

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

Факультет
машиностроения и транспорта
(наименование)

Кафедра
Сварочное, литейное производство
и материаловедение
(наименование)

Направление подготовки

22.03.01 «Материаловедение и техноло-
гия материалов»
(код и наименование)

Профиль

«Материаловедение и технология новых
материалов»
(наименование)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему

«Разработка технологии получения пористого алюминия с помо-
щью центробежного литья»

Студент

М.С. 15.06.2018
(подпись, дата)

Макрашин Сергей
Дмитриевич
(фио полностью)

Научный руководитель
к.т.н., доцент

С.В. 15.06.2018
(подпись, дата)

Семущкин А.В.
(фамилия, инициалы)

Нормоконтролёр
к.т.н., доцент

В.В. 18.06.2018
(подпись, дата)

Хорин А.В.
(фамилия, инициалы)

Работа допущена к защите (протокол заседания кафедры от 04.06.18 № 11)

Заведующий кафедрой

В.В. 18.06.18
(подпись, дата)

Логинов О.Н.
(фамилия, инициалы)

Работа защищена с отметкой отлично (протокол заседания ГЭК от 19.06.2018 № 8)

Секретарь ГЭК
к.т.н., доцент

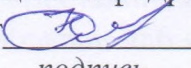
Л.В. 19.06.2018
(подпись, дата)

Гуськов М.С.
(фамилия, инициалы)

Пенза 2018

ФГБОУ ВО «ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ФАКУЛЬТЕТ МАШИНОСТРОЕНИЯ И ТРАНСПОРТА
КАФЕДРА «СВАРОЧНОЕ, ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО И
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»

«Утверждаю»

Заведующий кафедрой СЛПиМ
к.т.н., доцент  О.Н. Логинов
подпись

« 08 » 12 2017 г.

ЗАДАНИЕ

на выпускную квалификационную работу

Студенту гр. 14МТ1 Факультета машиностроения и транспорта Политехнического института ПГУ, очной формы обучения по направлению подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технология материалов» профиль «Материаловедение и технологии новых материалов»

Макрашину Сергею Дмитриевичу.

Научный руководитель работы: к.т.н., доцент Семушкин А.В.

Время выполнения ВКР: с 08.12.2017 г. по 08.07.2018 г.

Место преддипломной практики: кафедра «Контроль и испытания материалов» ПГУ.

Тема работы: Разработка технологии получения пористого алюминия с помощью центробежного литья.

Тема утверждена приказом ректора ПГУ № 1253/О от 08 декабря 2017 г.

Техническое задание на работу (назначение устройства, условия применения, внешние воздействия, специальные требования и т.п.): *выполнить исследование возможности получения пористого алюминия изотермической пропиткой пористого сыпучего материала с помощью центробежных сил.*

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 пористого алюминия изотермической пропиткой сыпучего водорастворимого материала;
- исследовательский раздел – обоснование применяемых методов исследования, модернизация экспериментальной центробежной машины, разработка технологии получения пористого алюминия и методики планируемых экспериментов;
- экспериментальный раздел – описание результатов исследования и выявленных зависимостей;
- заключение – выводы и обоснования по теме работы и полученным результатам.

Презентация бакалаврской работы	
- тема ВКР	1л А4;
- цели и задачи выпускной работы	1л А4;
- преимущества и сфера применения пористого алюминия (ПА)	1л А4;
- способы получения ПО	1л А4;
- характеристика исходные материалы и их свойства	1л А4;
- физическая модель формирования ПА	1л А4;
- экспериментальная установка и её технические характеристики	2-4 л А4;
- приборы для исследования ПА	1л А4;
- технология получения ПА	1л А4;
- результаты исследований	4-8л А4;
- основные выводы	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.

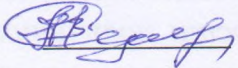
2. Белов С.В. Пористые металлы в машиностроении [Текст]: монография – 2-е изд. перераб. и доп – М.: Машиностроение, 1981. – 247с.

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: 08.12.2017 г.

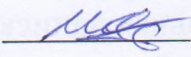
Руководитель ВКР:

к.т.н, доцент

 А.В. Семушкин

Задание к исполнению принял

студент гр. 14МТ1

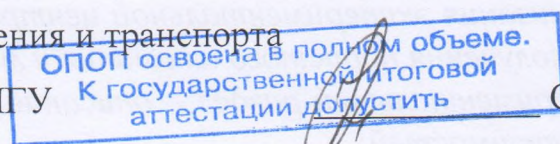
 С.Д. Макрашин

08 декабря 2017 г.

Выпускную квалификационную работу к защите допустить

Декан факультета машиностроения и транспорта

Политехнического института ПГУ



С.Ю. Киреев

Аннотация

Выпускная квалификационная работа содержит 61 с., 26 рис., 4 табл., 60 используемых источников, 2 прил.

ПОРИСТЫЙ АЛЮМИНИЙ, ГИДРИДЫ, ЦЕНТРОБЕЖНОЕ ЛИТЬЁ, ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА, НАПОЛНИТЕЛЬ

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена исследованию возможности получения пористого алюминия изотермической пропиткой пористого сыпучего материала с помощью центробежных сил.

Целью настоящей выпускной квалификационной работы является разработка технологического процесса получения пористого алюминия с помощью центробежного литья.

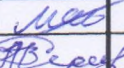
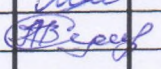
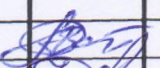
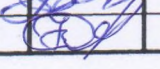
Объектом исследования является пористый алюминий, полученный изотермической пропиткой пористого сыпучего материала с помощью центробежных сил.

Предметом исследования является технология процесса получения пористого алюминия с помощью центробежных сил.

Методы исследования – визуально-оптический, металлографический метод исследования.

Для достижения поставленных целей необходимо решить следующие задачи:

- модернизировать и изготовить экспериментальную установку;
- разработать технологический процесс изготовления пористого алюминия;
- определить химический состав наполнителя и основы сплава;
- определить технологические режимы получения пористых заготовок.

					ПГУ.ВКР.22.03.01.14МТ114.ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата				
Разраб.		Макрашин С.Д.			Разработка технологии получения пористого алюминия с помощью центробежного литья	Лит.	Лист	Листов
Провер		Семущкин А.В.					2	61
Н. Контр		Хорин А.В.				Кафедра С/П и М Группа 14МТ1		
Утв.		Логинов О.Н.						

Содержание

Введение.....	4
1 Литературно – патентный обзор.....	6
1.1 Технологии производства пористых металлов.....	6
1.2 Преимущества пористого алюминия и его применение.....	7
1.2.1 Возможная область применения пористого алюминия.....	8
1.3 Механические свойства пористого алюминия.....	10
1.4 Технологии получения пористого алюминия.....	11
1.5 Патентный поиск.....	14
2 Технологическая часть.....	20
2.1 Материалы, оборудование и методы исследования пористого алюминия, полученного пропиткой водорастворимого наполнителя с помощью центробежных сил.....	20
2.1.1 Требования к наполнителю.....	21
2.1.2 Требования к основе (алюминиевому сплаву).....	24
2.1.3 Экспериментальная установка.....	26
2.1.4 Приборы и методы исследования пористого алюминия.....	32
2.2 Технологический процесс получения пористого алюминия.....	34
2.3 Результаты экспериментов.....	38
Выводы.....	50
Заключение.....	51
Список использованных источников.....	53
Приложение А.....	62
Приложение Б.....	69

Введение

Одним из наиболее важных направлений научно-технического прогресса является создание новых технологических процессов получения конструкционных и функциональных материалов. Одним из таковых функциональных материалов являются пористые металлы.

Пористые металлы находят широкое применение в различных областях производства. Номенклатура продукции из пористых металлов достаточно широка: антифрикционные материалы, фрикционные материалы, фильтры, шумогасящие элементы, демпферы. Пористые металлы в основном изготавливают спеканием (трудно получить пористый алюминий, так как на его поверхности формируется прочная и тугоплавкая оксидная пленка) [1], методами порошковой металлургии, литьем под высоким давлением (изделия имеют либо низкую прочность, либо низкую гидравлическую проницаемость), вспениванием расплава газообразующими гидридами (имеют неоднородную, трудно прогнозируемую и крупнопористую структуру) [1, 2], пропиткой наполнителя вакуумным всасыванием с последующим его удалением [3]. Поэтому можно считать, что в настоящее время проблема получения пористого алюминия решена не полностью.

Актуальность работы заключается в том, что существующие методы получения пористого алюминия не соответствуют современным требованиям, применяющимся к изделиям, главными свойствами которых является фильтрация, потому что обладают низкой фильтрующей способностью, низкими физико-механическими свойствами, и не позволяют получать качественные с высокими эксплуатационными характеристиками сплавы.

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

- высокая удельная прочность;
- высокая теплопроводность и коррозионная стойкость;
- низкий удельный вес.

Способ получения пористого алюминия центробежным литьем основывается на методе экзотермической пропитки жидким алюминием водорастворимого наполнителя за счёт перегрузок, создаваемых центробежными силами. Технология получения пористых отливок методом пропитки удаляемого наполнителя обеспечивает получение однородной и прогнозируемой структуры. Использование в качестве наполнителя водорастворимых солей позволяет формировать структуру пор, благоприятную для фильтрации и конкурировать с пористыми металлами, изготовленными методами порошковой металлургии.

В результате проведенных исследований, была разработана технология получения пористого алюминия с помощью центробежного литья. Был установлен химический состав получаемого материала. Так же определены основные режимы технологического процесса.

					ПГУ.ВКР.22.03.01.14МТ/14.ПЗ	Лист
						5
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1 Литературно – патентный обзор

1.1 Технологии производства пористых металлов

Пористые металлы, используемые для фильтрации, в основном изготавливают спеканием. Однако подобным способом чрезвычайно трудно получить пористый алюминий, потому, что на его поверхности формируется прочная и тугоплавкая оксидная пленка. Но алюминий всё же является чрезвычайно привлекательным материалом в силу низкого удельного веса, высокой удельной прочности, теплопроводности и коррозионной стойкости. Неоднократно проводились опыты, что бы изготовить пористый алюминий методами порошковой металлургии с использованием растворяющих оксидную пленку флюсов или под высоким давлением, но получаемые изделия имели либо низкую прочность, либо низкую гидравлическую проницаемость [4].

Большую часть пористого алюминия получают вспениванием расплава газообразующими гидридами. Пенометаллы имеют неоднородную, труднопрогнозируемую и крупнопористую структуру, что ограничивает их применение конструкционными материалами. Введение порофора в порошковую металлошихту заранее обеспечивает достаточно приемлемую однородность структуры – пенометалл по этой технологии, к примеру, используется в качестве шумопоглощающих щитов [5].

Широкое промышленное применение так же получила технология литья пористого алюминия по выжигаемой модели, в качестве которой используется полимерная губка. Изделия, изготовленные по этой технологии, имеют крупнопористую структуру. Только использование в качестве наполнителя водорастворимых солей позволяет создавать структуру пор, благоприятную для фильтрации и конкурировать с пористыми металлами, изготовленными методами порошковой металлургии.

					ПГУ.ВКР.22.03.01.14МТ/14.ПЗ	Лист
						6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Японскими и швейцарскими учёными, для получения прогнозируемой структуры порового пространства используется предварительное спекание наполнителя в металлической форме, предназначенной и для заливки. Размер пор, в этом методе, регулируется временем спекания. В дальнейшем наполнитель пропитывается расплавом под высоким давлением. Готовая отливка, таким образом, является точной репликой спеченного каркаса наполнителя. В прочем промышленного применения разработанная технология так и не получила, вследствие высокой себестоимости производства [6].

1.2 Преимущества пористого алюминия и его применение

Пористый алюминий обладает пониженной теплопроводностью, эффективно поглощает энергию удара, имеет высокий коэффициент звукопоглощения, обладает высокой удельной прочностью [7].

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 [8].

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) Носители катализаторов. Из-за развитой внутренней поверхности в комбинации с хорошей проницаемостью пористый алюминий может

использоваться в качестве несущей решетки для катализаторов. Высокая теплопроводность материала имеет серьёзное значение при сильных экзотермических реакциях, например, при окислении пропилена в пропилен оксид [9].

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

д) Другие области применения. Пористые материалы, в том числе алюминий, могут употребляться в качестве накопителей жидкости для последующей ее дозированной подачи, например, в деталях подшипников скольжения (поры заполняют смазкой), в пористых валках. 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 [10].

1.2.1 Возможная область применения пористого алюминия

Пористый алюминий позволяет утроить емкость литиево-ионных батарей.

Специалистам *Sumitomo Electric* удалось разработать технологию получения пористого алюминия. Новый материал исследователи назвали *Aluminum-Celmet*. Сейчас этот производитель уже выпускает подобный материал на основе никеля, который называется *Celmet*. Название, по-видимому, образовано из слов *cell* – «ячейка» и *metal* – «металл» [11].

Новый материал характеризуется объемной сетчатой структурой, которую хорошо видно на иллюстрации. По данным разработчиков, пористость достигает 98%. Это гораздо больше, чем у других пористых форм металлов, таких, как вспененный металл и нетканый материал из металлических волокон. Новый материал можно использовать для изготовления деталей, придавая необходимую

форму резкой и штамповкой. Фотография пористого алюминия представлена на рисунке 1.

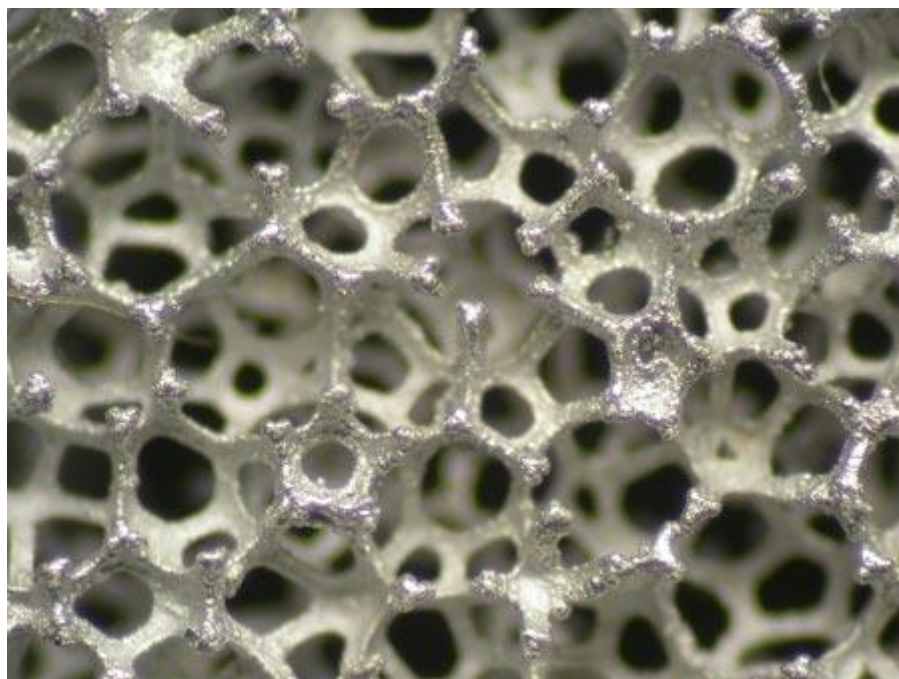


Рисунок 1 – Пористый алюминий с объёмной сетчатой структурой

К достоинствам *Aluminum-Celmet* также относится малая удельная масса и электрическое сопротивление. По первому параметру он превосходит никель более чем втрое, а по второму – вдвое.

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 [12].

1.3 Механические свойства пористого алюминия

Механические свойства пористого алюминия обусловлены трехмерной изотропной структурой и определяются поведением отдельных структурных элементов – перемычек. При проведении испытаний сжатие материала проходит в четыре этапа [13]. На первом происходит деформация при небольших нагрузках самых слабых элементов каркаса и краевых неоднородностей, на втором – упругая деформация, а на третьи перемычки теряют устойчивость, развиваются пластические деформации, и диаграмма сжатия переходит в плоский участок (плато сжатия). Процесс носит циклический цепной характер: потеря устойчивости одной из перемычек влечет развитие деформации у соседних и так далее по всему слою, постепенно слои материала схлопываются до предела компактификации, когда поры окончательно закрываются и деформированный материал начинает приобретать свойства компактного. На четвертом этапе напряжение в материале снова возрастает и постепенно он приближается к компактному материалу [14].

Для пористых металлов характерно нелинейное поведение при деформации, свойственное ячеистым структурам. Поэтому пористые металлы используются не только для демпфирования удара, но и для повышения жесткости полых профилей, изготовления негорючих, легких огнестойких и теплостойких демпфирующих материалов, а также упрочнения анкеров в бетонных стенах. Пористый алюминий может использоваться в качестве литейных стержней. После литья они остаются в готовой фасонной отливке взамен пустот, которые предусмотрены для облегчения автомобиля, что дает определенные преимущества в прочности и уменьшает затраты на удаление обычных песчаных стержней [15, 16].

Прочность изделий из пористого алюминия значительно повышается при поверхностной обработке – ковке, штамповке, прокатке. Пористый алюминий не плавится при температуре плавления исходного сплава: при нагреве в электропечи до температуры 1400 °С он не расплавился; после выдержки 100 часов при температуре 1482 °С сильно окислился, но прочность и размеры образцов оста

лись прежними. Таким образом, пористый алюминий можно многократно нагревать до высоких температур и быстро охлаждать, при этом его свойства изменяются незначительно. Для производства гибких листов пористого алюминия больших размеров с регулируемыми значениями пористости содержание воздуха по объему доводят до значения от 93 до 98 %, затем полученный материал прокатывают в листы. Характеристики структуры пористого алюминия влияют на степень деформации при его сжатии [17]. Сплав АМг6 плотностью от 0,5 до 0,6 г/см³ устойчив к упругой релаксации до и после пластической деформации, вплоть до 27 % сжатия. При сжатии от 4,5 до 5 % этот материал деформируется упруго; при степени сжатия от 5,5 до 6 % – упругая деформация в нем переходит в пластическую. Упрочнение материала после многократного сжатия в упругой и упругопластической области для образца плотностью 0,6 г/см³ не превышает $\Delta\sigma = 1$ МПа, а для образца меньшей плотности 0,5 г/см³ достигает $\Delta\sigma = 2,7$ МПа, что может быть связано с механизмом эволюции каркаса. В процессе сжатия структура материала плотностью 0,5 г/см³ эволюционирует по механизму захлопывания и кручения пор [18].

1.4 Технологии получения пористого алюминия

В последние годы стало появляться все больше разработок в области вспененных металлов. Наибольший интерес для различных отраслей промышленности представляет пористый алюминий [19]. 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;

					ПГУ.ВКР.22.03.01.14МТ//4.ПЗ	Лист
						//
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

е) экологическая чистота [20].

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 [21].

б) Смешивание порошков алюминиевого сплава и порообразователя [22].

в) Введение порообразователя в расплав алюминиевого сплава [23]. 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 [24].

г) Введение порообразователя в расплав алюминиевого сплава с дальнейшим распылением смеси [25]. 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 [26].

д) Литьё алюминиевого сплава в форму с водорастворимыми веществами [27]. 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) [28], 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) [29].

е) Смешивание порошков алюминиевого сплава и порообразователя в планетарной мельнице [30]. Полученный материал обладает закрытыми порами и имеет плотность от 0,6 до 1,0 г/см³. Представленными методами получают пористые изделия на основе пеноалюминия [31].

ж) Анодное окисление [32].

и) Метод плавающей зоны [33].

к) Вытяжка алюминиевых трубок [34]. 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 [35]. Получившееся изделие также нагревается до температуры размягчения и подвергается вытяжке. Данная операция повторяется от 3 до 5 раз до получения многоканальной структуры [36]. Полученный материал имеет упорядоченную структуру прямолинейных непрерывающихся микроканалов с диаметром от 0,1 до 200 мкм, и прочность, соизмеримую с прочностью сплошных материалов [37, 38].

1.5 Патентный поиск

Патенты относятся к разработке способов получения пористого алюминия.

