

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Политехнический институт
Кафедра КТОСМП

УТВЕРЖДАЮ

/ Заведующий кафедрой

Спу Е.А. Стурис
подпись инициалы, фамилия

«11» 07 2019г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Разработка технологии получения пеноалюминия из алюминиевой стружки

15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств»

15.04.05.03 «Автоматизированное машиностроение»

Научный руководитель	<u>Зеленкова</u> подпись, дата	<u>к.т.н., доцент</u> должность, ученая степень	<u>Зеленкова Е. Г.</u> инициалы, фамилия
Выпускник	<u>Вьюшков</u> подпись, дата		<u>Вьюшков Д.О.</u> инициалы, фамилия
Рецензент	<u>Зеер</u> подпись, дата	<u>к.т.н., доцент</u> должность, ученая степень	<u>Зеер Г. М.</u> инициалы, фамилия

Красноярск 2019г.

СОДЕРЖАНИЕ

1.	Области применения пеноалюминиевых сплавов	4
1.1	Основные характеристики в сравнении с другими материалами. Критерии для сравнения	5
1.2	Объекты – применение по характеристикам	5
1.3	Обзор существующих методов получения пеноалюминия	9
1.4	Переработка алюминиевой стружки - приготовление порошковых смесей	14
1.5	Выводы	16
2	Материалы и методы исследования	19
2.1	Материалы.....	19
2.2	Методика и оборудование для очистки стружки.....	20
2.3	Измельчение стружки	22
2.4	Получение образцов пеноалюминия	25
3.	Результаты работы и обсуждение.....	28
3.1.	Очищение стружки.	28
3.2.	Измельчение стружки.....	28
3.3.	Прессование и вспенивание образцов	Ошибка! Закладка не определена.
	СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	30

ВВЕДЕНИЕ

Проведены исследования получения технологии пеноалюминия из вторичного алюминиевого сырья - стружки. Интерес и актуальность данного исследования заключается в изготовлении передовых материалов, сочетающих в себе уникальный ряд свойств : высокая жесткость, легкий вес, энерго и звуко-поглощаемость, из стружки. Вторичное сырье на порядок дешевле первичного алюминия. Использование малоотходных и безотходных технологий, чистых технологических процессов и промышленных производств, обеспечивающих комплексное использование всех видов сырья, актуально в настоящее время во многих странах и является приоритетным направлением в государственной промышленной политике. Растущие цены на энергоносители и повышение требований к экологичности производств являются движущей силой для разработки современных безотходных технологий использования отходов алюминия. Один из путей повышения экономической эффективности работы предприятий – это снижение издержек, связанных с образованием и утилизацией отходов. Создание технологии переработки стружки алюминиевых сплавов является актуальной задачей и представляет научный, практический и экономический интерес.

В ходе выполнения магистерской диссертации были сформулированы основные задачи:

1. Оработать технологию очистки и измельчения алюминиевой стружки.
2. Разработать технологию получения пеноалюминия с использованием порообразователя TiH_2 .
3. Получить образцы пеноалюминия.
4. Исследовать микроструктуру и определить пористость полученных образцов.

1 Области применения пеноалюминиевых сплавов

В настоящее время известны такие отрасли применения пеноалюминия, как автомобилестроение, бронетехника, аэрокосмическое производство, строительство. В автомобилестроении из пеноалюминия делают ударопоглощающие вставки в двери и кузов, бампер и облицовку капотов автомобилей; возможно производство разных крышек, поддонов картеров двигателей автомобилей. В бронетехнике пеноалюминий находит применение в форме многослойных кусков для защиты днища бронемашин или других ее частей от подрыва [1].

В последние годы проявляется повышенный интерес к пористым металлам, которые имеют много привлекательных технологических свойств. В статье представлены основные технологические преимущества пористых металлов, обуславливающие перспективность их применения. Пористые металлы, сохраняя основные достоинства исходного материала, имеют во много раз ниже тепло- и электропроводность, а их звукопоглощение и демпфирующая способность выше. В качестве способов соединения пористых металлов могут быть использованы склеивание, пайка или диффузионная сварка. Пористый алюминий способен обеспечить беспрецедентное соотношение прочности к весу, что может активно применяться в аэрокосмических технологиях, где минимизация массы имеет большое значение. Наиболее широко применяемым на сегодняшний день свойством пористого алюминия является демпфирование и максимальное поглощение вибраций, волн и энергии удара при столкновениях. В ближайшем будущем пористые сплавы, в зависимости от степени пористости и проявления новых уникальных свойств, станут основными конструкционными и защитными материалами при создании военной амуниции, в строительстве, приборостроении, а также автомобильной, железнодорожной, аэрокосмической технике и кораблестроении. Пористые металлы интенсивно производятся с 2000 года в Европе, США и Японии.

