МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Факультет
промышленных технологий, электроэнергетики и транспорта
(наименование)

Кафедра
Сварочное, литейное производство и материаловедение
(наименование)

Направление подготовки
22.03.01 «Материаловедение и технология материалов»
(код и наименование)

Профиль
«Материаловедение и технология новых материалов»
(наименование)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА
на тему
«Исследование влияния режимов работы центробежной машины на качество композиционной заготовки для получения пористого алюминия»

Студент _____ 25.06.23 (подпись, дата) *Мякушев Денис Алексеевич*

Научный руководитель
к.т.н., доцент _____ 25.06.23 (подпись, дата) *Семушкин А.В.* (фамилия, инициалы)

Нормоконтролёр
к.т.н., доцент _____ 25.06.23 (подпись, дата) *Хорин А.В.* (фамилия, инициалы)

Работа допущена к защите (протокол заседания кафедры от 07.06.2023 № 10)

Заведующий кафедрой _____ 26.06.23 (подпись, дата) *Логинов О.Н.* (фамилия, инициалы)

Работа защищена с отметкой хорошо (протокол заседания ГЭК от 27.06.2023 № 7)

Секретарь ГЭК _____ 27.06.23 (подпись, дата) *Гуськов М.С.* (фамилия, инициалы)
к.т.н., доцент

Пенза 2023

ФГБОУ ВО «ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ФАКУЛЬТЕТ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ И ТРАНСПОРТА
КАФЕДРА «Сварочное, литейное производство и материаловедение»

«Утверждаю»
Заведующий кафедрой СЛПиМ
к.т.н., доцент _____ О.Н.Логинов
подпись
«____» _____ 2022 г.

ЗАДАНИЕ
на выпускную квалификационную работу

Студенту гр. 19МТ1 Факультета промышленных технологий, электроэнергетики и транспорта Политехнического института ПГУ, очной формы обучения по направлению подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технология материалов»

Мякушева Дениса Алексеевича.
Научный руководитель работы: *к.т.н., доцент Семушкин А.В.*
Время выполнения ВКР: *с 30.12.2022 г. по 27.06.2023 г.*
Место преддипломной практики: *Каф. «КиИМ» ПГУ*
Тема работы: *«Исследование влияния режимов работы центробежной машины на качество композиционной заготовки для получения пористого алюминия».*
Тема утверждена приказом ректора ПГУ *№ 1184/О от 30.12.2022*.

Техническое задание на работу: исследовать процесс удаления растворимого наполнителя из композиционной литой заготовки.

Объём и содержание основной части работы

Пояснительная записка (перечень вопросов, подлежащих разработке, расчетов, обоснований, описаний):

- введение с обоснованием актуальности темы исследования, установления объекта и предмета, постановкой цели и задач исследования;
- теоретический анализ: проблемы получения композиционной заготовки центробежным литьем; уточнения требований к порообразующему растворимому наполнителю и к алюминиевому сплаву;
- исследовательский раздел: обоснование применяемых методов исследования; уточнение механизма формирования композитной отливки под действием центробежных сил; уточнение механизма влияния режимов работы центробежной машина на формирование композитной заготовки для получения пористого алюминия; разработка методики планируемых экспериментов;
- экспериментальный раздел – описание результатов исследования и выявленных зависимостей;
- заключение – выводы и обоснования по теме работы и полученным результатам.

Презентация бакалаврской работы (перечень и содержание плакатов)

- *тема ВКР* *1л А4;*
- *цели и задачи выпускной работы* *1л А4;*
- *применение пористого алюминия* *1л А4;*
- *методы получения* *1л А4;*
- *выбор наполнителя* *1л А4;*
- *экспериментальная установка* *1л А4;*
- *центробежная установка* *1л А4;*
- *типовая схема изготовления пористых материалов* *1л А4;*
- *режимы установки* *1л А4;*
- *исследуемые режимы центробежной установки* *1л А4;*
- *чертеж установки* *1л А4;*
- *литейная форма* *1л А4;*
- *результаты* *3л А4;*
- *микроструктура* *1л А4;*
- *результаты проверки* *2л А4;*
- *заключение* *1л А4.*

Рекомендуемая литература:

1. **Витязь, П.А. Пористые порошковые материалы и изделия из них** [Текст] / П.А. Витязь, В.М. Капцевич, В.К. Шелег – Мн.: Высшая школа, 1987. – 335с.

2. **Белов С.В. Пористые металлы в машиностроении** [Текст]: монография – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1981. – 247с.

3. **Портной, К.И. Структура и свойства композиционных материалов** [Текст]: монография /Портной К.И., Левинский Ю.В., Салибеков С.Е., Чубаров В.М.- М.: Машиностроение, 1979. - 255 с.

Дата выдачи задания: 30.12.2022 г.

Руководитель ВКР:
к.т.н, доцент А.В. Семушкин

Задание к исполнению принял студент
гр. 19МТ1 Д.А. Мякушев
30 декабря 2022 г.

Выпускную квалификационную работу к защите допустить

Декан факультета промышленных технологий, электроэнергетики и транспорта ПИ ПГУ С.Ю. Киреев

ОПОП освоена в полном объеме.
К государственной итоговой аттестации допустить

ФГБОУ ВО «ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ФАКУЛЬТЕТ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ , ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ И ТРАНСПОРТА
кафедра «Сварочное, литейное производство и материаловедение»

«Утверждаю»
Руководитель ВКР
к.т.н., доцент _____ А.В. Семушкин
подпись
«30» декабря 2022 г.

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН
на выпускную квалификационную работу

Студента гр. 19МТ1 Факультета промышленных технологий, электроэнергетики и транспорта Политехнического института ПГУ, направления подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов», профиль «Материаловедение и технологии новых материалов»

Мякушев Денис Алексеевич

Тема работы: *Исследование влияния режимов работы центробежной машины на качество композиционной заготовки для получения пористого алюминия*

Наименование этапа работы	Срок исполнения		Отметка о выполнении
	начало	окончание	
1 Получение задания, его уяснение, беседа с руководителем. Подготовка к выполнению магистерской диссертации.	30.12.22	10.01.23	
2 Подбор и изучение рекомендованной литературы.	11.01.23	26.01.23	
3 Изучение объекта исследования, постановка цели и задачи работы. Написание введения.	27.01.23	04.02.23	
4 Литературный и патентный поиск по теме исследования. Теоретический анализ особенностей материалов. Анализ существующих технологий получения пористого алюминия. Написание первого раздела работы.	05.02.23	15.02.23	
5 Уточнение технологии получения пористого алюминия методом пропитки с помощью центробежного литья.	16.02.23	05.03.23	

6 Получение композитных заготовок с помощью центробежного литья и их исследование.	30.12.22	10.01.23	
7 Завершение оформления пояснительной записки, схем и рисунков.	06.03.23	01.04.23	
8 Представление завершенной ВКР нормоконтролеру	02.04.23	06.05.23	
9 Представление ВКР руководителю на просмотр и проверку на плагиат.	07.05.23	17.05.23	
10 Предварительная защита ВКР	18.05.23	27.05.23	
11 Полное завершение всех работ и представление зав. кафедрой на подпись пояснительной записки (совместно с графической частью, протоколом проверки на плагиат и отзывом руководителя)	05.06.23	06.06.23	
12 Защита ВКР	07.06.23	27.06.23	

Прохождение каждого этапа подготовки магистерской диссертации подтверждается подписью руководителя.

Студент учебной группы 19МТ1 _____ Д.А. Мякушев

"20" декабря 2022 г.

Протокол

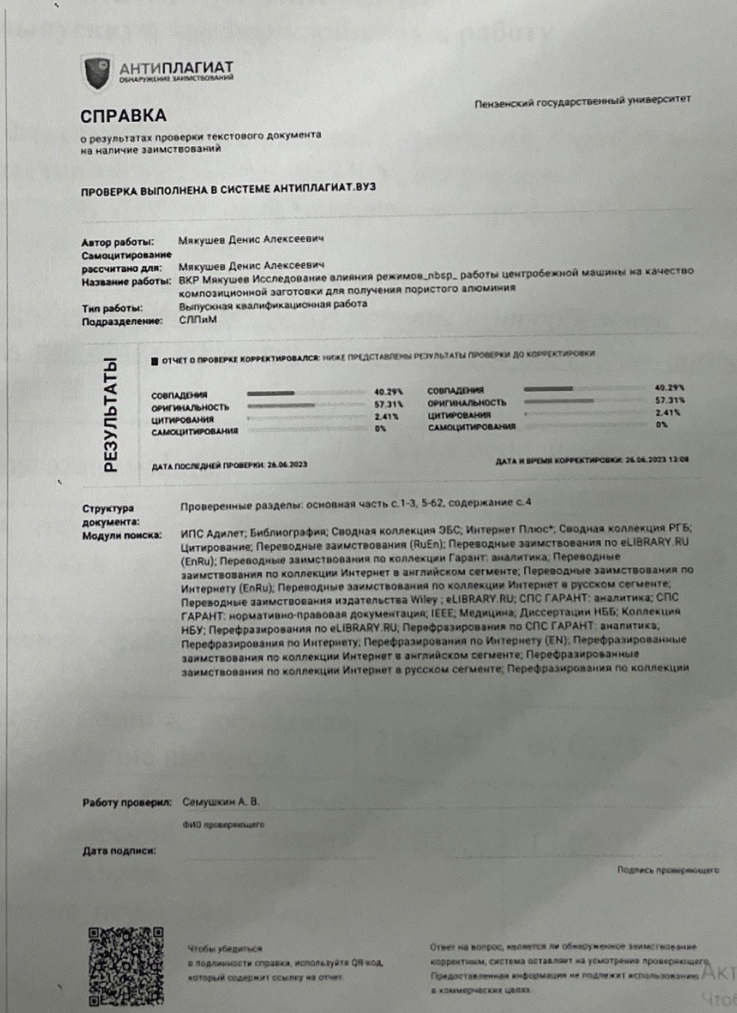
проверки на оригинальность в системе «Антиплагиат.ВУЗ» выпускной квалификационной работы на тему «Исследование влияния режимов работы центробежной машины на качество композиционной заготовки для получения пористого алюминия».

студента 4 курса Д.А. Мякушева
(И.О. Фамилия)
направления подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технология материалов», профиля «Материаловедение и технология новых материалов».

Руководитель ВКР Семушкин А.В.

СКРИНШОТ

отчета о проверке



АНТИПЛАГИАТ
ОБНАРУЖЕНИЕ ЗАИМСТВОВАНИЙ

Пензенский государственный университет

СПРАВКА

о результатах проверки текстового документа
на наличие заимствований

ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНА В СИСТЕМЕ АНТИПЛАГИАТ.ВУЗ

Автор работы: Мякушев Денис Алексеевич
Самоцитирование рассчитано для: Мякушев Денис Алексеевич
Название работы: ВКР Мякушев Исследование влияния режимов_nbsp_ работы центробежной машины на качество композиционной заготовки для получения пористого алюминия
Тип работы: Выпускная квалификационная работа
Подразделение: СЛПиМ

РЕЗУЛЬТАТЫ

■ ОТЧЕТ О ПРОВЕРКЕ КОРРЕКТИРОВАЛСЯ: НИЖЕ ПРЕДСТАВЛЕНЫ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕРКИ ДО КОРРЕКТИРОВКИ

СОВПАДЕНИЯ	40.29%	СОВПАДЕНИЯ	40.29%
ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	57.31%	ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	57.31%
ЦИТИРОВАНИЯ	2.41%	ЦИТИРОВАНИЯ	2.41%
САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%	САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%

ДАТА ПОСЛЕДНЕЙ ПРОВЕРКИ: 26.06.2023 — ДАТА И ВРЕМЯ КОРРЕКТИРОВКИ: 26.06.2023 13:08

Структура документа: Проверенные разделы: основная часть с.1-3, 5-62, содержание с.4
Модули поиска: ИПС Адилет; Библиография; Сводная коллекция ЭБС; Интернет Плюс*; Сводная коллекция РГБ; Цитирование; Переводные заимствования (RuEn); Переводные заимствования по eLIBRARY.RU (EnRu); Переводные заимствования по коллекции Гарант: аналитика; Переводные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; Переводные заимствования по Интернету (EnRu); Переводные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Переводные заимствования издательства Wiley ; eLIBRARY.RU; СПС ГАРАНТ: аналитика; СПС ГАРАНТ: нормативно-правовая документация; IEEE; Медицина; Диссертации НББ; Коллекция НБУ; Перефразирования по eLIBRARY.RU; Перефразирования по СПС ГАРАНТ: аналитика; Перефразирования по Интернету; Перефразирования по Интернету (EN); Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Перефразирования по коллекции

Работу проверил: Семушкин А. В.
ФИО проверяющего
Дата подписи:
Подпись проверяющего

Чтобы убедиться в подлинности справки, используйте QR-код, который содержит ссылку на отчет.

Ответ на вопрос, является ли обнаруженное заимствование корректным, система оставляет на усмотрение проверяющего. Предоставленная информация не подлежит использованию в коммерческих целях.

26.06.2023г
(дата)

(подпись)

А.В. Семушкин
(И.О. Фамилия руководителя ВКР)

Ректору Пензенского государственного университета
А. Д. Гулякову
Студента 4 курса факультета промышленных технологий, электроэнергетики и транспорта
Мякушева Дениса Алексеевича

ЗАЯВЛЕНИЕ

Я, Мякушев Денис Алексеевич, студент 4 курса факультета промышленных технологий, электроэнергетики и транспорта направления подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технология материалов», бакалаврская программа «Материаловедение и технологии новых материалов», прошу провести проверку с использованием системы «Антиплагиат» выпускной квалификационной работы на тему «Исследование влияния режимов работы центробежной машины на качество композиционной заготовки для получения пористого алюминия», выполненной мной самостоятельно, на содержание элементов плагиата.

Все прямые заимствования из печатных и электронных источников, а также из защищенных ранее выпускных квалификационных работ, кандидатских и докторских диссертаций имеют соответствующие ссылки.

Я ознакомлен с действующим Стандартом университета «Выпускная квалификационная работа обучающихся по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета и программам магистратуры», согласно которому обнаружение плагиата является основанием для не допуска ВКР к защите и отчисления из университета.

_____ Мякушев Д.А.

(подпись студента)

26.06.2023 г.

(дата)

ВКР представлена на проверку 26.06.2023 г.

(дата)

Руководитель ВКР _____ Семушкин А.В.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«Пензенский государственный университет»

ОТЗЫВ

РУКОВОДИТЕЛЯ О БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЕ

Студент: Мякушев Денис Алексеевич

Тема: «Исследование влияния режимов работы центробежной машины на качество композиционной заготовки для получения пористого алюминия»

Направление подготовки – 22.03.01. «Материаловедение и технологии материалов»

Профиль подготовки – «Материаловедение и технологии новых материалов»

Выпускная квалификационная работа включает в себя пояснительную записку, состоящую из 66 страниц текста, 21 рисунка, 5 таблиц, 34 источников литературы и презентации из 18 слайдов.

Предметом работы является изучение влияния режимов работы центробежной установки на получаемые заготовки для изготовления пористого алюминия.

Задачи работы:

- уточнить требования к порообразующему растворимому наполнителю и к алюминиевому сплаву с позиций получения композиционной заготовки;
- уточнить механизм формирования пористой структуры отливки под действием центробежных сил;
- определить оптимальные режимы работы центробежной установки для получения композиционной заготовки.

В настоящее время пористый алюминий является достаточно востребованным материалом, и применятся в качестве: шумоглушителей; фильтров; носителей катализаторов; теплообменников; демпферов. Но существующие методы получения пористого алюминия не удовлетворяют современным требованиям, предъявляемым к изделиям. Главным недостатком использования этих способов, является невозможность контроля размера пор, что приводит к низкой фильтрующей способности, низким или неконтролируемым физико-механическим свойствам, что не позволяет получать качественные с высокими эксплуатационными характеристиками пористые изделия.

Использование способа получения пористого алюминия пропиткой водорастворимого наполнителя центробежным литьем позволяет решить большинство этих проблем. Однако вопрос влияния режимов работы

центробежной машины на качество композиционной заготовки для получения пористого алюминия остается не изученным.

В выпускной квалификационной работе, в соответствии с исходным заданием: выполнен литературно-патентный обзор; уточнены требования к порообразующему растворимому наполнителю и к алюминиевому сплаву; уточнён механизм формирования композиционной литой заготовки; определены оптимальные режимы работы центробежной машины на качество композиционной заготовки.

В результате проведенных в ВКР исследований:

- определены оптимальные режимы работы центробежной установки для получения качественных композиционных заготовок для изготовления пористого алюминия.

- установлено, что для получения пористого алюминия, необходимо использовать режимы центробежной машины, при которых коэффициент гравитации изменяется в пределах от 159 до 390.

- определено, что при оптимальных режимах работы центробежной машины, заготовки полностью пропитываются алюминием и имеют оптимальное соотношение минимальных и максимальных пор, что позволяет достаточно быстро и эффективно проводить вымывание наполнителя из неё при получении пористого алюминия.

- установлено, что минимальный размер пор существенно зависит от режимов работы центробежной машины.

Исследования, проведенные в данной бакалаврской работе, позволяют совершенствовать технологический процесс получения качественного пористого алюминия центробежным способом.

Мякушев Д.А. отличается спокойным и уравновешенным характером, пользуется уважением среди однокурсников и преподавателей.

За время выполнения выпускной квалификационной работы Мякушев Д.А. показал себя технически грамотным студентом, обладающим современными методами решения профессиональных задач.

Выполненная работа соответствует требованиям, предъявляемым к бакалаврским работам.

Считаю, что бакалаврская работа может быть допущена к защите в ГЭК, а ее автор Мякушев Д.А. заслуживает присвоения квалификации бакалавра по направлению 22.03.01. «Материаловедение и технологии материалов» профилю подготовки «Материаловедение и технологии новых материалов».

Отзыв составил доцент каф. «КИМ»

ФГБОУ ВО «ПГУ» к.т.н., доцент _____ Семушкин А.В.

Аннотация

Выпускная квалификационная работа содержит 66 с., 21 рис., 5 таб., 34 использованных источников, 1 прил.

ПОРИСТЫЙ АЛЮМИНИЙ, АЛЮМИНИЙ, ЦЕНТРОБЕЖНАЯ УСТАНОВКА, КОЭФФИЦИЕНТ ГРАВИТАЦИИ, ПРОНИЦАЕМОСТЬ

Объектом исследования является пористый алюминий, полученный изотермической пропиткой пористого сыпучего материала с помощью центробежных сил.

Предметом исследования является композиционный материал на основе алюминия.

Целью данной работы является изучение влияния режимов работы центробежной установки на получаемые заготовки для изготовления пористого алюминия.

Задачами являются:

– изучение процесса производства пористых алюминиевых заготовок;

– изучение компонентов необходимых для получения заготовок;

– подбор оптимальных режимов работы центробежной установки;

– анализ полученных заготовок и выбор оптимального режима.

Структура выпускной квалификационной работы состоит из введения, трех глав и заключения. Введение дает краткое описание объекта исследования, комплекса методик и структуры работы. В первой части работы приводятся сведения о классификации, области применения и методах получения композиционных материалов. Во второй части рассматриваются общие требования к получаемого материалу, его составные части и используемое оборудование. В третьей части описан полученный результат, используемые режимы и их результаты.

При написании выпускной квалификационной работы была использована, учебная литература, государственные стандарты, научные статьи, различные интернет ресурсы.

Содержание

Введение.....5
1 Литературно – патентный обзор.....7
1.1 Получение пористого алюминия.....9
1.2 Получение композиционного материала.....12
1.3 Пористый алюминий и его использование.....20
1.4 Патентный поиск.....23
2 Материалы, оборудование и методы исследования композиционной заготовки для получения пористого алюминия.....29
2.1 Требования к наполнителю.....29
2.2 Требования к основе.....33
2.3 Приборы и методы исследования композиционной заготовки, полученной центробежным литьем.....38
2.3.1 Центробежная установка.....39
2.3.2 Приборы для исследования полученных изделий.....43
2.4 Методика исследования.....47
3 Влияние режимов работы центробежной машины на качество композиционной заготовки для получения пористого алюминия.....51
3.1 Результаты экспериментального исследования.....51
3. 2 Влияние режимов работы центробежной машины на вымываемость наполнителя из композиционной заготовки.....56
Заключение.....62
Список используемой литературы.....63

Введение

Целью данной работы является исследование возможности получения пористого алюминия методом центробежного литья и определение его эксплуатационных характеристик. В рамках работы были проведены эксперименты по получению пористого алюминия различной структуры и проведены испытания на фильтрационную способность и механическую прочность. Было показано, что пористый алюминий, полученный методом центробежного литья, обладает высокой фильтрующей способностью и механической прочностью, что делает его перспективным материалом для использования в различных областях промышленности.

