

ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

УДК 669

Леушин И.О., Грачев А.Н., Назаров В.Н., Горохов П.А.

ПЕНОАЛЮМИНИЙ – ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЛИТЫХ ИЗДЕЛИЙ ОТВЕТСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Аннотация. Представлены результаты проведенного авторами аналитического обзора способов получения пеноалюминия и литых заготовок из него. Приведены примеры технологий получения пеноалюминия, описаны основные недостатки. Предложена технологическая схема получения пеноалюминия, предусматривающая ввод пено- и порообразователя в виде гранул «сухого льда» в алюминиевый расплав непосредственно в рабочей полости литейной формы. Данная схема позволяет получать как пеноалюминиевые плиты для последующей механической обработки, так и сложные фасонные отливки, габаритные размеры которых ограничиваются лишь способностью формы удерживать давление при сублимации CO_2 . Предложено провести математическое моделирование для сравнения характеристик изделий из алюминия, магния и пеноалюминия для замены им деталей и узлов в авиационной и космической отраслях. Предполагается, что равномерная структура и диаметр ячеек в объеме отливки положительно влияет на технические характеристики изделия, такие как прочность на изгиб и кручение. По мнению авторов, замена деталей и узлов из магниевого сплава на пеноалюминиевый приведет к уменьшению веса и повышению прочностных характеристик облегченных конструкций, работающих в условиях статических нагрузок, низких и повышенных температур.

Ключевые слова: пеноалюминий, пенообразователь, сухой лед, гранула, сублимация.

В последние годы в машиностроении возрос интерес к применению инновационного материала — металлической пены. Основной причиной для этого стало развитие новых концепций легких и прочных конструкций в авиационной и аэрокосмической отрасли. Металлическая пена из алюминия имеет большие перспективы для применения в промышленности. Вспененный металл имеет малый вес, низкую плотность — $0,3\text{--}0,8\text{ г/см}^3$, хорошие теплоизоляционные и звукопоглощающие свойства, негорюч и нетоксичен. Ячеистая структура материала поглощает вибрации, толчки и звуки исключительно хорошо, а низкий вес обеспечивает идеальную основу для облегченных конструкций. Вспененный алюминий может также обеспечить высокоэффективную защиту от электромагнитных волн.

Существует несколько вариантов технологий получения пеноалюминия, например: введение газов в жидкий предварительно загущенный специальными добавками метал, применение сухого пенообразователя — гидрида титана, насыщение расплавленного металла водородом с использованием автоклава, смешивание в литейной форме песчано-глинистой смеси и полимерного порошка с последующим выжиганием частичек полимера и наполнение под давлением литейной формы расплавленным металлом, литье алюминиевого расплава в форму с водорастворимыми веществами, засыпку порошковой смеси в оболочку, нагревание в проходной печи до температуры не ниже 500°C , горячее компактирование, резку компактированной прокатной заготовки на листовые заготовки и

высокотемпературную термообработку для проведения процесса вспенивания.

В авиационной и аэрокосмической отрасли детали, такие как картеры коробок передач и редукторов, каркасы кабины экипажа, воздухозаборники и механизмы реверса тяги, работающие в условиях статических нагрузок, низких и повышенных температур, изготовлены из магневых сплавов из-за малой плотности металла ($1,738\text{ г/см}^3$) для получения легких и сверхлегких сплавов [1-4]. Пеноалюминий способен конкурировать с магниевыми сплавами в этой отрасли за счет соотношения прочности к весу, прочность обеспечивается правильно подобранной структурой пор и перемычек в объеме заготовки или отливки.

Изготовление отливок ответственного назначения из пеноалюминия, является перспективной задачей в данной отрасли и не только.

Особенностью технологии получения пеноалюминия введением газов напрямую в жидкий металл, является то, что в качестве добавок, увеличивающих вязкость расплавленного металла, вводятся SiC или Al_2O_3 (10-15%). Газ (воздух, азот или аргон) вводят в расплав с помощью вращающейся крыльчатки. Таким способом могут быть получены плиты из металлической пены значительных размеров ($0,1\times 1\times 10\text{ м}$). При этом пористость материала достигает 80–97%. Алюминиевый пористый материал увеличивается примерно в 5 раз от первоначального объема [5, 6].