1.1 Основные характеристики в сравнении с другими материалами. Критерии для сравнения

Сотовые металлические материалы и металлические пены являются новым классом передовых материалов, которые привлекают большой интерес из-за их уникального сочетания свойств, в том числе низкой плотности, высокой жесткости и прочности к весу, высокой пластичности и высокого воздействия -энергетическая способность поглощения, в дополнение к их интересному сочетанию тепловых и акустических свойств. Эти привлекательные свойства позволили использовать клеточные металлические материалы как в структурных, так и в неструктурных приложениях, включая автомобильные, аэрокосмические и биомедицинские применения.

Основной величиной, определяющей физические свойства пеноалюминия, является его плотность p или объемная концентрация пор (пористость) M :

$$M = 1 - p / p_s, \quad (1)$$

где p_s – плотность алюминия ($p_s = 2770 \text{ кг/м}^3$).

Плотность образцов пеноалюминия, получаемых в настоящее время, находится в пределах от 300 до 1900 кг/м³, что соответствует пористости от 0,89 до 0,31 [2].

1.2 Объекты – применение по характеристикам

Пористый алюминий (ПА) способен обеспечить беспрецедентное соотношение прочности к весу, что может активно применяться в аэрокосмических технологиях, где минимизация массы имеет большое значение. Так как доля алюминия в конструкциях самолетов составляет от 2/3 до 3/4, а ракет – от 1/20 до 1/2, то возможность замены монолитных

материалов на пористые в крупных элементах конструкции является перспективной задачей.

Наибольший интерес к ПА проявляют автомобилестроители. При изготовлении кузова используются трехслойные алюминиевые листы с алюминиевой пеной. Низкая масса подобной конструкции уменьшает расход бензина. Кузов на 50 % легче соответствующего стального, но в 10 раз стабильней. Трехмерные многослойные структуры усиливают жесткость рамы. Из них можно изготавливать также детали корпуса — от дверец до сложной группы элементов днища. Такие детали очень легкие и имеют жесткость в 15 раз выше, чем обычные листовые конструкции.

Фирма «Alulight International GmbH» (Германия, Австрия) предлагает ПА плотностью от 300 до 1000 кг/м³ для изготовления: корпусных шумопоглощающих деталей; электромагнитных экранов в виде настенных и потолочных плит, защищающих от проникновения или излучения электромагнитных волн частотой от 0,1 до 1000 МГц, а также корпусов электронных приборов; тепловых экранов; легких строительных материалов как негорючую альтернативу дереву и пластмассам (может поставляться в виде плит с максимальными размерами 625×625 мм, толщиной от 8 до 25 мм); гасителей удара для автомобильного и рельсового транспорта; шумогасителей, работающих в тяжелых условиях (высокая температура, влажность, пыль, вибрация), в стерильных или пожароопасных помещениях.

Таким образом, применение ПМ возможно для следующих изделий: фильтры; огнепреградители; шумопоглотители (при повышенных частотах более 800 Гц); носители катализаторов; демпферы механических, акустических и электромагнитных импульсов; конструктивные элементы; сэндвич-панели; заполнители полостей и емкостей [3].

Область применения пенометалла довольно широка: от машиностроения до имплантологии. Свойства его структуры таковы, что он может поглощать сильные механические воздействия без заметных повреждений. Из пенометалла можно возводить громоздкие, но очень

долговечные и устойчивые конструкции, так как этот материал имеет идеальное соотношение веса и прочности. Такое свойство делает металлическую пену достойной применения в конструировании космических объектов, где огромное значение придаётся минимизации массы. Металлическая пена находит своё применение и в домостроении, особенно в сейсмически опасных районах. Она настолько эластична, что не разрушится даже от сильного землетрясения.

В строительстве пенометалл может использоваться в качестве пожаробезопасной и биостойкой теплоизоляции. Этот материал не подвержен гниению, не нуждается в специальной пропитке и имеет низкий показатель гигроскопичности. Имея хорошие демпфирующие характеристики, пенометалл идеально подходит для устройства ударопрочных полов и перегородок. Из-за лёгкости его можно использовать в качестве материала для подвесных потолков с функцией защиты от электромагнитного излучения. Хорошо выражена функция экранирования помещений, направленная на подавление, снижение влияния паразитных электромагнитных полей, помех и наводок, мешающих работе электро- и радиотехнических установок, аппаратуры и человека. Пористая структура обеспечивает хорошую шумо- и виброизоляцию. Наиболее эффективно поглощается звук с частотой 500–1000 Гц. Также пенометалл можно использовать в качестве наполнения полых металлических профилей, тем самым увеличивая их прочностные характеристики. Обладая высокой эстетикой наряду с нетоксичностью, лёгкостью и огнестойкостью, пенометалл подходит для отделки фасадов, кабин лифтов. В большинстве вышеописанных направлений используют сэндвич-панели из пенометалла.

В последние годы оптимизация жёсткости пенометаллов привела к созданию сэндвич-панелей с прочными внешними листами и со средним слоем, выполненным из вспененного алюминия. Предполагается, что такие панели могут быть использованы, например, в авиастроении в качестве деталей фюзеляжа, что позволит создавать самолеты с лучшими

показателями по потреблению топлива, грузоподъёмности и безопасности. Кораблестроители также заинтересованы в подобных материалах, особенно для надпалубных конструкций на высокоэффективных военно-морских судах. Экономия веса позволит увеличить скорость корабля, а более лёгкие палубные строения сделают его более стабильным [4].