Результатом работы является утверждением, что метод центробежного литья является эффективным способом получения пористого алюминия с высокими эксплуатационными характеристиками. Полученный пористый алюминий может быть использован в различных областях промышленности, таких как фильтрация воды и воздуха [1], производство биомедицинских имплантатов и других изделий, требующих высокой фильтрующей способности и механической прочности [2]. Дальнейшие исследования в этой области могут быть направлены на оптимизацию процесса получения пористого алюминия и расширение его применения в различных отраслях промышленности.

Пористые алюминиевые сплавы, по сравнению с другими пористыми металлами имеют ряд достоинств:

– высокая удельная прочность;

– высокая теплопроводность и коррозионная стойкость;

– низкий удельный вес.

Полученный пористый алюминий имеет высокую фильтрующую способность и механическую прочность, что делает его перспективным материалом для использования в различных областях промышленности [3]. Например, он может быть использован для производства фильтров для очистки воды и воздуха, а также для создания биомедицинских имплантатов и других

изделий, требующих высокой фильтрующей способности и механической прочности.

Дальнейшие исследования в этой области могут быть направлены на оптимизацию процесса получения пористого алюминия и расширение его применения в различных отраслях промышленности. В частности, можно исследовать возможность получения пористого алюминия с различными структурами и свойствами, а также оптимизировать процесс его производства для увеличения производительности и снижения затрат [4]. Кроме того, можно провести дополнительные испытания на другие эксплуатационные характеристики пористого алюминия, такие как его теплопроводность и коррозионная стойкость, чтобы оценить его потенциал для использования в различных условиях эксплуатации.

В результате проведенных исследований, была изучена технология получения пористого алюминия с помощью центробежного литья. Изучены получаемые образцы в зависимости от используемых режимов установки. Исходя из полученных результатов был проведен анализ влияния режимов работы установки качество получаемых изделий.

1 Литературно – патентный обзор

Недавно исследователи из Университета Лейдена разработали новый метод получения пористого алюминия, который позволяет получить материал с высокой прочностью и гидравлической проницаемостью. Они использовали электрохимический метод, при котором алюминий растворяется в электролите с помощью электрического тока. При этом на поверхности алюминия образуется пористая структура, которая обеспечивает высокую гидравлическую проницаемость. [3].

Исследователи также обнаружили, что пористый алюминий, полученный с помощью этого метода, имеет высокую поверхностную активность и может использоваться для обработки воды и очистки воздуха. Он также может быть использован для создания биомедицинских имплантатов и других медицинских изделий.

Дальнейшие исследования в этой области могут быть направлены на оптимизацию процесса получения пористого алюминия с помощью электрохимического метода и расширение его применения в различных отраслях промышленности. Кроме того, можно провести дополнительные испытания на другие эксплуатационные характеристики пористого алюминия, такие как его термическая стабильность и устойчивость к коррозии, чтобы оценить его потенциал для использования в различных условиях эксплуатации.

Однако новый метод, разработанный исследователями из Университета Лейдена, позволяет получать пористый алюминий с более равномерной структурой и высокой прочностью. Это открывает новые возможности для использования пористого алюминия в конструкционных материалах, таких как легкие и прочные каркасы для автомобилей и самолетов, а также в других отраслях промышленности, где требуются материалы с высокой прочностью и гидравлической проницаемостью [4].

Кроме того, пористый алюминий, полученный с помощью электрохимического метода, имеет высокую поверхностную активность, что

делает его полезным для обработки воды и очистки воздуха. Он может быть использован для создания фильтров и других устройств для очистки воды и воздуха от загрязнений.

Также пористый алюминий может быть использован для создания биомедицинских имплантатов и других медицинских изделий. Он может быть использован для создания костных имплантатов, так как его пористая структура позволяет костным клеткам проникать внутрь материала и интегрироваться с ним.

В целом, новый метод получения пористого алюминия открывает новые возможности для использования этого материала в различных отраслях промышленности и медицине. Дальнейшие исследования в этой области могут привести к созданию еще более эффективных и универсальных методов получения пористого алюминия и расширению его применения.

Эта технология также позволяет создавать изделия с высокой прочностью и легкостью, что делает их идеальными для использования в авиационной и автомобильной промышленности. Более того, пористый алюминий, полученный по этой технологии, имеет высокую гидравлическую проницаемость, что делает его полезным для создания фильтров и других устройств для очистки воды и воздуха.

Таким образом, использование пористого алюминия в различных отраслях промышленности и медицине становится все более распространенным. Новые методы получения этого материала позволяют создавать изделия с высокой прочностью, легкостью и гидравлической проницаемостью, что делает его идеальным для использования в конструкционных материалах, фильтрации воды и воздуха, а также для создания медицинских имплантатов. Дальнейшие исследования в этой области могут привести к созданию еще более эффективных методов получения пористого алюминия и расширению его применения в различных отраслях промышленности и медицине.

1.1 Получение пористого алюминия

В последние годы стало появляться все больше разработок в области вспененных металлов. Наибольший интерес для различных отраслей промышленности представляет пористый алюминий [5]. Структура пористого материала представлена на рисунке 1.1. Между частицами металла имеется воздушная прослойка, которая и придает объем и пористость итоговому материалу.

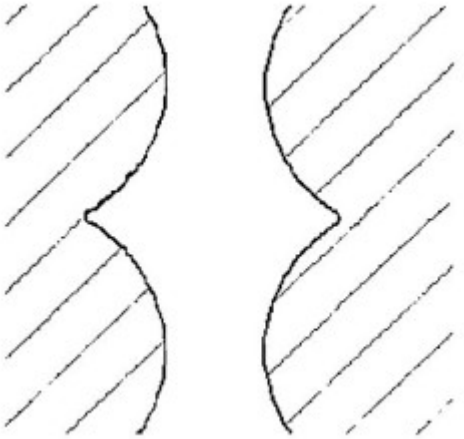


Рисунок 1.1 – Типовая структура пористых металлов

Этот материал обладает следующими свойствами:

а) низкая плотность;

б) высокий уровень энергопоглощения и звукопоглощения;

в) не гигроскопичность;

г) хорошая теплоизоляция и устойчивость к огню;

д) высокая удельная жесткость и возможность поглощения большого количества энергии;

е) экологическая чистота [6].

На сегодняшний день существует большое количество способов получения пористого алюминия:

а) Вспенивание алюминиевого расплава. Сущность данной группы методов заключается в том, что расплав металла диспергируют в потоке

разреженного газа с непрерывным сжатием получаемой газометаллической смеси до атмосферного давления с образованием пены [7].

б) Смешивание порошков алюминиевого сплава и порообразователя [5].

в) Введение порообразователя в расплав алюминиевого сплава [8]. Расплав алюминиевого сплава разливают в кристаллизатор скольжения с одновременным введением порообразователя, формируют слиток со скоростью, обеспечивающей затвердевание расплава до начала активного разложения порообразователя, охлаждают его, подвергают горячей деформации с получением формы готового изделия, помещают в форму и подвергают высокотемпературной обработке [9].

г) Введение порообразователя в расплав алюминиевого сплава с дальнейшим распылением смеси [18]. В расплав алюминиевого сплава вводят тугоплавкие частицы керамического материала и сливают в распылитель с одновременным введением в расплав порообразователя. Полученный металл имеет закрытые поры, пористость – 60 %, размер пор от 20 до 300 мкм.

д) Литьё алюминиевого сплава в форму с водорастворимыми веществами [20]. Водорастворимый порообразователь помещают в форму, нагревают его выше температуры ликвидуса алюминиевого сплава. Расплав заливают в нагретую до той же температуры форму, заполненную гранулами из водорастворимых солей (хлорид кальция, бария, фторид калия) [11], охлаждают, извлекают из формы и помещают в воду для удаления порообразователя. Полученный материал имеет открытые поры, величиной от 0,01 до 5 мм (в качестве порообразователя – водорастворимая соль) и от 0,5 до 5 мм (в качестве порообразователя – смесь соды и желатина) [12].

е) Смешивание порошков алюминиевого сплава и порообразователя в планетарной мельнице [12]. Полученный материал обладает закрытыми порами и имеет плотность от 0,6 до 1,0 г/см^3. Представленными методами получают пористые изделия на основе пеноалюминия.

ж) Анодное окисление.

и) Метод плавающей зоны.

к) Вытяжка алюминиевых трубок [13]. Исходная трубка из чистого алюминия или деформируемых сплавов алюминия повышенной пластичности нагревается до температуры, близкой к температуре плавления. Затем трубка вытягивается в вытяжной машине с получением трубки меньшего диаметра. Полученная трубка разрезается на определенное количество отрезков, которые в свою очередь вкладываются в отрезок исходной трубки [9]. Получившееся изделие также нагревается до температуры размягчения и подвергается вытяжке. Данная операция повторяется от 3 до 5 раз до получения многоканальной структуры [8]. Полученный материал имеет упорядоченную структуру прямолинейных непрерывающихся микроканалов с диаметром от 0,1 до 200 мкм, и прочность, соизмеримую с проностью сплошных материалов [14, 16].

1.2 Получение композиционного материала

Современные технологии позволяют создавать композитные материалы с использованием различных типов волокон и связующих материалов, что расширяет спектр их применения. Например, в авиационной и космической промышленности широко используются композитные материалы на основе углеродных волокон, которые обладают высокой прочностью и легкостью.

Также композитные материалы могут быть использованы для создания более прочных и легких автомобилей, кораблей, мостов и других сооружений. Они также могут быть использованы для создания новых материалов для защиты от радиации и других опасных воздействий.

В целом, композитные материалы представляют собой перспективный и быстро развивающийся сектор промышленности и науки. Их применение позволяет создавать более эффективные и экологически безопасные решения, что является особенно важным в современном мире.

Композиционные материалы (КМ) обладают комплексом свойств и особенностей. Они отличаются от традиционных конструкционных материалов и в совокупности открывающих широкие возможности. К ни можно отнести улучшения существующих конструкция самого разнообразного назначения, так и для разработки новых конструкций и технологических процессов.

В последние годы проявляется повышенный интерес к пористым материалам на основе алюминия. Они обладают большим количеством привлекательных свойств. Сегодняшнее и потенциальное будущее применение композиционных материалов на основе алюминиевых композитов сосредоточены на трех конкретных областях: автомобильной промышленности, авиакосмической промышленности, и строительная отрасль. Тем не менее, интерес также растет в области механических оборудования, в основном для износостойких или высокоточных установок и также в электрической и электронной отрасли. В настоящее время повышенное внимание получили такие

методы улучшения технических свойств, как упрочнение или уплотнение различными сплавами, они существенно улучшают износостойкость материала. Но самое сложное и экономически затратной областью является разработка единичных материалов с требуемыми свойствами: композиты могут быть получены в комбинации физических, механических и химических свойств. Они прекрасно подходят для данного оборудования. Типичными примером может являться экземпляр с хорошей теплопроводностью, и с определенным коэффициентом теплового расширения. Помимо этого они имеют свойства износостойкости, такие как, поршневые кольца в двигателях внутреннего сгорания. Также могут быть получены этим образом любые детали со сложными параметрами и любой формы, которых трудно получить классическими методами.

Композиционными называют сложные материалы, в состав которых входят сильно отличающиеся по свойствам нерастворимые или малорастворимые один в другом компоненты, разделенные в материале ярко выраженной границей. Примеры использования композиционных материалов включают в себя производство авиационных и автомобильных компонентов, судовых конструкций, спортивного снаряжения, а также в производстве электроники и медицинской техники.

Искусственные КМ создаются путем соединения различных материалов, таких как стекловолокно, карбоновые волокна, полимеры и металлы. Они обладают высокой прочностью и легкостью, что делает их идеальными для использования в авиационной, автомобильной и судостроительной промышленности.

КМ могут быть использованы для создания различных изделий, таких как лодки, самолеты, автомобили, спортивное оборудование, трубы для нефтегазовой промышленности и многое другое. Они также широко используются в архитектуре для создания красивых и функциональных зданий.

Несмотря на все преимущества, использование КМ требует специальных знаний и навыков. Их производство может быть дорогостоящим и требовать

высокотехнологичного оборудования. Кроме того, КМ могут быть менее устойчивы к ударам и износу, чем традиционные материалы.

В целом, КМ представляют собой перспективный сектор промышленности, который продолжает быстро развиваться и находить новые применения. Их использование позволяет создавать более эффективные и экологически безопасные решения, что является особенно важным в современном мире.

Армирующим элементом КМ могут служить металлы или сплавы (КМ на металлической основе). Либо же углеродные и керамические материалы (КМ на неметаллической основе).

Матрица играет важную роль в определении других характеристик КМ, таких как стойкость к химическим воздействиям, термическая стабильность, прочность и жесткость. Она также влияет на процесс изготовления композитов, определяя условия термического отверждения и формовки.

Выбор матрицы должен быть основан на требованиях к конечному изделию и условиях его эксплуатации. Например, при изготовлении деталей для авиационной промышленности может использоваться матрица из эпоксидной смолы, которая обладает высокой прочностью при низкой температуре и хорошей устойчивостью к ударам. В то же время, для производства компонентов для высокотемпературных приложений, таких как турбины, может использоваться керамическая матрица, которая обладает высокой термической стабильностью и стойкостью к окислению.

Таким образом, матрица является одной из ключевых компонентов КМ, определяющей его свойства и качества. Выбор матрицы должен быть основан на требованиях к конечному изделию и условиях его эксплуатации, а также на технологических возможностях производства.

КМ с комбинированными матрицами называют полиматричными. Для полиматричных материалов характерен более обширный перечень полезных свойств. Например, использование в качестве матрицы наряду с алюминием

титана увеличивает прочность КМ в направлении, перпендикулярном оси волокон.

Волокнистые КМ широко используются в авиационной и автомобильной промышленности, так как они обладают высокой прочностью при небольшом весе. Пластинчатые КМ находят применение в строительстве, где они используются для создания каркасов зданий и конструкций.

КМ также могут быть классифицированы по типу матрицы, которая может быть полимерной, металлической или керамической. Полимерные КМ обычно имеют низкую прочность и температурную стойкость, но они легки и дешевы в производстве. Металлические КМ имеют высокую прочность и температурную стойкость, но они тяжелы и дороги в производстве. Керамические КМ обладают высокой температурной стойкостью, но они хрупкие и трудны в производстве.

В армирующем материале распределены остальные компоненты, наполнители. Поскольку главную роль в упрочнении КМ играют наполнители, их часто называют упрочнителями.

Основная функция наполнителя – обеспечить прочность и жёсткость КМ. Частицы наполнителя должны иметь высокую прочность во всём интервале температур, малую плотность, быть нерастворимыми в матрице и нетоксичными. Армирующими веществами в КМ являются оксиды, карбиды (обычно – карбид кремния SiC), нитрид кремния (Si_3N_4), стеклянные или углеродные нити, волокна бора (бороволокна), стальная или вольфрамовая проволока.

Нульмерными называют наполнители, имеющие в трёх измерениях очень малые размеры одного порядка (частицы). Одномерные наполнители имеют малые размеры в двух направлениях и значительно превосходящий их размер в третьем измерении (волокна). У двумерных наполнителей два размера соизмеримы с размером КМ и значительно превосходят третий (пластины, ткань)

Закрытоячеистый пеноалюминий может быть произведен из различных типов алюминия, включая вторичный алюминий, что делает его экологически

более устойчивым и экономически более выгодным выбором. Кроме того, он также может быть переработан и повторно использован более чем один раз.

В целом, закрытоячеистый пеноалюминий является одним из самых перспективных материалов для строительства и инженерных приложений благодаря своей легкости, прочности и долговечности, а также из-за своей устойчивости к морозу и другим эффектам окружающей среды.

Алюминиевые композиты с пенистой структурой и с закрытыми ячейками преимущественно используются: для защиты от удара; повышения жесткости полых профилей; упрочнения анкеров в бетонных стенах; изготовления негорючих фасадных элементов зданий и легких и огнестойких кабин лифтов, в производстве теплостойких демпфирующих материалов.

Также существует другой материал на основе алюминия, который называется открытоячеистый (пористый). В этом случае разница в том, что материал тут с открытыми порами. Получают этот материал методом литейного производства с использованием удаляемого наполнителя или путем гальванического покрытия на удаляемом пенополиуретане, которого затем удаляют.

Метод, используемый для производства пористого алюминия, зависит от конкретного применения и требований к материалу. Наиболее распространенные методы включают в себя: литье с удаляемым наполнителем, гальваническое покрытие и электрохимическую обработку.

В процессе литья с удаляемым наполнителем в форму заливается расплавленный алюминий с добавлением наполнителя, который затем удаляется после остывания. Гальваническое покрытие предполагает покрытие удаляемого материала (например, пенополиуретана) алюминиевым слоем, который затем обрабатывается для удаления наполнителя. Электрохимическая обработка предполагает обработку поверхности алюминия в растворе электролита, что приводит к образованию открытых пор в материале.

Благодаря своей пористой структуре пористый алюминий обладает высокой способностью поглощать звук, что делает его привлекательным для

использования в виброизоляционных системах и звукоизоляционных материалах. Он также может использоваться в качестве адсорбента в химической промышленности для удаления загрязняющих веществ из воздуха.

Плотность пористого алюминия лежит обычно в диапазоне от 0,9 до 1,2 г/см^3, что соответствует пористости от 55 до 67%. Механические свойства этого материала изучались до последнего времени не так интенсивно, как пеноалюминия. Механическое поведение его весьма близко к тому, какое имеют пены с закрытой пористостью: начальный, почти линейный подъем напряжения сменяется областью значительной пластической деформации и затем при очень большой деформации переходит в уплотнение всей структуры при соответствующих высоких усилиях. Они требуются, чтобы деформировать пористую структуру. Таким образом, материал обладает высокой жесткостью. Прочность на сжатие соответствует почти тем же значениям, что и у пеноалюминия.

Для многих сфер применения желательна контролируемая и управляемая проницаемость материала газами или жидкостями. Пористый алюминий имеет высокую развитую внутреннюю поверхность, составляющую при плотности 1,1 г/см^3 от 1 до 2 м^2/г. Это свойство может быть использовано в компактных теплообменниках.

Пористый алюминий может использоваться для звукоизоляции помещений, для уменьшения уровня шума на рабочих местах и т.д. Это позволяет улучшить условия работы и жизни людей, что является очень важным аспектом в современном мире.

Кроме того, пористый алюминий может быть использован в качестве материала для изготовления звуковых панелей и абсорберов, которые могут значительно уменьшить уровень шума в помещении. В этом случае пористый алюминий позволяет достичь хороших звукоизоляционных свойств при минимальных затратах на материал и установку.

Таким образом, пористый алюминий имеет ряд преимуществ перед другими материалами, которые используются для шумогашения. Он не только

имеет хорошие звукоизоляционные свойства, но и обладает высокой стойкостью к температурным изменениям и не горит. Вследствие этого, использование пористого алюминия является очень выгодным для шумоглушения и может оказать значительное влияние на улучшение условий работы и жизни людей.

Кроме того, пористый алюминий может быть использован в следующих областях:

– Фильтрация: пористый алюминий может быть использован в качестве фильтра для жидкостей и газов в различных промышленных и медицинских приложениях.

– Радиаторы и теплообменники: пористый алюминий может быть использован в конструкции радиаторов и теплообменников в различных технических устройствах.

– Электроника: пористый алюминий может быть использован в качестве материала для создания микроканалов и микропор в электронных устройствах и микросхемах.

– Биомедицина: пористый алюминий может быть использован в качестве материала для создания имплантатов и протезов в биомедицинских целях.

– Авиационная и автомобильная промышленность: пористый алюминий может быть использован в качестве материала для создания легких и прочных конструкций в авиации и автомобильной промышленности.

Пористый алюминий широко применяется в качестве фильтров для различных веществ, таких как жидкости, газы, пары и твердые частицы. Применение пористого алюминия в качестве фильтров актуально во многих отраслях промышленности.

Интересно, что пористый алюминий имеет множество преимуществ как материал для фильтров, в том числе высокую прочность, устойчивость к высоким температурам и агрессивным средам, а также возможность контролировать размер пор.

Высокая теплопроводность материала имеет значение при сильных экзотермических реакциях. Пористый алюминий пригоден для использования в

качестве несущей решетки для катализаторов. Вследствие развитой внутренней поверхности в комбинации с хорошей проницаемостью.

Пористые материалы, в том числе алюминий, могут употребляться в качестве накопителей жидкости для последующей ее дозированной подачи, например, в пористых валках, в деталях подшипников скольжения,поры заполняют смазкой. При подаче газа через пористые материалы его можно в распределенном виде барботировать в жидкость или с помощью воздушной подушки создать поверхность скольжения (воздушный подшипник). Наконец, пористый алюминий благодаря своей теплопроводности используется в конструкциях пламегасителей.

