



ПОЛУЧЕНИЕ ПЕНОАЛЮМИНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ПОРОФОРА

Лاپин Илья Владимирович,

Казанский национальный исследовательский
технологический университет
Казань, Россия
E-mail: 89003222142@mail.ru

Гильмутдинов Ильфар Маликович,

доктор технических наук, профессор,
Казанский национальный исследовательский
технологический университет
Казань, Россия

Предмет исследования: порообразователь в виде порошка природного CaCO_3 для получения качественно-го пеноалюминиевого материала.

Цель исследования: подбор оптимального вида порофора как порообразующего элемента и получение пеноалюминия со специальными функциональными свойствами.

Методы и объекты исследования: при исследовании газообразующих свойств было проведено определение остаточных веществ и термической стабильности порофора термогравиметрическим анализатором ТГ-ДТГ, ДСК. Рассмотрены процессы получения на экспериментальной установке спекаемых в защитной среде образцов пеноалюминия. Объектом исследования являются полученные порошки CaCO_3 , а также определение физико-механических свойств образцов пеноалюминия.

Основные результаты исследования: получение пеноалюминия со специальными функциональными свойствами с введением порошкового порообразователя CaCO_3 . Подбор оптимальной составляющей количества вводимого порошкового порофора в металлическую матрицу вещества, исходя из физических свойств полученного материала.

Ключевые слова: пеноалюминий, порообразователь, микроструктура, пористость, прочность, демпферные свойства.

PRODUCTION OF ALUMINUM FOAM USING AN ALTERNATIVE POROPHORE

Ilya V. Lapin

Kazan National Research Technological University
Kazan, Russia
E-mail: 89003222142@mail.ru

Ilfar M. Gilmudinov

Doctor of Technical Sciences, Professor
Kazan National Research Technological University
Kazan, Russia

Subject of research: blowing agent in the form of natural CaCO_3 powder to obtain high-quality aluminum foam material.

Purpose of research: selection of the optimal type of foam as a pore-forming element and production of aluminum foam with special functional properties.

Methods and objects of research: when studying the gas-forming properties, the residual substances and thermal stability of the powder were determined using a thermogravimetric analyzer TG-DTG, DSC. The processes of obtaining aluminum foam samples sintered in a protective environment on an experimental installation are considered. The object of research is the resulting CaCO_3 powders, as well as the determination of the physical and mechanical properties of aluminum foam samples.

Main results of research: production of foamed aluminum with special functional properties with the introduction of powder blowing agent CaCO_3 . Selection of the optimal component of the amount of powder injected into the metal matrix of the substance, based on the physical properties of the resulting material.

Keywords: aluminum foam, blowing agent, microstructure, porosity, strength, damping properties.

ВВЕДЕНИЕ

В порошковой металлургии используют различные порошки металлов необходимого качества, и они имеют широкий спектр свойств, зависящих не только от дисперсности и формы частиц (от нитевидных до сферических), но и от получения их путем восстановления оксидов и солей, электролитического осаждения металлов, механическим методом (измельчение резанием, размол, распыление) и многими другими. В выборе металлических порошков для конкретных изделий учитывается их прессуемость (формуемость), пиррофорность и токсичность [1].

Функциональные свойства конкретного пеноматериала (пеноалюминия), такие как низкая плотность в сочетании с повышенной жесткостью, позволяют возводить долговечные и устойчивые конструкции. Пеноалюминий – биостойкий (не поддается гниению),

имеет низкий показатель гигроскопичности. Демпферные свойства подходят для использования ударопрочных бамперов, плит, перегородок, в конструкциях и устройствах, способных поглощать сильные механические воздействия. Минимальный вес конструкций позволяет использовать пеноалюминий в конструировании космических объектов [2].

Звуко-, шумо-, вибропоглощающие свойства и защита от электромагнитного излучения позволяют использовать пеноалюминий в различных ограждающих конструкциях, как стеновых, так и потолочных [3].

Пенометалл (пеноалюминий) также можно использовать в качестве наполнения полых профилей из металла, увеличивая жесткость конструкции. Обладая высокой эстетикой наряду с нетоксичностью, легкостью, огнестойкостью и коррозионной стойкостью, пеноалюминий подходит для отделки фасадов, кабин лифтов и др. [3].