Таблица 1 – Патентный поиск

Номер патента, МПК Дата публикации	Авторы	Название, краткое содержание
1	2	3
RU № 2299112 B22D25/00 20.05.2007	Фурман Е. Л., Финкельштейн А. Б.	Способ получения пористых отливок. «Изобретение относится к области литейного производства. В форму послойно засыпают предварительно подогретые наполнители, сначала основной, потом крупнодисперсный. Сумма толщин слоев наполнителей равна чистой высоте отливки. После заливки формы вакуумным всасыванием и затвердевания отливки наполнители удаляются. Нанесение дополнительного слоя крупнодисперсного наполнителя позволяет получить отливки без газовых раковин, сочетающих пористую и монолитную части» [39]
RU № 2298112 B22D25/00 20.07.2005	Фурман Е.Л., Финкельштейн А.Б., Фурман И.Е.	Способ получения пористых отливок. «Изобретение относится к литейному производству и может быть использовано при получении пористых отливок. Наполнитель фракции 0,64-0,32 мм нагревают в печи и засыпают в нагретый кокиль, донная часть которого соединена с источником вакуума. Поверх засыпают мелкодисперсный наполнитель фракции 0,32-0,16 мм. Размер фракции мелкодисперсного наполнителя составляет 0,4-0,5 от размера фракции наполнителя. На поверхность наполнителя заливают расплав. В условиях

		вакуума осуществляется пропитка наполнителя расплавом» [40]
--	--	---

Продолжение таблицы 1

1	2	3
SU № 1814248 B22D27/00 20.05.1995	Митрофанов М.Н., Зырин П.С., Фурман Е.Л., Пастухов Б.А., Барышников М.Н.	Способ получения пористых отливок. «Изобретение относится к машиностроению, в частности к получению пористых отливок. Цель изобретения - расширение технологических возможностей получения отливок с повышенной равномерностью распределения пористости. При заливке в струю заливаемого металла вводят твердые частицы индуктора, Частицы индуктора по составу близки и идентичны сплаву отливки» [41]
SU № 1814247 B22D25/00, B22D27/00, C21C1/08. 10.03.1995	Пастухов Б.А., Митрофанов М.Н., Фурман Е.Л., Хлынов В.В., Савин А.М., Рабинович С.В., Ферштаттер И.Б.	Способ получения пористых отливок. «Изобретение относится к литейному производству пористых отливок. Цель изобретения - получение отливок с разнородностью менее 2%» [42]
RU № 2292253 B22D25/00 27.01.2007	Черный А .А., Черный В.А., Соломоницина С. И.	Способ получения литых деталей. «Способ включает плавку материала, добавку в форму газотворного вещества и заливку расплава в форму. В качестве газотворного вещества используют органическое вещество, которое добавляют в форму до начала образования корки расплава, который заливают в форму с перегревом на 50-150 градусов. Использование изобретения обеспечивает упрощение и снижение трудоемкости получения пористых отливок» [43]
RU № 2 393 061	Пасечник Н.В., Тонконогов В.Я.,	Способ получения слоистых плит из пеноалюминия.

B22F 7/02, C22C 1/08, B22F 3/24. 27.06.2010	Родинков С.В.,	
---	----------------	--

Продолжение таблицы 1

1	2	3
	Павленко В.В., Орлов В.К., Сарафанов М.А.	«Способ включает горячую прокатку смеси порошка алюминиевого сплава с порофоровым в листовые заготовки, предварительную подготовку поверхностей полученных заготовок, сборку пакета с размещением между листовыми заготовками прослойки, укладку собранного пакета в форму с размерами готового изделия и вспенивание» [21]
RU № 2444417 B22F 3/11, C22C 1/08. 10.03.2012	Колеров В.С., Манцевич Н.М.	Способ получения изделий из композиционного материала на основе пеноалюминия. «Из порошковой смеси, полученной смешением порошков алюминиевого сплава с порофоровым, получают плотную заготовку. Размещают ее в форме для вспенивания из диэлектрического материала, сохраняющей геометрию и размеры при термообработке, нагревают, вспенивают в воздушной атмосфере с получением изделия и охлаждают форму со вспененным изделием.» [45]
RU № 2450892 B22F 3/11, C22C 1/08. 20.05.2012	Колеров В.С., Манцевич Н.М.	Способ получения пористых материалов на основе пеноалюминия (изделий) из алюминиевых сплавов. Исходное сырье из алюминиевых сплавов и порофора подвергают высокоэнергетической механической обработке в кислородсодержащей атмосфере при энергонапряженности 2-8 кВт на 1 дм ³ объема измельчающего устройства. Из полученного порошка формуют заготовку, размещают ее в форме для вспенивания,

		сохраняющей геометрию и размеры при термообработке, проводят термическую обработку путем нагрева и вспенивания заготовки с получением изделия и охлаждают форму» [32]
--	--	---

Продолжение таблицы 1

1	2	3
RU № 2518809 B22F 3/11, C22C 1/08. B22F 3/23 10.06.2014	Амосов А.П., Самборук А.Р., Латухин Е.И., Андриянов Д.И., Байриков И.М., Щербовских А.Е., Кривченко К.А.	Способ получения пористых материалов. «Готовят экзотермическую смесь порошков исходных компонентов при их соотношении, обеспечивающем ее самостоятельное горение, и осуществляют гранулирование. Проводят послойное прессование заготовки, чередуя слои крупных и мелких гранул, при одинаковых или разных давлениях прессования, затем осуществляют самораспространяющийся высокотемпературный синтез и последующее охлаждение полученного материала в вакууме.» [47]
СССР №1447575 B22F 3/10 30.12.88	Азаров С.М., Романенков В.Е. Смирнов В.Г., Смирнова Т.А.	Способ изготовления пористых изделий на основе алюминия. «Способ изготовления из порошка на основе алюминия предполагает засыпку в форму порошка сплава алюминий – медь с содержанием меди 4-25 мас.%, прессование при давлении 1-10 Мпа и температуре 480-530°C и последующие спекание» [48]
СССР № 1219252 B22F 3/10 23.03.86	Витязь П.А., Шелег В.К., Азаров С.М.	Способ получения пористого спеченного материала. «С целью повышения прочности и фильтрующих свойств материала, в качестве порошка используют порошок доэвтектического сплава, плакирование осуществляют термообработкой металлического порошка в интервале температур

		1,2 температуры эвтектики – 0,9 температуры ликвидус, спекание – в интервале температур 1,1 температуры эвтектики – 0,8 температуры ликвидус, причем после спекания осуществляют закалку» [49]
--	--	--

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

Несмотря на активное создание новых способов получения пористого алюминия, существующие способы имеют некоторые недостатки. Поэтому необходимо вести разработку новых способов получения пористого алюминия, чтобы улучшить качество получаемых изделий.

Наиболее близкими к предлагаемому способу относятся патенты [39, 40], в которых раскрыта сущность получения пористого алюминия. Однако они имеют ряд недостатков. В способе получения пористых отливок (Патент России № 2299112, кл. B22D 25/00, 2005) пропитка водорастворимого материала осуществляется вакуумированием. Однако давление газа при вакуумировании в наполнителе быстро падает и расплав захватывает воздух под различным давлением, что приводит к разноплотности пористых отливок.

Во втором способе (Патент России № 2256539 С1, кл. B22D 25/00, 2005), согласно которому нагретый наполнитель засыпают в нагретую форму слоями, сначала более крупной фракции, затем более мелкой. На поверхность наполнителя заливают расплав. В условиях вакуума осуществляется пропитка наполнителя расплавом. После затвердевания отливки механической обработкой удаляют участок, заполненный мелкодисперсным наполнителем. Остальной наполнитель удаляют растворением в воде.

Однако этот способ позволяет получать только мелкие отливки из-за сложности пропитки расплавом наполнителя при вакуумировании, сложности

удаления наполнителя из отливки, а также необходимости удаления части отливки. Кроме того, механическая операция по удалению части отливки снижает эффективность способа.

На основе литературно – патентного анализа можно сделать следующий вывод:

а) разработка способов получения пористого алюминия является актуальной;
б) существующие способы не совершенны и имеют ряд недостатков;
в) приведены механические свойства пористого алюминия, полученного различными способами;

г) один из наиболее перспективных способов получения пористого алюминия вакуумной пропиткой водорастворимого наполнителя с последующим его удалением – не позволяет получить качественный конечный продукт;

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

2 Технологическая часть

2.1 Материалы, оборудование и методы исследования пористого алюминия, полученного пропиткой водорастворимого наполнителя с помощью центробежных сил

Предлагаемый способ получения пористого алюминия центробежным литьем основывается на методе экзотермической пропитки жидким алюминием водорастворимого наполнителя. Отличие предлагаемого способа заключается в том, что пропитка наполнителя производится за счет перегрузок, создаваемых центробежными силами.

Технология получения пористых отливок методом пропитки удаляемого наполнителя обеспечивает получение однородной и прогнозируемой структуры. Использование в качестве наполнителя водорастворимых солей позволяет формировать структуру пор, благоприятную для фильтрации и конкурировать с пористыми металлами, изготовленными методами порошковой металлургии.

Для получения прогнозируемой структуры порового пространства японскими и швейцарскими исследователями [50, 51] используется предварительное спекание наполнителя в металлической форме, предназначенной и для заливки. Размер пор регулируется временем спекания. Затем наполнитель пропитывается расплавом под высоким давлением. Готовая отливка, таким образом, является точной репликой спекенного каркаса наполнителя. Однако промышленного применения разработанная технология не получила вследствие высокой себестоимости производства.

Предлагаемый вариант технологического процесса не предусматривает спекания наполнителя. Для инициации пропитки используется давление, создаваемое центробежными силами, что технологично, так как заливка расплава производится на поверхность засыпки наполнителя.

					ПГУ.ВКР.22.03.01.14МТ/14.ПЗ	Лист
						20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2.1.1 Требования к наполнителю

Структура пористого алюминия не является точной репликой наполнителя. В месте контакта зерен наполнителя за счет несмачивания его расплавом формируется воздушная манжета, представленная на рисунке 2. После кристаллизации металла и выщелачивания наполнителя в воде пористая структура характеризуется: максимальным размером пор, который соответствует размеру зерен наполнителя и минимальным размером пор, соответствующим размеру воздушной манжеты. Геометрия воздушной манжеты определяется физико-химическим взаимодействием в зоне контакта расплава и зерен наполнителя.

Анализ литературных данных [50, 51, 52, 53, 54, 55] показал, что к порообразующему наполнителю необходимо предъявлять следующие требования:

а) температура плавления наполнителя должна быть выше температуры заливки расплава;

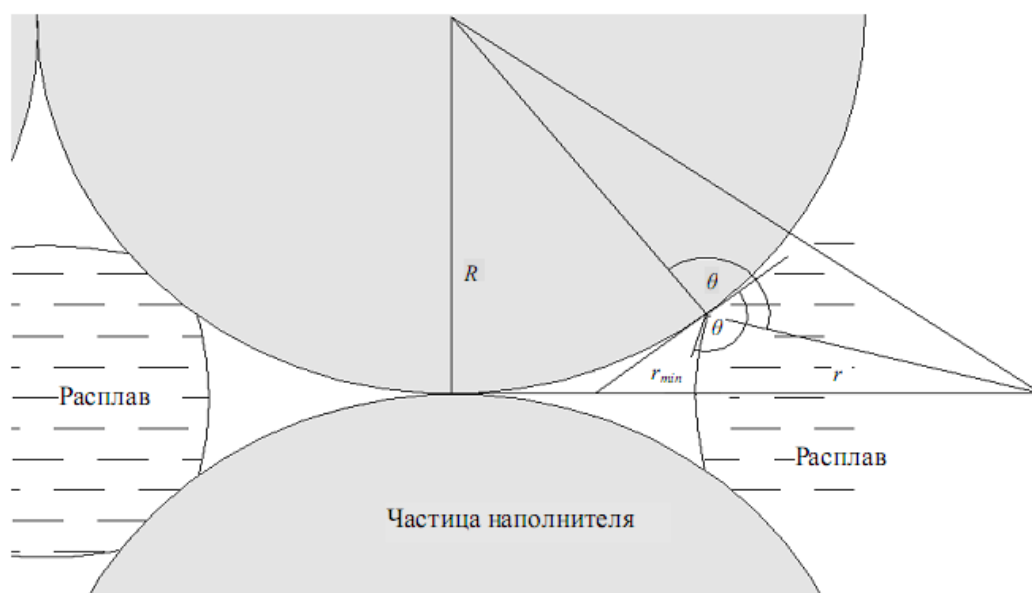


Рисунок 2 – Формирование структуры пористого металла

б) наполнитель не должен смачиваться расплавом матричного металла. В противном случае частицы наполнителя при небольших скоростях пропитки будут со всех сторон окружены расплавом, что сделает удаление наполнителя из тела отливки невозможным;

в) наполнитель должен быть химически инертен к металлу, к растворителю (воде) при его вымывании, к окислительной среде в процессе подогрева;

г) наполнитель должен удаляться из тела отливки в растворителе или любым другим доступным способом. Поскольку наиболее дешевым растворителем является вода, выбор водорастворимых наполнителей очевиден. Обратной стороной высокой скорости растворения является высокая гигроскопичность. Использование гигроскопичных материалов значительно увеличивает энергоемкость и сложность технологического процесса;

д) предельно допустимая концентрация наполнителя в воде должна быть высокой;

е) стоимость наполнителя не должна быть высока;

ж) коэффициент самодиффузии не должен быть высоким для предотвращения спекания зерен в процессе подогрева;

и) зерна наполнителя должны иметь достаточную прочность, чтобы не разрушаться при перемещениях в технологическом процессе, а также при заливке расплава под воздействием давления металла.

Класс материалов, наиболее удовлетворяющих всем вышеперечисленным требованиям - неорганические соли. Их характеристики (кроме смачивания их металлами) приведены в таблице 2.

Анализ таблицы 2 показывает, что тринатрийфосфат нецелесообразно применять из-за высокой гигроскопичности, а фторид калия из-за ядовитости.

Остальные рассмотренные минералы имеют близкие физико-химические и экологические показатели, но стоимость NaCl значительно ниже, что обуславливает выбор 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.

Таблица 2 – Характеристика порообразующих наполнителей

Характеристики	Материалы					
	Na ₃ PO ₄	K ₃ PO ₄	Mg ₂ SO ₄	Na ₂ CO ₃	NaCl	KCl
Температура плавления, К [56]	1613	1613	1400	1125	1076	1049
Коэффициент диффузии в воде, 10 ⁻⁵ см ² /с [57]	47,0	47,0	0,73	0,45	1,49	1,73
Предельная концентрация в воде г/л [57]:	5,4	79,4	25,5	7,0	36,0	28,0
Стоимость наполнителя, руб./кг. [58]	50,0	90,0	25,0	106,0	2...12	15,0
ПДК наполнителя в воде, мг/л [59]	250	250	500	-	350	350
Коэффициент самодиффузии, см ² /с [56]	-	-	-	-	76,9	137,0
Модуль объёмной упругости, МПа [56]	-	-	-	-	60,7	178,0
	-	-	-	-	18,0	26,4
						16,4

Для обеспечения требуемых характеристик пористых изделий возможно использование специальных добавок. Например, добавка графитового порошка (от 0,5 до 2 % по массе) [56] позволяет снизить трение между частицами наполнителя при прессовании (для получения высокопористых отливок).

Большинству выше перечисленным требованиям удовлетворяет такой класс материалов как неорганические соли, из них оптимальным набором характеристик обладает NaCl.

2.1.2 Требования к основе (алюминиевому сплаву)

Большинство областей применения пористого литого алюминия не предусматривают значительные нагрузки, поэтому использование литейных алюминиевых сплавов с высокими механическими свойствами не требуется. Выбор алюминиевого сплава диктуется высокой коррозионной стойкостью в растворе наполнителя и при эксплуатации отливки. Наиболее вредными примесями, снижающими коррозионную стойкость литейных алюминиевых сплавов, являются железо и медь. С одной стороны, они практически неизбежно присутствуют во вторичных сплавах. С другой стороны, применение для плавления алюминия индукционных тигельных печей или печей сопротивления, использующих чугунные тигли, приводит к значительному насыщению расплава железом. При концентрации железа более нескольких сотых долей процента возникают очаговая и питтинговая коррозия. Медь неблагоприятно влияет на химическую стойкость сплава уже при содержании более 0,05 %, что не позволяет рассматривать сплавы системы Al-Cu как сырье для производства пористого алюминия. Наличие в сплаве неметаллических частиц также способствует снижению коррозионной стойкости. Чистые сплавы системы Al-Si, Al-Mg (в солевых растворах) и Al-Mg-Si (при оптимальном соотношении концентрации магния и кремния) обладают несколько более высокой коррозионной стойкостью, чем чистый алюминий. Во избежание нежелательного снижения коррозионной

стойкости при значительных объемах производства рекомендуется шихтовка сплава из чистых компонентов, в противном случае следует использовать чистый алюминий не ниже А85. При отсутствии жестких требований к коррозионной стойкости (при быстром выщелачивании наполнителя вследствие малой толщины стенки отливки) для снижения энергозатрат эффективно использовать близкие к эвтектике сплавы системы Al-Si. Кроме того, рекомендуется для получения качественного недорогого расплава алюминия использовать газовые шахтные печи, с последующей очисткой жидкого алюминия расплавом хлорных солей.

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 $P_{\text{кап}}$ по формуле Лапласа [57]:

$$P_{\text{кап}} = \frac{2\sigma \cos \theta}{r}, \quad (1)$$

где $P_{\text{кап}}$ – капиллярное давление, Н/м²;

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 3. Пористость системы остается неизменной.

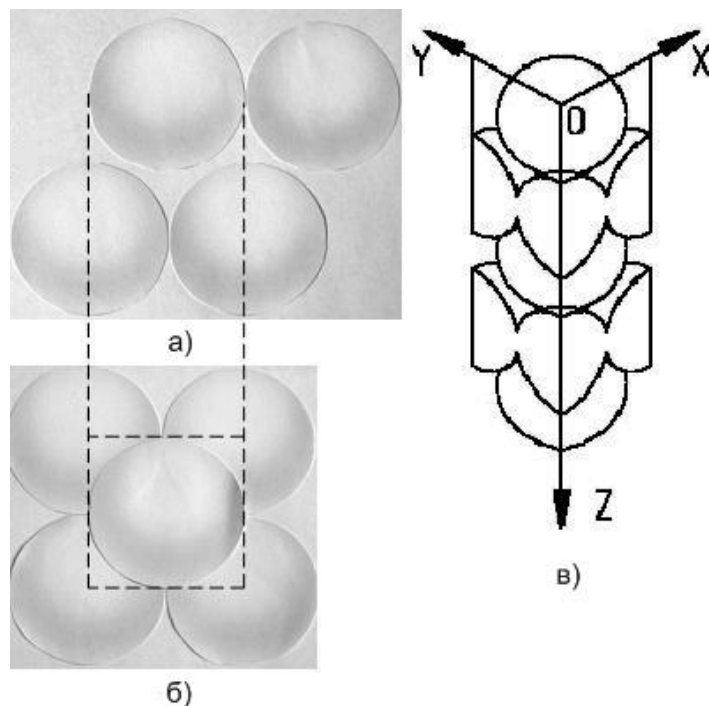


Рисунок 3 – Модель объемного капилляра: а) – вид сбоку; б) – вид сверху; в) – общий вид

2.1.3 Экспериментальная установка

Для проверки теоретических выводов о возможности получения пористых отливок центробежным способом было проведено ряд экспериментов. Для этого была модернизирована и изготовлена экспериментальная установка для центробежного литья с вертикальной осью вращения. Чертеж установки показан на рисунке 4, а фотография на рисунке 5.

