

УДК 66.669

DOI: 10.35211/1990-5297-2024-2-285-47-51

*И. В. Лапин, И. М. Гильмутдинов, Р. Н. Аскарова***ПОЛУЧЕНИЕ ПОРИСТОЙ МЕДИ РАЗЛОЖЕНИЕМ ПОРООБРАЗУЮЩИХ ЧАСТИЦ****Казанский национальный исследовательский технологический университет**

e-mail: 89003222142@mail.ru

В статье рассмотрены основные функциональные свойства пеномедного материала, полученного путем формования и спекания меди с порообразователем в виде CaCO_3 . Подобрано сырье для порообразования, и проведен анализ ТГА для определения максимального разложения представленного порофора. Опытным путем были подобраны основные характеристики (дисперсность частиц, количество компонента, количество порообразующей фазы при разложении и др.) используемого порошкового порофора в виде CaCO_3 . Исследованы физико-механические свойства полученных образцов пеномеди.

Ключевые слова: пеномедь, спекание, порофор, микроструктура, пористость, прочность.

*I. V. Lapin, I. M. Gilmutdinov, R. N. Askarova***OBTAINING POROUS COPPER BY DECOMPOSITION OF PORO-FORMING PARTICLES****Kazan National Research Technological University**

The article discusses the main functional properties of copper foam material obtained by molding and sintering copper with a blowing agent in the form of CaCO_3 . The raw materials for pore formation were selected and TGA analysis was carried out to determine the maximum decomposition of the presented porophore. The main characteristics (particle dispersion, amount of component, amount of pore-forming phase during decomposition, etc.) of the used powder blowing agent in the form of CaCO_3 were selected experimentally. The physical and mechanical properties of the obtained copper foam samples were studied.

Keywords: copper foam, sintering, porofoor, microstructure, porosity, strength.

Введение

Пористые материалы на основе меди имеют небольшую плотность, большую площадь поверхности и гораздо большую площадь рассеивания тепла, чем твердые медные материалы того же качества, благодаря их хорошей электропроводности и пластичности, а также обладают свойствами, такими как звукоизоляция и снижение шума, электромагнитное экранирование, рассеивание тепла, проникновение и циркуляция, и хорошие демпфирующие характеристики, благодаря двойной роли конструкционных материалов и функциональных материалов, широко используются в аэрокосмической, транспортной, строительной, металлургической, новой энергетике, защите окружающей среды и электрохимической промышленности, особенно благодаря отличной теплопроводности [1].

Свойства металлических пенопластов в наибольшей степени зависят от свойств материала, из которого они изготовлены, а также и от их относительной плотности. Жесткость и прочность при небольшом весе используются во многих областях применения пенометалла [2].

Помимо этого, на свойства пены влияют структура, в частности анизотропия и дефекты,

под которыми подразумеваются волнистые, изогнутые или искаженные клеточные стенки и клетки исключительного размера или формы. Демпфирующая способность металлической пены обычно в пять-десять раз больше, чем у металла, из которого она изготовлена. Металлические пены имеют некоторую емкость в качестве акустических поглотителей. Как и в других материалах, циклическая нагрузка вызывает усталостное повреждение металлических пен. Прочность металлических пен может быть измерена стандартными методами [3].

Исходя из приобретенных упруго – пластических (демпферных) и других специфических свойств рассматриваются варианты применения пеномедного материала в различных сферах и областях производства [4].

Материал и методика исследования

Термоаналитические кривые ТГ-ДТГ, ДСК представленного порошкового порофора в виде CaCO_3 (рис. 1) показывают интервал температур разложения порофора от 200 до 820 °С. Максимальное пиковое разложение порообразователя происходит при температуре 784 °С с выделением повышенной тепловой энергии, которая увеличивает температуру порошковых ком-

понентов и нуждается в меньших энергозатратах для нагрева спрессованного изделия [5]. Температура максимального разложения поро-

фора 784 °С и объем выделенного порообразующего газа 47,97% оптимально подходит для получения качественной структуры пеномеди.