Бронетехника. Металл идеален при создании военной амуниции. Из алюминиевой пены можно изготавливать лёгкую броню для улучшения её баллистических и конструкционных характеристик. Баллистический тест показал, что динамическая деформация алюминиевой пены начинается на ударной поверхности и распространяется по толщине до полного уплотнения. Пористая структура пены может поглощать больше энергии удара и задерживать ударную волну.

Строительство и архитектура. В строительстве и архитектуре металлические пены могут быть применены в качестве панелей для негорючих дверей и стен, материала для покрытия проводки, технического оборудования, звукоизоляционных панелей. Особые области, где многофункциональные пены могут эксплуатироваться, это подоконники и столбы.

Пористые металлы с высокой теплопроводностью клеточной стенки материала способны остановить пламя, которое распространяется с большой скоростью. На практике давно используются трубопроводы для транспортировки горючих газов, которые защищены от воспламенения даже вблизи источников огня, так что если возгорание происходит, пламя не может распространяться с высокой скоростью.

Шумоизоляция. Металлическая пена используется как материал, изолирующий звук, который устанавливается в виде экранов вдоль дороги или шоссе для уменьшения транспортного шума. Шумозащитный экран состоит из слоя металлической пены, который связывает бетон или оцинкованную сталь с воздушным пространством определённой ширины для

максимального поглощения шумов. Бетонная подкладка действует как изолятор звука.

Детали из пенометаллов используются для затухания звука, импульса давления и механической вибрации. Материалы с определённой степенью пористости могут быть изготовлены таким образом, чтобы заглушать избирательно некоторые частоты, при свободном пропуске других. Внезапные изменения давления, происходящие в компрессорах или пневматических устройствах, могут быть заглушены с помощью спеченных пористых материалов [5].

1.3 Обзор существующих методов получения пеноалюминия

- Продувка газом сквозь расплавленный Al—SiC или Al—Al₂O₃ сплав (рисунок 1). Этот метод применим для Al и Mg сплавов. Данный метод наименее дорогостоящий и с его помощью получают пеноалюминий с относительной плотностью 0,03...0,1 и диаметром пор 5...20 мм.

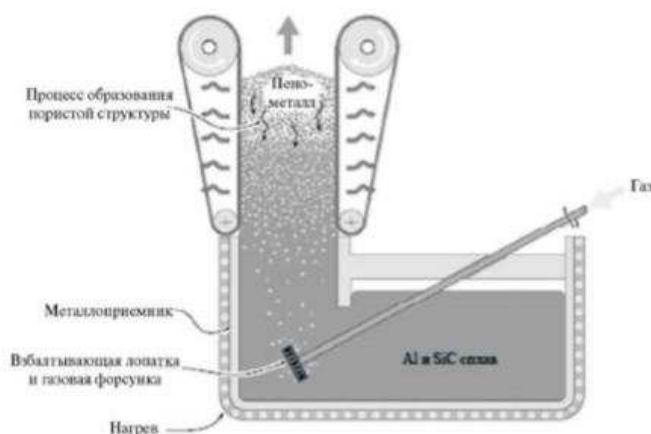


Рисунок 1 – Получение пеноалюминия методом продувки жидкого металла газом

- Ввод гидрида титана (TiH₂) в расплавленный алюминиевый сплав с последующим динамическим перемешиванием, нагреванием и контролем давления во время охлаждения полученного материала (рисунок 2). Подобный метод применим для Al сплавов. Объемные частицы кальция и

титана, добавленные в расплав в конечном счете определяют относительную плотность и, в совокупности с условиями охлаждения, размер пор. Размер пор может варьироваться от 0,5 до 5 мм в зависимости от содержания TiH_2 и условий охлаждения.

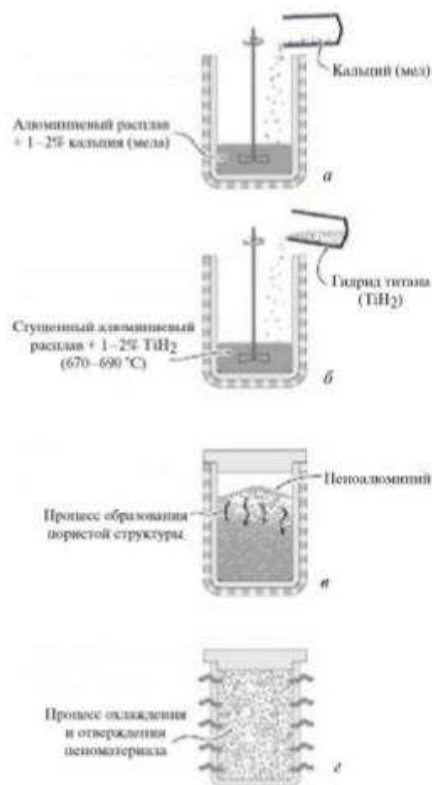


Рисунок 2 – Метод получения пеноалюминия с использованием гидрида титана

а – повышение вязкости; *б* – ввод гидрида титана; *в* – вспенивание материала; *г* – охлаждение

- Смешивание металлического порошка (в основном алюминиевого) с гидридом титана (TiH_2), с последующим плавлением до кашеобразной консистенции (рисунок 3). Этот метод применим для Al, Zn, Fe, Pb и Au сплавов. В данном методе пенообразование происходит путем ввода в металл в твердой форме смешанных порошков различных химических веществ.