Центробежная машина состоит из следующих основных частей: несущей рамы 2, защитных крышек 6, электродвигателя 7, ступенчатой клиноременной передачи, которая состоит из ведущего шкива 5, ведомого шкива 4 и ремня 8, передающего вала 3 с подшипниками 9 и 10, коромысла 1 для крепления литейной формы.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

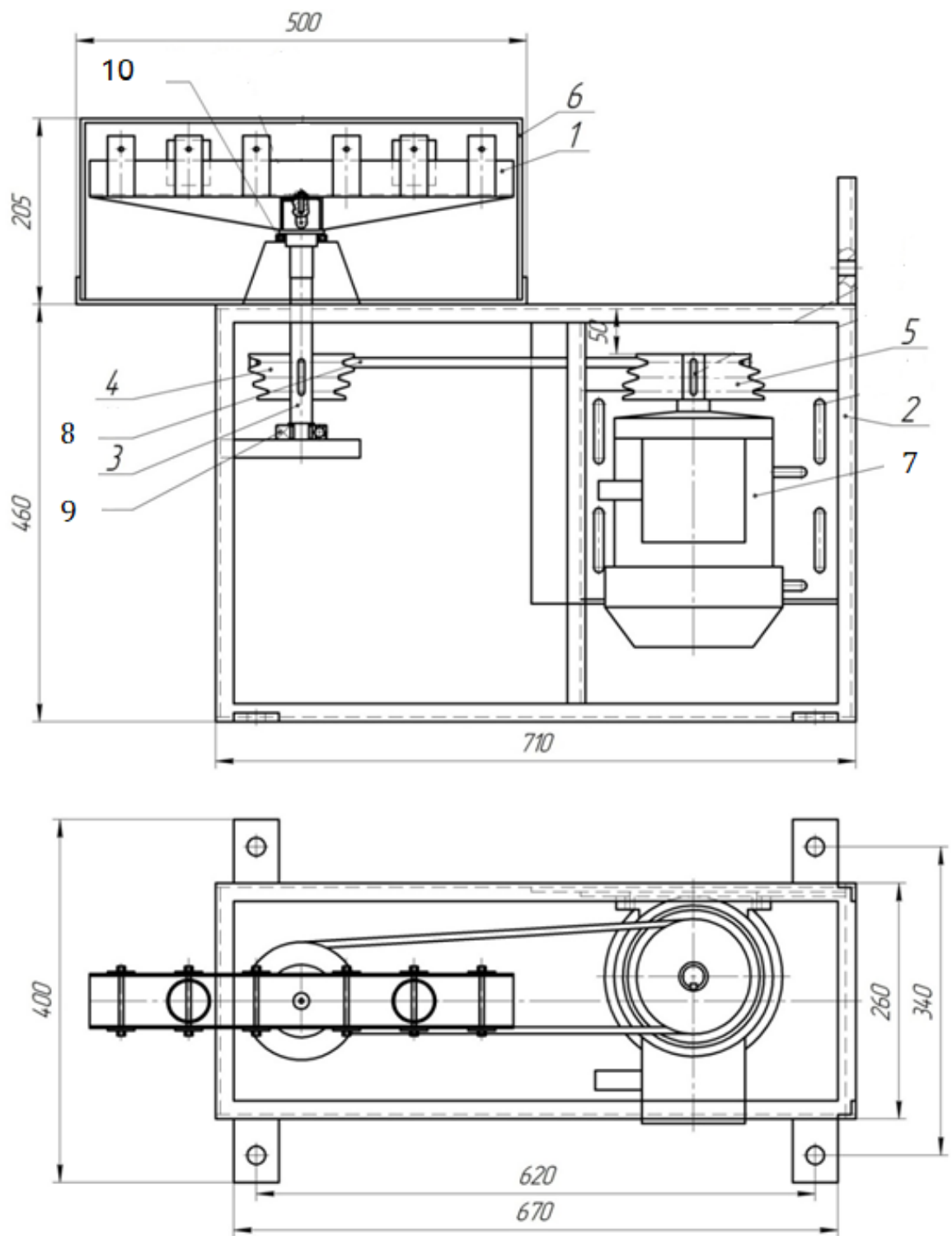


Рисунок 4 – Чертеж экспериментальной установки

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ.ВКР.22.03.01.14МТ/14.ПЗ

Лист

27



Рисунок 5 – Фотография экспериментальной установки

Особенность конструкции машины заключается в том, что использован двигатель переменного тока АИР 90L с частотой вращения 1000 оборотов в минуту. Для создания различных центробежных сил, действующих на жидкий металл при заполнении литейной формы, использована специальная система перемещающихся шкивов.

Важным элементом центробежной машины является коромысло для крепления литейной формы, показанное на рисунке 6. Она представляет собой сварную конструкцию, состоящую из П-образной арматуры с приваренными к ней по бокам пластинами. К нижней части по центру приварено основание с ребрами жесткости, для закрепления коромысла на валу.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ.ВКР.22.03.01.14МТ/14.ПЗ

Лист

28

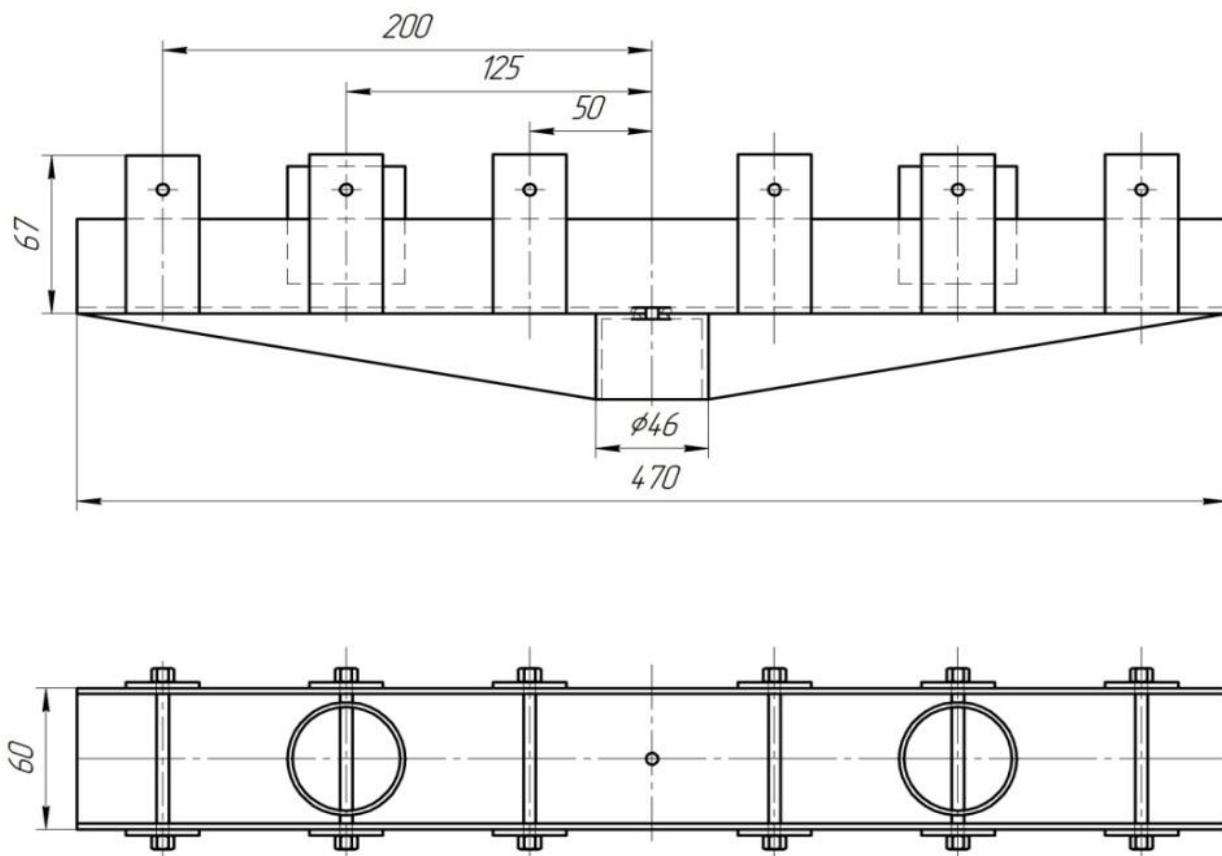


Рисунок 6 – Коромысло

Для расчета частоты вращения коромысла используется следующая формула [58]:

$$n_2 = \frac{n_1 \cdot d_1}{d_2}, \quad (2)$$

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

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

Передаточное число находится из отношения [58]:

$$u = \frac{d_2}{d_1}, \quad (3)$$

Важной характеристикой, определяющей эффективность работы центробежной машины, является коэффициент гравитации K . Он показывает во сколько раз сила, действующая на заливаемый металл больше силы тяжести. Коэффициент гравитации определяется по формуле [59]:

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

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

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.

На коромысле стаканчик, в котором изготавливается отливка, 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 .

Для лучшего извлечения образцов пористого алюминия из металлической формы была разработана специальная конструкция стаканчика, представленная на рисунке 7.

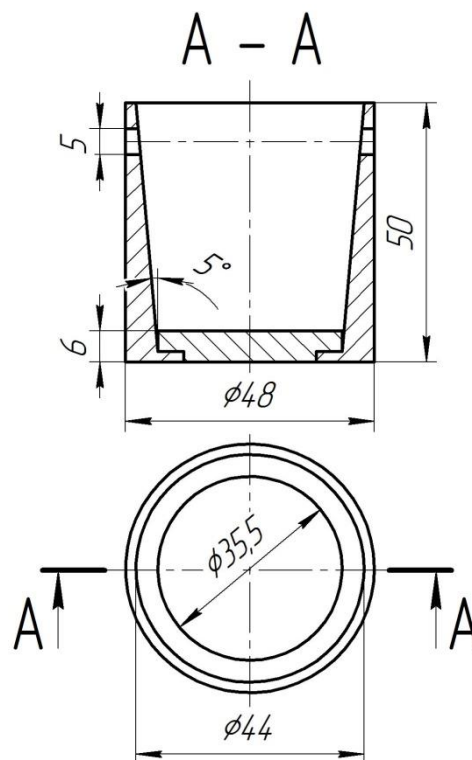


Рисунок 7 – Конструкция стаканчика

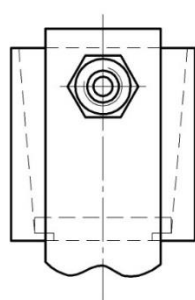
Технические характеристики центробежной машины для различного соотношения шкивов, рассчитанные по формулам (1 – 3), приведено в таблице 3.

Изменяя сочетание диаметров ведущего и ведомого шкивов и расстояние, на котором закрепляется металлическая форма, можно изменять значения коэффициента гравитации от 66,7 до 388,8.

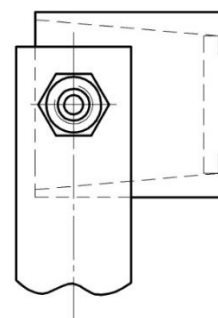
При включении машины насадка начинает вращаться. Так как стаканчики закреплены свободно в коромысле, то под действием центробежных сил они поворачиваются на 90°. Показано на рисунке 8.

Таблица 3 – Технические характеристики центробежной машины

Вариант	Диаметры шкивов, м		Частота вращения изложницы n_2, c^{-1}	Передаточное число u	Коэффициент гравитации K	
	ведущего d_1	ведомого d_2			при $R=0,05м$	при $R=0,125м$
1	0,15	0,09	27,8	1,67	155,5	388,8
2	0,15	0,1	25,0	1,5	125,8	314,4
3	0,15	0,11	22,7	1,36	103,7	259,2
4	0,14	0,09	25,8	1,55	133,9	334,8
5	0,14	0,1	23,3	1,4	109,2	273,1
6	0,14	0,11	21,2	1,27	90,4	226,1
7	0,12	0,09	22,2	1,33	99,2	247,9
8	0,12	0,1	20	1,2	80,5	201,2
9	0,12	0,11	18,2	1,09	66,7	166,6



а)



б)

Рисунок 8 – Расположение стаканчика на коромысле: а) – в статическом положении; б) – при вращении коромысла

2.1.4 Приборы и методы исследования пористого алюминия

В полученных отливках исследовали микроструктуру металла, размер и величину пор, химический состав и его однородность по сечению, а также водопроницаемость.

Качество пористых отливок проверяли визуально и по водопроницаемости. Проницаемость жидкостью определяется в нестационарных условиях (при падении гидростатического напора от h_1 до h_2) на экспериментальной установке, схема которой показана на рисунке 9.

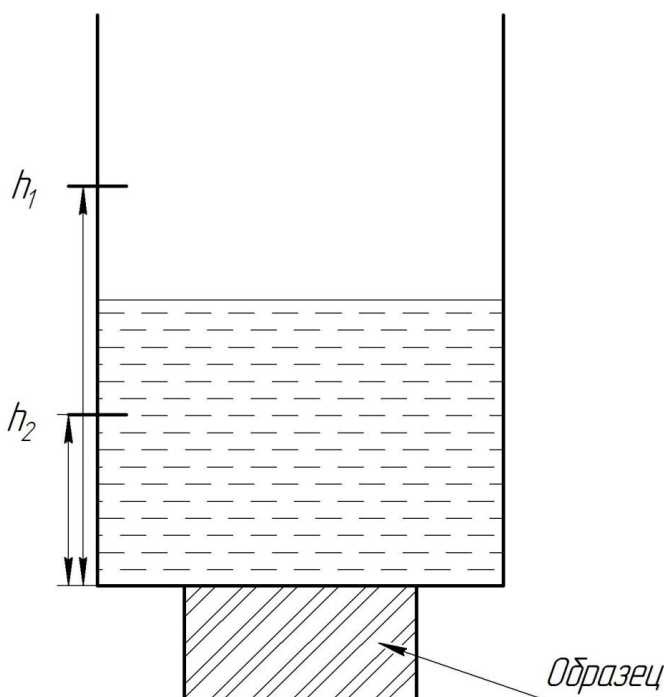


Рисунок 9 – Схема установки для определения проницаемости жидкостью

Установка состоит из размещенной на штативе стеклянной колбы (площадь сечения которой равна F_K), которая наполняется жидкостью с известной динамической вязкостью μ . Пористый образец закрепляется до заливки жидкости в нижней части колбы. Затем жидкость заливается до верхней риски на колбе. Проницаемость жидкостью пористого алюминия определяется по времени падения уровня жидкости до нижней риски.

Расход жидкости при прохождении её через сечение заданного размера определяется по уравнению Дарси [60]:

$$\frac{F_K dh}{d\tau} = \frac{K_{\Pi} \rho g h F}{\mu l}, \quad (5)$$

где h – высота уровня жидкости над образцом;

K_{Π} – коэффициент проницаемости;

ρ – плотность жидкости;

g – ускорение свободного падения;

F – площадь сечения образца;

l – размер образца в направлении фильтрации.

После разделения переменных интегрирования, из полученного уравнения получим коэффициент проницаемости:

$$K_{\Pi} = \frac{F_K \mu \cdot l}{F \rho g \tau} \ln \frac{h_2}{h_1}, \quad (6)$$

Коэффициент проницаемости пористой отливки и является основным показателем качества отливки.

Для условий проведения эксперимента в качестве жидкости использовалась вода ($\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$, $\mu = 1,002 \times 10^{-3} \text{ Н с/м}^2$), диаметр колбы $D = 0,1 \text{ м}$, диаметр исследуемого образца $d = 0,05 \text{ м}$, толщина образца $l = 0,01 \text{ м}$, первоначальная высота жидкости в колбе $h_2 = 0,3 \text{ м}$. Тогда если за время $\tau = 60 \text{ секунд}$, высота жидкости падает до $h_1 = 0,2 \text{ м}$, то величина коэффициента пористой отливки составит $K_{\Pi} = 0,41 \times 10^{-11}$. Эта величина является критической. Если высота жидкости падает меньше, то есть $h_1 > 0,2 \text{ м}$, то коэффициент проницаемости будет неприемлемо маленьким и отливка считается некачественной.

Химический состав полученных отливок определяли с помощью оптического спектрометра ПАПУАС 4–И, представленного на рисунке 10. Данный прибор предназначен для определения химического состава металлов и сплавов и способен выявлять практически все элементы, за исключением серы, фосфора и углерода.



Рисунок 10 – оптический спектрометр ПАПУАС 4–И

Структуру пористого алюминия определяли с помощью микроскопа Альтами МЕТ 6 С. Фотография микроскопа представлена на рисунке 11.



Рисунок 11 – Микроскоп Альтами МЕТ 6 С

2.2 Технологический процесс получения пористого алюминия

На модернизированной экспериментальной центробежной установке было проведено ряд экспериментов по получению пористого алюминия. Для проведе

ния экспериментов на центробежной машине была разработана инструкция [приложение А].

В общем виде технология получения пористого алюминия методом пропитки водорастворимого наполнителя включает следующие стадии:

- а) рассев наполнителя по фракциям (монофракция обеспечивает однородность структуры пористой отливки);
- б) нагрев наполнителя вместе с металлической формой;
- в) установка формы с наполнителем в машину;
- г) заливка сплава в форму;
- д) пропитка наполнителя в центробежной машине расплавом (под действием центробежных сил);
- е) извлечение заготовок из машины;
- ж) механическая обработка заготовок;
- и) вымывание наполнителя из отливки.

Схематически процесс получения пористого алюминия представлен на рисунке 12.

Предварительно перед началом экспериментов проводили рассев наполнителя – поваренной соли на лабораторной установке для разделения песчаной основы формовочных песков на фракции по крупности зерен модели 029, представленной на рисунке 13. Были получены фракции с размерами: от 0,05 до 0,063 мм; от 0,063 до 0,1 мм; от 0,1 до 0,16 мм; от 0,16 до 0,2 мм; от 0,2 до 0,315 мм; от 0,315 до 0,4 мм; от 0,4 до 0,63 мм; от 0,63 до 1 мм; от 1 до 1,6 мм; от 1,6 до 2,5 мм.

Для создания однородной структуры отливки во время эксперимента использовались зерна соли одного размера (монофракция). Зерна наполнителя имели неправильную – осколочную форму, представлены на рисунке 14, что, по-видимому, не является оптимальным решением, так как при использовании глобулярных зерен качество пористого алюминия было бы лучше.

Далее производили взвешивание навесок наполнителя на технических весах модели ВА-4М.



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ.ВКР.22.03.01.14МТ/14.ПЗ

Лист

36

Рисунок 12 – Технология изготовления пористых отливок



Рисунок 13 – Прибор для определения зернового состава сыпучих материалов модели 029М



Рисунок 14 – Зерна наполнителя

Для проведения экспериментов на центробежной установке масса навески соли составляла 0,025 плюс минус 0,001 кг. После взвешивания соль засыпалась в металлические формы. Формы вместе с наполнителем нагревали в камерной электропечи сопротивления марки МП – 10 до заданной температуры. Проведенные эксперименты показали, что даже при нагреве соли до относительно низких температур, для предупреждения ее спекания, необходимо в процессе нагрева перемешать соль 2 раза. После того как формы с наполнителем нагреются до заданной температуры их помещали в установку. Причем формы можно размещать на различном фиксированном расстоянии от центра вращения, для создания различных по величине центробежных сил. Затем на поверхность засыпки наполнителя заливали расплав, предварительно расплавленный и перегретый до заданной температуры. Плавку расплава 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 машина приводилась в действие.

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. Стаканчики с отливками извлекаются из машины. После охлаждается отливка извлекается из формы и проводится необходимая механическая обработка.

2.3 Результаты экспериментов

Для определения технологических параметров процесса получения пористого алюминия с помощью центробежного литья были проведены

					ПГУ.ВКР.22.03.01.14МТ//4.ПЗ	Лист
						38
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

эксперименты: по влиянию коэффициента гравитации, размера зерна и температуры нагрева наполнителя на качество получаемого материала.

При проведении экспериментов базовыми были следующие параметры: сплав АК5М2 с температурой 750 °С, коэффициент гравитации равен 248, размер зерна наполнителя от 0,63 до 1 мм, температура нагрева наполнителя 680 °С. При проведении дальнейших исследований менялся только один параметр.

Были проведены эксперименты по влиянию перегрузок, создаваемых центробежными силами, на качество пористого алюминия. Для этого изменяли значения коэффициента гравитации K в пределах от 150 до 390. В результате было установлено, что максимальные и минимальные перегрузки при получении пористых отливок не приемлемы. При низких перегрузках образовывался дефект – непропитка, показанная на рисунке 15, так как центробежные силы оказались недостаточны для преодоления капиллярного давления в порах наполнителя.



Рисунок 15 – Дефект непропитка (коэффициент гравитации $K = 167$)

При высоких перегрузках пропитка произошла хорошо, но качество пористого материала было очень плохим (коэффициент проницаемости жидкости значительно меньше нормы), так как избыточное давление металла значительно уменьшило воздушную манжету и соединение отдельных пор отсутствует. Фотография образца представлена на рисунке 16.