Таблица 1

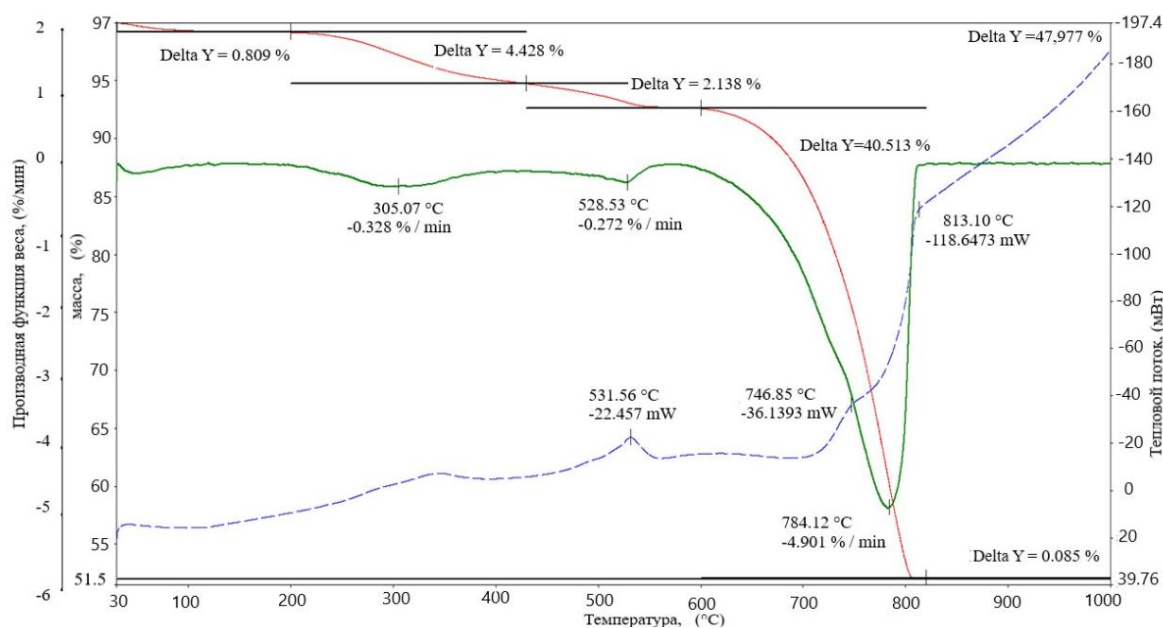
Протокол термического анализа

Наименование пробы	Интервал температур (максимум эффекта), °С изменение массы, % масс.					Общее изменение массы в интервале 30–1000 °С, %масс.
CaCO ₃	30-200 (-) -0,81	200-430 (305) -4,43	430-600 (529) -2,14	600-820 (784) -40,51	820-1000 (-) -0,08	47,97

В графах интервала температур в числителе показаны интервалы разложения вещества, в скобках – пиковые значения, а в знаменателе – изменение массы вещества в процентах. Минус в скобке показывает отсутствие пика, либо незначительного разложения вещества.

Термоаналитические кривые ТГ-ДТГ, ДСК

одного из вида представленного порофора CaCO₃ (рис. 1), где горизонтальная ось координат показывает температурные интервалы (°С), вертикальные оси координат (слева направо) – производная функция веса (%/мин); масса (%); тепловой поток, соответствующий эндотермическому разложению (мВт).

Рис. 1. Термоаналитические кривые ТГ-ДТГ, ДСК образца CaCO₃

Получение пеномеди

Способ получения пористой меди, включающий смешивание порошка меди с порофором, прессование в пресс-форме с получением заготовки, спекание заготовки при температуре 850–900 °С, охлаждение спеченного материала. В качестве порофора использовали порошок CaCO₃ в количестве 5–20 мас.%, прессование осуществляли с усилием 400 МПа с получением заготовки, которую нагревали в печи до температуры 850–900 °С и выдерживали при этой температуре в течении 15–20 мин. В качестве сырья для получения пористой меди использо-

вали порошок меди ГОСТ 4960–2017 с размерностью 50 мкм. В качестве порофора – порошок яичной скорлупы с размерностью 70–90 мкм. Для получения порошка скорлупу промывали, высушивали, а затем измельчали любым подходящим измельчителем, известным из уровня техники.

Пример 1

20 граммов порошка меди смешивали с 0,16 граммами порошка яичной скорлупы (содержание порофора 8 мас.%). Полученную смесь засыпали в цилиндрические прессформы с диаметром образцов 10 и 15 мм и прессовали с уси-

лием 400 МПа до получения заготовок высотой 7–10 мм. Заготовки помещали в печь сопротивления и постепенно со скоростью нагрева 30–40 °С/мин нагревали до 850–900 °С, выдерживали при этой температуре в течение 15–20 минут. Спеченные образцы охлаждали на воздухе до комнатной температуры.

Примеры 2–3 аналогичны примеру 1, варьировали количество порофора.

У полученных образцов определяли пористость, прочность на сжатие, размер пор. Пористость образцов рассчитывали исходя из измеренной плотности полученных образцов пористой меди по формуле:

$$P = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) \cdot 100,$$

где P – пористость в %, ρ_0 – плотность готового (спеченного) материала, ρ – плотность литого материала.

Плотность пеномеди (г/см³) определяли стандартным способом по формуле:

$$\rho_0 = m/V,$$

где m – масса образца, V – объем образца.