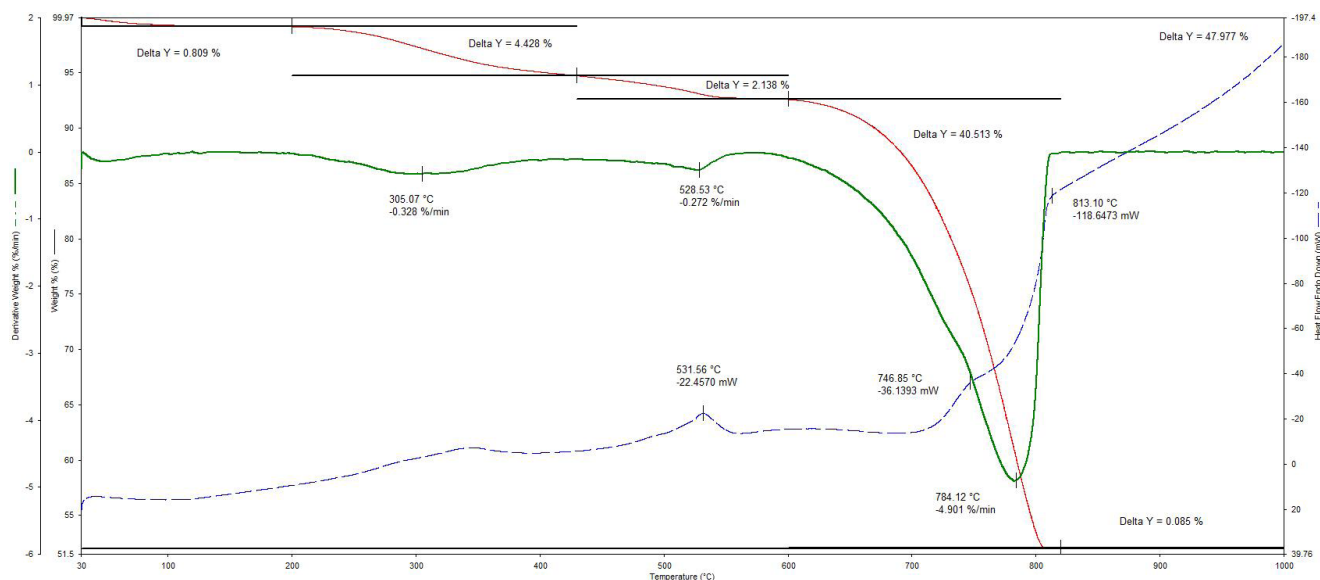


Рисунок 1. Термоаналитические кривые ТГ-ДТГ, ДСК порошка птичьих яиц в виде CaCO_3 .

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для получения пеноалюминиевого образца используются порошки алюминия, а в качестве порофора – порошок скорлупы птичьих яиц в виде CaCO_3 (патент № 2801169 Лапин И. В.). По данным химического и анализа ТГА (рис. 1), в первую очередь по температуре разложения и объему порообразующих выделений подбирается вид применяемого порофора. Экспериментально подбирается количественное соотношение основы и порофора, тип смешивающего устройства. Исходя из научных данных, выбирается усилие прессования и проводится одноосное холодное прессование смешанных порошков в пресс-формах. Далее в собственно изготовленной экспериментальной установке проводится спекание прекурсоров индукционным нагревом в защитной среде аргона. После охлаждения снимаются физические показатели полученных образцов, такие как размерность, плотность, пористость и др.).

Термоаналитические кривые ТГ-ДТГ, ДСК представленного порофора в виде CaCO_3 (рис. 1), где горизонтальная ось координат показывает температурные интервалы (°C), вертикальные оси координат (слева направо) – производная веса (%/мин); масса (%); тепловой поток, соответствующий эндотермическому разложению (мВт).

При разложении представленного порофора в виде CaCO_3 выделенная тепловая энергия резко повышает температуру порошкового вещества, соответственно, требуются меньшие энергетические затраты для нагрева образца [1].

Величиной, определяющей физические свойства пеноалюминия, является его

плотность и пористость (объем порового пространства), исчисляемая по формуле:

$$P = \left(1 - \frac{\rho_o}{\rho}\right) \cdot 100$$

где P – пористость в %, ρ_o – плотность готового (спеченного) материала, ρ – плотность литого материала.

Плотность пенометалла (г/см^3) определялась стандартным способом по формуле:

$$\rho_o = m/V$$

где m – масса образца, V – объем образца.

Физические характеристики образцов пеноалюминия с предложенным порофором в виде CaCO_3 закономерно зависят от количества вводимого порошкового порообразователя (таблица 1), и в дальнейшем существенно влияют на структуру и механические свойства полученного композиционного изделия [4].

На графике (рисунок 2) видны максимальные значения пористости пеноалюминиевых образцов с порошковым порофором CaCO_3 при отношениях как спекаемых образцов к спрессованным, так и спекаемых образцов к литым, и имеют пористость 25,42 % и 40 % соответственно.