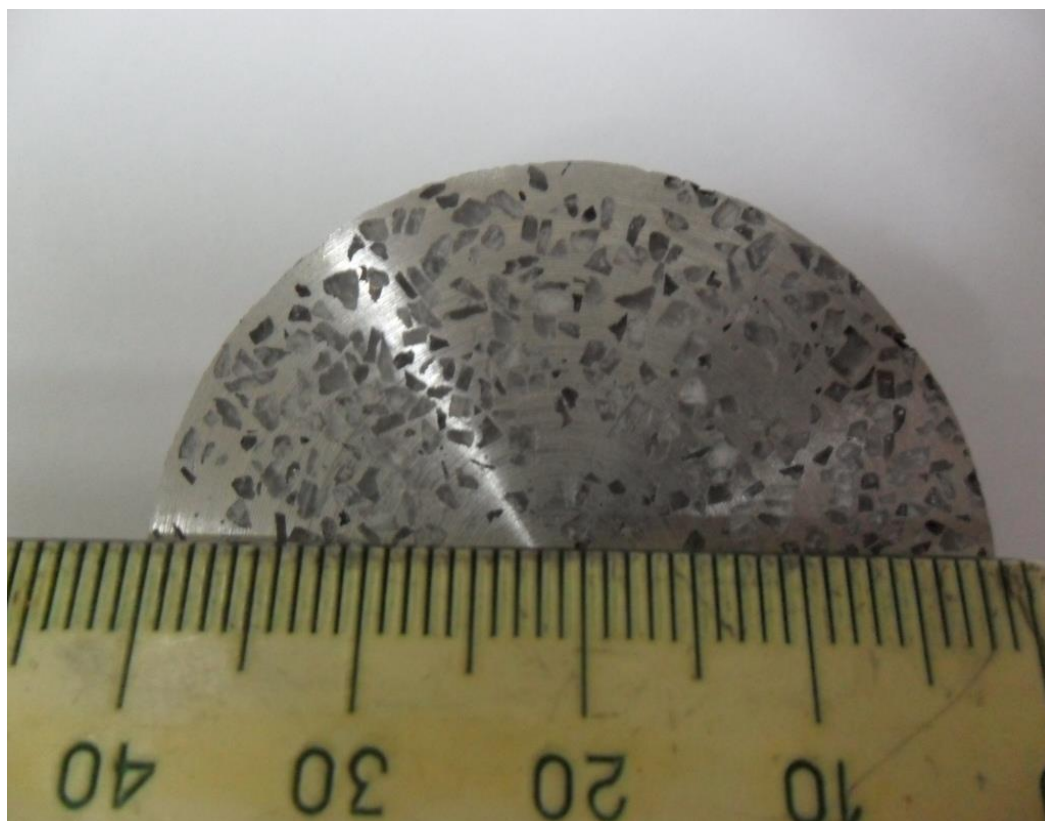


Рисунок 16 – Опытный образец с плохой проницаемостью, полученный при повышенных перегрузках

Как видно из рисунка полного удаления наполнителя не произошло, и часть его остается в теле отливки. Это ухудшает пропускные свойства и делает невозможным применение в качестве фильтра.

Полученные после пропитки образцы, представленные на рисунке 17, требуют механической обработки. После обработки, когда открываются поверхностные поры из них уже можно вымывать наполнитель, а затем подвергать

испытаниям на пропитку. Фотография образца прошедшего механическую обработку представлена на рисунке 18.



Рисунок 17 – Опытный образец с полной пропиткой без механической обработки

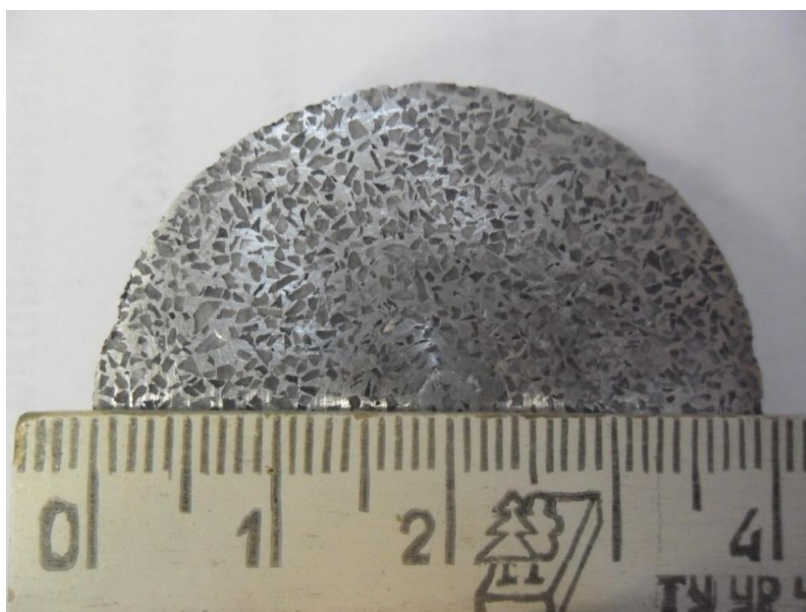


Рисунок 18 – Опытный образец с полной пропиткой после механической обработки

Следующая серия опытов проводилась с целью выяснения влияния температуры нагрева наполнителя перед пропиткой на качество изготавливаемой отливки. Остальные параметры остались неизменными.

Нижний предел температуры нагрева наполнителя составлял от 450 до 550 °С. Результат оказался отрицательным – пропитка практически не произошла. Фотография полученного образца с непропиткой представлен на рисунке 19.

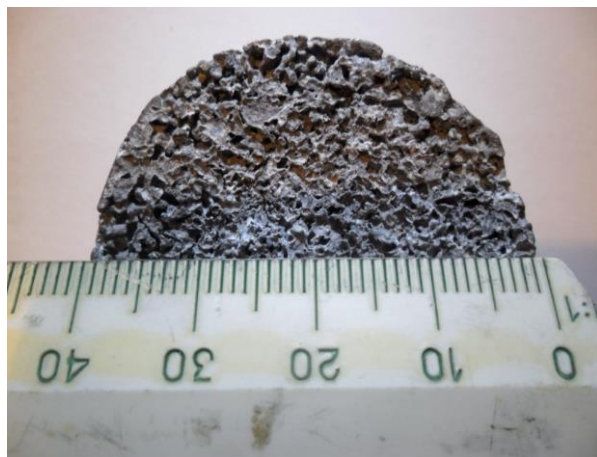


Рисунок 19 – Дефект непропитка (нагрев наполнителя 520 °С)

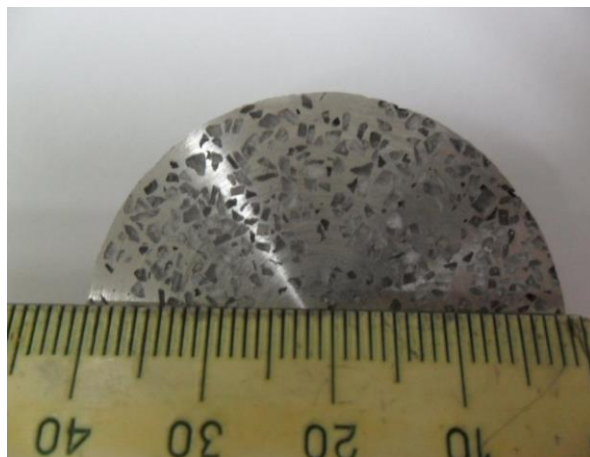
При повышении температуры нагрева выше 730 °С также наблюдался дефект непропитка, причем чем выше была температура, тем непропитка была больше, что объясняется спеканием соли. При нагреве соли до температуры 800 °С она спекается в монолит, и пропитка наполнителя вообще отсутствует. В ходе экспериментов было установлено, что оптимальная температура нагрева наполнителя для проведенных опытов находится в пределах от 620 до 720 °С.

Была проведена также серия экспериментов по влиянию размера фракции наполнителя на качество отливок. Использовалась фракция наполнителя с

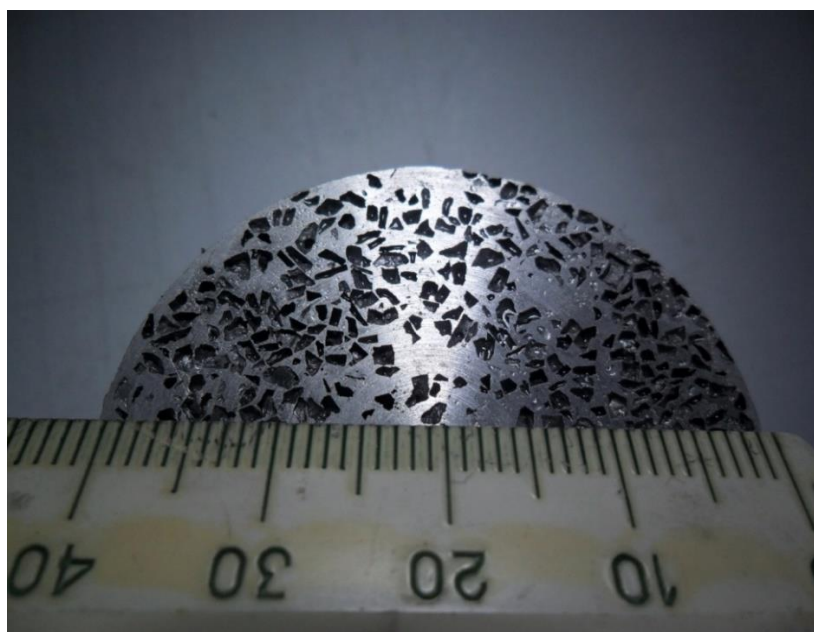
размерами от 0,2 до 2,5 мм. Фотографии полученных образцов с различным размером наполнителя представлены на рисунках 20, 21.



а)

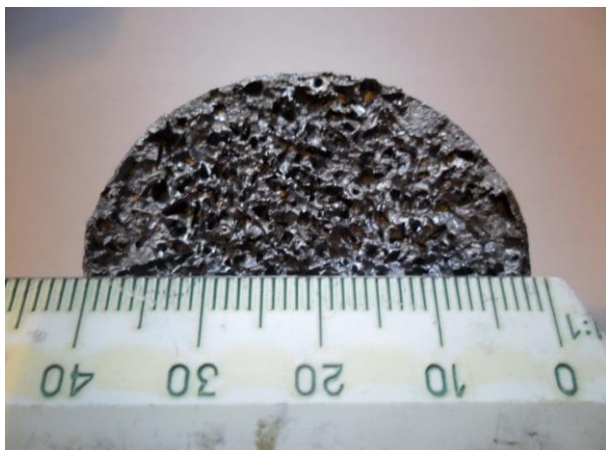


б)

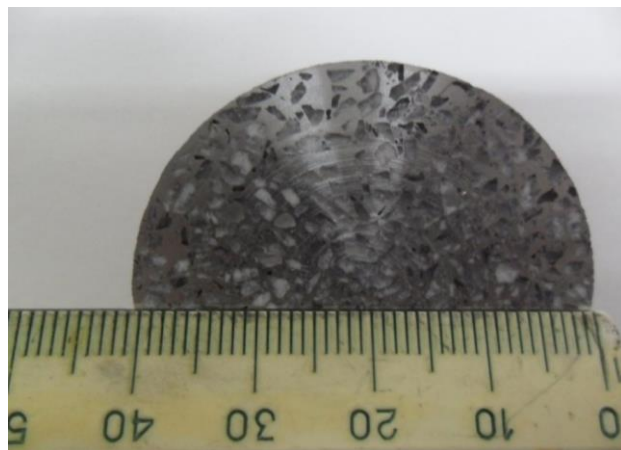


в)

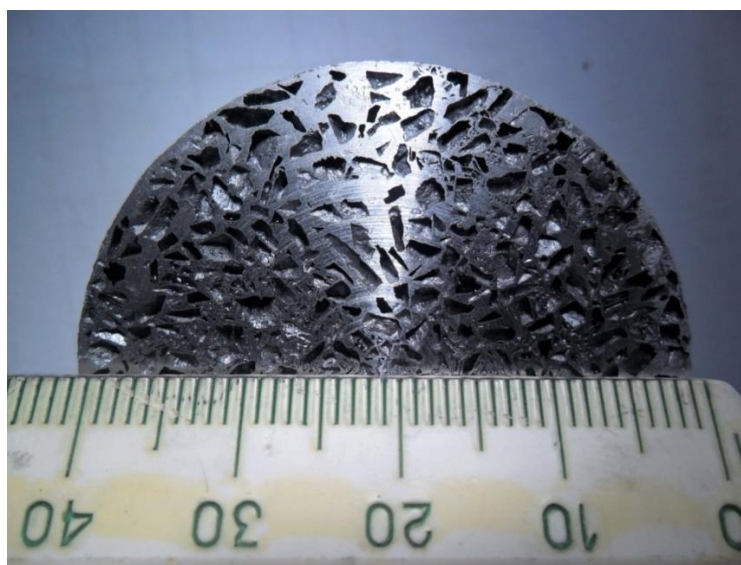
Рисунок 20 – Образец с размером фракции наполнителя от 0,63 до 1 мм:
а) – без механической обработки; б) – после механической обработки; в) – после удаления наполнителя



а)



б)



в)

Рисунок 21 – Образец с размером фракции наполнителя от 1 до 1,6 мм:
а) – без механической обработки; б) – после механической обработки; в) – после удаления наполнителя

Проведенная серия экспериментов показала, что оптимальными размерами наполнителя для получения качественной пористой алюминиевой отливки являются зёрна от 0,4 до 1,6 мм.

Также были проведены опыты по получению отливок сочетающих пористую и монолитную части. Разрез такой отливки представлен на рисунке 22.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ.ВКР.22.03.01.14МТ//4.ПЗ

Лист

44

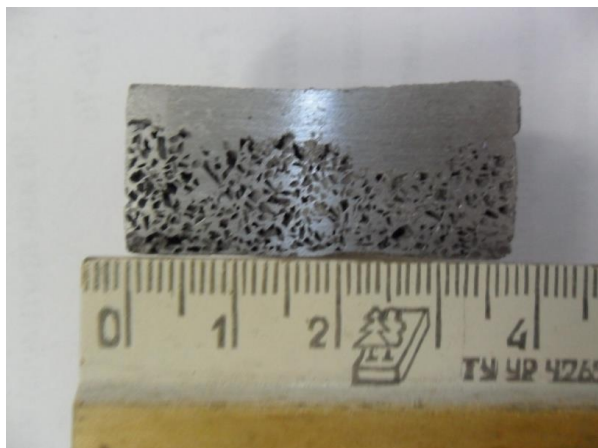
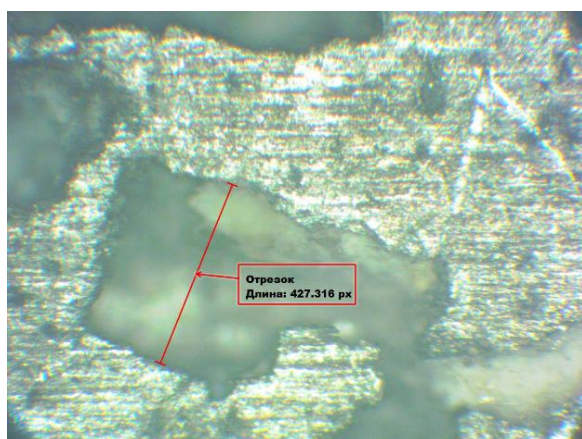
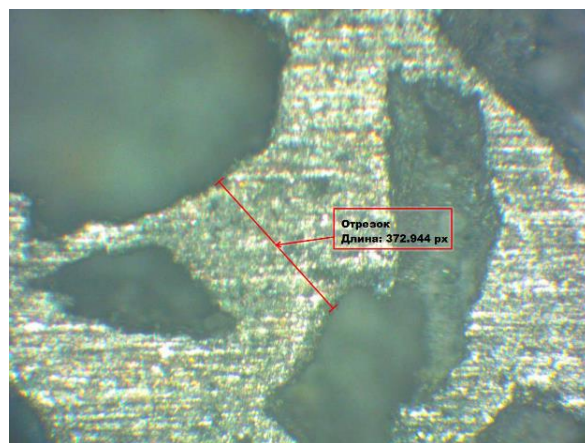


Рисунок 22 – Разрез отливки, сочетающей пористую и монолитную части

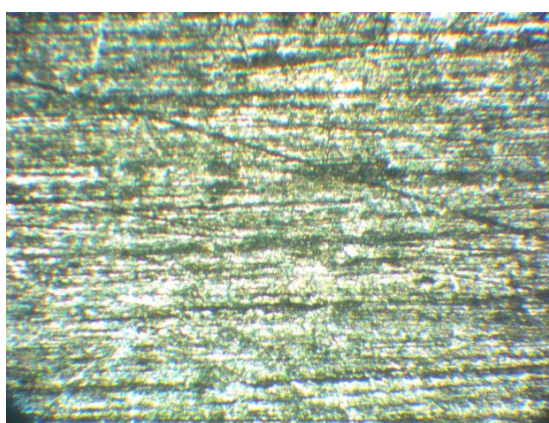
Микроструктура такой отливки при увеличении в 200 раз представлена на рисунке 23.



а)



б)



в)

Рисунок 23 – Структура заготовки: а), б) – пористая части; в) – монолитная часть

Для заготовки, имеющей монолитную и пористую части был определён химический состав сплава, который показан на рисунке 24.

Отобр. Программа Сохран. Режим								
C:\P4\al.int Анализ алум. сплавов (искра) 20+20 "ФТ" C D2.5 L=10 sp+ Образец :2 ближ. : АК5М2								
*	1	2	3	4	5	Среднее	СКО (%)	↑
Al	88.8	90.1	90.3	91.2	91.5	90.4	1.0	
Mg	0.15	0.14	0.08	0.16	0.14	0.13	21	
Cu	0.70	0.47	0.37	0.43	0.51	0.50	23	
Si	5.00	4.97	3.49	4.21	3.77	4.45	19	
Fe	2.20	1.64	2.55	1.49	1.68	1.91	21	
Mn	0.62	0.56	1.17	0.62	0.64	0.72	31	
Zn	1.31	1.75	1.24	1.24	1.47	1.40	14	
Ni	0.11	<0.01	0.07	0.02	<0.01	0.04	111	
Ti	0.026	0.091	0.069	0.054	0.072	0.062	35	
Pb	0.09	0.15	0.09	0.12	0.16	0.12	24	
Sn	<0.01	<0.01	0.33	0.30	<0.01	0.13	123	↓
СОСТАВ								

а)

р. Отобр. Программа Сохран. Режим								
C:\P4\al.int Анализ алум. сплавов (искра) 20+20 "ФТ" C D2.5 L=10 sp+ Образец :3 ближ. : АК5М2								
*	1	2	3	4	5	Среднее	СКО (%)	↑
Al	85.7	87.7	86.8	86.2		86.6	0.9	
Mg	0.23	0.22	0.27	0.25		0.24	8.3	
Cu	2.57	1.52	2.48	2.37		2.23	19	
Si	6.52	5.64	6.31	7.22		6.42	8.7	
Fe	0.93	0.92	1.06	0.96		0.97	5.7	
Mn	0.21	0.25	0.18	0.24		0.22	12	
Zn	2.41	1.94	2.03	2.11		2.12	8.3	
Ni	0.15	<0.01	<0.01	<0.01		0.04	181	
Ti	0.031	0.002	0.001	<0.000		0.029	115	
Pb	0.21	0.18	0.16	0.14		0.18	15	
Sn	>0.50	>0.50	0.40	0.20		>0.50	0.0	↓
СОСТАВ								

б)

Рисунок 24 – Химический состав заготовки, сочетающей пористую и монолитную части: а) – перемычек пористой части, б) – монолитной части

Химический состав заготовок определяли с помощью оптического спектрометра ПАПУАС 4-И. Заготовка пористого алюминия была помещена на

предметный столик в рабочем пространстве спектрометра. Предметный столик выполнял роль одного из электродов. Между ним и вторым электродом (графитовым) при помощи дуги с током 10 мА и напряжением 18 В инициировался электрический разряд, в котором происходило испарение и возбуждение свечения атомов алюминиевой пробы.

Анализ химического состава перемычек пористой части показывает значительный разброс химического состава сплава по сечению отливки, что, по-видимому, связано с интенсивным перемешиванием расплава и протеканием химических процессов в нем при формировании заготовки. Монолитная часть заготовки имеет более однородный химический состав.