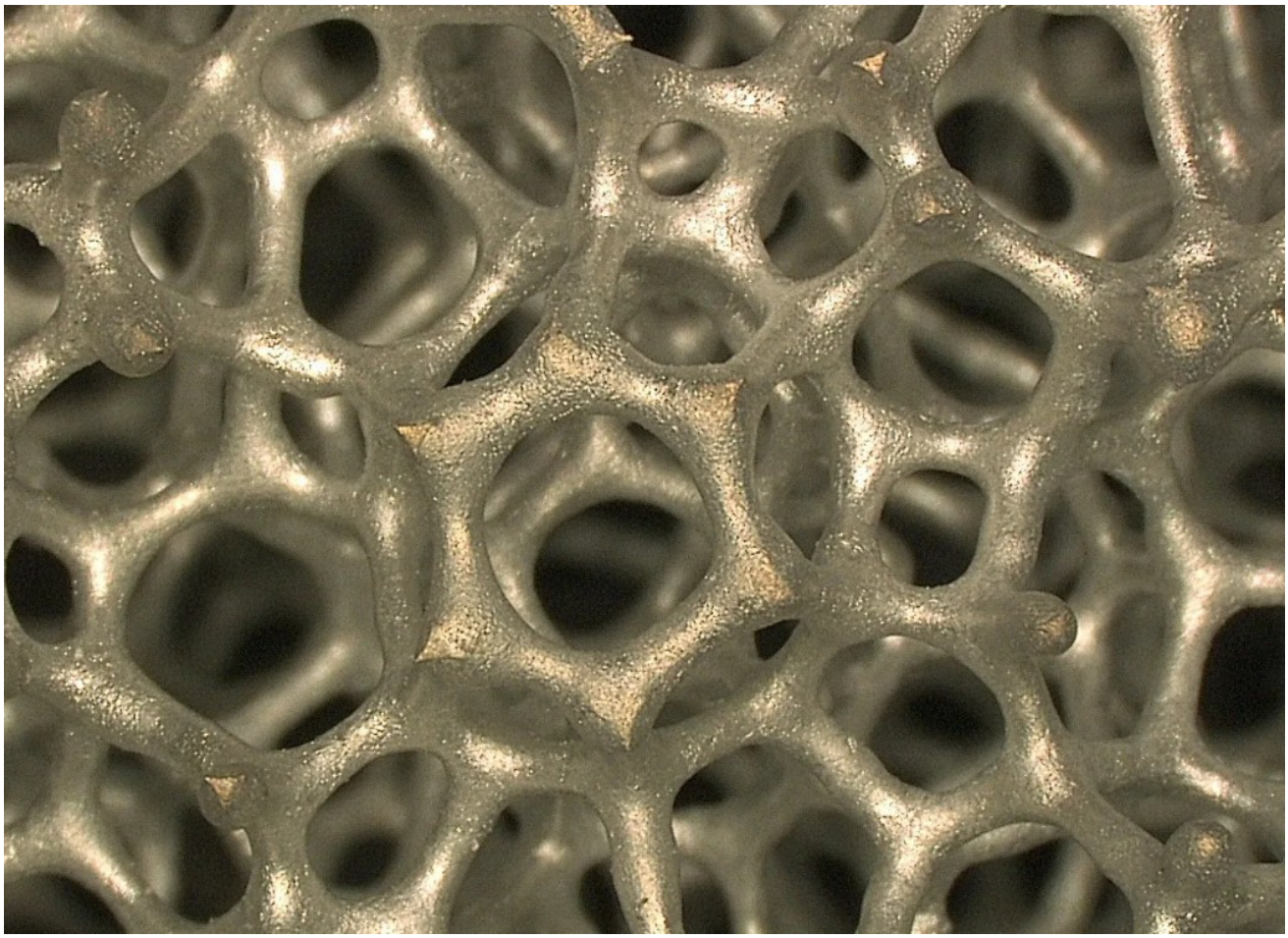
По результатам исследования можно сделать вывод то, что разработка новых материалов необходимо для бурного развития отечественной промышленности. Мы знаем, что большая часть высокотехнологичной продукции ввозятся в Россию в основном из заграницы, т.к. изделия отечественного производства неконкурентоспособны или не отвечают по тем или иным техническим характеристикам. При падении цен на сырьевые товары, нефть в отечественной экономике неизбежны кризисные явления. Для обеспечения устойчивого развития России необходима структурная перестройка производства и использование инновационных материалов, таких как композиты и технологии их производства. Новые материалы могут быть более легкими, прочными, износостойкими и экологически безопасными, что может повысить конкурентоспособность отечественных товаров на рынке. Однако для разработки новых материалов и проведения исследований необходимо значительное количество времени и ресурсов. Поэтому, государство и частные компании должны инвестировать в научно-исследовательские центры и лаборатории для разработки новых материалов и технологий их производства, чтобы обеспечить устойчивое развитие отечественной промышленности.

1.3 Пористый алюминий и его использование

Специалистам японской компании *Sumitomo Electric* удалось разработать технологию получения пористого алюминия.

Новый материал характеризуется объемной сетчатой структурой, которую хорошо видно на иллюстрации. По данным разработчиков, пористость достигает 98%, структура представлена на рисунке 1.2. Это гораздо больше, чем у других пористых форм металлов, таких, как вспененный металл и нетканый материал из металлических волокон. Его можно изготовить при помощи резки и штамповки, то это открывает еще более широкие возможности применения, так как можно будет создавать детали различной формы и сложности, что важно во многих отраслях промышленности.

Кроме того, объемная сетчатая структура может обеспечить хорошую прочность и жесткость материала. Возможно, этот материал станет более популярным в будущем, если его цена и производственные технологии станут более доступными для широкого использования в различных отраслях промышленности.



×1000

Рисунок 1.2 – Структура пористого алюминия

В литиево-ионных аккумуляторных батареях сейчас используются коллекторы тока из алюминиевой фольги, а в конденсаторах – алюминиевые обкладки. Используя в конструкции литиево-ионных аккумуляторных батарей и конденсаторов *Aluminum-Celmet*, можно существенно увеличить их емкость. По оценке разработчиков, выигрыш может составить от 1,5 до 3 раз. С другой стороны, можно настолько же уменьшить габариты при сохранении емкости. Производитель уже установил небольшую производственную линию, чтобы ускорить дальнейшую разработку и освоение технологии в массовом производстве [15].

Пониженная теплопроводность может быть полезна в тех случаях, когда нужно сократить потери тепла, и может использоваться в термических изоляционных материалах и промышленных конструкциях.

Поглощение энергии удара делает пористый алюминий привлекательным для использования в автомобильной и авиационной индустрии, где важно обеспечить безопасность для пассажиров при возможных столкновениях.

Высокий коэффициент звукопоглощения означает, что пористый алюминий может использоваться для создания звукопоглощающих материалов, таких, как панели для звукоизоляции в зданиях или звукопоглощающие элементы в автомобилях.

Высокая удельная прочность делает пористый алюминий привлекательным для использования в технических конструкциях, где важна высокая прочность при небольшом весе, например, в авиационной и космической промышленности.

Возможность регулировать размер пор от 1 до 5 мм, рисунок 1.3, дает большой процент свободной площади, что может быть полезно в процессах фильтрации для обеспечения максимальной эффективности и производительности.

И наличие различных плотностей пористого алюминия предоставляет возможность для выбора наиболее подходящего материала в зависимости от конкретных потребностей и целей.

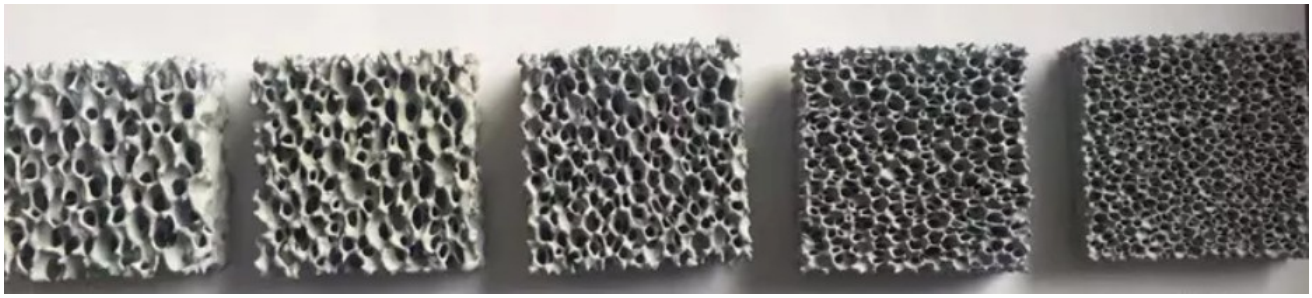


Рисунок 1.3 – Плотность пор в пористом материале

Возможности применения:

а) Шумоглушители. Пористый алюминий используется в конструкциях шумоглушителей, в которых путем декомпрессии шум, возникающий от выхода газа, уменьшается (например, в пневматических установках и компрессорах). Шумогасящие элементы, изготовленные из неплотно спеченных порошков

бронзы или, стали, довольно дороги. Пористый алюминий, полученный литейным способом, может быть при изготовлении сочленен со сплошным металлом с резьбой, и соединение с выходом газа при этом становится простым. Первые технические испытания показали, что таким образом достигаются по крайней мере те же результаты, что и у спеченной бронзы.

б) Фильтры. Область применения пористого алюминия в качестве фильтров довольно широка. Ими можно отделять твердые частички, например, песок или пыль, от жидкостей или газов.

в) Теплообменники. Высокая теплопроводность алюминия предполагает использование пористых конструкций из этого металла с развитой поверхностью для теплообмена между жидкостями, газами или между жидкостью и газом.

1.4 Патентный поиск

Патентные исследования – это исследования технического уровня и тенденций развития объектов техники, их патентоспособности, патентной чистоты, конкурентоспособности на основе патентной и другой информации.

Цель исследования – способы получения пористого композиционного материала на основе алюминия.

Регламент патентного поиска – план поиска. Он состоит из определения вида исследований, вида поиска, его глубины и широты. В регламент входит выбор источников информации, по которым будет вестись поиск аналогов объекта, а также индекс международная патентная классификация. Источники информации выбирают исходя из установленных областей поиска, учитывая при этом реальную доступность этих источников.

Выбранные элементы регламента приведены в таблице 1.1. В ней записаны индексы МПК, в заголовке таблицы регламента указано общее название исследуемого объекта.

Исследуемый объект – пористый алюминий.

Предмет поиска – метод получения пористого алюминия.

Вид исследований и вид поиска – патентные исследования, тематический поиск.

Наименование информационной базы (фонда) – Патентные фонды Федерального института промышленной собственности (ФИПС).

Таблица 1.1 – Регламент поиска

Предмет поиска	Индекс МПК	Широта поиска	Глубина поиска	Источник информации
Пеноалюминий	*B*22*F* 7/02, *C*22*C* 1/08, *B*22*F* 3/24.	Россия	15 лет	Реестр изобретений РФ ФИПС
Литье пористых материалов	*B*22*D* 25/00	Россия	15 лет	Реестр изобретений РФ ФИПС
Пористые композитные материалы	*B*22*F* 3/11, *C*22*C* 1/08. *B*22*F* 3/23	Россия	15 лет	Реестр изобретений РФ ФИПС
Композитный материал на основе пеноалюминия	*B*22*F* 3/11 *C*22*C* 1/08.	Россия	15 лет	Реестр изобретений РФ ФИПС
Пористые изделия из алюминия	*B*22*F* 3/11 *C*22*C* 1/08.	Россия	15 лет	Реестр изобретений РФ ФИПС

*B*22*F* 7/00изготовление составных слоистых материалов, заготовок или изделий с использованием металлических порошков путем спекания порошка с одновременным уплотнением или без него.

*C*22*C* 1/00– сплавы с открытыми или скрытыми порами.

*B*22*F* 3/00– изготовление заготовок или изделий из металлических порошков, характеризующееся методом уплотнения или спекания; устройства, специально предназначенные для этого.

*B*22*D* 25/00– Специальное литье, обуславливаемое специфической формой изделий или физическими свойствами материалов.

*B*22*F* 3/00– Изготовление заготовок или изделий из металлических порошков, характеризующееся методом уплотнения или спекания; устройства, специально предназначенные для этого.

Результаты патентного обзора приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Результаты патентного обзора

Предмет поиска (объект исследования, его составные части)	Страна выдачи, вид и номер охранного документа. Классификационный индекс МПК	Заявитель (патентообладатель) номер заявки, страна, дата публикации	Название изобретения (полной модели, образца)
1	2	3	4
Способ изготовления материалов в виде плит пеноалюминия большой толщины	Россия, патент, *RU* 2 393 061 *C*1 *B*22*F* 7/02, *C*22*C*1/08, *B*22*F* 3/24	Открытое акционерное общество Акционерная холдинговая компания "Всероссийский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт металлургического машиностроения имени академика Целикова" (ОАО АХК «ВНИИМЕТМАШ» № 2008145690 Россия 27.06.2010	Способ получения слоистых плит из пеноалюминия [27]
Изобретение относится к области металлургии и может быть использовано для получения пористых изделий	Россия, патент, *RU* 2 292 253 *C*1 *B22D25/00*	Пензенский государственный университет № 2005113640 Россия 21.01.2007	Способ получения литых деталей [28]
Получение пористых многослойных проницаемых материалов	Россия, патент, *RU* 2 713 763 *C*1 *B22F 3/11, C22C 1/08. B22F 3/23*	Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Самарский государственный медицинский университет" Министерства здравоохранения Российской Федерации № 2012112034 Россия 10.06.2014	Способ получения пористых материалов [29]
Получение изделий из композиционных материалов на основе пеноалюминия	Россия, патент, *RU* 2 444 417 *C*1 *B22F 3/11 C22C1/08*	Колеров Владимир Сергеевич (*RU*), Манцевич Николай Маркович (*RU*) № 2010133514 Россия 10.03.2012	Способ получения изделий из композиционного материала на основе пеноалюминия [30]

Продолжение таблицы 1.2.

1	2	3	4
Изобретение относится к порошковой металлургии, в частности к получению пористых изделий на основе пеноалюминия.	Россия, патент, *RU* 2 450 892 *C*1 *B22F 3/11 C22C 1/08*	Колеров Владимир Сергеевич (*RU*), Манцевич Николай Маркович (*RU*) № 2010145791 Россия 20.05.2012	Способ получения пористых материалов на основе пеноалюминия (изделий) из алюминиевых сплавов [31]

На основании проведенного патентного анализа можно сделать вывод о том, что разработка технологии получения пористого алюминия является актуальным и перспективным направлением современного материаловедения.

Все существующие способы получения пористого алюминия имеют какие-то недостатки. Например, метод вспенивания плавления приводит к неравномерной пористости материала и трудно контролируемой структуре, что приводит к неоднородности свойств материала. Кроме того, процесс получения пористого алюминия методом электрохимического оксидирования, также известного как метод Анохина, является дорогостоящим и длительным.

Поэтому разработка новых методов получения пористого алюминия может быть очень полезна в улучшении качества получаемых изделий, а также в повышении производительности и эффективности процесса производства. Например, новый метод может предоставить возможность создавать более равномерную структуру с более высокой пористостью, что может расширить область применения материала.

Кроме того, разработка новых методов может помочь снизить стоимость производства пористого алюминия и сделать его более доступным для широкого использования в различных областях промышленности.

Исходя из этого, дальнейшая разработка новых способов получения пористого алюминия будет очень важной для улучшения его свойств и

расширения области применения в научных, технических и медицинских областях.

Пористые материалы, в том числе алюминий, могут употребляться в качестве накопителей жидкости для последующей ее дозированной подачи, например, в пористых валках, в деталях подшипников скольжения (поры заполняют смазкой). При подаче газа через пористые материалы его можно использовать как воздушный подшипник. Пористый алюминий благодаря своей теплопроводности применяется в конструкциях пламегасителей. Помимо этого, получаемый материал можно использовать для фильтрации воды или воздуха за счет малого размера пор. Так же стоит заметить, что пористый материал является хорошим шумопоглатитетем, что способствует его использования для производства шумозащитных ограждений и металлических оболочек, заглушающих посторонний звук.

На основе литературно – патентного анализа можно сделать следующие выводы:

а) разработка способов получения пористого алюминия является актуальной;

б) существующие способы не совершенны и имеют ряд недостатков;

в) определены механические свойства пористого алюминия, полученного различными способами;

г) необходимо уточнить технологию получения пористого алюминия с помощью центробежного литья, модернизировать машину центробежного литья, создать методику проведения экспериментов, исследовать полученные образцы.

2 Материалы, оборудование и методы исследования композиционной заготовки для получения пористого алюминия

При производстве пористого алюминия вода и водорастворимый наполнитель имеют важное значение. Вода играет роль растворителя для наполнителя, а также позволяет следить за процессом пропитки. Наполнитель же добавляется для создания пористой структуры материала.

При выборе водорастворимого наполнителя необходимо учитывать, что он должен быть хорошо растворим в воде, обладать высокой диффузионной способностью, не взаимодействовать с алюминием и не оставлять остатков после пиролиза.

Одновременно с этим, при выборе алюминиевого сплава следует обращать внимание на его химический состав, механические свойства и возможность его использования в процессе формования. Например, для получения изделий с более высокой прочностью могут использоваться сплавы с добавлением других металлов, таких как медь или магний.

Таким образом, правильный выбор исходных материалов для получения пористого алюминия является важным этапом производства и влияет на конечные свойства изделия.

2.1 Требования к наполнителю

Структура пористого алюминия не будет точной копией наполнителя, так как процесс формирования пористой структуры зависит от химических и физических свойств материалов, а также условий проведения процесса.

Тем не менее, размер пор в пористом алюминии будет зависеть от размера зерен наполнителя, так как они являются шаблоном процесса формирования пор. Большие зерна наполнителя могут привести к более крупным порам, в то время как мелкие зерна могут привести к более мелким порам.

Воздушная манжета, рисунок 2.1, образующаяся в зоне контакта расплава и зерен наполнителя, также может влиять на структуру пористого алюминия. Её геометрия будет зависеть от химических и физических свойств материалов и условий проведения процесса.

Таким образом, структура пористого алюминия будет уникальной для каждого метода его получения и зависит от многих факторов.

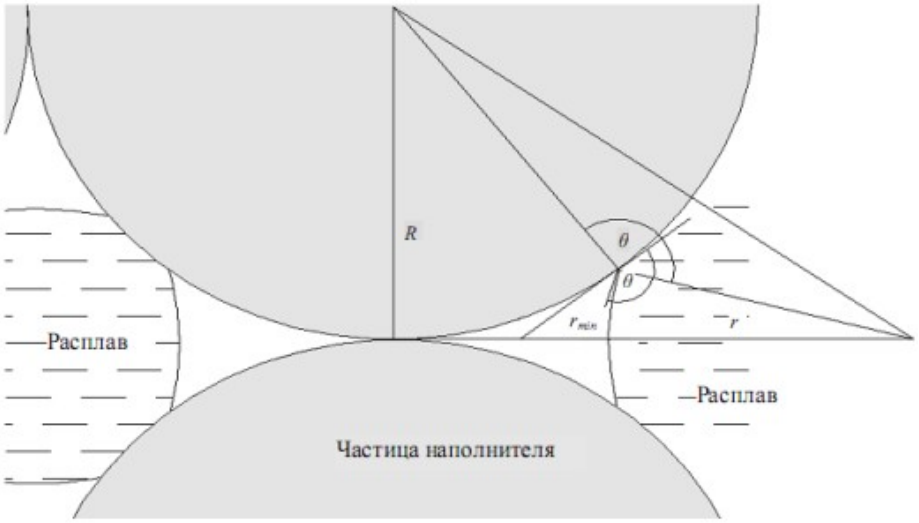


Рисунок 2.1 – Формирование структур пористого композитного материала

К порообразующему наполнителю применяют требования, определяемые техническими, экономическими и экологическими рамками:

− Температура перехода из твердого состояния в жидкое должна быть выше температуры заливки расплава.

− Наполнитель не должен смачиваться расплавом матричного металла. В противном случае частицы наполнителя при невысоких скоростях пропитки будут со всех сторон окружены расплавом, что сделает удаление наполнителя из тела отливки крайне затруднительным.

− Наполнитель должен быть химически инертен к расплаву, в том числе в растворителе к окислительной среде в процессе подогрева;

− Наполнитель должен хорошо вымываться из тела отливки в растворителе или любым другим доступным способом.

Поскольку наиболее дешевым растворителем является вода, выбор водорастворимых наполнителей очевиден. Оборотной стороной высокой скорости растворения представляется высокая гигроскопичность. Применение гигроскопичных материалов значительно повышает энергоемкость и сложность технологического процесса:

− Стоимость наполнителя не должна быть высока;

− Коэффициент самодиффузии не должен быть большим для предотвращения спекания зерен в процессе подогрева;

− Зерна наполнителя должны обладать достаточной прочностью, чтобы не разрушаться при передвижениях в технологическом процесс, а также при заливке расплава под влиянием давления металла.

Материалами, наиболее подходящими под вышеперечисленные критерии, являются - неорганические соли. Их характеристики (кроме смачивания их металлами) приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1− Характеристики неорганических солей.