Исходя из полученных экспериментальных данных, для получения качественного пеноалюминия оптимальное количество порофора CaCO_3 по массе должно содержать 8–12 %. Уменьшение массового процентного содержания порофора CaCO_3 ведет к увеличению плотности пеноалюминия и уменьшению пористости полученного образца.

Количество порофора 8–12 мас. % является оптимальным для получения однородной пористой структуры и стабильности размеров полученного материала (потери формы).

Таблица 1. Характеристики образцов с различной массовой долей порофора CaCO_3 .

№ образца пеноалюминия	Количество порофора, % масс	Плотность образца после прессования, гр/см ²	Плотность образца после спекания, гр/см ²	Пористость образца, относительно спрессованн. компакта, %	Пористость образца, относительно литой матрицы, %
1	3	2.3	1.97	13,17	28,5
2	5	2.389	1.982	17	26,5
3	8	2.172	1.62	25,42	40
4	10	2.33	2.012	13,8	25,4
5	15	2.4	1.96	18,3	27,4
6	20	2.36	1.99	15,6	26,3

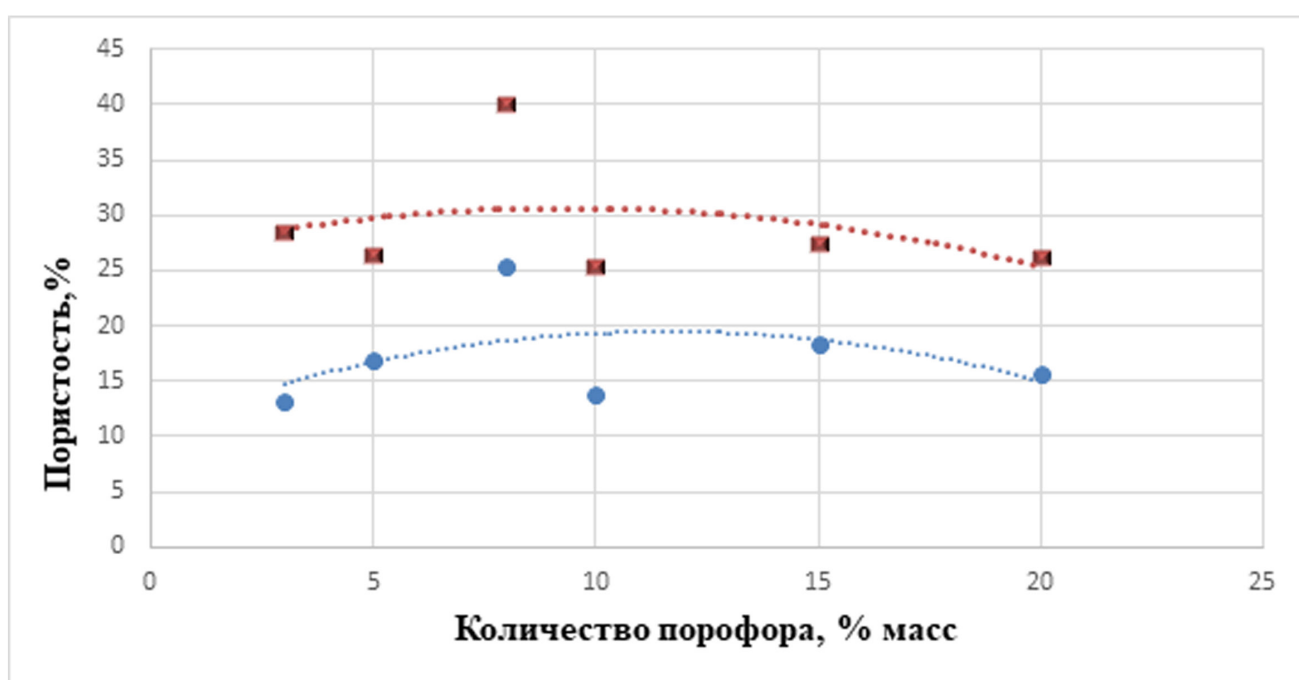


Рисунок 2. График зависимости пористости образцов пеноалюминия от массовой доли порофора CaCO_3 (нижний график – плотность спекаемого от плотности спрессованного, верхний – плотность спекаемого от плотности литого).

При содержании порофора в количестве меньше 8 % значительно падают показатели пористости образцов, соответственно, уменьшаются размеры пор, что радикально влияет на характеристики энергопоглощающих свойств пенометаллических изделий.