Кроме того, проводились исследования для определения соотношения основы (металла) и порового пространства в заготовке. Фотографии образца и его поверхности с небольшим увеличением представлены на рисунке 25.



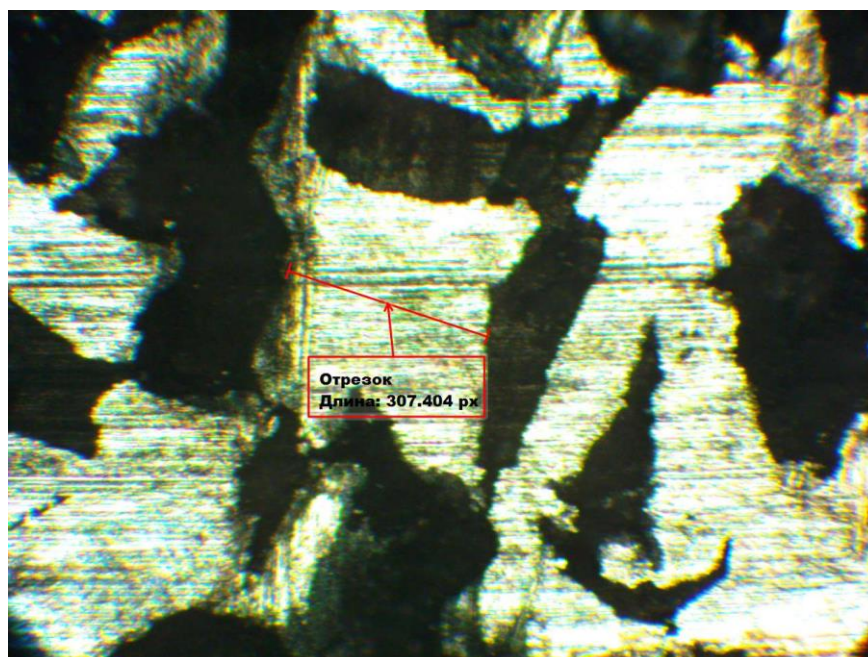
а)



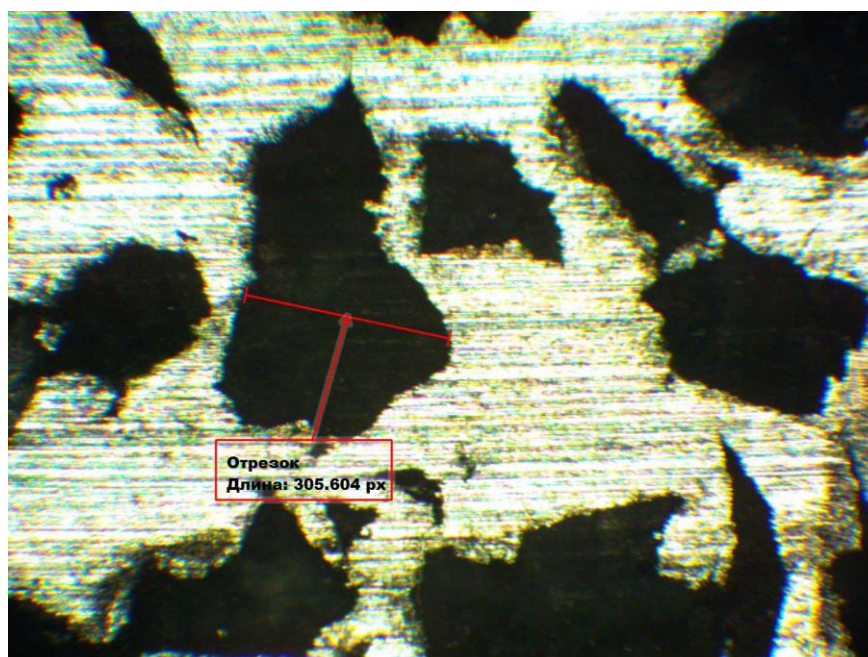
б)

Рисунок 25 – Образец с размером фракции от 0,4 до 0,6 мм: а) – фото образца; б) – структура пористого алюминия (увеличение в 6 раз)

Микроструктуру пористого алюминия изучали с помощью микроскопа Альтами МЕТ 6 С. Фотографии полученных структур пористого алюминия при увеличении в 200 раз показаны на рисунке 26.



а)



б)

Рисунок 26 – Микроструктура пористого алюминия (увеличение в 200 раз):
а) – перемычка; б) – пора

Как видно из рисунка 26 размеры пор приблизительно соответствуют размерам зерна наполнителя. Также несложно заметить, что форма и пор, и перемычек имеет неправильную форму и различные размеры, что объясняется осколочным характером зерен наполнителя. Пористость 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 % порового пространства и 45 % металла. Таким образом, пористость образца составляет 55 %. Исследование других образцов полученных с помощью центробежного литья показало, что пористость в зависимости от условий их формирования изменяется в пределах от 40 до 60 %.

В ходе всех проведенных экспериментов были определены оптимальные требования к алюминиевому сплаву и наполнителю, а также параметры литья для данного способа, которые приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Оптимальные требования к алюминиевому сплаву, наполнителю, режимам и параметрам литья

Параметр		Оптимальное значение
Алюминиевый сплав		Чистый алюминий А85, АК12, АК5М2
Наполнитель	Материал	Поваренная соль
	Температура нагрева, °С	$t_{пл} + (100 \div 150)$
	Форма зерна	Осколочная
	Особые требования	Монофракция с одинаковым размером зерна
	Размер зерна, мм	0,4...1,6
Коэффициент гравитации K при центробежном литье		200...300

Выводы

По итогам выполнения бакалаврской выпускной квалификационной работы можно сделать следующие основные выводы:

- модернизирована и изготовлена экспериментальная установка;
- разработан технологический процесс изготовления пористого алюминия и методика проведения экспериментов;
- определён химический состав наполнителя и требования к литейному алюминиевому сплаву;
- температура нагрева наполнителя должна быть на 100 – 150 °С выше температуры плавления сплава;
- для получения однородной пористости необходимо использовать зёрна одного размера;
- определён оптимальный размер зерна наполнителя;
- определены оптимальные значения перегрузок;
- исследованы полученные образцы пористого алюминия.

Заключение

В результате выполненной выпускной квалификационной работы поставленные цели по разработке технологического процесса получения пористого алюминия с помощью центробежного литья достигнуты.

В процессе литературного анализа был сделан обзор научных работ по свойствам, методам получения и областям применения пористо алюминия, исходя из которого можно сделать вывод, что существующие методы получения пористого алюминия имеют различные недостатки и не позволяют получать качественные с высокими характеристиками изделия.

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

В технологической части была модернизирована экспериментальная установка, а также разработана технология изготовления на ней пористого алюминия. Были определены оптимальные параметры и режимы литья для получения пористого алюминия.

Так установлено, что температура нагрева наполнителя должна быть на 100 – 150 °С выше температуры плавления сплава, для получения однородной пористости необходимо использовать зёрна одного размера, оптимальный размер зерна наполнителя составляет от 0,4 до 1,6 мм, коэффициент гравитации K должен составлять от 200 до 300. Так же было установлено, что пористость в зависимости от условий их формирования изменяется в пределах от 40 до 60 %.

Анализ химического состава перемычек пористой части показывает значительный разброс химического состава сплава по сечению отливки, что, по-видимому, связано с интенсивным перемешиванием расплава и протеканием химических процессов в нем при формировании заготовки. Монолитная часть заготовки имеет более однородный химический состав.

Таким образом, в данной квалификационной работе был разработан технологический процесс получения качественного пористого алюминия центробежным способом. К преимуществам данного способа можно отнести упрощение и снижение трудоёмкости создания пористых заготовок с заданной величиной пор, исключается из технологии получения дополнительная механическая обработка, расширяется возможность изготовления больших отливок с мелкими порами.

					ПГУ.ВКР.22.03.01.14МТ//4.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52

Список использованных источников

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 Финкельштейн, А.Б. Изучение технологических параметров получения пористых литых изделий [Текст]: Тезисы докладов конференции «Технология и оборудование современного машиностроения» / А.Б. Финкельштейн, А.В. Чечулин. – Уфа: УГАТУ. – 1994. – С.90–91.

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

6 Ершов, М.Ю. Технологии получения автомобильных деталей из вспененного алюминия [Текст] / М.Ю. Ершов, И.А. Лепешкин // Дизайн. Теория и практика. – 2010. – №4. – С.77–88.

7 Цукров С. Вспененный алюминий [Текст]: справочник / С. Цукров. – М.: Уральский Рынок Металлов. 2009. – 181.

8 Металлопрокат [Электронный ресурс] // Вспененный алюминий – материал будущего: [сайт]. – URL: <http://74metalloprokat.ru/articles/100/> (дата обращения: 12.03.2018).

9 INGVARR [Электронный ресурс] // Пористый алюминий позволяет утроить емкость литиево-ионных батарей: [сайт]. – URL: <http://ingvarr.net.ru/publ/35-1-0-5127> (дата обращения: 08.04.2018).

					ПГУ.ВКР.22.03.01.14МТ//4.ПЗ	Лист
						53
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

10 Бутарович, Д.О. Расчетное исследование механических свойств пеноалюминия [Электронный ресурс] / Д.О. Бутарович, А.А Смирнов // Механические свойства: [сайт]. – URL: www.niism-kb.narod.ru (дата обращения: 12.03.2018).

11 Способ получения вспененного металла [Текст]: пат.2016113 Рос. Федерация: МПК C22C 1/08/ Буньков В.Н., Решетников Е.Ю., Глызин В.В., Ливанцов С.В.; заявители Буньков В.Н., Решетников Е.Ю., Глызин В.В., Ливанцов С.В.; патентообладатель ЗАО Товарищество с ограниченной ответственностью «Регул-бизнес». – № 5042556/02; заявл. 20.05.1992; опубл. 15.07.1994, Бюл. № 20

12 Способ получения вспененного алюминия [Текст]: пат. 2026394 Рос. Федерация: МПК C22C 1/08, C22B 21/00/ Буньков В.Н., Решетников Е.Ю., Бугаков В.П.; заявитель и патентообладатель Научно-внедренческое, проектно-конструкторское и посредническое предприятие «СИБ-индекс». – № 5060351/02; заявл. 25.08.1992; опубл. 09.01.1995; Бюл. № 1

13 Способ получения пенометалла [Текст]: пат. 2046151 Рос. Федерация: МПК C22C 1/08/ Вольфганг В.Р., Бьерн К.; заявитель и патентообладатель Норск Хюдро А.С. (NO). – № 5011037/02; заявл. 11.07.1990; опубл. 20.10.1995, Бюл. № 29

14 Способ получения пеноалюминия [Текст]: пат. 2068455 Рос. Федерация: МПК C22C 1/08, C22B 21, B22D 21/04/ Буньков В.Н., Решетников Е.Ю., Ливанцов С.В., Глызин В.В.; патентообладатель ООО Средневолжский сертификационно-диагностический центр «Дельта». – № 5021187/02; заявл. 23.05.1994; опубл. 27.10.1996, Бюл. № 30.

15 Способ производства пористых полуфабрикатов из порошковых алюминиевых сплавов [Текст]: пат. 2121904 Рос. Федерация: МПК B22F 3/11/ Литвинцев А.И., Литвинцев С.А.; заявители и патентообладатели Литвинцев А.И., Литвинцев С.А. – № 200411459/02; заявл. 20.01.1996; опубл. 20.11.1998, Бюл. № 32

16 Способ получения пористых полуфабрикатов из порошков алюминиевых сплавов [Текст]: пат. 2138367 Рос. Федерация: МПК B22F 3/11/ Арбузова Л.А., Старовойтенко Е.И., Трубкина Е.М., Полькин И.С., Талалаев В.Д.,

Бондарев Б.И., Щелбанин В.В.; заявители и патентообладатели Арбузова Л.А., Полькин И.С., Талалаев В.Д. – № 98114805/02; заявл. 27.07.1998; опубл. 27.09.1999, Бюл. № 27

17 Способ получения пористых изделий из порошков алюминиевых сплавов [Текст]: пат. 2139774 Рос. Федерация: МПК B22F 3/18, B22F 3/11/ Арбузова Л.А., Старовойтенко Е.И., Полькин И.С., Андреев Д.А., Талалаев В.Д., Гинжул А.В.; заявители и патентообладатели Арбузова Л.А., Старовойтенко Е.И. – № 98105963/02; заявл. 15.05.1997; опубл. 20.10.1999, Бюл. № 29

18 Способ получения пористых полуфабрикатов из порошков алюминиевых сплавов [Текст]: пат. 2153957 Рос. Федерация: МПК B22F 3/11/ Арбузова Л.А., Талалаев В. Д., Трубкина Е.М., Полькин И.С., Старовойтенко Е.И.; заявители и патентообладатели Арбузова Л.А., Трубкина Е.М., Полькин И.С. – № 98120989/02; заявл. 18.11.1998; опубл. 10.08.2000, Бюл. № 22

19 Способ получения пористых полуфабрикатов и готовых изделий из порошков алюминиевых сплавов (варианты) [Текст]: пат. 2154548 Рос. Федерация: МПК B22F 3/00, B22F 3/24, B22F 3/18/ Арбузова Л.А., Старовойтенко Е.И., Полькин И.С., Вачьянц С.Г.; заявители и патентообладатели Арбузова Л.А., Старовойтенко Е.И., Полькин И.С., Вачьянц С.Г. – № 99104932/02; заявл. 18.03.1999; опубл. 20.08.2000, Бюл. № 23

20 Способ и линия получения листов пеноалюминия [Текст]: пат. 2430811 Рос. Федерация: МПК C22C 1/08, B22F 3/24, B22F 3/18/ Родинков С. В., Орлов В. К., Разваляева Г. Н., Клячко Л. А., Вакаренко В. В., Сарафанов М. А., Алёхин А. Г.; патентообладатель ОАО Акционерная холдинговая компания «Всероссийский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт металлургического машиностроения имени академика Целикова». – № 2002329735/02; заявл. 06.07.2009; опубл. 10.10.2011, Бюл. № 28

21 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

22 Способ получения пористых полуфабрикатов из порошков алюминиевых сплавов [Текст]: пат. 2458762 Рос. Федерация: МПК B22F 3/18, B22F 3/11/ Пономарев А.В.; патентообладатель ОАО «Каменск-Уральский металлургический завод». – № 2011113608/02; заявл. 07.04.2011; опубл. 20.08.2012, Бюл. № 23

23 Способ получения изделий из пеноалюминия [Текст]: пат. 2180361 Рос. Федерация: МПК C22C 1/08, B22D 11/04, B22D 21/04/ Романова В.С., Полькин И.С., Пономаренко А.М., Яковенко В.В., Новикова М.Б., Вачьянц С.Г., Король В.К.; заявитель и патентообладатель Полькин И.С. – № 99116105/02; заявл. 20.07.1999; опубл. 10.03.2002, Бюл. № 7

24 Алюминиевый сплав для получения пеноалюминия и способ получения пеноалюминия из него [Текст]: пат. 2233346 Рос. Федерация: МПК C22 C 21/10, C22 C 1/08, C22 F 1/053, B22 D 11/04/ Пономаренко А.М., Полькин И.С., Романова В.С., Новикова М.Б., Трубкина Е.М., Бисьев А.М.; патентообладатель Открытое акционерное общество «Всероссийский институт легких сплавов». – № 2003111419/02; заявл. 22.04.2003; опубл. 27.07.2004, Бюл. № 21

25 Способ получения пористого металла и изделий из него: [Текст]: пат. 2193948 Рос. Федерация: МПК B22F 3/11/ Старовойтенко Е.И., Арбузова Л.А., Полькин И.С., Вачьянц С.Г., Комов В.И.; заявитель и патентообладатель Лебедев В.И. – № 99114646/02; заявл. 06.07.1999; опубл. 10.12.2002, Бюл. № 34

26 Способ получения полуфабриката для изготовления изделий из пенометалла [Текст]: пат. 2360020 Рос. Федерация: МПК C22C 1/08/ Стеньгач А.В., Голубева В.Н., Кузнецов А.А.; патентообладатель Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский федеральный ядерный центр - Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики». – № 2007119735/02; заявл. 28.05.2007; опубл. 27.06.2009, Бюл. № 18

27 Способ получения пеноалюминия [Текст]: пат. 2400552 Рос. Федерация: МПК C22C 1/08, C22B 21, B22D 21/04/ Ковтунов А.И., Чермашенцева Т.В., Семистенов Д. А., Сидоров В. П.; патентообладатель ООО Средневолжский сертификационно-диагностический центр «Дельта». – № 2005319535/02; заявл. 15.06.2008; опубл. 27.09.2010, Бюл. № 27

28 Способ формирования пеноалюминия [Текст]: пат. 2492257 Рос. Федерация: МПК C22C 1/08/ Ковтунов А.И., Хохлов Ю.Ю.; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тольяттинский государственный университет». – № 2020125391/02; заявл. 20.02.2012; опубл. 10.09.2013; Бюл. № 25

29 Способ получения пеноалюминия [Текст]: пат. 2455378 Рос. Федерация: МПК C22C 1/08, C22C 21/00/ Хохлов Ю. Ю., Ковтунов А. И., Семистенов Д. А.; патентообладатель государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тольяттинский государственный университет». – № 2011114769/02; заявл. 14.04.2011; опубл. 10.07.2012; Бюл. № 19

30 Пористое изделие с цельнометаллической частью и способ его получения [Текст]: пат. 2200074 Рос. Федерация: МПК B22D 25/00/ Черный Л.Е., Черный М.Л., Черный Н.Л.; заявитель ООО «Композиционные материалы»; патентообладатели Черный Л.Е., Черный М.Л., Черный Н.Л. – № 2001121383/02; заявл. 30.07.2001; опубл. 10.03.2003, Бюл. № 7

31 Способ получения пористых материалов из алюминиевых сплавов [Текст]: пат. 2335379 Рос. Федерация: МПК B22F 3/11, C22C 1/08/ Иванов Д.О., Портной В.К., Солонин А.И., Аксенов А.А.; патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный институт стали и сплавов». – № 2007103396/02; заявл. 30.01.2007; опубл. 10.10.2008; Бюл. № 28

32 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

33 Мошников, В.А. Формирование и анализ структур на основе пористого оксида алюминия [Текст] / Е.Н Соколова, Ю.М. Спивак // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2011. №2. С.13-19.

34 Method of porogen removal from porous low-k films using UV radiation [Текст]: пат. 7208389. Tipton K., Lu G.; заявитель и патентообладатель Novellus Systems Inc; заявл. 26.09.2003; опубл. 24.04.2007.