Характеристики		*Na3PO4*	*K3PO4*	*Mg2SO4*	*Na2CO3*	*NaCl*	*KCl*
Температура плавления, К [31]		1613	1613	1400	1125	1076	1049
Коэффициент диффузии в воде, 10-5см^2/с [33]		47	47	73	0,45	1,49	1,73
Предельная концентрация в воде г/л [33]:	при 273 К	5,9	76,4	25,8	9	32	49-
	при 373 К	94,1	172,5	50,8	46,7	38,4	54
Стоимость наполнителя, руб./кг. [32]		88	126	100	47	36	84
ПДК наполнителя в воде, мг/л [34]		250	250	500	-	350	350
Коэффициент самодиффузии, см^2/с [34]	Ионов металлов	-	-	-	-	75,9	137
	Кислотных остатков	-	-	-	-	68,7	172
Модуль объёмной упругости, МПа [33]		-	-	-	-	18,6	26,5

Анализ табл. 2.1. Указывает на то, что тринатрийфосфат нецелесообразно использовать из-за высокой гигроскопичности, а фторид калия из-за токсичности. Остальные рассмотренные минералы имеют схожие физико-химические и экологические показатели, но стоимость *NaCl* значительно меньше, что способствует выбору этого материала в качестве порообразующего наполнителя для отливок с алюминиевой матрицей. Смачивание предлагаемых в качестве наполнителей неорганических солей расплавленными металлами не изучалось в исследованной литературе [17]. Факт несмачивания расплавом алюминия *NaCl* и некоторых других неорганических солей был установлен в работе, но углы смачивания в исследованной литературе отсутствуют

Для достижения необходимых характеристик пористого композитного материала на основе алюминия допускается использование специальных

добавок. [19]. Такой добавкой может является графитовый порошок. Допускается его присутствие от 0,5 до 2 % от общей массы. Добавление графита позволяет увеличить прочность получаемой отливки путем снижения трения меж частицами наполнителя.

Согласно выше написанному были проведены эксперименты по использованию гранулированной целлюлозы в качестве наполнителя. Чтобы избежать сгорания целлюлозы в процессе пропитки, было использовано вакуумирование. Отличительной особенностью такого наполнителя является то, что он обладает очень низкой теплопроводностью, поэтому не требует процедуры прогрева, что было самым узким местом технологического процесса. Однако, отсутствие промышленных технологий производства этого материала ограничивает его эксплуатацию.

2.2 Требования к основе

Одним из наиболее распространенных сплавов для производства пористого литого алюминия является *Al-Si*. Данный сплав характеризуется высокой коррозионной стойкостью и устойчивостью к образованию пор в процессе литья. Возможно также использование сплавов системы *Al-Mg-Si*. Однако следует учитывать, что при содержании магния и кремния, выходящем за пределы оптимального соотношения, могут возникать проблемы с качеством отливок и их коррозионной стойкостью.

Таким образом, при выборе алюминиевого сплава для производства пористого алюминия следует учитывать его коррозионную стойкость и наличие вредных примесей, таких как железо и медь. Сплавы системы *Al-Si* и *Al-Mg-Si* обычно хорошо подходят для данного процесса, однако необходимо соблюдать определенное соотношение между концентрацией магния и кремния для обеспечения оптимального качества отливок.

Таким образом, для обеспечения высокой коррозионной стойкости пористого литого алюминия рекомендуется использовать чистые компоненты

при шихтовке сплава или чистый алюминий не ниже А85. При использовании сплавов системы Al-Si следует соблюдать определенное соотношение между компонентами для обеспечения оптимальной коррозионной стойкости. Для экономии энергии рекомендуется использовать газовые шахтнованные печи с последующей очисткой расплава алюминия хлорными солями.

Основой технологии получения пористого литого алюминия является пропитка порообразующей засыпки. Для описания этого процесса засыпка наполнителя моделируется – системой шаров. Согласно схеме формирования пористой структуры, после пропитки наполнителя расплавом размер шаров ($2R$) рассчитывается как среднеарифметическое по границам фракции. В рамках этой модели рассчитан гидравлический радиус капилляра r и необходимое для пропитки капиллярное давление $P_{кап}$ по формуле Лапласа:

$$P_{кап} = \frac{2\cos}{r}, \qquad (2.1)$$

где $P_{кап}$ – капиллярное давление, Н/м^2;

σ – поверхностное натяжение на границе жидкий алюминий – наполнитель, Н/м;

θ – краевой угол смачивания, градусы;

r – радиус капилляра, м.

Геометрия пористой среды представляется объемным капилляром, представленном на рисунке 2.2. Пористость системы остается неизменной.

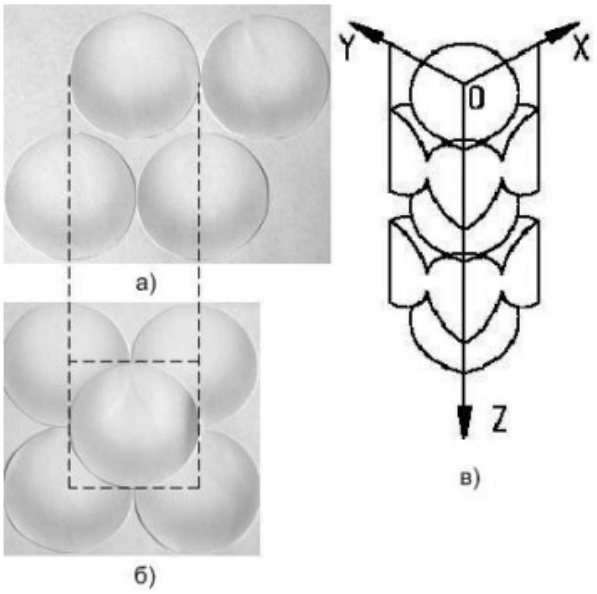


Рисунок 2.2 – Модель объемного капилляра: а) – вид сбоку; б) – вид сверху; в) – общий вид

Для производства пористых алюминиевых отливок чаще всего используются сплавы на основе алюминия и кремния, которые обеспечивают хорошую коррозионную стойкость и механические свойства. Например, сплавы серии АК с содержанием кремния около 7-12% придают пористому алюминию высокую прочность и стойкость к коррозии.

Также при производстве литых пористых алюминиевых изделий часто используют сплавы на основе алюминия, меди и магния (сплавы серии АМС). Эти сплавы отличаются более высокой прочностью и жесткостью по сравнению с сплавами на основе алюминия и кремния. Однако они могут быть более подвержены коррозии, поэтому при их использовании особое внимание необходимо уделять антикоррозионной обработке.

При контакте с воздухом алюминий реагирует с кислородом, образуя на своей поверхности тонкую оксидную пленку. Эта пленка является очень плотной и защищает металл от дальнейшей коррозии, что является одним из главных преимуществ алюминия.

Большинство примесных элементов приводят к образованию менее плотных участков оксидной пленки. В пребывании водного раствора *NaCl* в дефектных участках оксидного слоя возникают локальные элементы. При этом

алюминий в алюминий в анодной области разлагается с образованием ионов, формула 2.2:

$$Al = A\,l_3 + 3\,e, \tag{2.2}$$

Свободные электроны движутся к локальному катоду, в формуле 2.3 представлено образование ионов гидроксила:

$$2\,H_2O + O_2 + 4\,e = 4\,OH, \tag{2.3}$$

В 3 % растворе *NaCl* экспериментально измеренный электродный потенциал алюминия, покрытого оксидной пленкой Al_2O_3, равен - 0,55 В, что близко к термодинамической устойчивости такого расположенного к коррозии металла, как железо. Коррозия, в зависимости от природы металла, агрессивности среды и других факторов, приводит к различным видам разрушений. По характеру коррозионного разрушения отмечают общую, или сплошную, местную и растрескивающуюся коррозию [220].

Таким образом, для повышения коррозионной стойкости пористых алюминиевых отливок необходимо использовать сплавы с минимальным содержанием железа и меди, а также регулировать содержание неметаллических частиц. Наличие интерметаллидов *p-AlFeSi* в оксидной пленке может значительно уменьшить коррозионную стойкость, поэтому желательно использовать сплавы с интерметаллидами *a-AlFeSi* (Мп). Добавка марганца может перевести железо в интерметаллиды *a-AlFeSi* (Мп), что улучшит коррозионную стойкость, а сплавы системы *Al-Si* обладают немного более повышенной коррозионной стойкостью, чем чистый алюминий, благодаря инертности кремния в большинстве коррозионных сред. Однако присутствие примесей в сплавах системы *Al-Si* снижает их коррозионную стойкость.

Сплавы *Al-Mg* имеют наибольшую коррозионную стойкость, чем чистый алюминий. Удельный объем образованной на этом сплаве оксидной пленки больше. Особенно эффективно применение сплавов системы *Al-Mg* в солевом и слабощелочном растворах, сплавы системы *Al-Mg-Si* имеют очень высокую коррозионную стойкость при образцовым соотношение концентрации магния и

кремния. Избыток магния не сильно влияет на коррозионную стойкость, а при превышении содержания кремния в отличие от остального материала образуется обедненная пограничная зона с электроотрицательным потенциалом, что приводит к межкристаллической коррозии. В сплавах системы *Al-Zn-Mg* добавление цинка несколько уменьшает скорость межкристаллитной коррозии. Так же увеличивает склонность к коррозии под напряжением, что делает невозможным их применение под нагрузкой. С коррозионной стойкостью связан и внешний вид отливок, который приходится важным фактором. Не поврежденная коррозией поверхность чистого алюминия покрыта блестящей оксидной пленкой. Отражательная способность алюминиевых сплавов несколько меньше.

Пористый литой алюминий имеет свои ограничения в использовании из-за низких механических свойств и низкой коррозионной стойкости. Несмотря на это, он может быть применен в ряде областей, где не требуется высокая прочность или стойкость к коррозии, например, в декоративных изделиях, поделочной промышленности, электрооборудовании и т.д. Покупные сплавы с минимальной температурой плавления системы *Al-Si* могут использоваться для снижения энергозатрат на производство изделий. Однако, при выборе сплава следует учитывать требования к механическим свойствам и коррозионной стойкости, чтобы обеспечить надежность и долговечность конечного изделия.

Действительно, сплавы системы Al-Si-Mg, включая АК7, могут иметь достаточно высокие механические свойства без термообработки. При производстве пористого алюминия требуются широкие интервалы кристаллизации и низкая усадка, чтобы предотвратить появление концентрированных усадочных покрытий. Кроме того, небольшая температура заливки может снизить энергопотребление на нагрев наполнителя. Цена сплава не является основным фактором при выборе для производства пористого литого алюминия, так как его доля в себестоимости готовой продукции невелика. Поэтому для дальнейших экспериментов был выбран сплав АК7.

2.3 Приборы и методы исследования композиционной заготовки, полученной центробежным литьем

Для проведения экспериментов необходимо было провести рассев поваренной соли на фракции с одинаковым размером зерна. Для этих целей использовалось техническое сито модели 029 (Рисунок 2.3). После рассева было получено 10 фракций с размерами зерна: 1) от 0,05 до 0,063 мм; 1) от 0,063 до 0,1 мм; 3) от 0,1 до 0,16 мм; 4) от 0,16 до 0,2 мм; 5) от 0,2 до 0,315 мм; 6) от 0,315 до 0,4 мм; 7) от 0,4 до 0,63 мм; 8) от 0,63 до 1 мм; 9) от 1 до 1,6 мм; 10) от 1,6 до 2,5 мм. Для простоты будем называть фракцию поваренной соли по наибольшему значению. Например, фракцию от 0,2 до 0,315 будем называть фракция с размером зерна 0,315 мм, от 0,315 до 0,4 – фракция с размером 0,4 мм и т.д.

Так как наилучшими свойствами обладают алюминиевые пористые материалы с одинаковым размером пор, то нужно использовать монофракцию соли. Зерна поваренной соли, использующиеся в экспериментах, имеют осколочную форму (рисунок 2.4).

Далее отмерялась навеска поваренной соли на весах модели ВА-4М.

Рисунок 2.3 – Техническое сито модели 029М

Рисунок 2.4 – Зерна поваренной соли

2.3.1 Центробежная установка

Для проведения исследования влияния центробежных сил на качество композиционной заготовки для получения пористого алюминия было проведено ряд экспериментов. Для этого была модернизирована и использована экспериментальная установка для центробежного литья с вертикальной осью вращения. Чертеж установки показан на рисунке 2.5.

Центробежная машина имеет следующие основные части: основание 2, защитный кожух 6, электродвигатель 9, клиноременная передача, которая состоит из ведущего шкива 5, ведомого шкива 4 и ремня 12, передающего вала 3, коромысла 1 для крепления литейной формы.

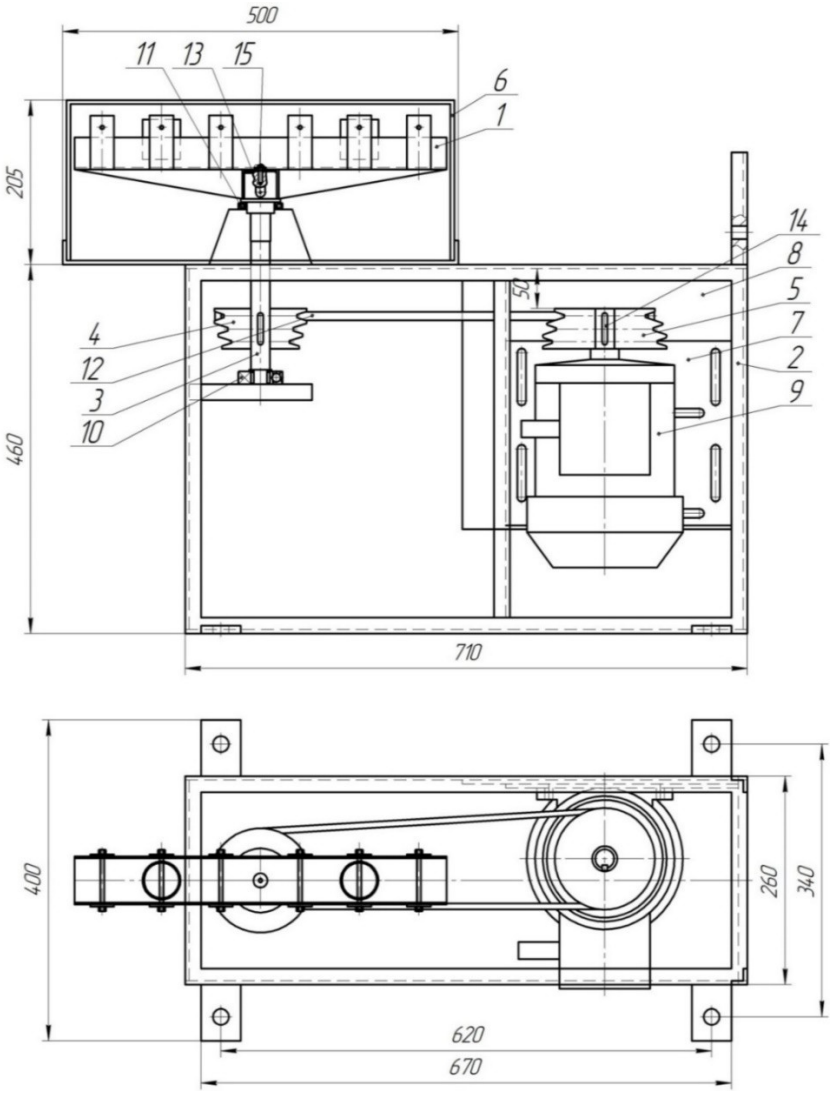


Рисунок 2.5 – Чертеж используемой центробежной установки

Приводом центробежной машине является двигатель переменного тока АИР 90L с постоянной частотой вращения равной 1000 об/мин. Для изменения скорости вращения приводного вала центробежной машины, в ней использована специальная система 7 для перемещения ведущего шкива 5. Это, а также размещение литейной формы 17 на различном расстоянии от оси ращения коромысла 16, позволяет создавать различные центробежные силы, действующие на жидкий металл при пропитке сыпучего наполнителя.

Рисунок 2.6 – Внешний вид центробежной установки

Важным элементом центробежной машины является коромысло 16, конструкция которого, показана на рисунке 2.7. Оно представляет собой деталь, состоящую из швеллера и приваренными к ней: по бокам - пластинами, а к нижней части по центру – основанием, в виде цилиндра с ребрами жесткости. Пластины приварены попарно, симметрично на одинаковом расстоянии относительно оси вращения коромысла. Основание служит для жёсткого закрепления коромысла на валу.

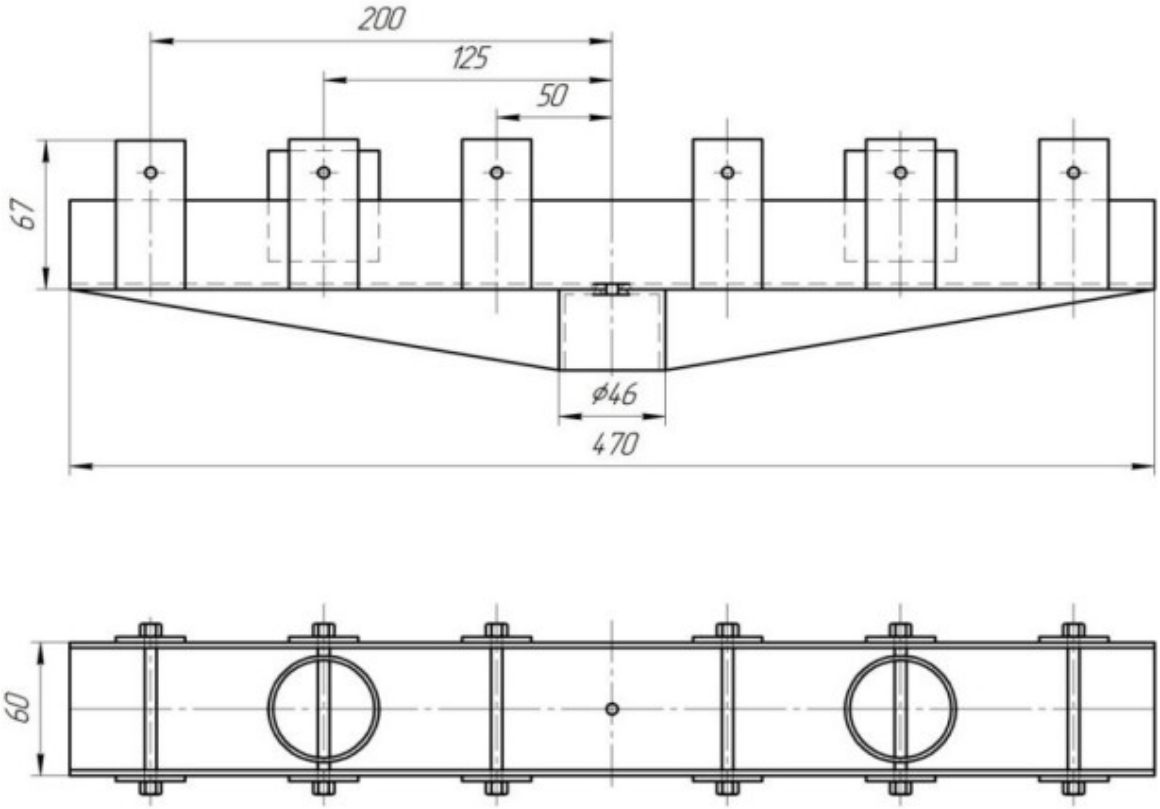


Рисунок 2.7 - Коромысло

На коромысле располагается литейная форма, в которой изготавливается отливка. Форма может располагаться на разном расстоянии от центра вращения (*R*=0,05 м; *R*=0,125 м; *R*=0,2 м), в результате чего значительно изменяется коэффициент гравитации K. Расположение литейных форм на коромысле в статическом положении и в период работы центробежной машины представлены на рисунке 2.8.

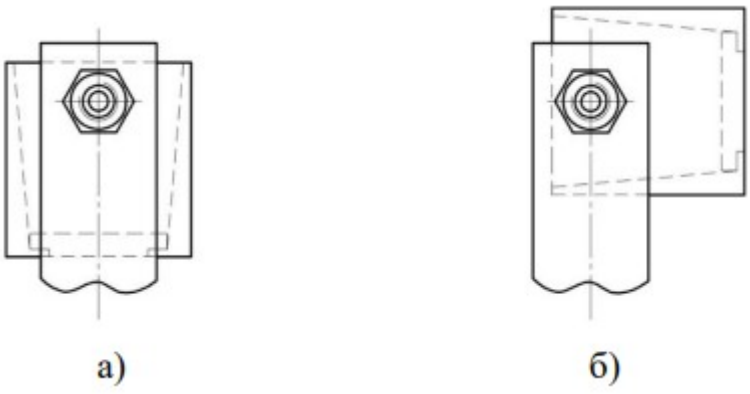


Рисунок 2.8 – Расположение литейной формы на коромысле: а) в статике; б) при вращении

Из рисунка 2.6 б видно, что при работе центробежной машины и вращении коромысла, литейная форма, закрепленная свободно в коромысле, под действием центробежных сил, поворачиваются на 90º. При этом радиус вращения литейной формы вокруг оси вращения машины увеличивается ещё на 3 сантиметра.