Спекание спрессованных образцов порошка алюминия и порофора представлено (рисунок 3) на схеме экспериментальной установки для спекания.

Аргоновый газ из баллона 1 подается в кварцевый реактор 4 установки, в котором установлен графитовый тигель с прекурсором 5. Снятие показаний температур нагрева производится встроенными хромель-алюмелевыми термопарами и выводится на аналоговый контроллер 6. Далее защитный

газ поступает в стеклянную емкость 12, затем в емкость с водой 13. Генератор индукционного нагревателя 7 посредством катушки индуктора осуществляет нагрев образца путем превращения электромагнитных волн в тепловую энергию. Блок индукционного нагревателя охлаждается вентилятором 8, а катушка индуктора имеет водяное охлаждение посредством циркуляционной перекачки насосом 9.

Питание и регулировка параметров (силы тока, напряжения) блока генератора осуществляется индивидуальным источником питания 10.

Для проведения расчетов энергопоглощающих элементов конструкций необходимо знать упруго-пластические свойства

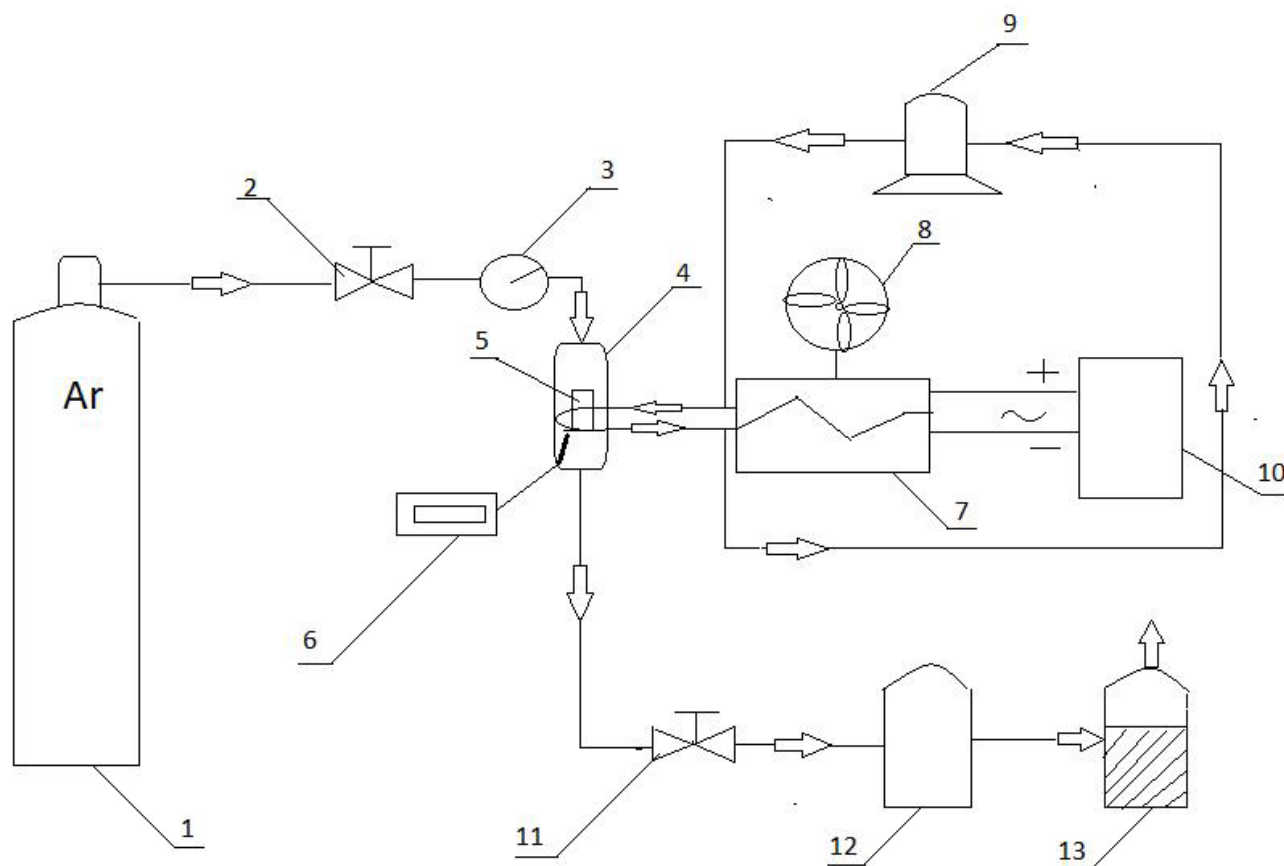


Рисунок 3. Схема установки для спекания сформованных образцов: 1 – баллон с аргоном; 2, 11 – запорные вентили; 3 – манометр; 4 – кварцевый реактор; 5 – графитовый тигель с образцом; 6 – устройство для фиксации показателей температур; 7 – блок генератора индукционного нагревателя; 8 – вентилятор охлаждения; 9 – насос гидравлический; 10 – индивидуальный источник питания; 12 – емкость; 13 – емкость с жидкостью.