Суть способа с вводом сухого пенообразователя с помощью вращающейся крыльчатки (например, гидрида титана (TiH_2)) в расплавленный алюминиевый сплав с последующим динамическим перемешиванием, контролем нагрева и давления при охлаждении полученного материала. Пенообразователь разла-

гается под влиянием тепла и водорода, увеличивая свой объем в течение 15 мин. Затем расплав охлаждается в форме с помощью вентиляторов и затвердевает в виде блока с пористостью 89–93%. Объемные частицы кальция и титана, добавленные в расплав, в конечном счете определяют относительную плотность и, в сочетании с условиями охлаждения, размер пор. Размер пор может варьироваться от 0,5 до 5 мм, в зависимости от содержания TiH_2 и условий охлаждения [7, 8]

Данные способы имеют недостатки, такие как длительный технологический процесс, обусловленный вводом пенообразователей с последующим перемешиванием разного рода приспособлениями и продувкой газами.

Для того чтобы получить желаемую структуру пеноалюминия, авторами данной статьи предлагается взять за основу вариант внутриформенного ввода пено- и порообразователя в алюминиевый расплав, а в качестве пено- и порообразователя применить гранулы «сухого льда». Физическая сущность предлагаемого решения заключается в контролируемом образовании газожидкометаллической смеси, где матрицей выступает алюминиевый расплав, а дисперсной средой-порообразователем – углекислый газ как результат высокотемпературной сублимации гранул «сухого льда», и дальнейшем управляемом формировании газотвердометаллического изделия заданной геометрической формы.

Описание способа: в окрашенную рабочую полость предварительно нагретой металлической литейной формы засыпается расчетное количество «сухого льда» в виде гранул определенного размера, обеспечивающее соответствие времени сублимации гранул и длительности затвердевания конкретной отливки. После герметизации формы, необходимой для предотвращения утечки газа-порообразователя в атмосферу цеха, происходит ее заливка расплавом и, как следствие, создание избыточного газового давления. При температуре начала затвердевания расплава открывается соответствующий клапан, что позволяет снизить давление газа в полости литейной формы до атмосферного, вывести часть газа в газоочистную установку и обеспечить интенсификацию формирования пор в алюминиевой матрице. Для контроля размера пор в ячеистой структуре пеноалюминия предлагается регулировка режима открытия клапана, что направлено на повышение управляемости процесса.

Предлагаемый способ позволяет получать как

пеноалюминиевые плиты для последующей механической обработки, так и сложные фасонные отливки, габаритные размеры которых ограничиваются лишь способностью формы удерживать давление при сублимации CO_2 . Главными преимуществами предлагаемого способа перед известными являются малозатратность и простота практической реализации [9].

Для определения преимущества применения пеноалюминия для отливок ответственного назначения было выполнено построение математической модели прямоугольного сечения размером $50 \times 100 \times 1000$ мм для определения механических характеристик, для сравнения выбраны сплавы АК7ч и МЛ5 и пеноалюминия на основе сплава АК7ч с равномерной структурой пор, разрез представлен на рис. 1.

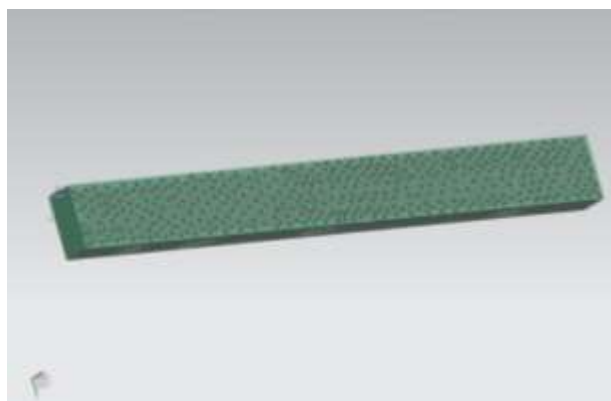


Рис. 1. Разрез балки из пеноалюминия на основе АК7ч

На рис. 2 приведены результаты математического моделирования и симуляции нагрузок на балки из различных материалов.

Для математического моделирования была применена программа NX 12.

По результатам математического моделирования можно определить, что при одинаковом размере балок ($50 \times 100 \times 1000$ мм) и равной нагрузке, устойчивее к изгибу является образец из пеноалюминия на основе сплава АК7ч, при этом он меньше по весу, чем аналог балки из сплава АК7ч на 38%, расчетный вес балки из сплава АК7ч – 13,3 кг, вес балки из МЛ5 – 9,05 кг и вес балки из пеноалюминия на основе АК7ч – 8,25 кг соответственно.

Применение изделий ответственного назначения из пеноалюминия в таких отраслях, как авиастроение и космическая отрасль, является перспективным с точки зрения технологии процесса и получаемых характеристик изделий.