Внедряя полученный порошковый порофор в виде CaCO₃ в медную матрицу был получен и исследован пеномедный материал (рис. 2) с различной пористостью от 50 до 80 % [6–7].



Рис. 2. Пеномедные образцы диаметром 10 мм с порофором CaCO₃

На рис. 2 видно, что в результате спекания порошков меди с порообразователем визуально

видно образование вспученной поверхности образцов (горкой), соответственно это доказывает образование внутри него порового пространства, в виде закрытых пор, что в дальнейшем исследовалось на микроскопическом изображении пеномедного образца (рис. 3).



Рис. 3. Структура пеномеди образца диаметром 10 мм с размером пор 20–50 мкм

На рис. 3 при 400^x увеличении изображена структура пеномеди с пористостью 62 %, полученная порошковым способом спекания порошков меди размером 50 мкм и порофора CaCO₃.

Прочность на сжатие представленных образцов пеномеди составила 180–320 кгс/см², что является хорошим показателем для применения в различных отраслях промышленности.

Исследование физико-механических свойств пеномедных образцов

Для измерения прочности на сжатие представлены образцы пеномеди, диаметром 10 мм, высотой 7–12 мм с различным количеством порофора

Полученные результаты приведены в таблице:

Таблица 2

Физико-механические показатели пеномеди

Пример	Кол-во порофора, масс. %	Пористость спрессован. образца, %	Пористость спечен. образца, %	Прочность на сжатие пеномеди, кгс/см ²	Размер пор, мкм
1	5	37	54	335	10-30
2	8	44	62	318	10-30
3	10	46	69	278	20-40
4	12	56	75	185	20-50
5	15	58	77	180	20-50
6	20	61	79	173	20-50

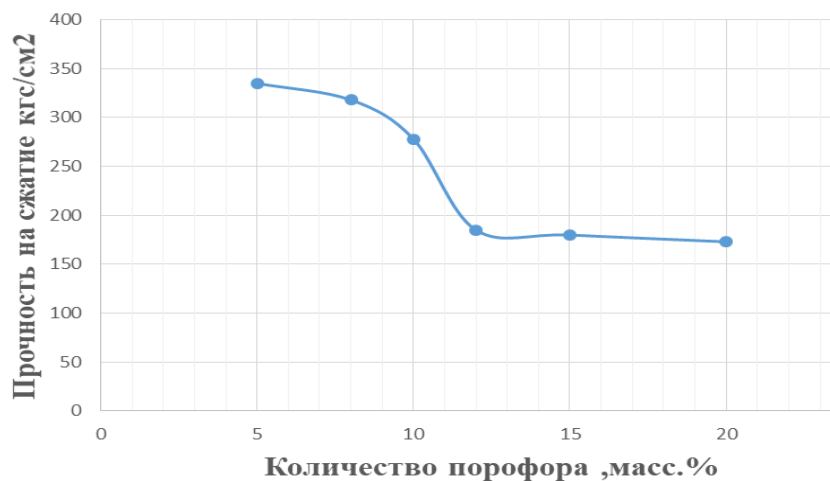


Рис. 4. График зависимости прочности на сжатие пеномеди от количества введенного порофора CaCO_3

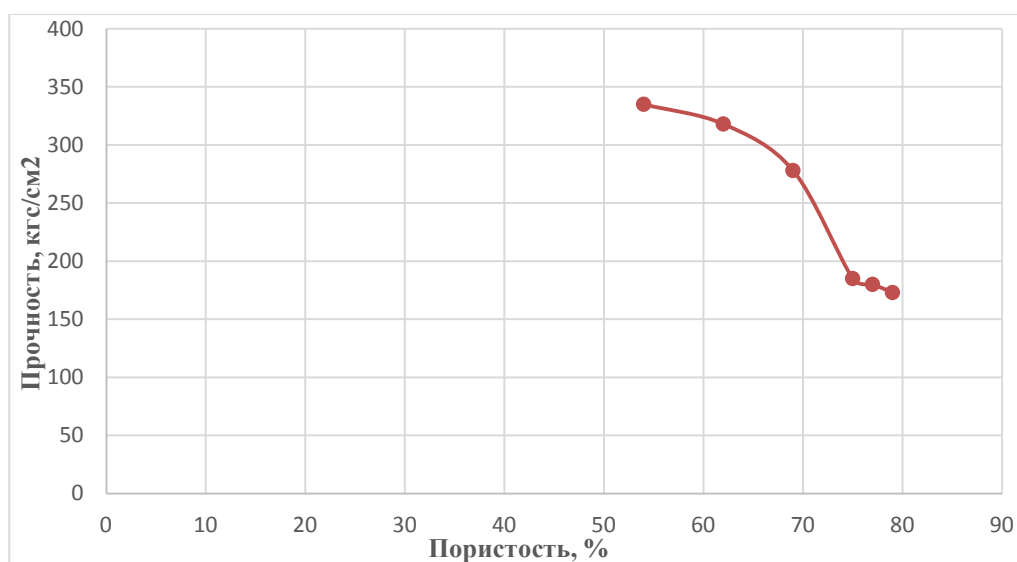


Рис. 5. График зависимости прочности на сжатие пеномеди от пористости спеченных образцов