Для лучшего извлечения композиционной заготовки из металлической формы, она была изготовлена в виде стаканчика конусообразной формы с легко извлекающимся дном (рисунок 2.9).

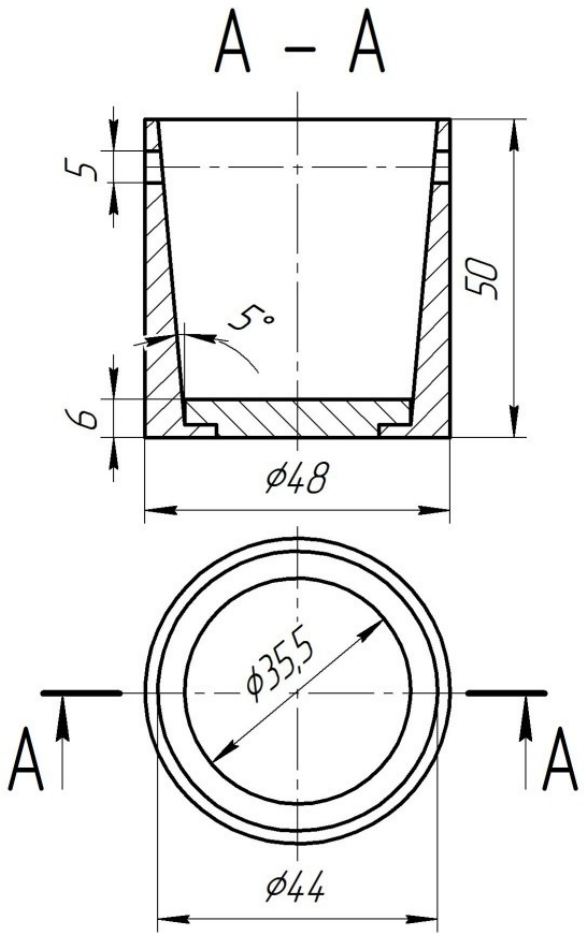


Рисунок 2.9 – Конструкция литейной формы

2.3.2 Приборы для исследования полученных изделий

В полученных композиционных заготовках исследовали размер и величину пор, сочетание больших R и малых r_{min} пор, а также водопроницаемость пористого алюминия.

О качестве композиционных заготовок судили по внешнему виду (заполненности пор сыпучего материала) и водопроницаемости. В свою очередь, водопроницаемость определяли по разности гидростатического напора от h1 до h2 экспериментальной установке, принцип работы которой показан на рисунке 2.10.

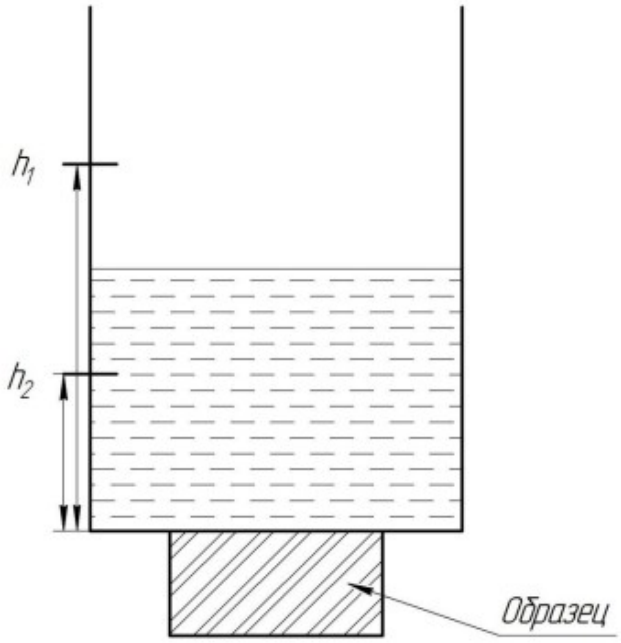


Рисунок 2.10 – Принцип работы установки для определения водопроницаемости пористого алюминия

Основной деталью экспериментальной установки является прозрачная цилиндрическая ёмкость с нанесенными на её боковой поверхности рисками. Они показывают объём внутренней полости ёмкости. К нижней части ёмкости герметично крепится исследуемый образец пористого материала. В ёмкость заливается заданное количество жидкости с известной динамической вязкостью μ. В экспериментах в качестве такой жидкости использовалась вода с динамической вязкостью μ = 1,002× 10^{-3} Н с/м^2. Тогда водопроницаемость пористого алюминия на этой установке можно определить по времени вытекания определённого заданного объёма воды.

Важнейшим показателем качества пористого литого алюминия можно считать коэффициент проницаемости пористой заготовки.

Тогда преобразовав уравнение Дарси, коэффициент проницаемости пористой заготовки, можно определить с помощью следующего уравнения:

$$K = \frac{F_K \mu \cdot h}{F \rho g \tau} \ln \frac{h_2}{h_1}, \quad (2.6)$$

где F_K – площадь поперечного сечения цилиндрической емкости;

h_1 и h_2 – высота уровня воды над исследуемой пористой деталью до проведения эксперимента и после него;

ρ – плотность жидкости;

g – ускорение свободного падения;

F – площадь поперечного сечения пористой детали, через которое фильтруется жидкость;

h – толщина пористой детали в направлении фильтрации воды.

Так как проверяется водопроницаемость пористого алюминия получаемого с помощью центробежного литья, то в качестве жидкости используем воду с плотностью ρ = 1000 кг/м^3. Площадь поперечного сечения цилиндрической емкости F_K = 0,0079 м^2. Площадь поперечного сечения исследуемой пористой детали F = 0,0016 м^2. Толщина пористой детали h = 0,01 м. Высота уровня воды над исследуемой пористой деталью до проведения эксперимента h_1 = 0,3 м и после него h_2 = 0,2 м.

Тогда, если вода вытекает из установки через исследуемый образец на величину от h_1 до h_2 за время τ = 60 секунд, то величина коэффициента пористой алюминиевой заготовки составит $K_n = 0{,}4 \times 10^{-11}$. Если за это же время высота жидкости падает меньше, то коэффициент проницаемости K_n будет меньше этого критического значения. Все пористые алюминиевые заготовки с K_n меньше $0{,}4 \times 10^{-11}$ считали браком.

Микроструктуру композиционных заготовок для пористого алюминия определяли на микроскопе Альтами МЕТ 6С (рисунок 2.11).

Рисунок 2.11 – Микроскоп Альтами МЕТ 6С

2.4 Методика исследования

Методика проведения экспериментов по влиянию режимов работы центробежной машины на качество композиционной заготовки заключались в следующем:

а) Просеивание наполнителя по фракциям;

б) Нагрев наполнителя совместно с формой;

в) Установка формы в машину;

г) Заливка в форму расплава металла;

д) Пропитка наполнителя расплавленным металлом путем центробежной силы;

е) Извлечение заготовки;

ж) Механическая обработка полученных образцов;

и) Вымывание наполнителя из тела образца.

Схематически процесс получения пористого алюминия представлен на рисунке 3.1.

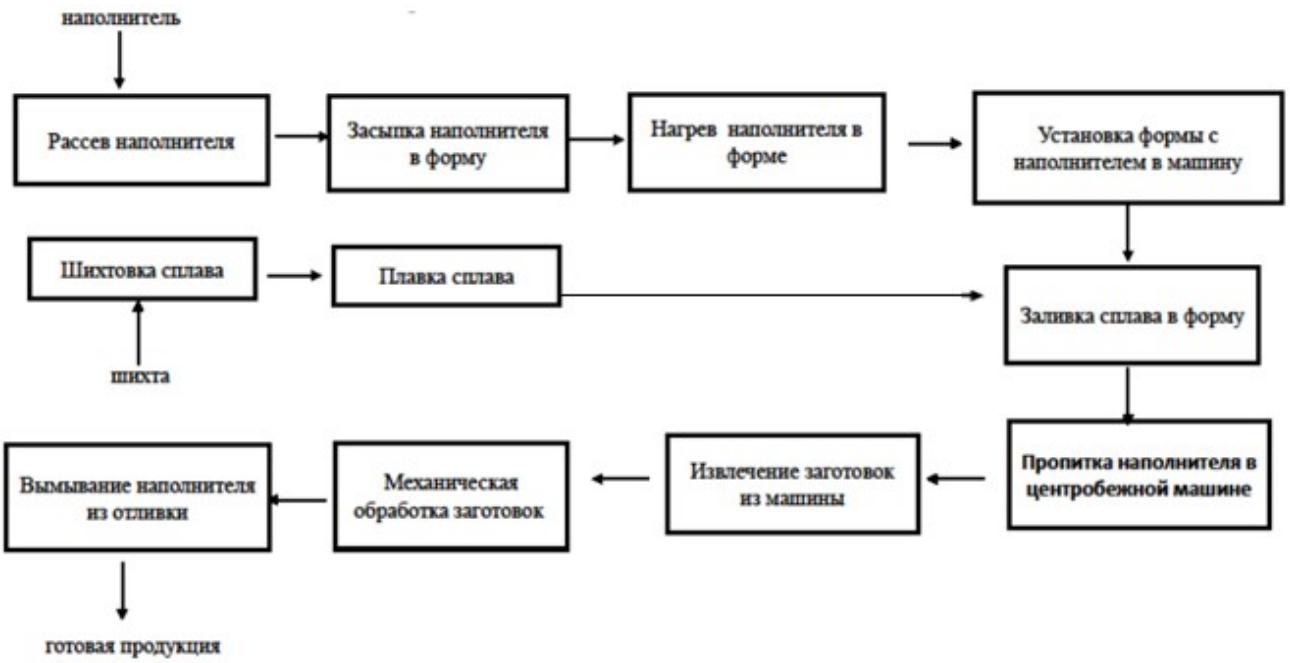


Рисунок 3.1 – Типовая схема изготовления пористых материалов

Зерна наполнителя имели неправильную – осколочную форму. По-видимому, это не является оптимальным решением, так как при использовании глобулярных зерен качество пористого алюминия было бы лучше.

Для проведения экспериментов на центробежной установке масса навески соли составляла 0,025 ± 0,001 кг. После взвешивания на весах модели ВМ510Д, соль засыпалась в металлические формы. Формы вместе с наполнителем нагревали в камерной электропечи сопротивления марки МП – 10 до температуры

720 ºС. Для предупреждения спекания соли её перемешивали в процессе нагрева два раза. После того как формы с наполнителем нагреются до заданной температуры их помещали в установку. Затем на поверхность засыпки наполнителя заливали расплав, предварительно расплавленный и перегретый до заданной температуры. Плавку сплава производили в лабораторной электропечи сопротивления модели СШОЛ 60/12. Оценку температуры наполнителя определяли по встроенному в печь термометру, а жидкого алюминия с помощью хромель-алюмелевой термопары. Затем вращающиеся части установки закрывалась защитной крышкой, и центробежная машина приводилась в действие.

Эффективность работы центробежной машины определяется коэффициентом гравитации *K*. Он является комплексным показателем, который учитывает несколько важнейших факторов, характеризующих центробежную машину. Коэффициентом гравитации *K* показывает во сколько раз сила, действующая на заливаемый металл больше силы тяжести [15]. Он определяется по формуле:

$$K = \frac{4\pi^2 R n^2}{g}, \qquad (3.1)$$

где *R* - радиус вращения отливки, м,

n - частота вращения, $с^{-1}$.

Диаметры ведущего шкива d_{11}=0,15 м, d_{12}=0,14 м, d_{13}=0,12 м.

Диаметры ведомого шкива d_{21}=0,09 м, d_{22}=0,1 м, d_{23}=0,11 м.

Для расчета частоты вращения коромысла используется следующая формула:

$$n_2 = \frac{n_1 \times d_1}{d_2}, \qquad (3.2)$$

где n_1 – частота вращения ведущего шкива, $с^{-1}$,

d_1, d_2 – диаметры ведущего и ведомого шкива, м.

Экспериментальная установка позволяет изменять коэффициент гравитации K в широких пределах, изменяя режимы её работы (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Изменение коэффициента гравитации K, от режимов работы центробежной машины

Вариант	Диаметры шкивов, м		Частота вращения изложницы n_2, $с^{-1}$	Передаточное число u	Коэффициент гравитации K		
	Ведущего d_1	Ведомого d_2			При R=0,08 м	При R =0,15м	При R =0,23м
1	0,15	0,9	27,8	1,67	248,8	466,5	715,3
2	0,15	0,1	25,0	1,5	201,2	377,3	578,5
3	0,15	0,11	22,07	1,36	156,8	294,0	450,8
4	0,14	0,09	25,8	1,55	214,3	401,8	616,1
5	0,14	0,1	23,3	1,4	174,8	327,7	502,5
6	0,14	0,11	21,2	1,29	144,7	271,3	416,0
7	0,12	0,09	22,2	1,33	158,7	297,5	456,2
8	0,12	0,1	20,0	1,2	128,8	241,5	370,2
9	0,12	0,11	18,2	1,09	106,6	200,0	306,6

Изменяя сочетание диаметров ведущего и ведомого шкивов и расстояние, на котором закрепляется металлическая форма, можно изменять значения коэффициента гравитации от 128,8 до 715,3.

После каждой серии экспериментов с определённым сочетанием шкивов и расположением литейных форм на коромысле, проводилась перенастройка центробежной машины. Для этого болты, крепящие специальную систему перемещения двигателя (рисунок 2.7) к основанию машины, ослаблялись и оно

перемещалось в специальных пазах на нужное расстояние. Сочетание шкивов ремённой передачи изменялось, что приводило к изменению передаточного числа *u*, а, следовательно, и к изменению коэффициента гравитации *K*.

Так же для изменения *K*, помимо изменения сочетания диаметров шкивов, использовался различный радиус вращения литейной формы на коромысле. Из рисунка 2.5, видно, что имеется 6 точек фиксации литейной формы, по три с каждой стороны относительно центра. При расположении литейных форм ближе к центру коэффициент гравитации уменьшается, а при удалении от него - увеличивается.

Операции по установке форм и заливке металла необходимо выполнять как можно быстрее, чтобы свести к минимуму потери температуры наполнителя. В течение 5 минут работы центробежной машины происходит пропитка наполнителя расплавом под действием центробежных сил и затвердевание отливки. Центробежная машина выключается. Литейная форма с отливками извлекаются из машины. После охлаждается отливка извлекается из формы и проводится необходимая механическая обработка.

3 Влияние режимов работы центробежной машины на качество композиционной заготовки для получения пористого алюминия

3.1 Результаты экспериментального исследования

Для определения технологических параметров процесса получения пористого алюминия с помощью центробежного литья были проведены эксперименты: по влиянию коэффициента гравитации на качество получаемого материала.

При проведении экспериментов базовыми были следующие параметры: сплав АК7 с температурой 750 ℃, размер зерна наполнителя 1 мм, температура нагрева наполнителя 720 ℃. При проведении дальнейших исследований менялся только один параметр - коэффициент гравитации *K*.

Были проведены эксперименты по влиянию перегрузок, создаваемых центробежными силами, на качество композиционной заготовки для получения пористого алюминия. Для этого можно было изменять значения коэффициента гравитации *K* согласно таблице 3.1 в пределах от 107 до 715, но реально исследования проводились для значений *K* от 107 до 616.

Для этого эксперименты проводились следующим образом. Выбиралось определённое соотношение шкивов, устанавливалось на центробежной машине, а затем проводились эксперименты для значений радиуса вращения литейной формы *R*=0,05 м, *R*=0,125 м и *R*=0,2 м.

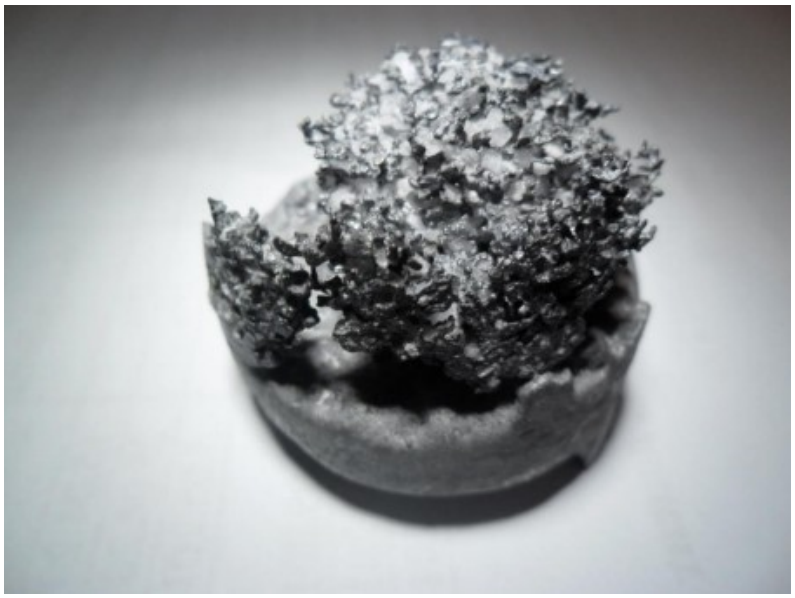
Эксперименты проводились для следующих режимов центробежной машины, таблица 3.2.

Таблица 3.2 – Исследуемые режимы работы центробежной машины

Вариант	Диаметры шкивов, м		Частота вращения изложницы n_2, $с^{-1}$	Передаточное число *u*	Коэффициент гравитации *K*		
	Ведущего d_1	Ведомого d_2			При R=0,05 м	При R=0,125м	При R=0,2м
1	0,14	0,09	25,8	1,55	214	402	616
2	0,14	0,1	23,3	1,4	175	328	503
3	0,14	0,11	21,2	1,29	145	271	416
4	0,12	0,09	22,2	1,33	159	298	456
5	0,12	0,1	20,0	1,2	129	242	370
6	0,12	0,11	18,2	1,09	107	200	307

В результате было установлено, что максимальные и минимальные перегрузки для получения пористых отливок не приемлемы. При низких перегрузках образовывался дефект – не пропитка. При *K* = 107 жидкий металл вообще не затёк в поры наполнителя. Непропитка при значениях *K* = 129 и 145 показана на рисунке 3.2. В этих случаях центробежные силы оказались недостаточны для преодоления капиллярного давления в порах наполнителя и жидкий металл не смог пропитать наполнитель на всю длину заготовки.

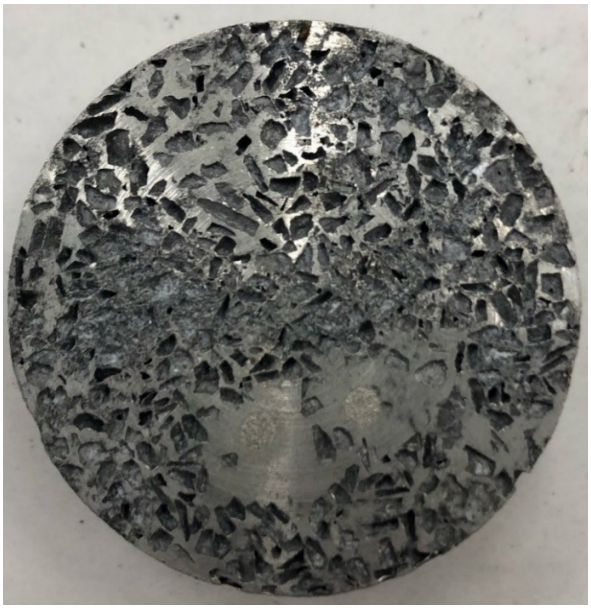
а)



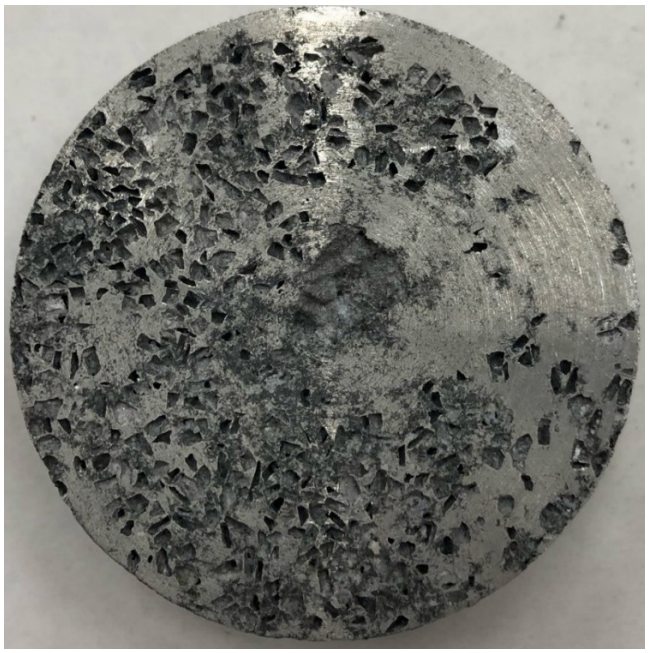
б)

Рисунок 3.2 – Непропитка сыпучего наполнителя для различных значений коэффициента гравитации: а) *K*=129; б) *K*=145

При очень высоких перегрузках пропитка произошла хорошо, но качество пористого алюминия было очень плохим (коэффициент проницаемости жидкости значительно меньше нормы), так как избыточное давление металла значительно уменьшило воздушную манжету и соединение отдельных пор либо вообще отсутствует, либо недостаточно для быстрого удаления растворимого наполнителя. Фотографии образцов представлены на рисунке 3.3.