35 Способ получения пористого анодного оксида алюминия [Текст]: пат. 2324015 Рос. Федерация: МПК C25D 11/06/ Белов А.Н., Гаврилов С.А., Железнякова А.В., Тихомиров А.А., Тузовский В.К., Шевяков В.И.; патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Московский государственный институт электронной техники. – № 2006144617/02; заявл. 15.12.2006; опубл. 10.05.2008, Бюл. №13

36 Способ получения пористых мембран на основе алюминия [Текст]: пат. 2350380 Рос. Федерация: МПК B01D 67/00/ Клименко Г.Л., Старков В.В., Фирсов А.А.; патентообладатель Институт проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов Российской академии наук. – № 2007120250/28; заявл. 31.05.2007; опубл. 27.03.2009, Бюл. № 9

37 Способ получения пористого металлического тела [Текст]: пат. 2281980 Рос. Федерация: МПК C22C 1/08, H05B 6/00/ Накадзима Хидео.; патентообладатель Накадзима Хидео. – № 2004128246/02; заявл. 26.08.2002; опубл. 20.08.2006, Бюл. № 23

38 Микроструктурный конструкционный материал на основе алюминия или его сплавов [Текст]: пат. 2371498 Рос. Федерация: МПК C22C 1/08, C22C 21/00/ Конов М.А., Хамизов Р.Х.; патентообладатель ОАО «Научно-производственное предприятие «Радий» опубл. – № 2008123777/02; заявл. 18.06.2008 27.10.2009, Бюл. № 30

39 Способ получения пористых отливок [Текст]: пат. 2299112 Рос. Федерация: МПК B22D 25/00 Фурман Е.Л., Финкельштейн А.Б.; патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Уральский государственный технический университет-УПИ». – № 2005139743/02; заявл. 19.12.2005; опубл. 20.05.2007, Бюл. № 14

40 Способ получения пористых отливок [Текст]: пат. 2299212 Рос. Федерация: МПК B22D 25/00 Фурман Е.Л., Финкельштейн А.Б., Фурман И.Е.; патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Уральский государственный технический университет-УПИ". – № 2004100730/02; заявл. 08.01.2004; опубл. 20.07.2005, Бюл. № 20

41 Способ получения пористых отливок [Текст]: пат. 1814248 СССР: МПК B22D 27/00 Митрофанов М.Н., Зырин П.С., Фурман Е.Л., Пастухов Б.А., Барышников М.Н.; заявитель и патентообладатель Уральский филиал Института машиноведения им.А.А.Благонравова. – № 4291946/02; заявл. 31.07.1987; опубл. 20.05.1995, Бюл. № 14

42 Способ получения пористых отливок [Текст]: пат. 1814247 СССР: МПК B22D 25/00, B22D 27/00, C21C 1/08 Пастухов Б.А., Митрофанов М.Н., Фурман Е.Л., Хлынов В.В., Савин А.М., Рабинович С.В., Ферштаттер И.Б.; заявитель Уральский филиал Института машиноведения АН СССР. – № 4259716/02; заявл. 10.06.1987; опубл. 10.03.1995, Бюл. № 7

43 Способ получения литых деталей [Текст]: пат. 2292253 Рос. Федерация: МПК B22D 25/00 Черный А.А., Черный В.А., Соломоницина С. И.; патентообладатель Пензенский государственный университет. – № 2005113640/02; заявл. 04.05.2005; опубл. 27.01.2007, Бюл. № 3

44 Способ получения изделий из композиционного материала на основе пеноалюминия [Текст]: пат. 2444417 Рос. Федерация: МПК B22F 3/11, C22C 1/08 Колеров В.С., Манцевич Н.М.; патентообладатели Колеров В.С., Манцевич Н.М. – № 2010133514/02; заявл. 11.08.2010; опубл. 10.03.2012, Бюл. № 7

45 Способ получения пористых материалов [Текст]: пат. 2518809 Рос. Федерация: МПК В22F 3/11, С22С 1/08, В22F 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

46 Способ изготовления пористых изделий на основе алюминия [Текст]: пат. 1447575 СССР: МПК В22F 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

47 Способ получения пористого спеченного материала [Текст]: пат. 1219252 СССР: МПК В22F 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

48 Финкельштейн, А.Б. Изучение технологических параметров получения пористых литых изделий [Текст]: А.Б. Финкельштейн, А.В. Чечулин //Тезисы докладов конференции «Технология и оборудование современного машиностроения» – Уфа: УГАТУ. – 1994. – С.90–91.

49 Белов С.В. Пористые металлы в машиностроении [Текст]: 1–е изд. перераб. и доп. / С.В. Белов. – М.: Машиностроение, 1981. – 247с.

50 Ковтунов, А.И. Тепловые условия формирования пеноалюминия фильтрацией через водорастворимые соли [Текст]: А.И. Ковтунов, Д.А. Семистеннов, Ю.Ю. Хохлов, Т.В. Чермашенцева. // Литейщик России. 2011. №6. С. 43–45.

51 Фурман, Е.Л. Литье под регулируемым давлением пористых изделий [Текст] / Е.Л. Фурман, А.Б. Финкельштейн, А.В. Чечулин // Литейное производство. – 1995. – №4–5. С.50–51.

52 Фурман, Е.Л. Поверхностное натяжение литейных алюминиевых сплавов и смачивание ими неорганических порообразующих наполнителей [Текст] / Е.Л.Фурман [и др.] // Расплавы. – 1995. – №4. – С.27–31.

53 Фурман, Е.Л. Снижение брака пористого литого алюминия по однородности свойств [Текст] / Е.Л.Фурман, А.Б. Финкельштейн, Мягмаржавын Баттугс // Повышение качества отливок. – № 3. – 1996. – С. 66–67.

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

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

56 Пульс цен [Электронный ресурс] / Торговая площадка: [сайт]. URL: <https://www.pulscen.ru> (дата обращения: 05.03.2018).

57 СН 4630-88. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения [Текст]: - М.: Издательство стандартов, 1988. – 8 с.

58 Polonsky, H. *Lightweight porous metals* / H. Polonsky, J. Lipton, T. Marcus // *Modern Castings* – 1961– № 2. – P.57–71.

59 А.с. № 1492567. Состав наполнителя для получения литейных форм при производстве алюминиевых отливок [Текст]: Аникин Р.Г. [и др.]; заявлено 08.03.1989.

60 Финкельштейн, А.Б. Теория и практика получения пористых отливок из алюминиевых сплавов пропиткой [Текст]: автореф. дис. док. техн. наук / А.Б. Финкельштейн. – Екатеринбург: УГТУ, 2010. – 30 с.

Приложение А

Инструкция по работе на машине центробежного литья при получении пористого алюминия.

1 Описание прибора

Центробежная машина состоит из следующих основных частей: несущей рамы 2, защитных крышек 6, электродвигателя 9, ступенчатой клиноременной передачи, которая состоит из ведущего шкива 5, ведомого шкива 4 и ремня 12, передающего вала 3 с подшипниками 10 и 11, изложницы (коромысла) 1 для крепления литейной формы. Особенность конструкции машины заключается в том, что использован двигатель переменного тока АИР 90L с частотой вращения 1000 оборотов в минуту. Для создания различных центробежных сил, действующих на жидкий металл при заполнении литейной формы, использована специальная система перемещающихся шкивов.

					ПГУ.ВКР.22.03.01.14МТ/14.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

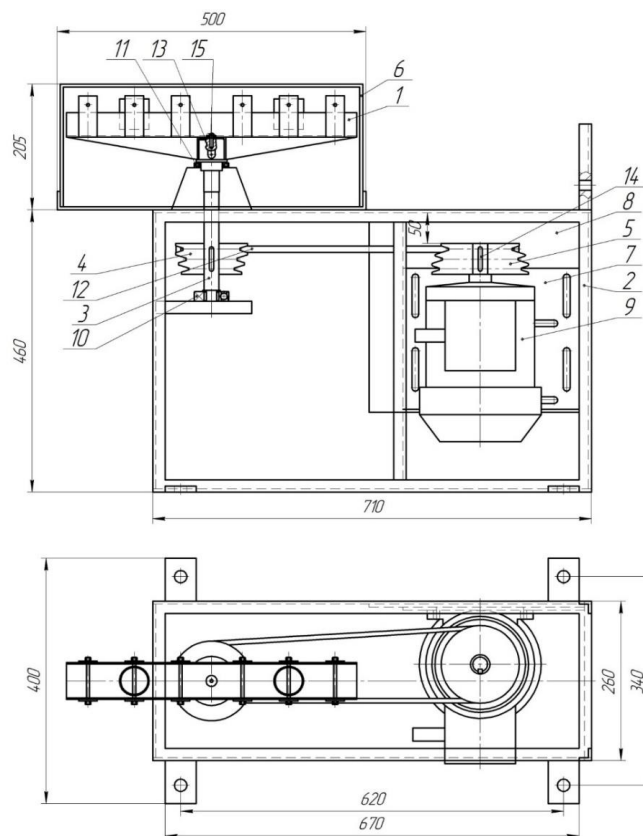


Рисунок 1 – Экспериментальная центробежная машина

Важным элементом центробежной машины является коромысло для крепления литейной формы (рисунок 2). Она представляет собой сварную конструкцию, состоящую из П-образной арматуры с приваренными к ней по бокам пластинами. К нижней части по центру приварено основание с ребрами жесткости, для закрепления коромысла на валу.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ.ВКР.22.03.01.14МТ/14.ПЗ

Лист

64

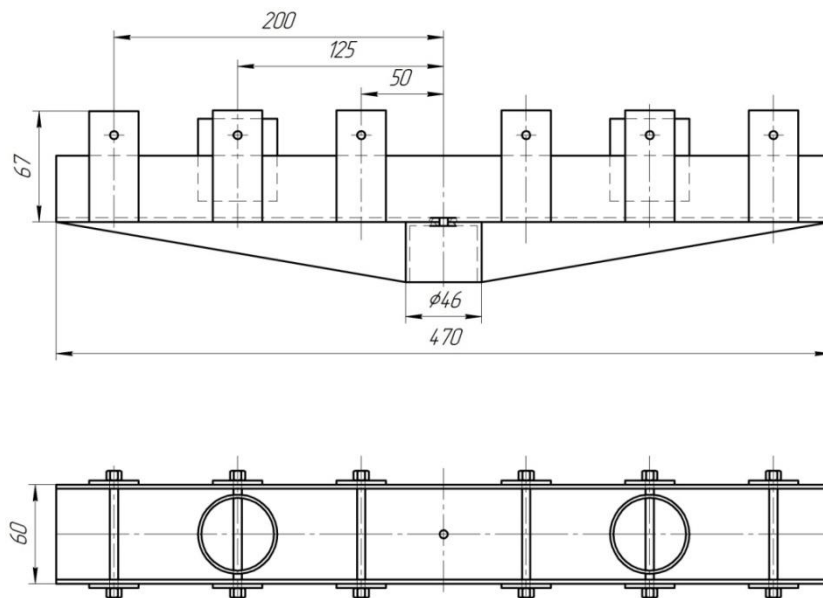


Рисунок 2 – Коромысло

Для расчета частоты вращения коромысла используется следующая формула:

$$n_2 = \frac{n_1 \cdot d_1}{d_2}, \quad (1)$$

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

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

Передаточное число находится из отношения:

$$u = \frac{d_2}{d_1}. \quad (2)$$

Важной характеристикой определяющей эффективность работы центробежной машины и получения пористой отливки является коэффициент гравитации K . Он показывает во сколько раз сила, действующая на заливаемый металл больше силы тяжести. Коэффициент гравитации определяется по формуле:

$$K = \frac{4\pi^2 R n^2}{g} \quad (3)$$

где R - радиус вращения отливки, м,

n - частота вращения, с^{-1} .

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

Диаметры ведомого шкива $d_{21}=0,09\text{м}$, $d_{12}=0,1\text{м}$, $d_{23}=0,11\text{м}$.

Для изменения коэффициента гравитации K была изготовлена специальная насадка – коромысло 1, которое позволяет изменять радиус вращения отливки ($R=0,05\text{м}$; $R=0,125\text{м}$; $R=0,2\text{м}$).

Для получения экспериментальных отливок была разработана специальная конструкция металлической формы - стаканчика (Рисунок 3).

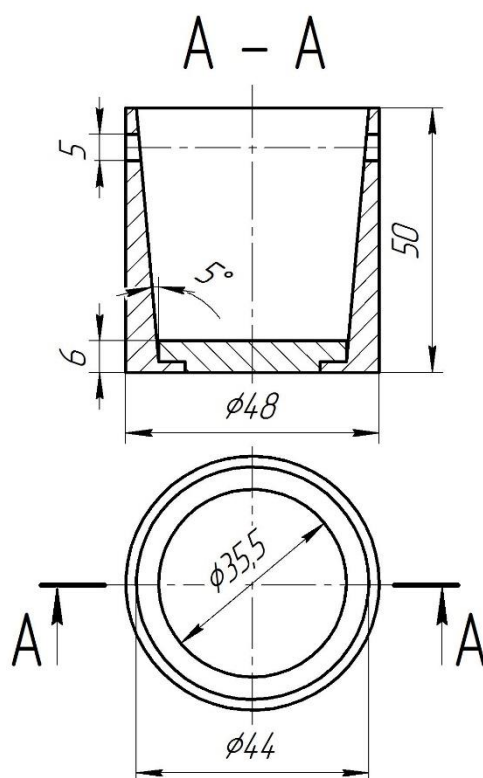


Рисунок 3 – Конструкция металлической формы

2 Инструкция по эксплуатации и уходу за прибором

а) Прибор устанавливаем по уровню на кирпичном или бетонном фундаменте.

ПРИМЕЧАНИЕ: тщательность установки и крепления прибора к фундаменту диктуется необходимостью предохранения его от перекосов, сокращающих продолжительность службы прибора.

б) Проверяем наличие зазоров между изложницей (коромыслом) 1 и защитными крышками 6. Зазоры должны составлять не менее 1 – 2 мм.

в) Смазываются все трущиеся места прибора.

г) Проверяем ручную вращение коромысла. При провертывании коромысло не должно задевать за защитную крышку 6, и должно свободно, без заедания вращаться вокруг осей.

д) Убедившись в исправности всех механизмов прибора, включают электродвигатель и производят опробование его.

Признаками нормальной работы считаются:

а) плавное, без заеданий вращение коромысла,

б) отсутствие резкого шума в работе редуктора.

3 Описание работы установки

а) Производится рассев наполнителя по крупности зёрен соли. В ходе рассеивания получают фракции с размерами: 0,05 – 0,063 мм; 0,063 – 0,1 мм; 0,1 – 0,16 мм; 0,16 – 0,2 мм; 0,2 – 0,315 мм; 0,315 – 0,4 мм; 0,4 – 0,63 мм; 0,63 – 1 мм; 1 – 1,6 мм; 1,6 – 2,5 мм. Для проведения эксперимента используется соль размером фракции от 0,4 до 1,6 мм.

б) Соль засыпается в металлические формы. Производим её нагрев до температуры от 700 до 750°C.

в) В ходе нагрева, для предотвращения спекания, соль перемешивается 1 – 2 раза.

г) Нагретые формы помещаем в машину в машину центробежного литья и закрепляем болтами.

д) Параллельно с подготовкой соли производится плавка сплава до температуры плавления плюс 100 – 150°C.

е) Расплавленный металл заливаем в металлическую форму с наполнителем, установленную на машине центробежного литья. (Операции по установке форм и

заливке металла необходимо было выполнять как можно быстрее, чтобы свести к минимуму снижение температуры наполнителя).

ж) Вращающиеся части установки закрываем защитной крышкой, и машина приводится в действие.

и) Длительность работы машины от 3 до 5 минут. За это время происходит пропитка наполнителя.

к) Машина отключается от сети. Снимается защитная крышка. Болты крепящие металлические формы на коромысле откручиваются. Форма извлекается из машины центробежного литья.

л) Отливка из формы извлекается ударом молотка по дну основания (смотри рисунок 3).

м) Полученная отливка механически обрабатывается.

н) Производится вымывание соли, для чего необходимо поместить отливку в холодную проточную воду на 24 часа.

4 Техника безопасности

Все работы необходимо проводить в перчатках, защитной одежде и очках. Соблюдать крайнюю осторожность при работе с нагретой формой и расплавленным металлом.

					ПГУ.ВКР.22.03.01.14МТ/14.ПЗ	Лист
						68
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Приложение Б



**ФГБОУ ВО ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Факультет машиностроения и транспорта

Кафедра «Сварочное, литейное производство и материаловедение»

Разработка технологии получения пористого алюминия с помощью центробежного литья.

Выполнил: ст. гр. 14МТ1

Макрашин С.Д.

Руководитель: Семушкин А.В

Пенза - 2018

Цель выпускной квалификационной работы - разработка технологического процесса получения пористого алюминия с помощью центробежного литья.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- модернизировать и изготовить экспериментальную установку;
- разработать технологический процесс изготовления пористого алюминия;
- определить химический состав наполнителя и основы сплава;
- определить технологические режимы получения пористых заготовок.

Разработал	Макрашин С.Д.	Каф. «СЛПуМ» гр. 14МТ1
Руководитель	Семушкин А.В..	

Преимущества и сферы применения пористого алюминия

- высокая удельная прочность,
- высокая теплопроводность и коррозионная стойкость,
- высокий коэффициент звукопоглощения,
- низкий удельный вес.
- шумоглушители,
- фильтры,
- носители катализаторов,
- Теплообменники,
- Демпферы.

Способы получения пористого алюминия

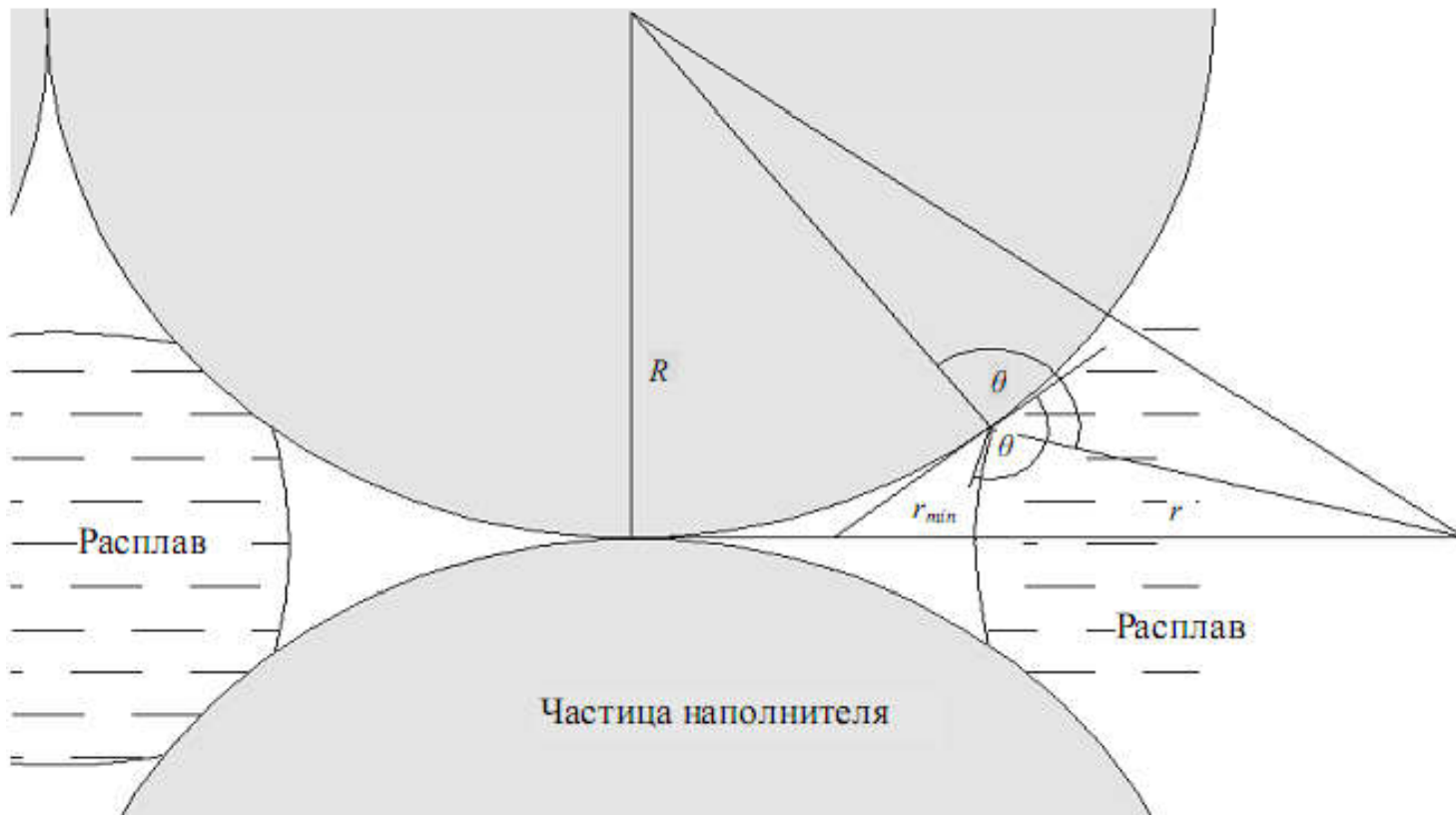
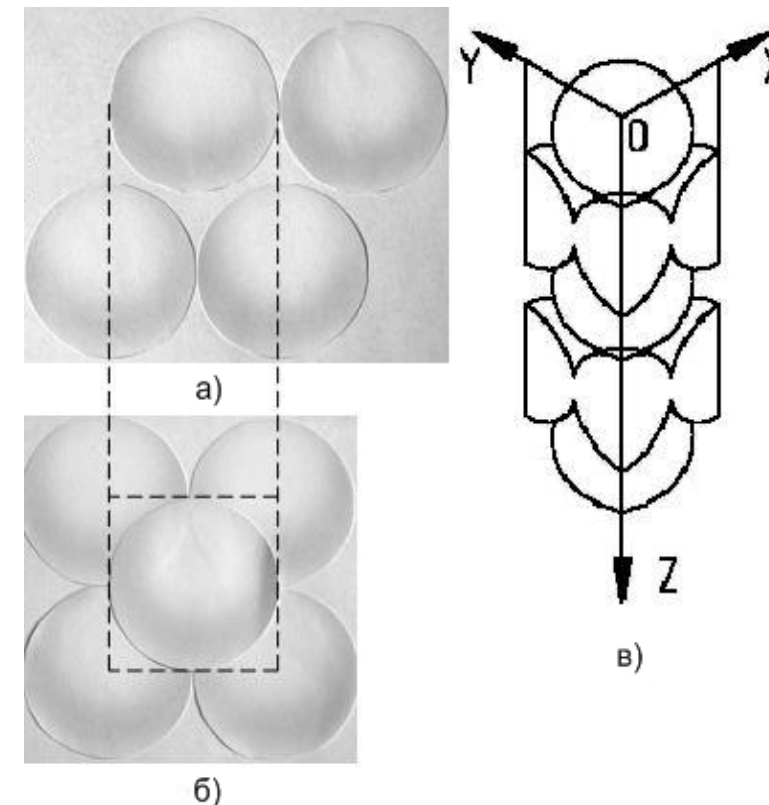
- Вспенивание алюминиевого расплава
- Смешивание порошков алюминиевого сплава и порообразователя
- Введение порообразователя в расплав алюминиевого сплава
- Введение порообразователя в расплав алюминиевого сплава с дальнейшим распылением смеси
- Смешивание порошков алюминиевого сплава и порообразователя в планетарной мельнице
- Анодное окисление
- Метод плавающей зоны
- Вытяжка алюминиевых трубок
- Литье алюминиевого сплава в форму с водорастворимыми веществами

Разработал	Макрашин С.Д.	Каф. «СЛПуМ» гр. 14MT1
Руководитель	Семушкин А.В..	

