.	10	0,12	13
Спеченное изделие	шт.	1	60	63
Флеш-карта 16 GB	шт.	1	600	600
Бумага формата А4	экз.	1	250	250
Ручка шариковая	шт.	2	80	160
итого				1280

4.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

Все расчеты по приобретению спецоборудования и оборудования [13], имеющегося в организации, но используемого для каждого исполнения конкретной темы, сводятся в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Твердомер	1	145	145
2	Шлифовальная станка	1	70	70
3	Металлографический микроскоп	1	56	56
4	Рентгеновский аппарат	1	3800	3800
5	Компьютер с программой	1	73	73
6	Фотокамера для микроскопа	1	23	23
Итого:				4167

4.4.3 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 [12].

Заработную плату:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}$$

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

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (15 % от $Z_{осн}$).

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

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}$$

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 4.6).

Таблица 4.6 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Значение, чел.-дн.
Календарное число дней	365
Количество нерабочих дней	118
Потери рабочего времени	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	247

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p$$

где $Z_{тс}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{тс}$);

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2.

k_p – районный коэффициент, равный 1,3

k_T – тарифный коэффициент, учитывается по единой.

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Расчёт основной заработной платы руководителя.

Исполнители	Разряд	k_T	$Z_{ТС}$, руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	1	1	26400	0,3	0,2	1,3	51480	2168	17	36849

Расчет основной заработной платы руководителя сводится в таблице 4.8.

Таблице 4.8 – 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	2168	4336
2	Выбор направления исследований	2	2168	4336
3	Календарное планирование работ	2	2168	4336
4	Проведение рентгеноанализа	2	2168	4336
5	Сопоставление результатов	2	2168	4336
6	Проверка ВКР	7	2168	15176
Итого:				36856

4.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы равен 0,15.

$$Z_{доп} = 0,15 \cdot 36849 = 5527 \text{ руб.}$$

4.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп})$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды, равен 27%.

Отчисления во внебюджетные фонды:

$$З_{внеб} = 0,271 \cdot (36849 + 5527) = 42376 \text{ руб.}$$

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 [12]:

$$З_{накл} = (\text{сумма статей } 1 - 5) \cdot k_{нр}$$

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

$$З_{накл} = (1280 + 4167000 + 36856 + 5527 + 42376) \cdot 0,16 = 680486 \text{ руб.}$$

4.4.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по варианту руководителя приведен в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Материальные затраты НИИ	1280	Пункт 4.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	4167000	Пункт 4.2

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	36856	Пункт 4.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	5527	Пункт 4.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	42376	Пункт 4.5
6. Накладные расходы	680486	Пункт 4.6
Бюджет затрат НИИ		4933525 руб.

4.5 Оценка эффективности результата научного исследования

В нашем случае бюджета затрат на научно-исследовательский проект только по варианту руководителя, по результатам НИР были выполнены поставленные задачи. Однако, поскольку данная НИР относится к поисковым работам, то оценивать её эффективность преждевременно. Эффективность может быть определена только после проведения прикладных исследований, результатом которых будет получение конечного продукта, поэтому раздел оценки и сравнения эффективности результата научного исследования для нашей работы не имеет значение.