а)



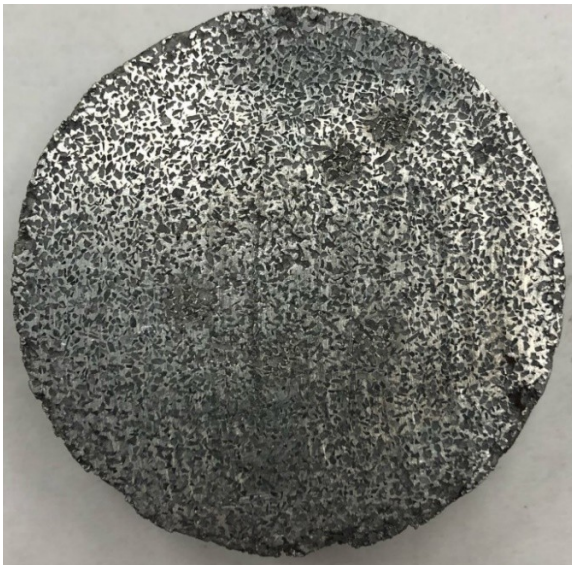
б)

Рисунок 3.3 – Образцы с плохой вымываемостью наполнителя для различных значений коэффициента гравитации: а) K = 402; б) K = 416

Как видно из этого рисунка полного удаления наполнителя не произошло, и часть его остается в теле отливки.

Полученные после пропитки композиционные заготовки, подвергаются механической обработки для открытия поверхностных пор. Затем из заготовок вымывается (выщелачивается) растворимый наполнитель (поваренная соль) после чего пористая деталь готова. Качественные детали из пористого алюминия для различных значений коэффициента гравитации показаны на рисунке 3.4.

а)



б)

Рисунок 3.4 – Качественные детали из пористого алюминия для различных значений коэффициента гравитации *K*: а) *K* = 175; б) *K* = 328

Проведённые эксперименты показали, что оптимальное качество заготовок, и с позиции наилучшей пропитки, и с позиции хорошей вымываемости соли, находится при использовании центробежной машины с коэффициента гравитации *K* от 159 до 370.

3. 2 Влияние режимов работы центробежной машины на вымываемость наполнителя из композиционной заготовки

Важнейшей характеристикой, влияющей на свойства пористого алюминия, получаемого пропиткой поваренной соли центробежным литьем, является его структура. Она в значительной степени зависит от технологии получения композиционной заготовки для изготовления пористого алюминия, поэтому исследование формирования структуры пористого литого металла для под действием центробежных сил является актуальной задачей. По-видимому, на структуру пористого алюминия в значительной степени влияют режимы центробежного литья. Но так как поры в конечной алюминиевой детали получаются в результате вымывания (выщелачивания) поваренной соли из композиционной литой заготовки, то их форма и размеры будут определяться формой размером зерен поваренной соли. Однако из-за того, что расплавленный алюминиевый сплав не смачивает зёрна поваренной соли, между двумя зернами соли образуется воздушный зазор – манжета радиусом r_{min}. Поэтому композиционная литая заготовка, получаемая таким путём, будет иметь пустоты радиусом r_{min}.

При исследовании структуры композиционной заготовки, получаемой пропиткой водорастворимого наполнителя под действием центробежных сил, можно воспользоваться моделью фиктивного грунта [29], так как литой алюминий является обратной репликой, модели фиктивного грунта (рисунок 2.1).

По этой модели композиционная заготовка для получения пористого алюминия характеризуется:

− максимальным радиусом пор R. Эти поры формируются и практически полностью равны радиусу зерна поваренной соли;

− минимальным радиусом пор r_{min}, соответствующим радиусу пор композиционной литой заготовки.

Очевидно, форма и размеры минимального радиуса пор r_{min}, в значительной степени определяются силами, действующими на расплавленный металл в период формирования заготовки. А эти силы в свою очередь зависят от режимов работы центробежной машины: скорости вращения литейной формы n и радиуса вращения заготовки.

Скорость вращения литейной формы n формирует величину избыточного давленияΔP, которое непосредственно влияет на размер минимальных пор r_{min}, и определяется по формуле:

$$n=\sqrt{\frac{Kg}{4\pi^2 Ro}}, \qquad (3.3)$$

где K – коэффициент гравитации;

R_o - радиус вращения отливки, м;

g - ускорение свободного падения, м/с^2.

Для определения влияния технологических параметров на образование минимальных пор можно воспользоваться формулой:

$$r_{min}=\frac{-3\sigma+\sqrt{9\sigma^2-8\sigma R\Delta P cos\theta}}{2\Delta P}, \qquad (3.4)$$

где ΔP – перепад давлений при пропитке,

θ - краевой угол смачивания жидкого алюминиевого сплава и наполнителя (поваренной соли),

σ – поверхностное натяжение на границе жидкого алюминия и наполнителя.

Для подтверждения этих теоретических закономерностей были сделаны микрофотографии сечения заготовки с помощью микроскопа Альтами МЕТ 6 С. Пример микроструктуры пористого алюминия, полученного пропиткой водорастворимого наполнителя центробежным литьем показан на рисунке 3.5.

Исходя из рисунка 3.5 размеры пор почти похожи на размеры зерна используемого наполнителя, в данном случае соли. Так же очевидным фактом является форма пор, и перемычек. Они имеют неправильную форму и различные размеры, что объясняется осколочным характером зерен наполнителя.

С помощью микроструктур определяли площадь сечения отверстий между крупными порами *S*. Радиус отверстий вычислялся по формуле [29]:

$$r_{min}=\sqrt{\frac{S}{\pi}}, \qquad (3.5)$$

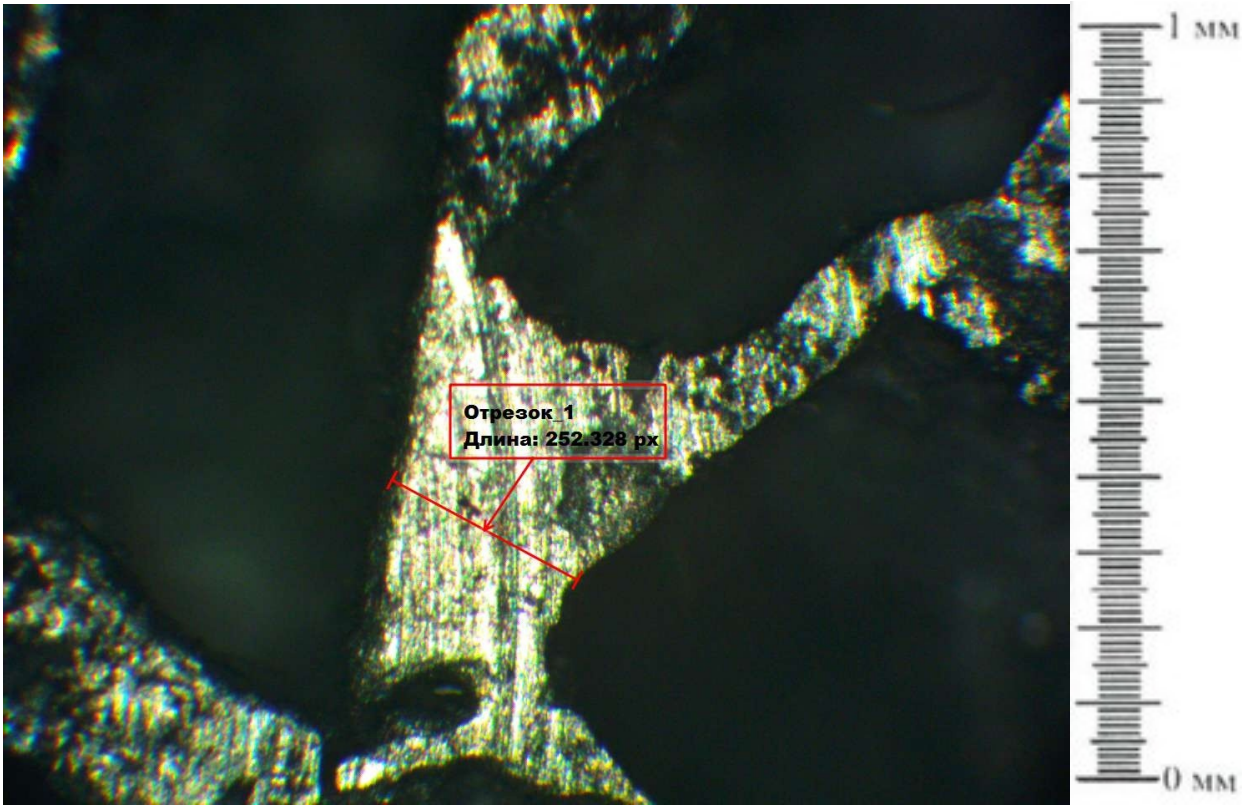


Рисунок 3.5 – Микроструктура пористого алюминия (увеличение в 400 раз)

Расчетная зависимость радиуса отверстий (воздушной манжеты) от коэффициента гравитации *K* (режимов работы центробежной машины) для фракции наполнителя размером 1 мм представлена на рисунке 3.6.

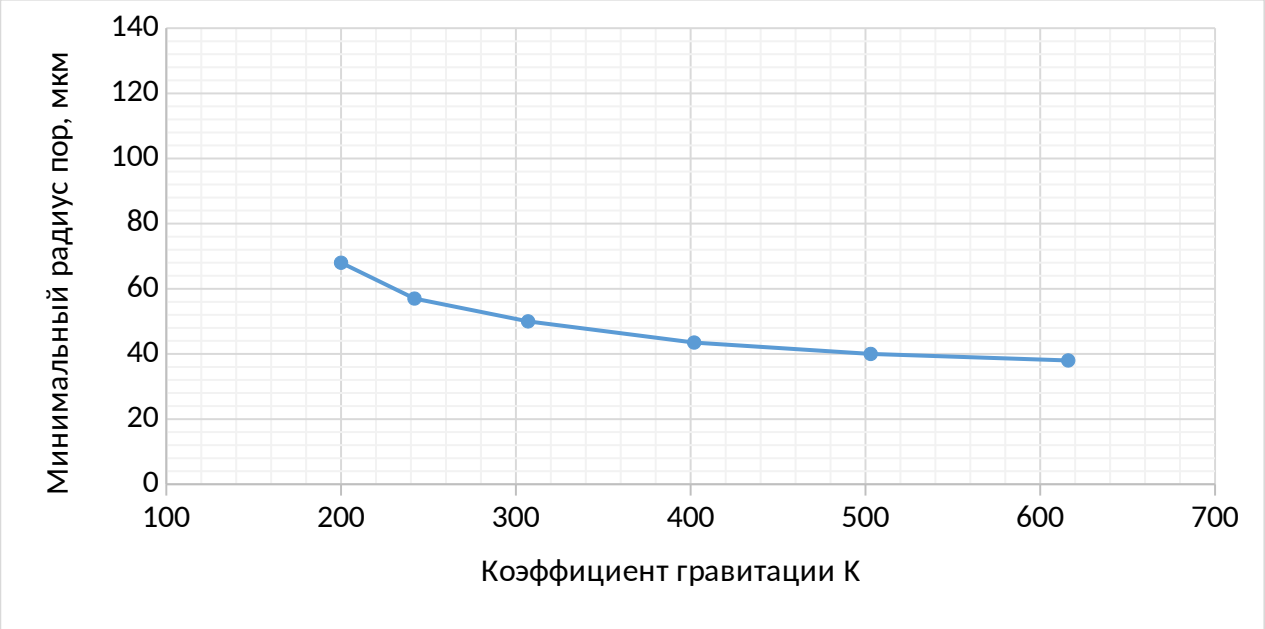


Рисунок 3.6 –Изменение радиуса отверстий (воздушной манжеты) от коэффициента гравитации *K* для фракции наполнителя размером 1 мм.

Как видим, для пористого алюминия, полученного с помощью пропитки водорастворимого наполнителя центробежным литьем, с увеличением скорости вращения литейной формы, а, следовательно, и коэффициента гравитации *K*, минимальный радиус воздушной манжеты r_{min} постепенно уменьшается. Это снижает доступ свежих порций воды при вымывании наполнителя, что в свою очередь, ухудшает возможность быстрого его удаления. А при его определённых минимальных значениях вымываемость становится вообще невозможной и пористый алюминий получить нельзя.

Пористость алюминия определяли по количеству пор на единице площади поперечного разреза образца и выражали в процентах. Расчетное соотношение порового пространства и металла между ним, можно выразить как, 55 процентов порового пространства и 45 процентов металла. Таким образом, пористость образца составляет 55%.

Исследование других качественных образцов, полученных с помощью центробежного литья, показало, что пористость в зависимости от условий их формирования (K = 200 ÷ 307) изменяется в пределах от 40 до 60 %. При более значительных перегрузках (K = 307 ÷ 402) процент порового пространства

снижается не значительно $П$ = 39,6%, однако значительно уменьшаются отверстия соединяющие отдельные поры r_{min} (на рисунке 3.5 справа внизу).

При дальнейшем увеличении скорости вращения литейной формы (повышении коэффициента гравитации K более 456 многие поры вообще оказываются закрытыми. Поэтому несмотря на то, что композиционные заготовки хорошо пропитаны жидким алюминием, но удалить из них наполнитель либо очень сложно, либо вообще невозможно.

Анализ полученных результатов показывает, что важнейшую роль на фильтрационную способность пористого литого алюминия, полученного пропиткой водорастворимого наполнителя центробежным литьем, играет величина минимального и максимального радиуса пор, а также их соотношение. Поэтому наилучшей фильтрационной способностью обладают фильтры, изготовленные при оптимальном перепаде давления ΔP, которое получается при коэффициенте гравитации K от 242 до 307.

Для определения открытой пористости образцов экспериментальным путем насыщали в воде в течение 24 часов, затем выдерживали 10 мин на решетке, после чего определяли их объем по вытеканию воды с помощью объёмомера. Пористость можно было также определять, как разность между массой образцов на воздухе и в воде при взвешивании на гидростатических весах.

Анализ полученных результатов, представленных на рисунке 3.7, позволяет говорить о том, что теоретические зависимости достаточно точно совпадают с расчетными значениями.

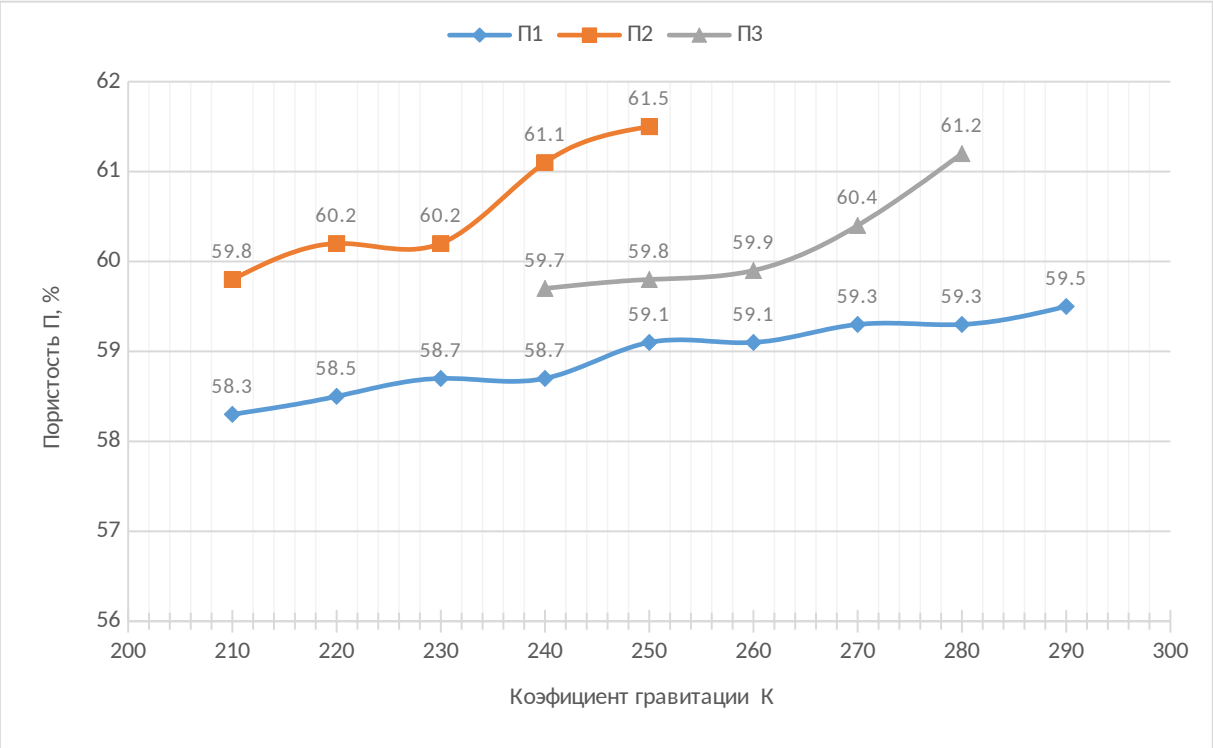


Рисунок 3.7 – Влияние коэффициента гравитации на пористость пористого литого металла для разных значений диаметра наполнителя: ♦ - 0,4 мм; ▲ – 0,63 мм; ■ – 1 мм.

Экспериментальные значения пористости для заготовок, полученных пропиткой с помощью центробежных сил, получились несколько выше, чем для заготовок, полученных пропиткой вакуумированием [31], что, по-видимому, объясняется условиями пропитки водорастворимого наполнителя. Установлено, что пористость в зависимости от создаваемых перегрузок (коэффициента гравитации) и размера наполнителя изменяется не значительно (от 58 до 62 %).

Заключение

В результате выполнения выпускной квалификационной работы поставленные цели по выявлению влияния режимов центробежной установки на качество получаемой композиционной заготовки достигнуты.

В процессе литературно-патентного анализа был осуществлён обзор научных работ по методам получения, свойствам исходных материалов, и области применения пористо алюминия. На основании этого анализа были сформулированы задачи исследования.

В результате проведенных исследований:

– Были определены оптимальные режимы работы центробежной установки для получения качественных композиционных заготовок для изготовления пористого алюминия.

– Установлено, что для получения пористого алюминия, необходимо использовать режимы центробежной машины, при которых коэффициент гравитации изменяется в пределах от 159 до 390.

– Определено, что при оптимальных режимах работы центробежной машины, заготовки полностью пропитываются алюминием и имеют оптимальное соотношение минимальных и максимальных пор, что позволяет достаточно быстро и эффективно проводить вымывание наполнителя из неё при получении пористого алюминия.

– Установлено, что минимальный размер пор существенно зависит от режимов работы центробежной машины;

– Определено влияние коэффициента гравитации на пористость пористого литого алюминия.

Список используемой литературы

1. **Витязь, П.А. Пористые порошковые материалы и изделия из них** [Текст]: учеб. для вузов / П.А. Витязь, В.М. Капцевич, В.К. Шелег. – Мн.: Высш. шк, 1987. – 335с.

2. **Белов, С.В. Пористые металлы в машиностроении** [Текст]: монография – 2–е изд. перераб. и доп. / С.В. Белов. – М.: Машиностроение, 1981. – 247с.

3. **Фурман, Е.Л. Литье под регулируемым давлением пористых изделий** [Текст] / Е.Л. Фурман, А.Б. Финкельштейн, А.В. Чечулин // Литейное производство. – 1995. – 4. – С. 50–51.

4. **Тепловой пробой диэлектрических анодных пленок** [Текст]: Учебное пособие/Костров Д.В., Мирзоев, Р.А. Электрохимия. 1987. Т. 23. 5.
С. 595 – 605.

5. **Портной, К.И. Структура и свойства композиционных материалов** [Текст]: монография / Портной К.И., [и др.] В.М. – М.: Машиностроение,
1979. – 255 с.

6. **Пористые композиты на основе оксид-алюминиевых керметов (синтез и свойства)** [Текст]: / В.Ю. Гаврилов [и др.] - Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал Тео", 2004. - 205 с.