Рисунок 3 – Получение пеноалюминия методом смешивания
алюминиевого порошка и гидрида титана

a – объединение порошков; *б* – получение заготовок выдавливанием
через фильеру; *в* – укладка заготовок в контейнер; *г* – процесс
преобразования

- Смешивание в литейной форме песчанноглинистой смеси и полимерного порошка с последующим выжиганием частичек полимера и наполнение под давлением литейной формы расплавленным металлом (рисунок 4). Подобный метод применим для Al, Mg, NiCr и Cu сплавов. Если рассматривать технологический процесс с самого начала, то перед непосредственным получением пористого материала создают полимерный пористый материал (шаблон для последующего пенометалла) с открытыми порами с желаемой относительной плотностью и размерами пор. Для этого в литейную форму засыпают песчанноглинистую смесь и полимерные

компоненты, затем смесь тщательно перемешивается. Литейную форму с заформованной смесью начинают подогревать, песчаноглинистая смесь отвердевает, при этом происходит дегидратация смеси и выделение углекислого газа. Далее в литейную форму с полученной смесью нагнетают расплавленный металл под давлением. После полного проникновения расплава в смесь немного увеличивают температуру. В результате полимерные компоненты расплавляются, а их объем занимает расплавленный металл.

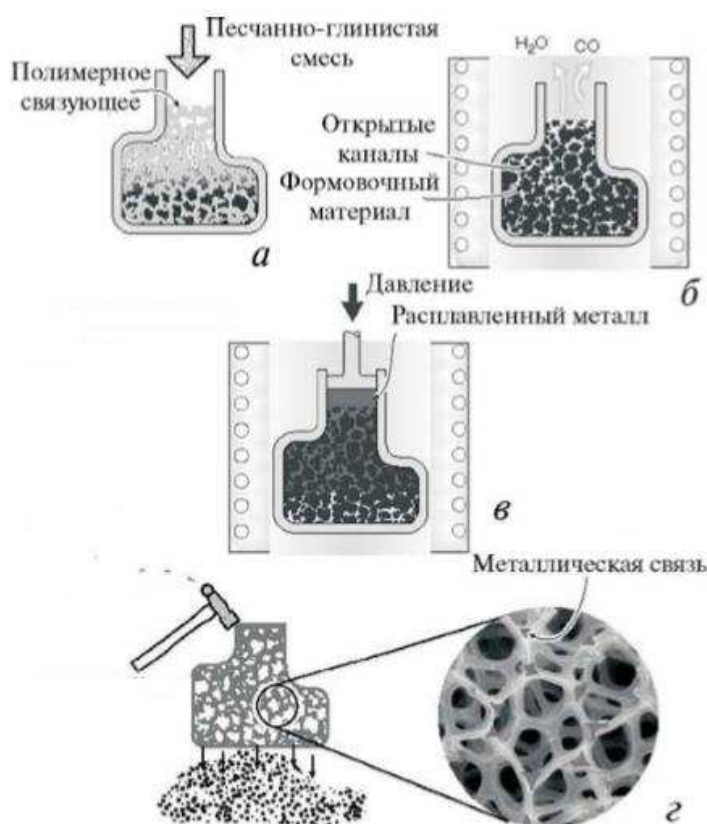


Рисунок 4 – Получение пеноалюминия методом литья по выплавляемым моделям

а – подготовительное формование; *б* – выжигание; *в* – пропитывание металлом; *г* – удаление формовочного материала

Далее литейную форму охлаждают, извлекают из нее формованное изделие и удаляют песок путем вибрации. Данный метод напоминает метод

литься по выплавляемым моделям в традиционных технологиях литья металлов и дает структуру с открытыми порами и размерами пор 1...5 мм в диаметре и относительной плотностью до 0,05 [7].

Первые работы по получению пенометаллов были проведены в середине прошлого века, но наибольший интерес к ним во всем мире приходится на 1990-е годы.

Известны два способа его получения: жидко- и твердофазный (порошковый). Первый более распространен, так как технологии на его основе производительнее и дешевле. Они, как правило, включают в себя три стадии:

- приготовление расплава;
- замешивание порофора в расплав или продувка последнего инертным газом;
- разливка пенящейся массы в кристаллизатор и охлаждение.

В структуре такого пеноалюминия наблюдается малая и неоднородная дисперсность пузырьков газа, что отрицательно сказывается на механических свойствах готовых изделий. Используя порошковый способ, этого можно избежать: при обработке в мельницах достигается равномерное распределение частиц порофора по всему объему образца. Именно такая технология дает возможность получить конструкционный пеноалюминий для производства деталей ответственного назначения. В общем случае твердофазный (порошковый) метод включает четыре стадии:

- приготовление порошковых смесей из матричного сплава и порофора;
- компактирование;
- нагрев до температуры вспенивания и выдержка;
- охлаждение [6].