Характеристика порообразующих наполнителей

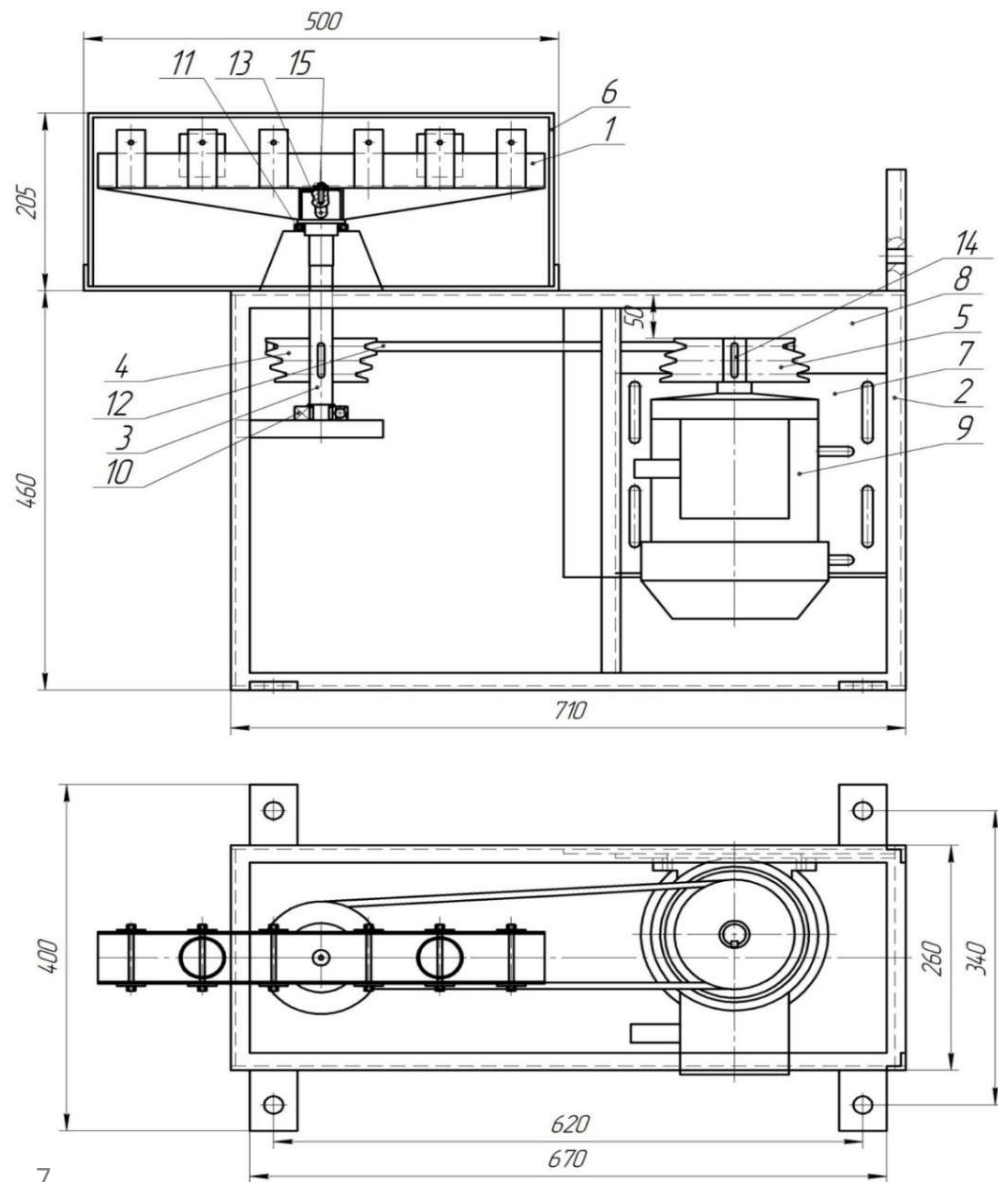
Характеристики		Материалы						
		Na ₃ PO ₄	K ₃ PO ₄	Mg ₂ SO ₄	Na ₂ CO ₃	NaCl	KCl	KF
Температура плавления, К		1613	1613	1400	1125	1076	1049	1130
Коэффициент диффузии в воде, 10 ⁻⁵ см²/с		47	47	0,73	0,45	1,49	1,73	1,8
Предельная концентрация в воде г/л :	при 273 К	5,4	79,4	25,5	7	36	28	44,7
	при 373 К	94,6	178,5	50,2	44,7	39,4	56	150
Стоимость наполнителя, руб./кг		50	90	25	106	2-12	15	155
ПДК наполнителя в воде, мг/л		250	250	500	-	350	350	1,5
Коэффициент самодиффузии , см2/с	Ионов металлов					76,9	137	2
	Кислотных остатков					60,7	178	
Модуль объёмной упругости, МПа						18	26,4	16,4

Физическая модель формирования структуры пористого алюминия



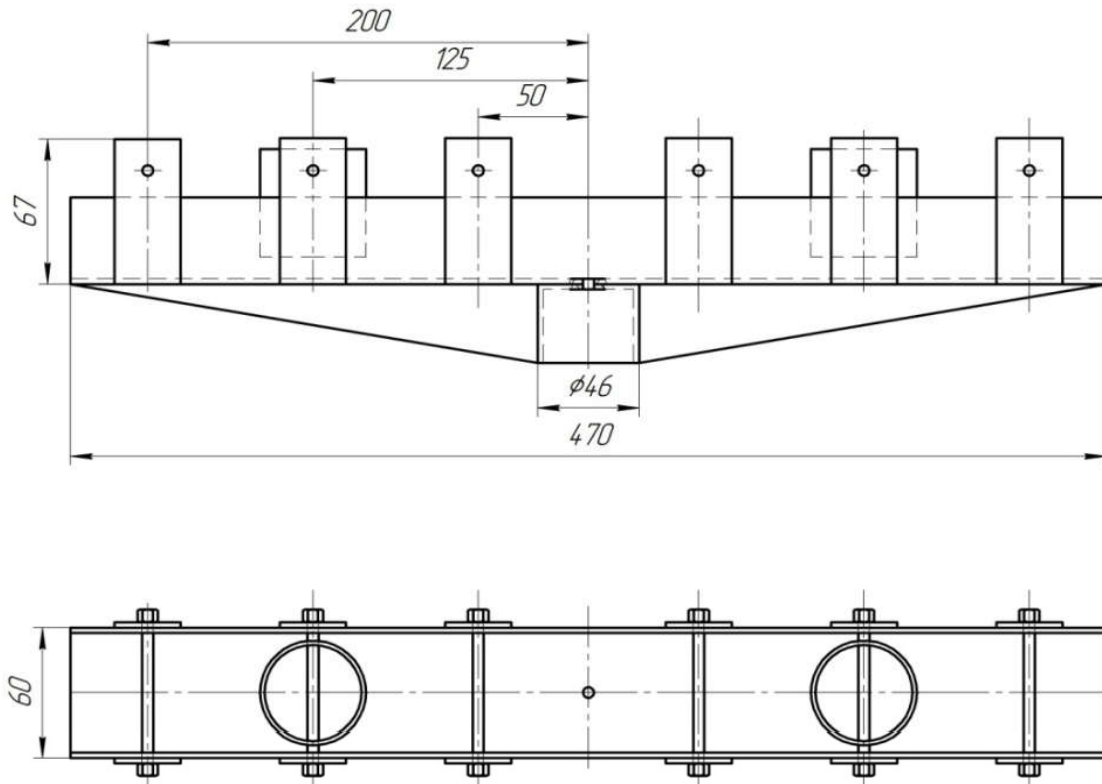
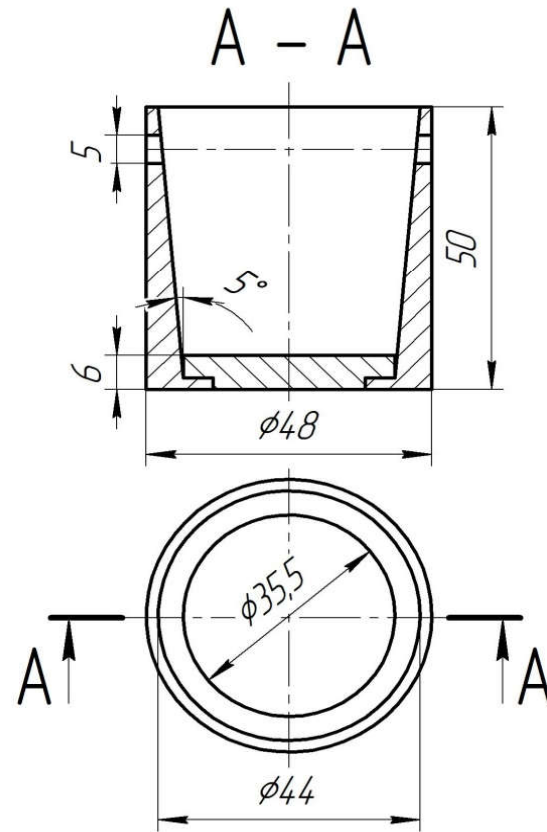
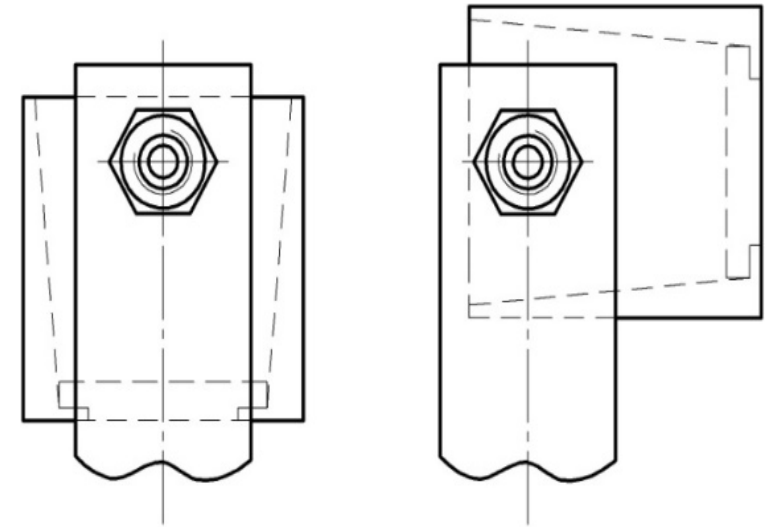
Модель объемного капилляра:
а) вид сбоку; б) вид сверху; в) общий вид

Экспериментальная установка



Разработал	Макрашин С.Д.	Каф. «СПиМ» гр. 14MT1
Руководитель	Семушкин А.В..	

Коромысло, литейная форма и её расположение на нём



в статическом
положении

при вращении
коромысла

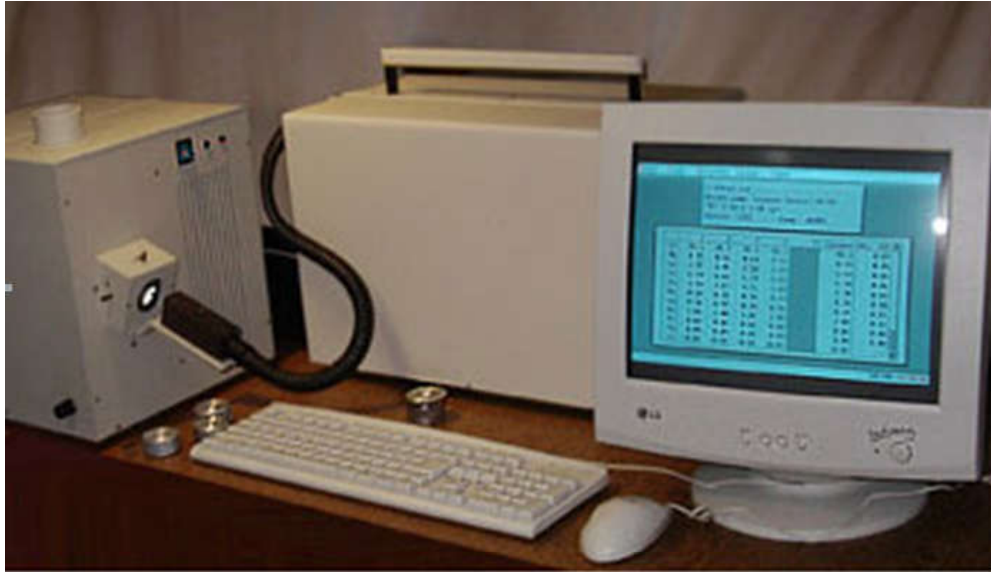
Конструкция формы

Разработал	Макрашин С.Д.	Каф. «СЛПуМ» гр. 14MT1
Руководитель	Семушкин А.В..	

Технические характеристики центробежной машины

Вариант	Диаметры шкивов, м		Частота вращения Изложницы n_2 , c^{-1}	Передаточное число u	Коэффициент гравитации K	
	ведущего d_1	ведомого d_2			при $R=0,05m$	при $R=0,125m$
1	0,15	0,09	27,8	1,67	155,5	388,8
2	0,15	0,1	25,0	1,5	125,8	314,4
3	0,15	0,11	22,7	1,36	103,7	259,2
4	0,14	0,09	25,8	1,55	133,9	334,8
5	0,14	0,1	23,3	1,4	109,2	273,1
6	0,14	0,11	21,2	1,27	90,4	226,1
7	0,12	0,09	22,2	1,33	99,2	247,9
8	0,12	0,1	20	1,2	80,5	201,2
9	0,12	0,11	18,2	1,09	66,7	166,6

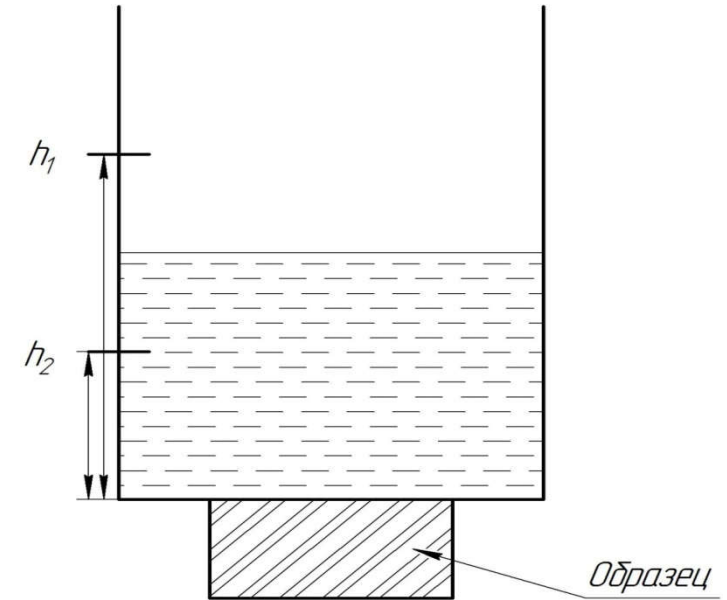
Приборы для исследования пористого алюминия
 а) химического состава (оптический спектрометр ПАПУАС 4-И);
 б) микроструктуры (микроскоп Альтами МЕТ 6 С);
 в) проницаемости жидкостью (схема)



а)



б)



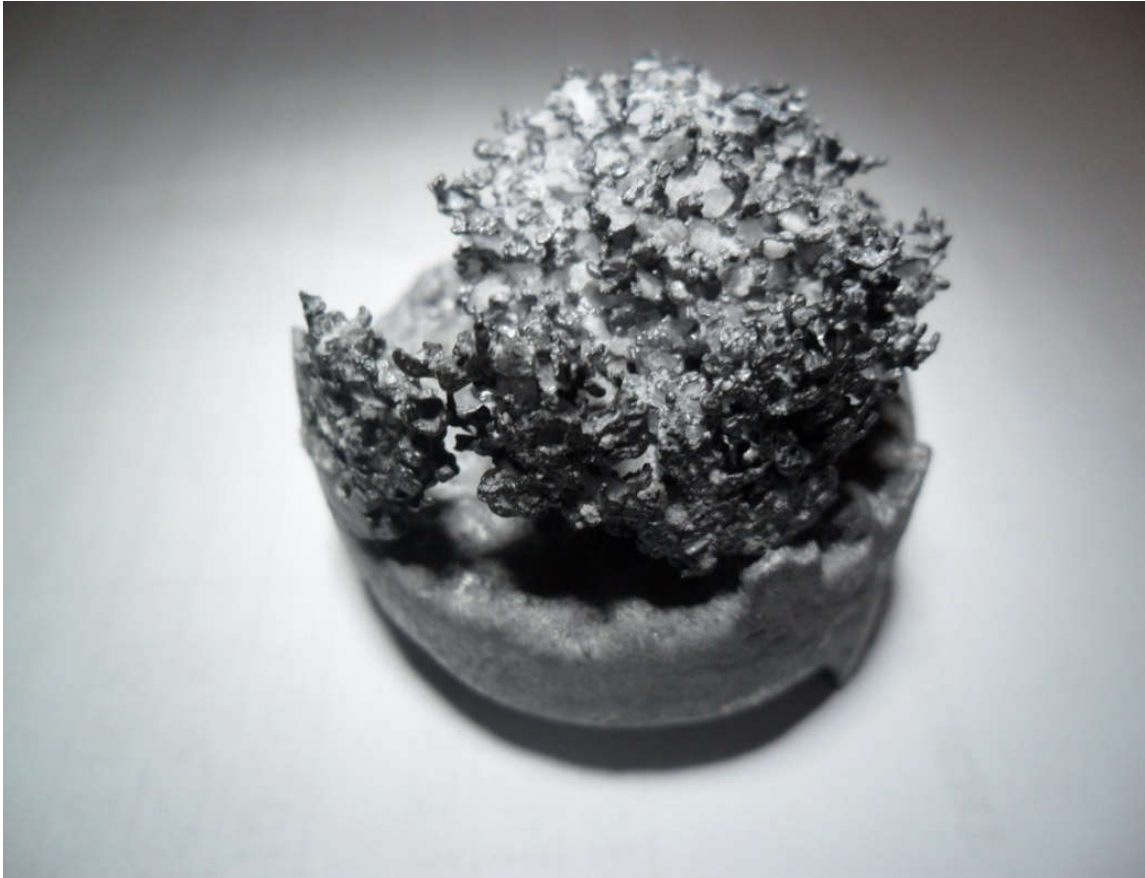
в)

Разработал	Макрашин С.Д.	Каф. «СЛПМ» гр. 14MT1
Руководитель	Семушкин А.В..	