7. **Мацуда, Сокомото. Разработка и использование газопроницаемых металлов** [Текст]: / Сокомото Мацуда [и др] // Коге дзайре - 1987, №2. -
С. 47-50

8. **Мондольфо, Л.Ф. Структура и свойства алюминиевых** сплавов [Текст]: / Л.Ф.Мондольфо - М.: Металлургия, 1979. - 640 с. 59. Мальцева, Г.Н. Коррозия и защита оборудования от коррозии / Г.Н.Мальцева - Пенза: ПТУ,

2001. - 211 с.

9. **Алюминий и его сплавы в жидком состоянии** [Текст] / В.М.Денисов [и др.] Екатеринбург: УРО РАН, 2005. - 266 с. 61. Калинина, Н.Е. Влияние модифицирования на механические и коррозионные свойства литейных сплавов / Н.Е.Калинина, О.А.Кавац, В.Т.Калинин // Проблемы высокотемпературной техники: Сборник научных трудов - Днепропетровск: Днепропетровский национальный университет, 2008.- С. 76-79.

10. **ГОСТ 1583-93. Сплавы алюминиевые литейные. Технические условия - Минск**: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1993. - 23 с. 63. Колобнев, И.Ф. Справочник литейщика / И.Ф.Колобнев, В.В.Крымов, А.П.Полянский. - М.: Государственное научно - техническое издательство машиностроительной литературы, 1957.- 483 с.

11. **Сумм, Б.Д., Горюнов Ю.В.Физико-химические основы смачивания и растекания** [Текст] / Б.Д. Сумм, Ю.В.Горюнов - М.:Химия, 1976. - 359 с.

12. **Найдич, Ю.В. Контактные явления в металлических** расплавах [Текст] / Ю.В. Найдич - Киев: Наукова думка, 1972. - 274 с.

13. **Сергеев, СВ. Физико-химические свойства жидких металлов** [Текст] / С.В.Сергеев М.: Оборонгиз, 1952. - 131 с.

14. **Замятин, В.М. Разработка и внедрение способов повышения качества отливок и слитков на основе результатов исследования структурно чувствительных свойств алюминиевых расплавов**: дис...доктора техн. наук /Виктор Михайлович Замятин - Свердловск: УПИ. 1990. 429 с.

15. **Беляев, А.И. Металловедение алюминия и его** сплавов [Текст] / А.И. Беляев, О.С Бочвар, Н.Н. Буйнов - М.: Металлургия, 1983. - 279 с.

16. **Корольков, А.М. Поверхностное натяжение алюминия и его сплавов** [Текст] / А.М.Корольков // Известия АН СССР. ОТН - 1956- 2.-

С.37-42.

17. **Окисление алюминиевых расплавов при выдержке и разливке / Г.И. Тимофеев [и др.**] [Текст] // Литейное производство - 1975 - №9. - С. 18-19. Лепинских, Б.М. Окисление жидких металлов и сплавов/ Б.М. Лепинских, А.А.Киташев, А.А.Белоусов - М.: Наука, 1979. - 116с.

18. **Пивоваров А.Н. Особенности окисления алюминиевых расплавов и совершенствование технологии получения качественных слитков из сплава 1420: дис. канд. техн. наук** [Текст] /Александр Николаевич Пивоваров М.: МИСИС, 1991.-183 с.

19. **Лыков, А.В. Тепломассообмен** [Текст] / А.В. Лыков- М.: Энергия, 1978. - 478 с. 53. Радушкевич, Л.В. Исследование капиллярной конденсации паров в высокодисперсных системах /Л.В. Радушкевич //Известия АН СССР, отделение химических наук - 1952- 6.- С. 1008-1020.

20. **Кинетика растекания и пропитки твердых тел** жидкостью [Текст]:/ В.В.Хлынов [и др.] // В кн. Поверхностные свойства расплавов. Сборник научных трудов - Киев: Наукова думка, 1982. - С.228-231.

21. **Браславский, А.Н. Капиллярное проникновение в модели пористых тел** [Текст]: / А.Н. Браславский //ЖПХ - 1961- Т.34, №4.- С.800-805. 111. Кареев, В. Н. Потери напора при внезапном расширении трубопроводов / В. Н. Кареев // Нефтяное хозяйство -1952 - 12. - С.37-42.

22. **Кинетика растекания и пропитки твердых тел жидкостью** [Текст]: В.В.Хлынов [и др.] // В кн. Поверхностные свойства расплавов. Сборник научных трудов - Киев: Наукова думка, 1982. - С.228-23153. Браславский, А.Н.

23. **Капиллярное проникновение в модели пористых тел** [Текст]: А.Н. Браславский //ЖПХ - 1961- Т.34.- С.800-805. 111. Кареев, В. Н. Потери напора при внезапном расширении трубопроводов / В. Н. Кареев // Нефтяное хозяйство -1952 - 12. - С.37-42.

24. **Попель, СИ. Поверхностные явления в расплавах** [Текст]: СИ. Попель М.: Металлургия, 1994. - 440 с.

25. **Браутман, Л.Н. Композиционные материалы. Т.6. Поверхности раздела в полимерных композитах** [Текст]: / Л.Н. Браутман — М.: Мир, 1978 -296с.

26. **Здановский А.Б. Кинетика растворения природных солей в условиях вынужденной конвекции** [Текст]: / А.Б. Здановский - Л. Госхимиздат, 1956-219с.

27. **Способ получения слоистых плит из пеноалюминия** [Текст]: пат. 2393061 Рос. Федерация: МПК B22F 7/02, C22C 1/08, B22F 3/24 Пасечник Н.В., Тонконогов В.Я., Родинков С.В., Павленко В.В., Орлов В.К., Сарафанов М.А.; патентообладатель ОАО АХК «ВНИИМЕТМАШ». – 2008145690/02; заявл. 20.11.2008; опубл. 27.06.2010, Бюл. 18.

28. **Способ получения пористых материалов** [Текст]: пат. 2518809 Рос. Федерация: МПК B22F 3/11, C22C 1/08, B22F 3/23 Амосов А.П., Самборук А.Р., Латухин Е.И., Андриянов Д.И., Байриков И.М., Щербовских А.Е., Кривченко К.А.; патентообладатель Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Самарский государственный медицинский университет" Министерства здравоохранения Российской Федерации – 2012112034/02; заявл. 29.03.2012; опубл. 10.06.14; Бюл. 16

29. **Способ получения пористого спеченного материала** [Текст]: пат. 1219252 СССР: МПК B22F 3/10 Витязь П.А., Шелег В.К., Азаров С.М.; патентообладатель Белорусское республиканское научно-производственное объединение порошковой металлургии - № 3701468/22-02; заявл. 05.12.83; опубл. 23.03.86; Бюл. 11.

30. **Способ изготовления пористых изделий на основе алюминия** [Текст]: пат. 1447575 СССР: МПК B22F 3/10 Азаров С.М., Романенков В.Е., Смирнов В.Г., Смирнова Т.А.; патентообладатель Белорусский политехнический институт – 4144690/31-02; заявл. 10.11.86; опубл. 30.12.88; Бюл. 48.

31. **Способ получения пористых материалов на основе**

пеноалюминия (изделий) из алюминиевых сплавов [Текст]: пат. 2450892 Рос. Федерация: МПК B22F 3/11, C22C 1/08 Колеров В.С., Манцевич Н.М.; патентообладатели Колеров В.С., Манцевич Н.М. – 2010145791/02; заявл. 11.11.2010; опубл. 20.05.2012; Бюл. 14.

32. **Пульс цен** [Электронный ресурс] / Торговая площадка: [сайт]. *URL: https://www.pulscen.ru* (дата обращения: 18.06.2023).

33. **Справочник химика** [Текст]: справочник: в 3 т. / Под ред. Б.П. Никольского. – Л.: Государственное научно-техническое издательство химической литературы, 1962. – Т. 3. – 1070 с.

34. **Физические величины** [Текст]: Справочник / Под ред. И. С. Григорьева, Е.З. Мейлихова – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Министерство науки и высшего образования РФ
ФГБОУ ВО «Пензенский Государственный Университет»
Кафедра «Сварочное, литейное производство и материаловедение»

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
на тему:

Исследование влияния режимов работы центробежной машины на качество композиционной заготовки для получения пористого алюминия

Выполнил:
студент гр.19МТ1
Мякушев Д.А.

Руководитель:
к.т.н, доцент
Семушкин А.В.

Пенза 2023

Цели и задачи исследования

Целью исследования является композиционная заготовка, полученная изотерической пропиткой жидким алюминием пористого сыпучего материала с помощью центробежных сил.

Задачами являются:

– Изучить процесс производства пористых алюминиевых заготовок;

– Изучить компоненты необходимые для получения заготовок;

– Подобрать оптимальный режим работы центробежной установки;

– Анализ полученных заготовок и выбор оптимального режима.

Преимущества пористого алюминия

- Низкий удельный вес
- Высокие значения теплопроводности и коррозионной стойкости
- Хорошие показатели прочности
- Отличные фильтровальные качества
- Шумоподавление
- Эффективное поглощение энергии удара

Методы получения

- Литье алюминиевого сплава в форму с водорастворимым веществом
- Смешивание порошков алюминиевого сплава и порообразователя в планетарной мельнице
- Введение порообразователя в расплав алюминиевого сплава с дальнейшим распылением смеси
- Смешивание порошков алюминиевого сплава и порообразователя
- Вспенивание алюминиевого расплава
- Вытяжка алюминиевых трубок

Выбор наполнителя

Характеристики		Na_3PO_4	K_3PO_4	Mg_2SO_4	Na_2CO_3	$NaCl$	KCl
Температура плавления, *K* [26]		1613	1613	1400	1125	1076	1049
Коэффициент диффузии в воде, $10^{-5}см^2/с$ [33]		47	47	73	0,45	1,49	1,73
Предельная концентрация в воде г/л [32]:	при 273 *K*	5,9	76,4	25,8	9	32	49-
	при 373 *K*	94,1	172,5	50,8	46,7	38,4	54
Стоимость наполнителя, руб./кг. [32]		88	126	100	47	36	84
ПДК наполнителя в воде, мг/л [334]		250	250	500	-	350	350
Коэффициент самодиффузии, $см^2/с$ [34]	Ионов металлов	-	-	-	-	75,9	137
	Кислотных остатков	-	-	-	-	68,7	172
Модуль объёмной упругости, МПа [33]		-	-	-	-	18,6	26,5

Центробежная машина

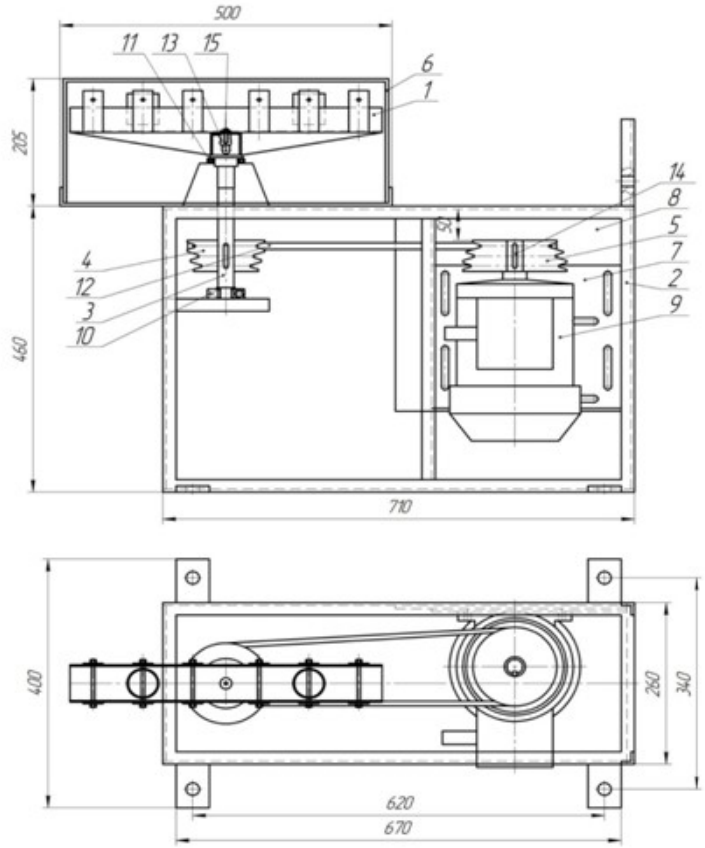
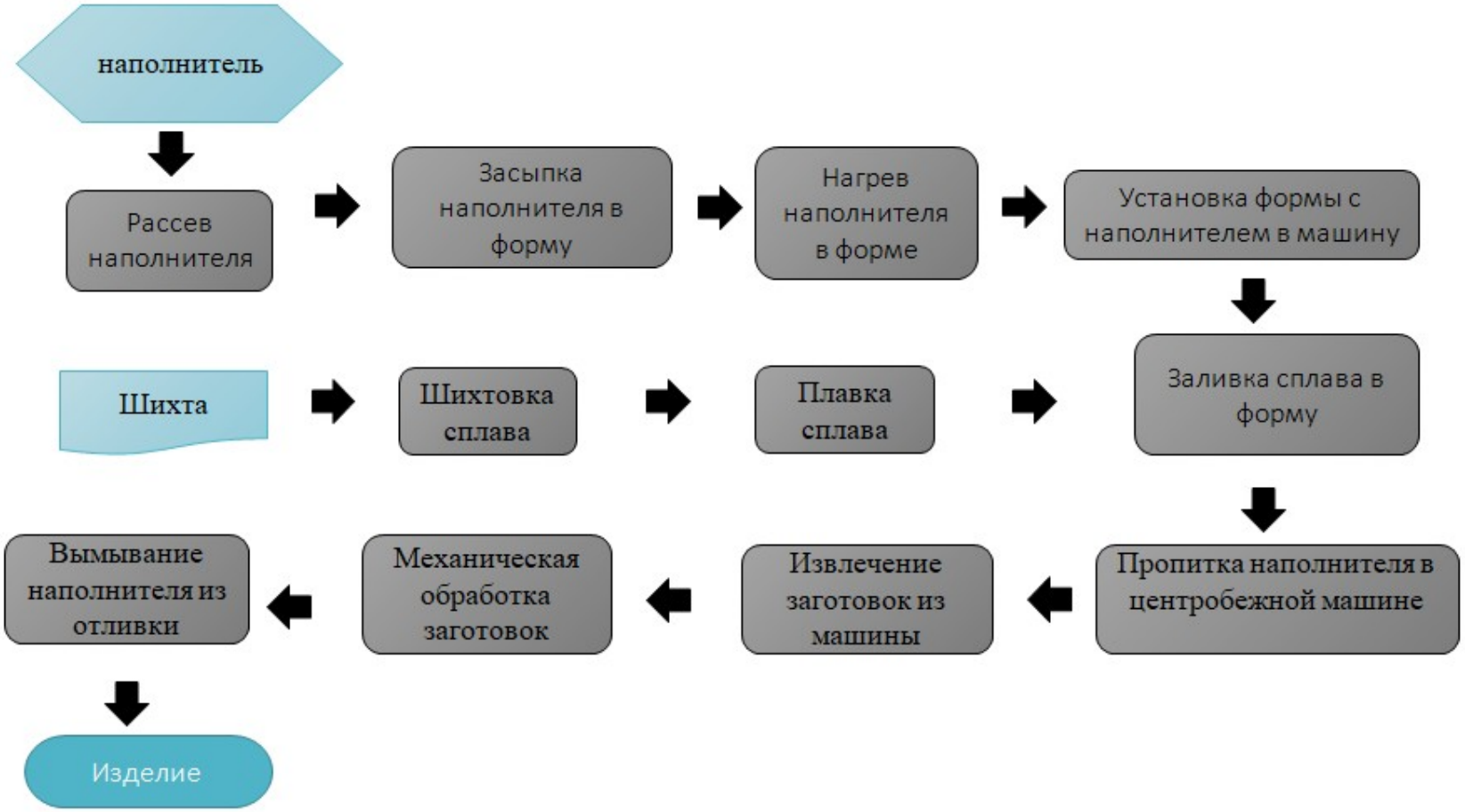


Рисунок 1 – Чертеж используемой центробежной установки

Рисунок 2 – Внешний вид центробежной установки

Технология изготовления пористых деталей



Исследуемые режимы центробежной установки

Вариант	Диаметры шкивов, м		Частота вращения изложницы n_2, $с^{-1}$	Передаточное число u	Коэффициент гравитации K		
	Ведущего d_1	Ведомого d_2			При R=0,05 м	При R=0,125м	При R=0,2м
1	0,14	0,09	25,8	1,55	214	402	616
2	0,14	0,1	23,3	1,4	175	328	503
3	0,14	0,11	21,2	1,29	145	271	416
4	0,12	0,09	22,2	1,33	159	298	456
5	0,12	0,1	20,0	1,2	129	242	370
6	0,12	0,11	18,2	1,09	107	200	307

Чертеж коромысла

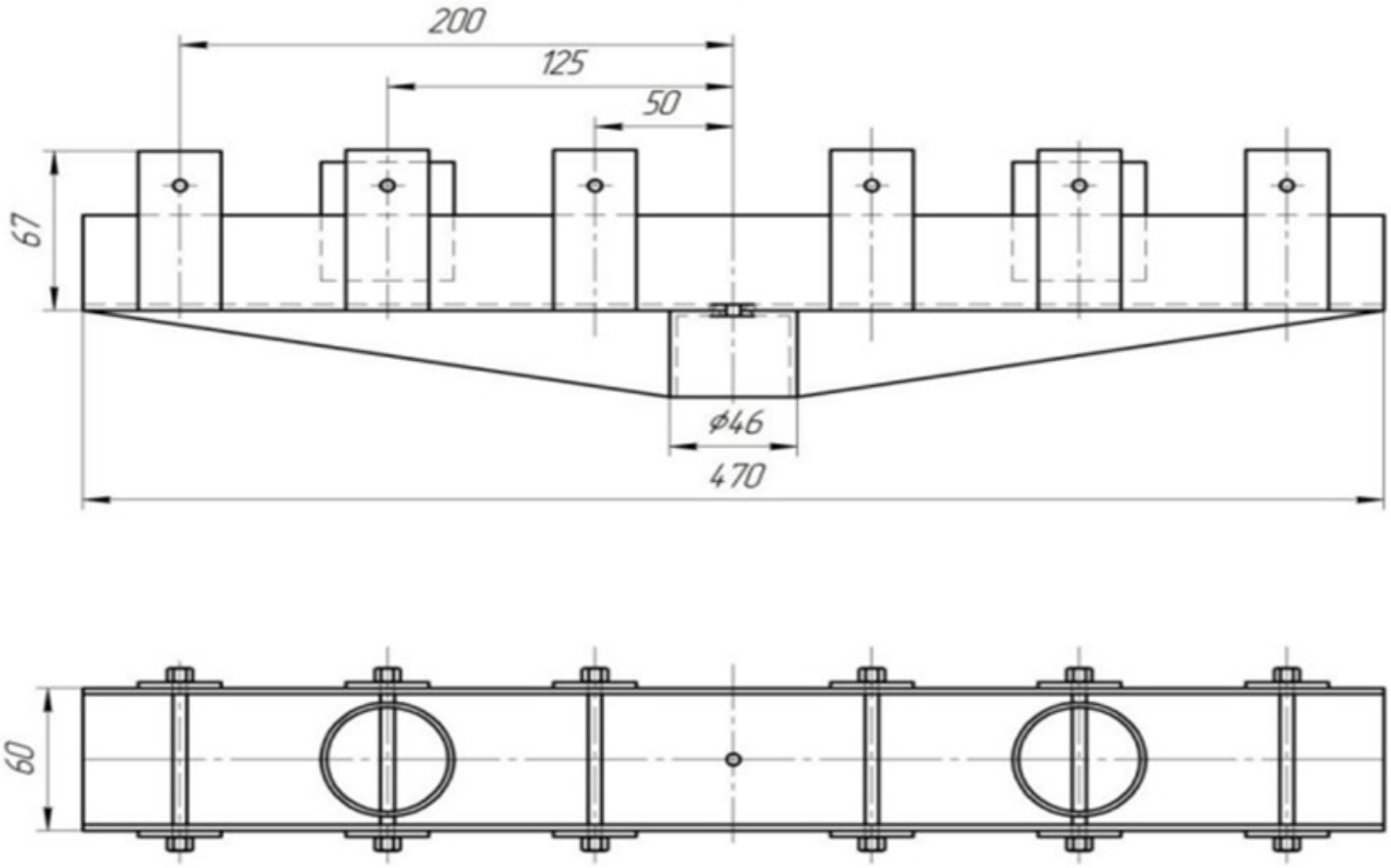


Рисунок 3 – Коромысло

Литейная форма

Рисунок 4 – Расположение литейной формы в коромысле: а) в статике;