1.4 Переработка алюминиевой стружки - приготовление порошковых смесей

Стружка образуется при обработке металлов и сплавов на металлорежущих станках. В зависимости от химического состава сплава, вида режущего инструмента форма и размер отдельных частиц стружки могут значительно отличаться. Стружку делят на сыпучую и вьюнообразную (витуую), крупную и мелкую, однородную и смешанную (по сыпучести и крупности).

Металлы и сплавы обрабатывают на металлорежущих станках с применением смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ), в результате чего на развитой поверхности стружки собираются эмульсия и масло. При хранении на открытом воздухе содержание влаги и масла может достигать 20—30%. Влажная стружка быстро корродирует, этот процесс ускоряют щелочные эмульсии. Для получения высоких технико-экономических показателей при металлургической переработке стружки ее необходимо очистить от механических примесей железа, а также от влаги, масла и земляного засора. Для полноты извлечения железных примесей и увеличения насыпной массы вьюнообразную стружку подвергают измельчению.

Для измельчения стружки на алюминиевой или медной основе используют стружкодробилки, выполненные на базе молотковых дробилок. Стружкодробильный агрегат (рисунок 5) состоит из разрывного устройства и накопителя измельченной стружки, в случае непрерывной переработки из механизма подачи и ленточного конвейера. Вьюнообразная стружка из приемного бункера захватываемыми звездочками разрывного устройства затягивается в агрегат. При этом она разрывается на мелкие пучки и частично дробится. Затем ленточным конвейером стружка подается в загрузочное устройство дробилки, где под ударами вращающихся молотков стружка измельчается и просыпается в приемную воронку разгрузочного ленточного конвейера.



Рисунок 5 – Дробилка для металлической стружки

Последующие операции обработки дробленой стружки проводят на линиях обезжиривания и сушки. Эти линии по технологии процесса обезжиривания делятся на линии гидрохимического и термического обезжиривания. Гидрохимическая очистка заключается в промывке стружки горячим ($60\text{—}80^\circ\text{C}$) щелочным раствором в шнековых смесителях или центрифугах. После удаления раствора в стружке остается не более 0,2% влаги и масла. Раствор после очистки от твердых частиц и масла возвращают в процесс. Промытую стружку направляют на металлургическую переработку.

Линии термического обезжиривания и сушки стружки включают следующие технологические узлы:

- 1) узел приема сыпучей и дробленой стружки, включающий приемный бункер с питателем;
- 2) узел предварительного грохочения стружки для выделения негабаритных включений и посторонних предметов перед сушкой;
- 3) узел обезжиривания и сушки, состоящий из барабанного сушила, камеры догорания возгонов, установки газопылеуловителя.

4) узел контрольного грохочения и отсева окалины, земляных отходов, металлической пыли;

5) узел электромагнитной сепарации.

Продукцией установки является стружка с содержанием влаги не более 1,0%, пыли и земляного засора — не более 1,0%, СОЖ — не более 0,4%. Содержание железа в алюминиевой стружке не должно превышать 0,2%.

1.5 Выводы

Основными характеристиками, определяющими физикомеханические свойства пеноалюминия, являются физикомеханические свойства материала стенок пор, относительная плотность пенометалла: ρ , ρ_s (где ρ — плотность пенометалла, ρ_s — плотность материала, из которого сформированы стенки пор), а также структура пор (открытые ячейки или закрытые поры). Иногда вместо относительной плотности для характеристики ПМ используется величина пористости $m=1-\rho / \rho_s$.

Исходя из обзора технологических процессов по этапам можно выделить три группы параметров, определяющих или при изменении которых меняются свойства получаемого пеноалюминия.

1. Характеристики исходных материалов (химический состав сплава, тип реагента);
2. Параметры вспенивания (температура, скорость нагрева, скорость охлаждения, стабильность параметров процесса)
3. Способ приготовления шихты (в нашем случае измельчение и очистка стружки, перемешивание с порообразователем).

Как показывает практика, исходный состав алюминиевых сплавов (особенно при порошково-металлургическом процессе) практически не влияет на процесс вспенивания и размер пор во вспененных материалах. Следовательно, химическим составом стружки можно пренебречь [4].

Т.к. измельчение и очистка стружки — это параметры, показатели которых самые выгодные при минимальных значениях, при планировании эксперимента этими значениями пренебрегаем. При подготовке эксперимента будем стараться максимально мелко измельчить и наиболее эффективно очистить существующую стружку от СОЖ и других примесей. Так же перед нами стоит задача максимально равномерно смешать подготовленную измельченную стружку и пенообразователь.

Скорость нагрева подготовленной шихты до температуры плавления влияет на структуру пеноалюминия: а конкретно на плотность, размер и равномерность распределения пор. Это обусловлено тем что при разной скорости теплового воздействия пенообразователь TiH₂ с разной интенсивностью выделяет газ, который способствует образованию пор в металле.