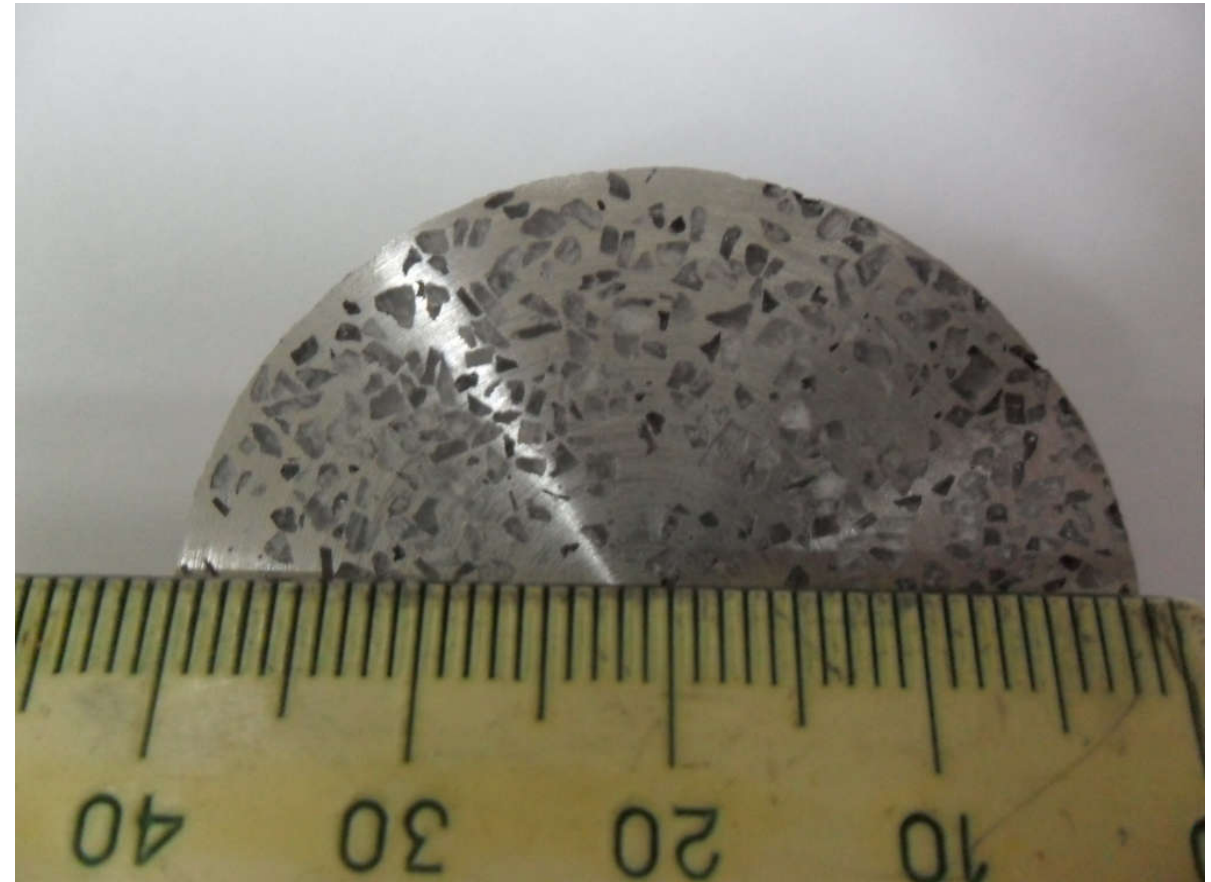
Технология изготовления пористых отливок



Дефекты заготовок

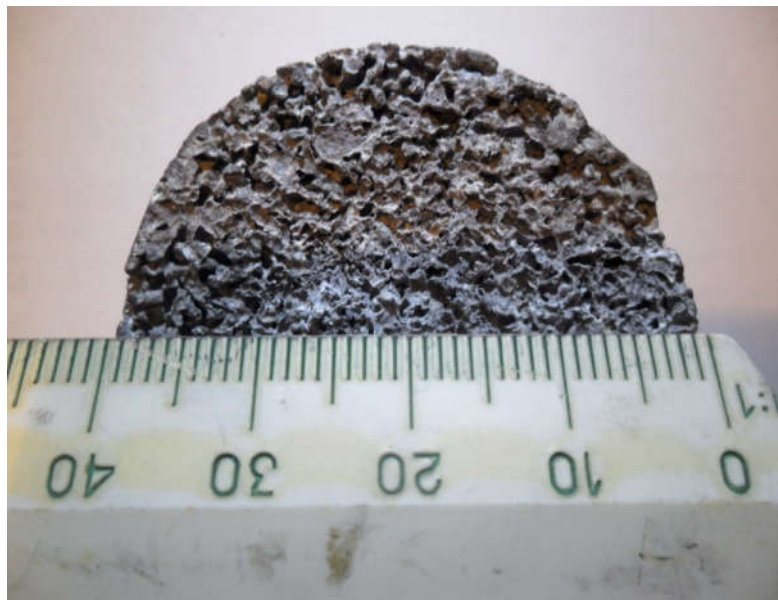


Непропитка (при малых перегрузках)

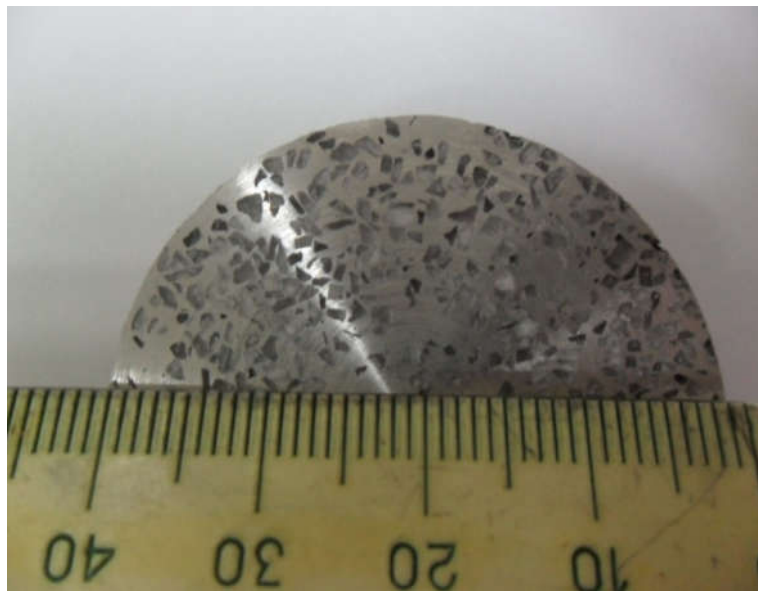


Опытный образец с плохой проницаемостью, полученный при повышенных перегрузках

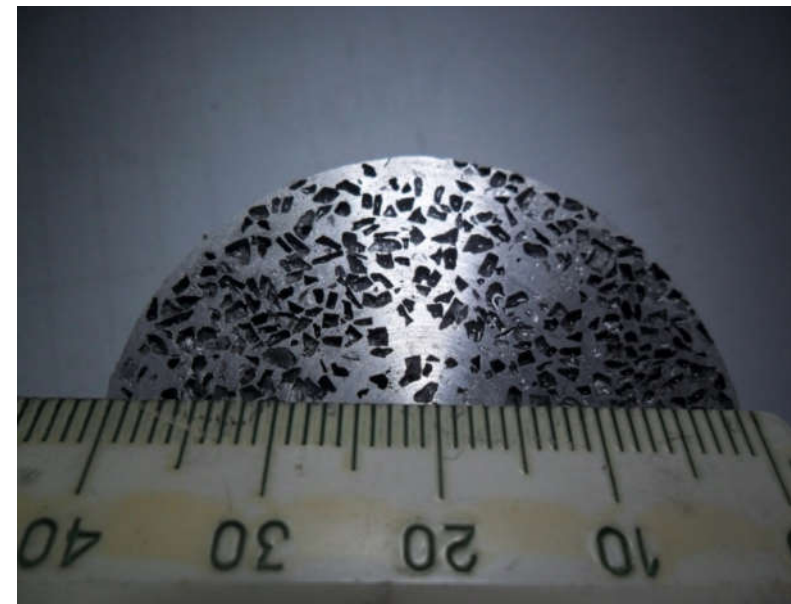
Заготовка из пористого алюминия



Без механической обработки



С механической обработкой

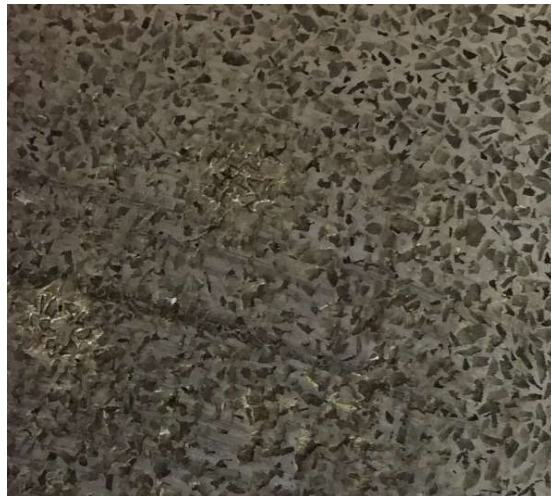
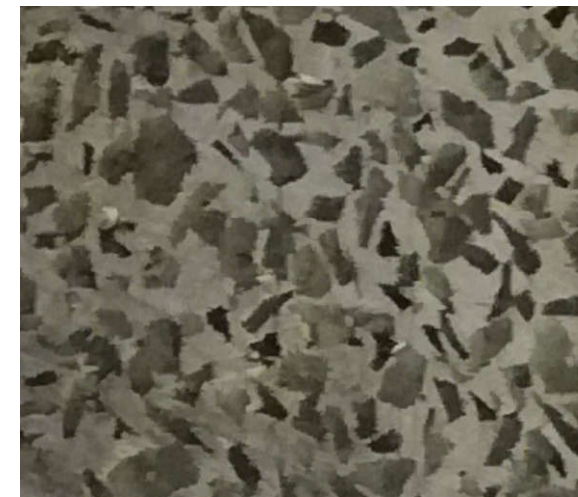


После удаления наполнителя

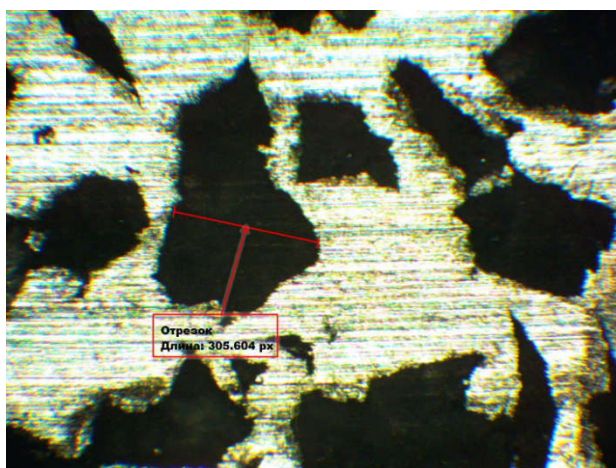
Структура пористого алюминия

а) фото заготовки;

б)увеличение в 2 раза; в)увеличение в 6 раз; г) и д) увеличение в 200 раз

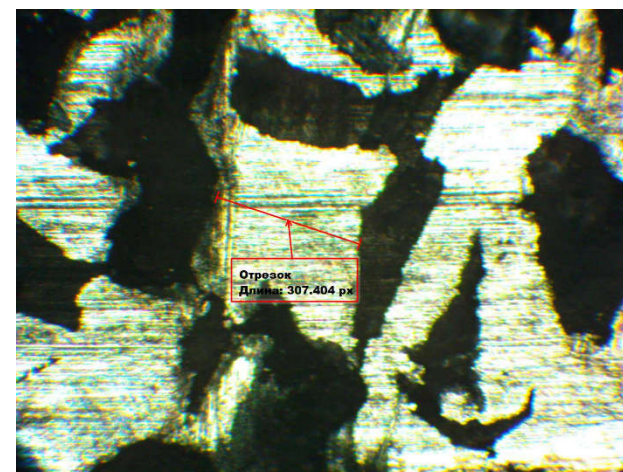


а)



г)

б)

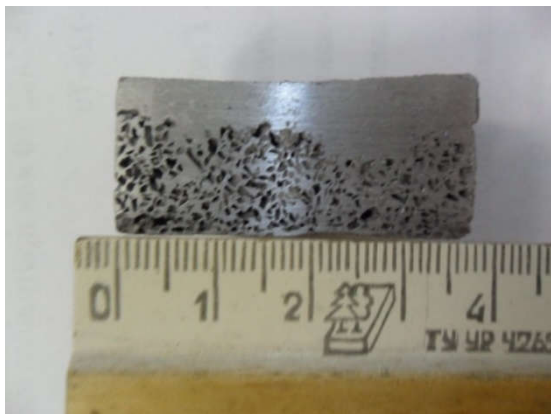


д)

в)

Разработал	Макрашин С.Д.	Каф. «СПиМ» гр. 14MT1
Руководитель	Семушкин А.В..	

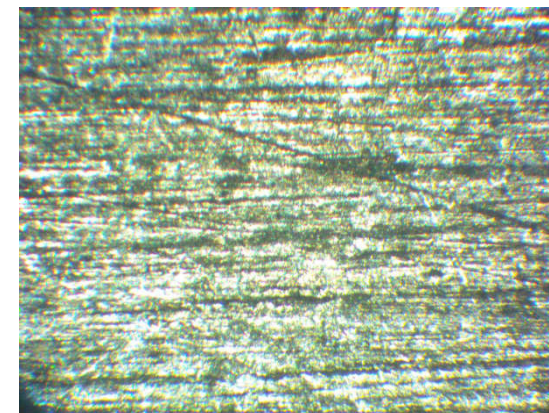
Структура заготовки, сочетающей пористую и монолитную части:
 а) фото заготовки; б) увеличение в 6 раз; в) монолитная часть
 увеличение в 200 раз); г) и д) пористая часть (увеличение в 200 раз)



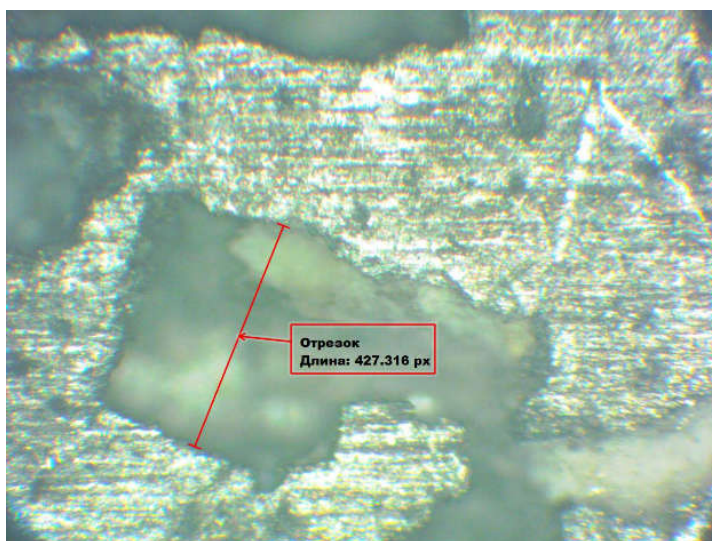
а)



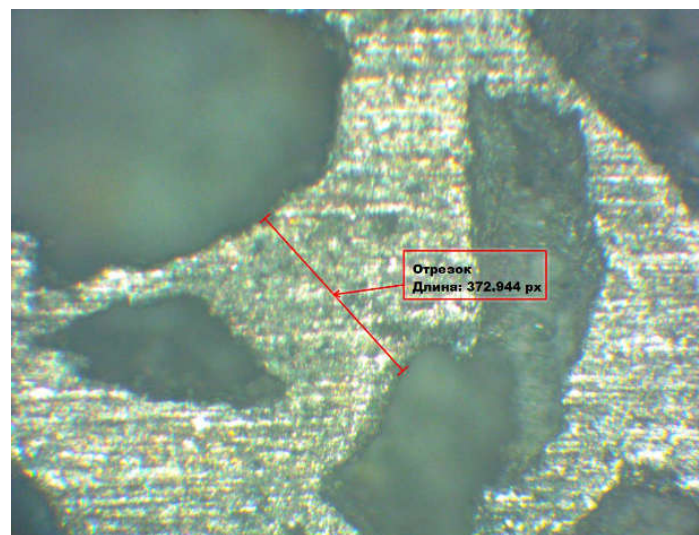
б)



в)



г)



д)

Разработал	Макрашин С.Д.	Каф. «СПиМ» гр. 14MT1
Руководитель	Семушкин А.В..	

Химический состав заготовки, сочетающей пористую и монолитную части

Ф. Отобр. Программа Сохран. Режим								
C:\P4\al.int Анализ алюм. сплавов (искра) 20+20 "ФТ" C D2.5 L=10 sp+ Образец :3 ближ. : АК5М2								
*	1	2	3	4	5	Среднее	СКО (%)	↑
Al	85.7	87.7	86.8	86.2		86.6	0.9	
Mg	0.23	0.22	0.27	0.25		0.24	8.3	
Cu	2.57	1.52	2.48	2.37		2.23	19	
Si	6.52	5.64	6.31	7.22		6.42	8.7	
Fe	0.93	0.92	1.06	0.96		0.97	5.7	
Mn	0.21	0.25	0.18	0.24		0.22	12	
Zn	2.41	1.94	2.03	2.11		2.12	8.3	
Ni	0.15	<0.01	<0.01	<0.01		0.04	181	
Ti	0.031	0.002	0.001	<0.000		0.029	115	
Pb	0.21	0.18	0.16	0.14		0.18	15	
Sn	>0.50	>0.50	0.40	0.20		>0.50	0.0	↓
СОСТАВ								

Монолитной части

Ф. Отобр. Программа Сохран. Режим								
C:\P4\al.int Анализ алюм. сплавов (искра) 20+20 "ФТ" C D2.5 L=10 sp+ Образец :2 ближ. : АК5М2								
*	1	2	3	4	5	Среднее	СКО (%)	↑
Al	88.8	90.1	90.3	91.2	91.5	90.4	1.0	
Mg	0.15	0.14	0.08	0.16	0.14	0.13	21	
Cu	0.70	0.47	0.37	0.43	0.51	0.50	23	
Si	5.00	4.97	3.49	4.21	3.77	4.45	19	
Fe	2.20	1.64	2.55	1.49	1.68	1.91	21	
Mn	0.62	0.56	1.17	0.62	0.64	0.72	31	
Zn	1.31	1.75	1.24	1.24	1.47	1.40	14	
Ni	0.11	<0.01	0.07	0.02	<0.01	0.04	111	
Ti	0.026	0.091	0.069	0.054	0.072	0.062	35	
Pb	0.09	0.15	0.09	0.12	0.16	0.12	24	
Sn	<0.01	<0.01	0.33	0.30	<0.01	0.13	123	↓
СОСТАВ								

Перемычек пористой части

Оптимальные требования к алюминиевому сплаву, наполнителю и параметрам литья

Параметр		Оптимальное значение
Алюминиевый сплав		Чистый алюминий А85, АК12, АК5М2
Наполнитель	Материал	Поваренная соль
	Температура нагрева, °С	$t_{пл} + (100 \div 150)$
	Форма зерна	Осколочная
	Особые требования	Монофракция с одинаковым размером зерна
	Размер зерна, мм	0,4 – 1,6
Коэффициент гравитации К при центробежном литье		200 – 300

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

- модернизирована и изготовлена экспериментальная установка;
- разработан технологический процесс изготовления пористого алюминия и методика проведения экспериментов;
- определён химический состав наполнителя и требования к литейному алюминиевому сплаву;
- Температура нагрева наполнителя должна быть на 100-150°C выше температуры плавления сплава;
- для получения однородной пористости необходимо использовать зёрна наполнителя одного размера;
- определён оптимальный размер зерна наполнителя;
- определены оптимальные значения перегрузок;
- исследованы полученные образцы пористого алюминия;

Разработал	Макрашин С.Д.	Каф. «СЛПуМ» гр. 14MT1
Руководитель	Семушкин А.В.	