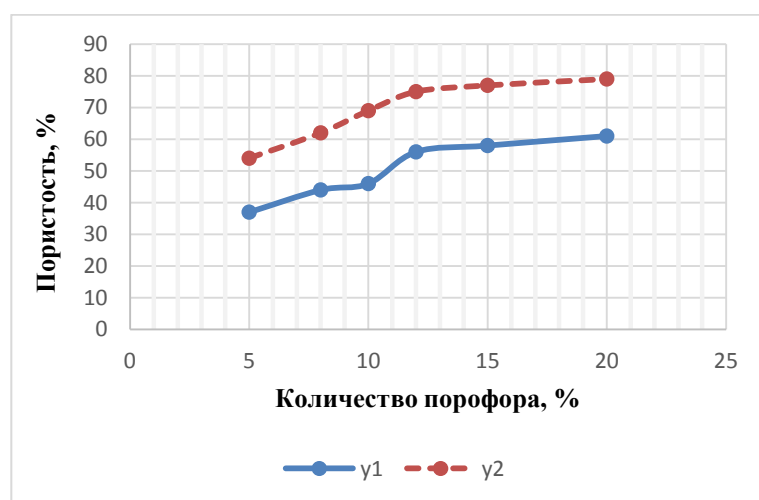


Рис. 6. График зависимости пористости образцов пеномеди от количества введенного порофора

Прочность на сжатие пеномедных образцов уменьшается в зависимости от количества введенного порообразователя в виде CaCO_3 и имеет плато от 12 до 20 % содержания порофора, но имеет оптимальное содержание 8 % с высокой прочностью при исследовании на соблюдение фактора формы и пористости образцов (рис. 4).

Прочность на сжатие пеномедных образцов с порофором в виде CaCO_3 закономерно уменьшается в зависимости от пористости спеченных образцов (рис. 5) т.е. увеличение порового пространства влияет на понижение прочностных показателей полученной пеномеди.

На верхнем штриховом графике рис. 6 показана зависимость пористости **спрессованных** образцов пористой меди от количества введенного порофора CaCO_3 . На этом же графике ниже в виде сплошной линии показана зависимость пористости **спеченных** образцов пеномеди от количества введенного порофора CaCO_3 . В обоих случаях это физически закономерно.

Выводы

Для использования порошкового компонента порообразователя CaCO_3 при получении пеномеди проведены следующие виды работ:

1. Исследование порофора анализом ТГ-ДТГ, ДСК, что показало положительный результат для применения порошка CaCO_3 в виде порообразователя.

2. Классификация и смешивание подобранных компонентов порошков основы и порообразователя.

3. Получение спрессованного прекурсора посредством одностороннего прессования с оптимально подобранным усилием прессования.

4. Спекание отформованных образцов при определенных условиях.

5. Исследование физико-механических свойств полученных образцов пеномеди

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Механизмы стабилизации металлических пен и формирование пористой металлической структуры / И. В. Лапин, В. В. Жилияков // Вестник КГТУ им. А. Н. Туполева. – № 3. – Казань, 2020. – С. 80–84.
2. Cellular Metal and Metal foaming technology / J. Banhart, M. F. Ashby, N. Fleck // Verlag MIT / Germany, 2001. – 169 p.
3. Effect of homogenizing heat treatment on the compressive properties of closed-cell Mg alloy foams / X. Xia, W. Zhao, X. Feng, H. Feng, Xin Zhang // Materials and Design vol. 49 / 2013. – P. 19–24.
4. The role of foaming agent in structure and mechanical performance of Al based foams / A. V. Byakova, S. V. Gnyloskurenko, A. I. Sirko // Materials Transactions vol. 47 / 2016. – P. 2131–2136.
5. Повышение эффективности в использовании мало-затратных порофоров для получения новейших материалов / И. В. Лапин, В. В. Жилияков, Г. А. Аминова, И. В. Вишнякова // Вестник КГТУ им. А. Н. Туполева. – № 1. – Казань, 2020. – С. 56–62.
6. Заявка на изобретение №2023127177/05.
7. Relevance of selective sampling of foaming agents for the production of porous metals / I. Lapin, V. Zhilyakov, O. Kharitonova, V. Bronskaya, R. Askarova, I. Vishnyakova // Proceedings of the II International Conference on Advances in Materials, Systems and Technologies / CAMSTech-II 2021" 2022. – P. 020030 – 020034.