В процессе кристаллизации происходит обратное выделение энергии в виде скрытой теплоты кристаллизации. Она компенсирует тепло, которое отводится в окружающую среду, и задерживает падение температуры.

С увеличением скорости охлаждения степень переохлаждения возрастает, и процесс кристаллизации протекает при температурах, значительно более низких, чем равновесная температура кристаллизации.

Степень переохлаждения зависит от природы и чистоты металла. Чем чище металл, тем при большей степени переохлаждения возникают зародыши твердых кристаллов [11].

Наиболее подходящей для нас технологией является смешивание металлического порошка с гидридом титана. Главные недостатки этого способа — высокая стоимость оборудования и исходных порошковых материалов.

Исходя из этого, по теме моей работы, мы снижаем себестоимость процесса, экономя на металлических порошках, за счет использования в качестве исходного сырья отходы токарной или фрезерной обработки алюминия— стружку, предварительно очистив и измельчив ее до

максимально малых размеров и смешивания с пенообразователем по технологии механического легирования.

Механическое легирование – один из современных методов получения дисперсно-упрочненных материалов. Оно заключается в обработке порошковых компонентов и их смесей различного состава в высокоэнергетических мельницах и последующей консолидации вновь сформировавшейся активированной смеси для производства полуфабриката или готовой детали.

Цель настоящей работы – исследовать возможность получения относительно дешевого пеноалюминия из алюминиевого вторичного сырья на основе предварительно разработанной модели процесса порообразования.

Исходя из обзора первый опыт по получению пеноалюминия было решено разделить на следующие этапы:

1. Разработка технологии очистки стружки.
2. Разработка технологии измельчения стружки.
3. Разработка технологии получения пеноалюминия.

2 Материалы и методы исследования

2.1 Материалы

Используемая нами стружка была получена в результате высокоскоростной обработки по технологии HSM. Высокоскоростная обработка (High Speed Machining, HSM). Эта стратегия обработки характерна комбинацией малой радиальной глубины, врезания в материал и высоких скоростей резания. Вследствие чего стружка получается очень тонкой, однако удельный съем металла, за счет высоких скоростей резания является относительно большим (особенно если учитывать такой параметр как шероховатость). Такая стружка наиболее подходит для лабораторных испытаний. Стружка изображена на рисунке 6.



Рисунок 6 – Алюминиевая стружка полученная по технологии HSM

Для повышения качества обработки и стойкости инструмента на металлорежущих станках применяют смазочно-охлаждающую жидкость (СОЖ)-. СОЖ – это сложная многокомпонентная маслянистая жидкость,

обладающая характерным запахом, оставляющая маслянистые следы на поверхностях стружки. В целом полученная стружка имеет затемненный, не соответствующий чистому алюминию, цвет и присутствует запах машинного масла. Примерное содержание влаги и масла в стружке в зависимости от способа хранения варьируется от 10% до 30%.

В качестве порообразователя для получения пеноалюминия использовался промышленный порошок гидрида титана (TiH_2). Содержание водорода в этой фазе по объему больше 60% (~ 4 масс. %), а температура интенсивного разложения (дегидрирования) находится в интервале 650-700 °С.

2.2 Методика и оборудование для очистки стружки

Для получения высоких технико-экономических показателей при металлургической переработке и для чистоты эксперимента, получения пеноалюминия стружку требуется очистить. Очистка стружки проводилась по двум методикам:

1. Кипячение в водном растворе $NaHCO_3$ – пищевая сода. Концентрация $NaHCO_3$ составляла до 10% по массе. $NaHCO_3$ обладает быстрой растворимостью в воде, в результате чего получается щелочной раствор. При температурном воздействии (от 60 до 200 градусов), раствор $NaHCO_3$ разлагается на $NaCO_3$ высвобождая воду и углекислый газ, благодаря чему происходит очистка стружки от смазочно-охлаждающей жидкости.

Для нагрева водного щелочного раствора вместе со стружкой использовалась лабораторная плитка.

2. Ультразвуковая очистка растворе анионных поверхностно-активных веществ (ПАВ) и неионогенные ПАВ в воде. Концентрация ПАВ в растворе составляла анионных ПАВ до 5% масс; неионогенные ПАВ до 5%. Это химические соединения, действие которых основано на снижение поверхностного натяжения сред. ПАВ занимают промежуточное положение

между водой и жиром, действуют на поверхность жировой пленки, растворяя жир, тем самым очищают загрязненную поверхность, обладают высокой пенящейся и моющей способностью и легко смываются водой.

Очистка стружки проводилась в ультразвуковой мойке Branson 3510 (рисунок 7).



Рисунок 7 – ультразвуковая мойка Branson 3510

Такие очистители предназначены для мытья хирургического, стоматологического инструмента, оптических принадлежностей, лабораторной посуды, ювелирных украшений и тд. для очистки от различных загрязнений, таких как тяжелые масла, полирующие соединения, органические соединения, мелкие частицы.