б) при вращении

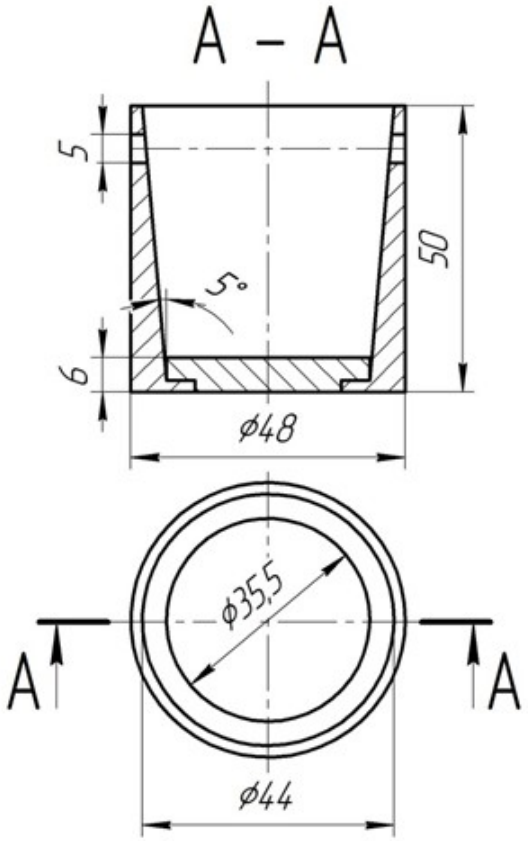
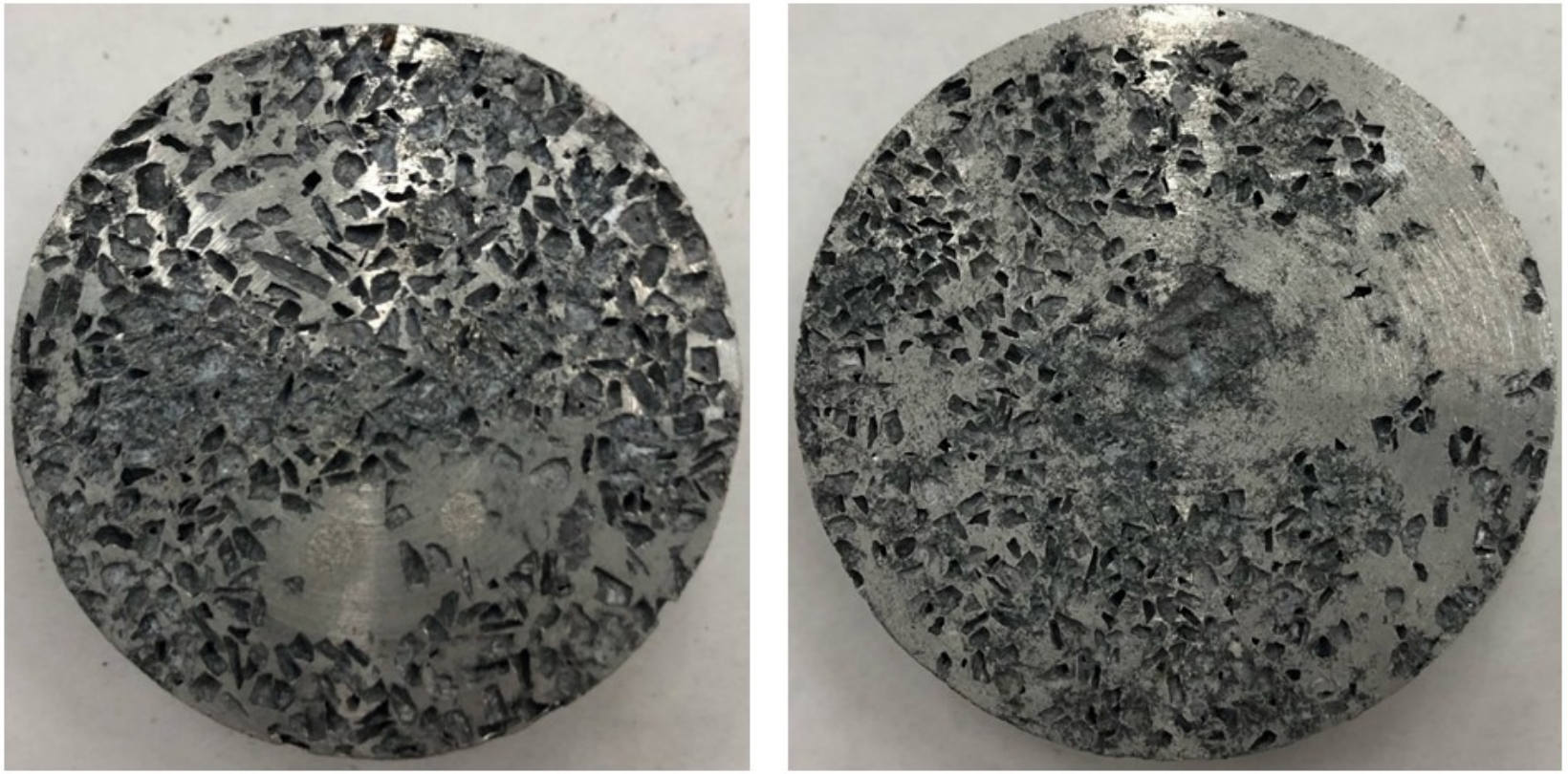


Рисунок 5 – Конструкция литейной формы

Результаты

а) б)

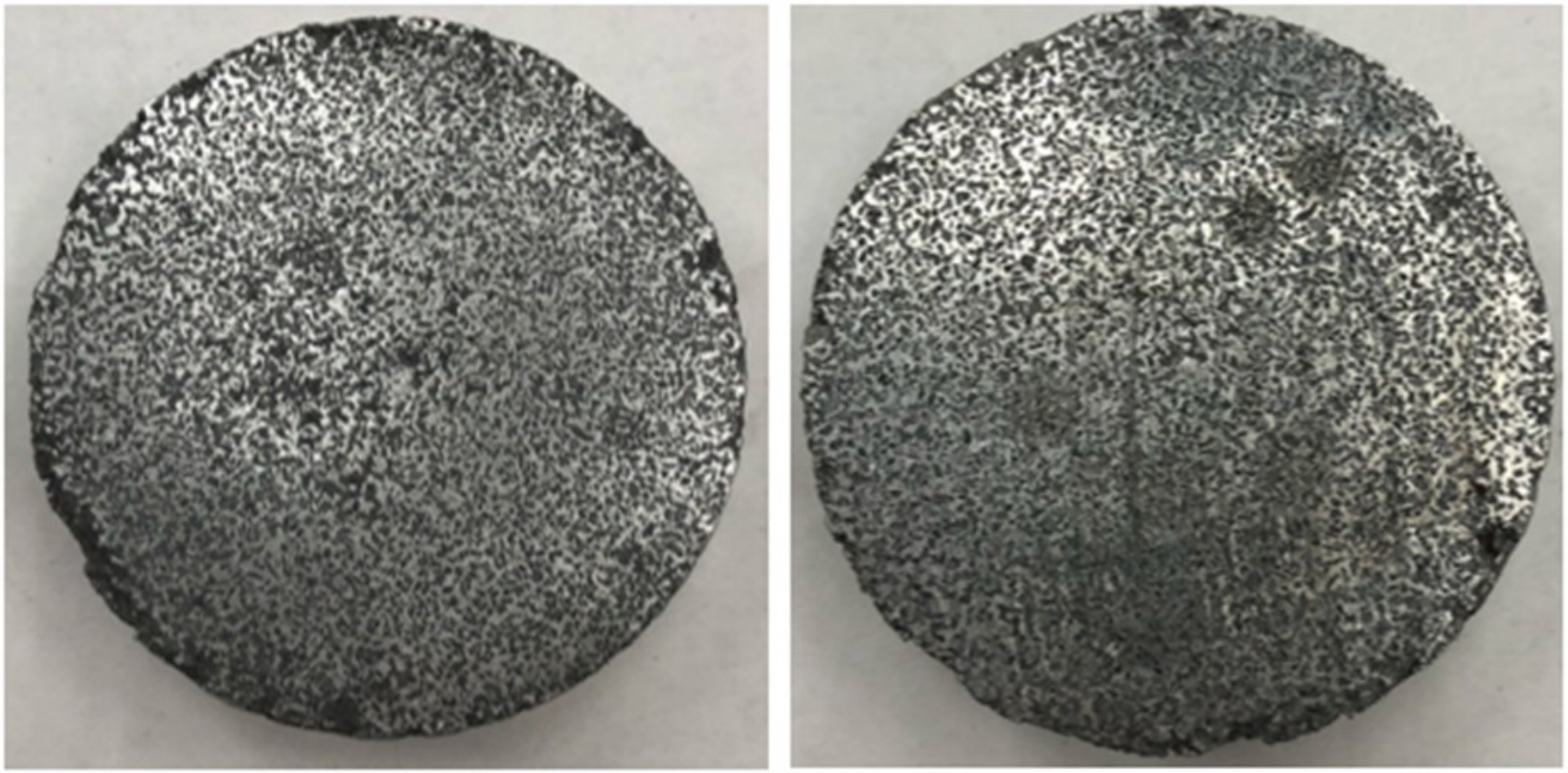
Рисунок 6 – Образецы с дефектом не пропитки (Кф – гравитации): а) Кф=129; б) Кф=145



а) б)

Рисунок 7 – Образцы с плохой пропиткой (Кф гравитации – К):

а)К=402; б) К=416



а) б)

Рисунок 8 – Образцы с полной пропиткой (Кф гравитации - К):

а) К=175; б) К=328

Микроструктура

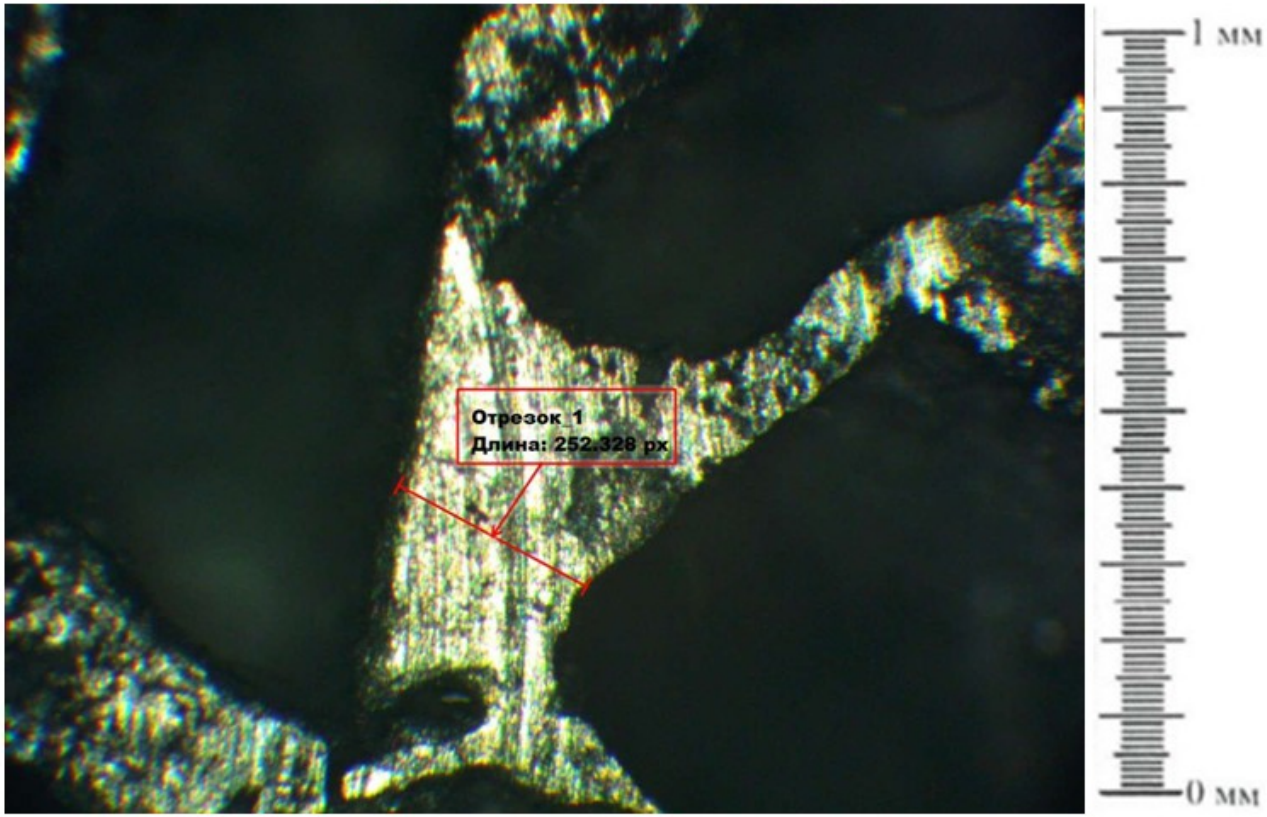


Рисунок 9 – Микроструктура пористого алюминия (увеличение в 400 раз)

Результаты проверки

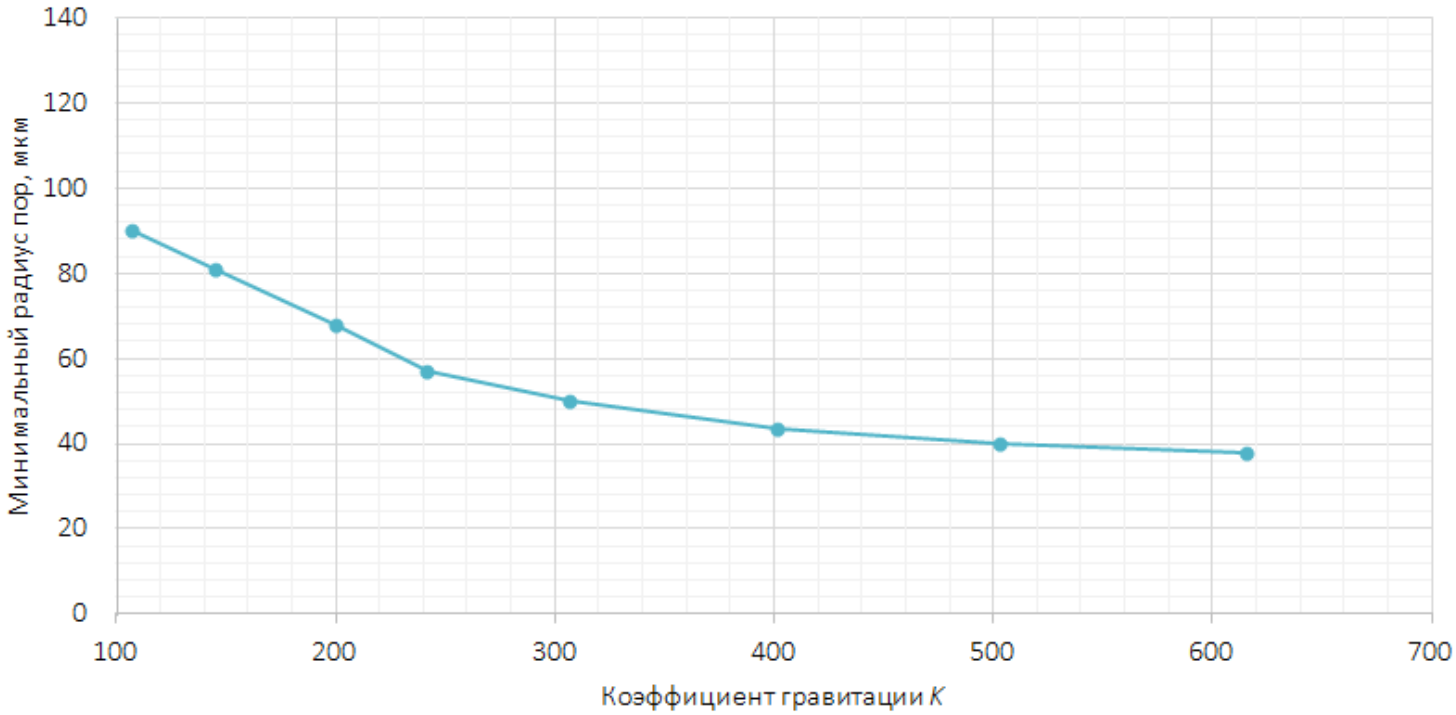


Рисунок 10 – Зависимость радиуса отверстий от коэффициента гравитации

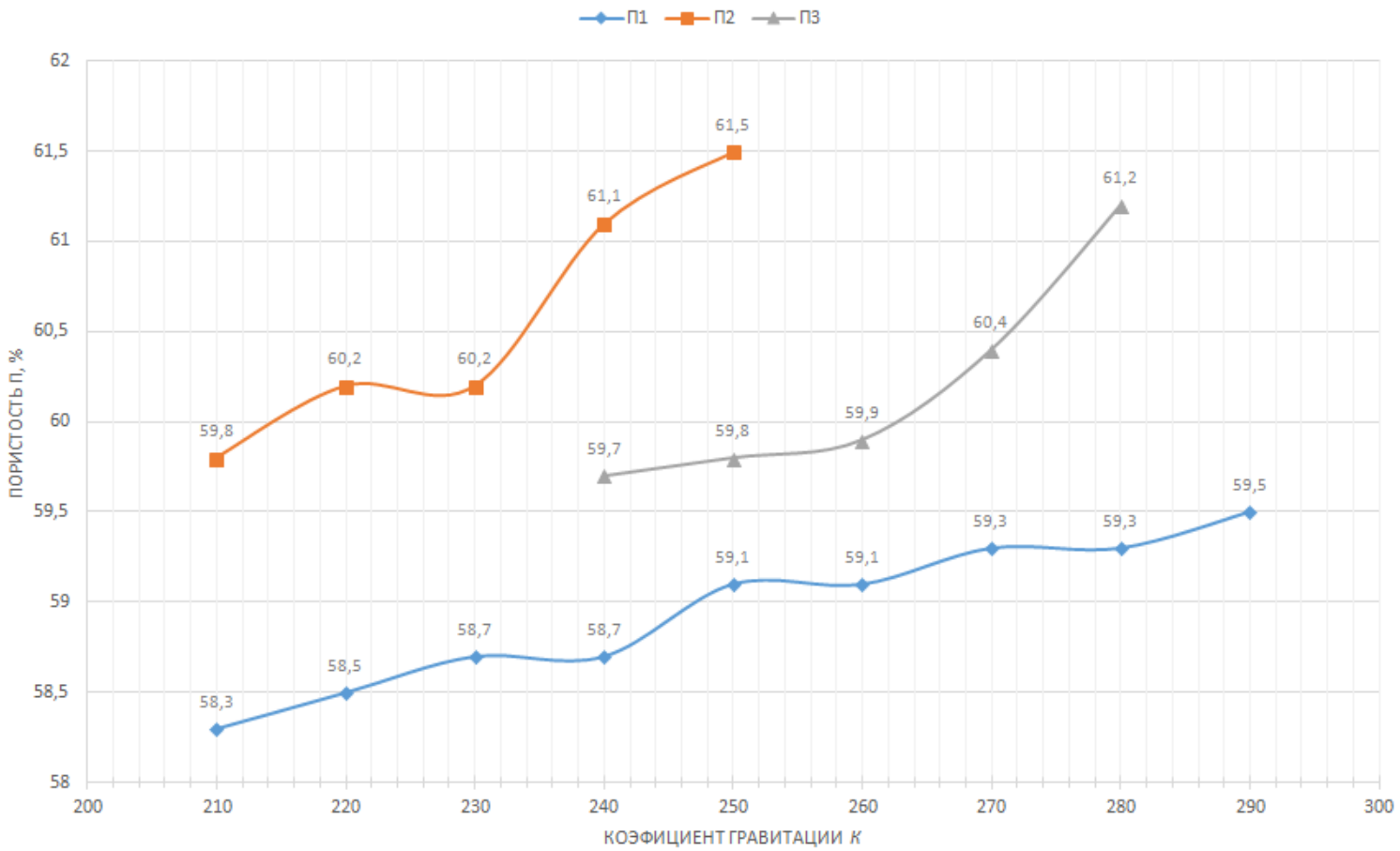


Рисунок 11 – Влияние коэффициента гравитации на пористость пористого литого металла для разных значений диаметра наполнителя: ♦ - 0,4 мм; ▲ – 0,63 мм; ■ – 1 мм.

Заключение

В результате проведенных исследований:

1. Были определены оптимальные режимы работы центробежной установки для получения качественных композиционных заготовок для изготовления пористого алюминия.
2. Установлено, что для получения пористого алюминия, необходимо использовать режимы центробежной машины, при которых коэффициент гравитации изменяется в пределах от 159 до 390.
3. Определено, что при оптимальных режимах работы центробежной машины, заготовки полностью пропитываются алюминием и имеют оптимальное соотношение минимальных и максимальных пор, что позволяет достаточно быстро и эффективно проводить вымывание наполнителя из неё при получении пористого алюминия.
4. Установлено, что минимальный размер пор существенно зависит от режимов работы центробежной машины;
5. Определено влияние коэффициента гравитации на пористость пористого литого алюминия.

Благодарю за внимание!