пеноалюминия, и при оптимизации элементов требуется иметь зависимость характеристик деформирования пеноалюминия от его плотности [5].

Применение карбонатов в качестве порофоров дополнительно обосновано способностью некоторых металлов поглощать водород, что, в свою очередь, делает применение гидридов неэффективным. Данную особенность можно наблюдать у магния (Mg), который обладает способностью поглощать водород, поэтому CaCO_3 и MgCO_3 являются более подходящими вспенивающими веществами для получения пеноалюминия и пеномагния [6].

Также к факторам выбора карбонатов относятся исследования, которые показали, что при использовании гидридов в качестве порообразователей образуются хрупкие интерметаллические соединения, которые влияют на пластичность материала, и из-за этого взаимодействия способность пенометалла поглощать энергию снижается. Например, при получении пеноалюминия с использованием TiH_2 в качестве порофора образуется интерметаллид Al_3Ti , который является хрупким

соединением, снижающим пластичность стенок ячеек и ударную вязкость пенометалла. Следовательно, способность пенометаллов, полученных с помощью TiH_2 , к поглощению энергии ниже, чем у пенометаллов, полученных с помощью CaCO_3 , образующих комбинацию Al и Al_4Ca , которая является менее хрупкой и не влияет на прочность [7-8]. Также применение представленного порофора в виде CaCO_3 , по сравнению с гидридом титана, выигрывает по себестоимости (т. к. гидрид титана стоит 5000 руб./кг, яичная скорлупа, даже молотая – 50-120 руб./кг).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Получение пористой структуры алюминия обосновано введением порошкового порообразователя – скорлупы птичьих яиц в смесь, холодное прессование и спекание до получения пенометалла со специальными свойствами. Сочетание специальных свойств пеноалюминия увеличивает реестр применения его в различных областях производства [9].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лапин, И. В. Повышение эффективности в использовании малозатратных порофоров для получения новейших материалов / И. В. Лапин, В. В. Жилияков, Г. А. Аминова, И. В. Вишнякова. – Текст: непосредственный // Вестник КГТУ им. А. Н. Туполева. – Казань, 2020. – № 1. – С. 56–62.
2. Лапин, И. В. Механизмы стабилизации металлических пен и формирование пористой металлической структуры / И. В. Лапин, В. В. Жилияков. – Текст: непосредственный // Вестник КГТУ им. А. Н. Туполева. – Казань, 2020. – № 3. – С. 80–84.
3. Шанин, Д. Н. Пенометалл: структура, технологии получения, применение в области строительства / Д. Н. Шанин. – Текст: непосредственный // Научный журнал «Полиматис». – 2016. – № 1. – С. 59–63.
4. Лапин, И. В. Новые модификации металлов в современном производстве / В. Г. Кузнецов, Г. А. Аминова. – Текст: непосредственный // Известия КГАСУ. – 2017. – № 3(41). – С. 188–195.
5. Бутарович, Д. О. Пеноалюминий как энергопоглощающий материал и его механические свойства / Д. О. Бутарович, А. А. Смирнов, Д. М. Рябов. – Текст: непосредственный // Машиностроение. – 2011. – № 7. – С. 53–58.
6. X. Xia, W. Zhao, X. Feng, H. Feng, and Xin Zhang, “Effect of homogenizing heat treatment on the compressive properties of closed-cell Mg alloy foams” // Materials and Design, vol. 49, pp. 19–24, 2013.
7. A. V. Byakova, S. V. Gnyloskurenko, and A. I. Sirko, “The role of foaming agent in structure and mechanical performance of Al based foams” // Materials Transactions, vol. 47, pp. 2131–2136, 2016.
8. Banhart J, Ashby MF, Fleck N. Cellular Metal and Metal foamingtechnology. Germany: Verlag MIT; 2001, – 169p.
9. Lapin I., Zhilyakov V., Kharitonova O., Bronskaya V., Askarova R., Vishnyakova I. Relevance of selective sampling of foaming agents for the production of porous metals / „Proceedings of the II International Conference on Advances in Materials, Systems and Technologies, CAMSTech-II 2021“ 2022. – P. 020030.