Процесс очистки происходит вследствие того, что ультразвуковые волны, проходя через очищающий раствор, создают эффект, называемый кавитацией, который заключается в образовании и активных газовых или паровых пузырьков в среде, облучаемой ультразвуком, а также эффекты, возникающие при их взаимодействии со средой и с акустическим полем. Преобразователи 40 кГц обеспечивают повышенную мощность очистки со встроенной частотой развертки для равномерной очистки по всей ванне.

После 4х кратной очистки стружки с применением ультразвука, очищенную стружку просушивали в сушильном шкафу с принудительной вентиляцией WiseVen WOF-50 (рисунок 8) при температуре 200 °С.



Рисунок 8 – Сушка алюминиевой стружки в сушильном шкафу WiseVen WOF-50

При таких условиях обеспечивается максимальное избавление от влаги и остатков СОЖ.

2.3 Измельчение стружки

Для измельчения стружки была использована вибрационная мельница Retsch MM400 (рисунок 9). Вибрационная мельница MM 400 это компактный универсальный лабораторный прибор, который был разработан специально для сухого, мокрого и криогенного измельчения небольших количеств вещества. Она может смешивать и гомогенизировать порошки и суспензии всего за несколько секунд.

Размольные стаканы MM 400 осуществляют радиальные колебания в горизонтальной плоскости. Благодаря инерции движения размольные шары совершают удары с высокой кинетической энергией по веществу в закругленных концах размольных стаканов (рисунок 10) и измельчают его. Совместное движение размольных стаканов и шаров, представленных на рисунке 9, приводит к интенсивному перемешиванию образца. Степень перемешивания может быть дополнительно увеличена при помощи большего количества шаров меньшего диаметра.



Рисунок 9 – Вибрационная мельница Retsch MM400



Рисунок 10 – Размольные стаканы и мелющие тела ММ 400

Основные характеристики вибрационной мельницы ММ 400:

- Использование: измельчение, перемешивание, гомогенизация, разрушение биологических клеток, (криогенное измельчение)
- Области применения: сельское хозяйство, биология, химия / пластики, конструкционные материалы, машиностроение / электроника, окружающая среда / переработка, пищевые продукты, геология / металлургия, стекло / керамика, медицина / фармацевтика
- Исходный материал: твёрдый, средней твёрдости, мягкий, хрупкий, эластичный, волокнистый
- Принцип измельчения: удар, трение
- Исходный размер частиц ≤ 8 мм
- Конечная тонкость* ~ 5 мкм
- Размер загрузки / полезный объем* max. 2 x 20 ml

- Количество размольных мест 2

Установка частоты вибрации цифровая, 3 - 30 Гц (180 - 1800 об/мин)

Время измельчения 30 с - 90 мин

2.4 Получение образцов пеноалюминия

Образцы для вспенивания получали методами порошковой металлургии:

1. Очищенную стружку размалывали в лабораторной мельнице, затем добавляли порообразователь (гидрид титана), перемешивали компоненты в ступке до получения однородности, шихту развешивали в навески по 0,4-0,5 гр. и прессовали при различном давлении в жесткой матрице в образцы с размерами: диаметр 8 мм, высота 3 мм.

2. В очищенную стружку добавляли порообразователь и размалывали в лабораторной мельнице, полученную в результате совместного размола шихту так же развешивали в навески по 0,4-0,5 гр. и прессовали при различном давлении в жесткой матрице (рисунок 11) в образцы с размерами: диаметр 8 мм, высота 3 мм. Внешний вид лабораторного гидравлического пресса представлен на рисунке 12.



Рисунок 11 – Матрица для прессования цилиндрических образцов



Рисунок 12 – Гидравлический пресс

Вспенивание образцов проводили в муфельной печи DAIHAN FH-05 на воздухе и в лабораторной печи в среде аргона, время варьировалось от 5 до 15 минут, температура от 600 до 800 °С.

Морфологию полученного из алюминиевой стружки порошков и микроструктуру вспененных образцов исследовали методами сканирующей электронной микроскопии с помощью микроскопа JEOL JSM-7001F и оптического микроскопа ZEISS Observer. Z1m в лаборатории электронно-структурных исследований ЦКП СФУ.

Плотность прессованных и вспененных образцов определяли геометрическим методом.

3 Результаты работы и обсуждение

3.1 Очищение стружки.

3.2 Измельчение стружки

Измельчение стружки проводили при разных режимах, частота вибрации варьировалась от 10 - 30 Гц с шагом 5 Гц, время измельчения варьировалось – от 5 до 10 мин с шагом 2,5 мин, соотношение твердосплавных размольных шаров и порошка составляло 1:10. Общий вид загрузки размольных стаканов со стружкой представлен на рисунке 13.а, режимы работы на рисунке 13.б. Внешний вид порошка, полученного после измельчения стружки, приведен на рисунке 14.



Рисунок 13 – Измельчение стружки

a – размольные стаканы со стружкой; *б* – режимы измельчения

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная технология очистки стружки от СОЖ, разработана технология получения порошка из стружки алюминиевого сплава. Исследована морфология и элементный состав полученного порошка. Рассмотрены два варианта получения шихты для образцов пеноалюминия.

Получены образцы пеноалюминия. Исследовано влияние времени, температуры нагрева, среды используемой для вспенивания, исследованна микроструктура образцов пеноалюминия полученных при различных режимах.

Исследования показали:

1. Для очистки стружки лучшим, по степени очистки, является метод с использованием ультразвука.

2. Наиболее подходящей средой для вспенивания алюминия, из-за его окисления при нагреве, является среда аргона.

3. Время дигидрирования порообразователя TiH_2 в спрессованных образцах составляет от 6 до 8 минут. При большем времени образовавшийся газ выходит в окружающую среду.

4. Смешивание порообразователя нужно проводить в процессе мельчения стружки для гомогенизации веществ (наиболее равномерного распределения частиц)

5. Исследование микроструктуры показало отсутствие жидкой фазы при вспенивании. Об этом свидетельствуют форма пор и зерен алюминия.

Проведенная работа показала, что из стружки алюминиевого сплава можно получить порошок. Для вспенивания необходимо использовать защитную среду. Необходимо искать возможность очистки алюминиевого порошка от оксидной пленки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ // 2016 С.В. Воронин, П.С. Лобода // Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва // Статья поступила в редакцию 30.09.2016/
2. Бутарович Д.О., Смирнов А.А. Расчётное исследование механических свойств пеноалюминия // Материалы международной научно-технической конференции «Проектирование колесных машин», посвященной 70-летию кафедры «Колесные машины» МГТУ им. Н.Э. Баумана. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006
3. Конструкционные сверхлегкие пористые металлы (обзор) // М.А. ХОХЛОВ, Д.А. ИЩЕНКО // ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины. 03680, г. Киев, ул. Боженко, 11.
4. Lepeshkin I. A. (2010). Sandwich-paneli iz vspenennogo alyuminiya. Perspektivy primeneniya [Aluminium Sandwich Panels. Prospects of Use]. *Izvestia MGTU "MAMI"*, 2010(1), 136–147.
5. Богданова А. Металл будущего станет пористым. [Электронный ресурс] // А. Богданова -2010-. // Режим доступа: http://www.equipnet.ru/articles/other/other_556.html свободный
6. 2007 Д.О. Иванов¹, А.А. Аксенов, И.А. Иванов // Кафедра металловедения цветных металлов. Государственный технологический университет «Московский институт стали и сплавов» // ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕНОАЛЮМИНИЯ, ПОЛУЧЕННОГО ИЗ ВТОРИЧНОГО АЛЮМИНИЕВОГО СЫРЬЯ МЕТОДОМ МЕХАНИЧЕСКОГО ЛЕГИРОВАНИЯ
7. Бутарович Д.О., Смирнов А.А. Пеноалюминий как энергопоглощающий материал и его механические свойства. 2011

8. Министерство образования и науки РФ // Сибирский федеральный университет // Степанова Т.Н. , Гильманшина Т.Р. , Падалка В.А. // Основы получения отливок из сплавов цветных металлов// 2012 г

9. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования // «СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» Политехнический институт институт // Кафедра «ЭТ и ЭТ»// Р.А. Карлов, Н.В. Сергеев // Бакалаврская работа// Методика проектирования МГД- перемешивателей жидких металлов// 2016 г.

10. Тыртова М.П. ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СТАЛЕЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МЕТАЛЛОИЗДЕЛИЙ // Молодежный научный форум: Технические и математические науки: электр. сб. ст. по мат. XX междунар. студ. науч.-практ. конф. № 1(20). URL: [https://nauchforum.ru/archive/MNF_social/1\(20\).pdf](https://nauchforum.ru/archive/MNF_social/1(20).pdf) (дата обращения: 26.12.2018)

11. Адашкин А.М., Зуев В.М. Материаловедение (металлообработка). – М., 2003.

12. И.Ф. Худяков, А.П. Дорошкевич, С.Э. Кляйн, И.Т. Гульдин, Б.А. Фомин // Технология вторичных цветных металлов // Москва «Металлургия» 1981 г.

13. ГОСТ4784-97 // Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые

14. СТО 4.2 – 7 – 2014 Система менеджмента качества.; дата введ. Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной деятельности 27.02.2014. Красноярск: ИПК СФУ. 2014. 60 с.

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Политехнический институт
Кафедра КТОСМП

УТВЕРЖДАЮ

/ Заведующий кафедрой

Спу Е.А. Стурис
подпись инициалы, фамилия

«11» 07 2019г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Разработка технологии получения пеноалюминия из алюминиевой стружки

15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств»

15.04.05.03 «Автоматизированное машиностроение»

Научный руководитель

Зеленкова

подпись, дата

к.т.н., доцент

должность, ученая степень

Зеленкова Е. Г.

инициалы, фамилия

Выпускник

Вьюшков

подпись, дата

Вьюшков Д.О.

инициалы, фамилия

Рецензент

Зеер

подпись, дата

к.т.н., доцент

должность, ученая степень

Зеер Г. М.

инициалы, фамилия

Красноярск 2019г.