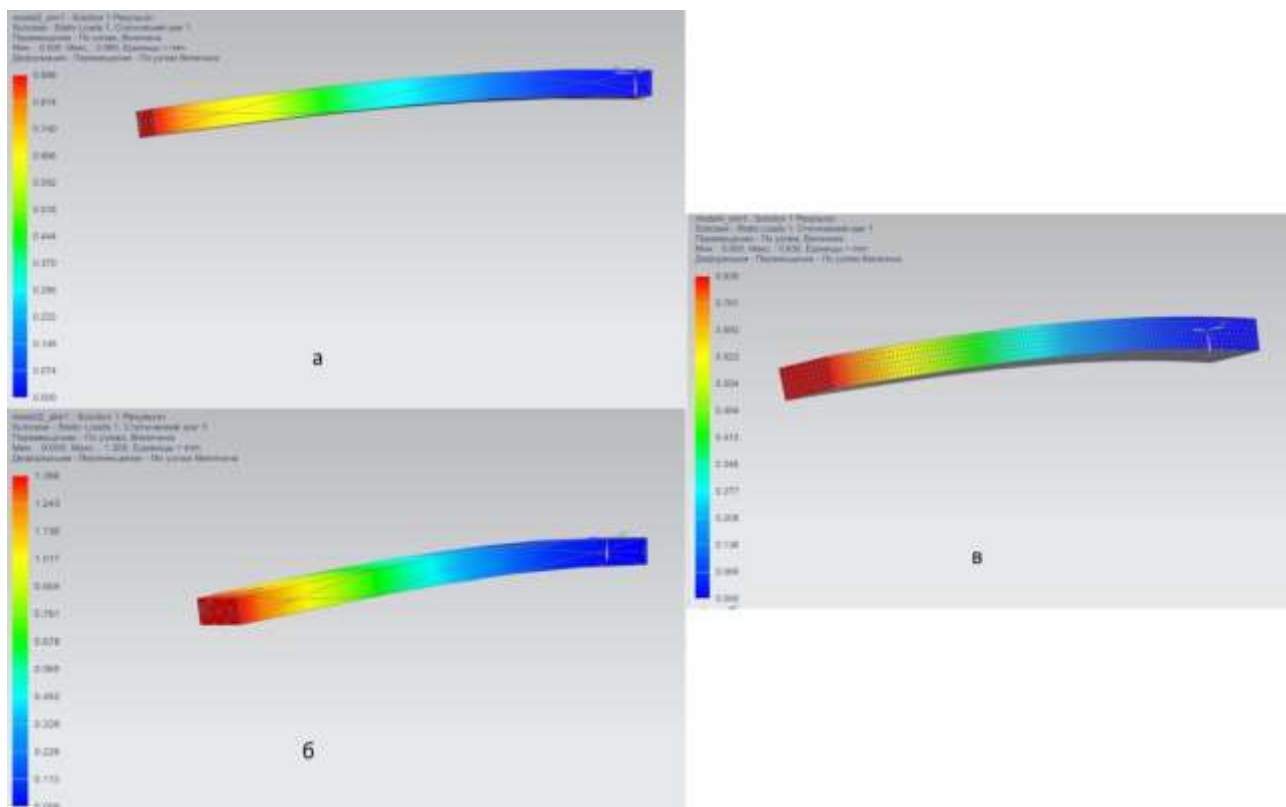


Рис. 2. Нагруженная балка из сплава АК7ч (а), нагруженная балка из сплава МЛ5 (б), нагруженная балка из пеноалюминия на основе сплава АК7ч (в)

Список литературы

1. Сандлер Р.А., Ратнер А.Х. Электрометаллургия алюминия и магния / Ленинградский горный ин-т. Л., 1983. 94 с.
2. Конструкционные материалы / гл. ред. А.Т. Туманов. Т. 2. М., 1964. 408 с. Сер. Энциклопедия современной техники.
3. Рейнор Г. В., Металловедение магния и его сплавов: пер. с англ. М.: Metallurgy, 1964. 488 с.
4. Альтман М.Б., Лебедев А.А., Чухров М.В. Плавка и литье легких сплавов. 2 изд. перераб и доп. М.: Metallurgy, 1969. 680 с.
5. Ершов М.Ю., Лепешкин И.А. Технологии получения автомобильных деталей из вспененного алюминия // Дизайн. Теория и практика. 2010. №4. С. 77-88
6. Способ получения пеноалюминия / А.И. Ковтунов, Т.В. Чермашенцева, Д.А. Семистенов, В.П. Сидоров. Пат. РФ № 2400552; опублик. 27.09.2010; бюл. № 27.
7. Бутарович Д.О. Пеноалюминий как энергопоглощающий материал и его основные свойства / Д.О. Бутарович, А.А. Смирнов, Д.М. Рябов // Машиностроение. 2011. №7. С. 53 – 58.
8. Мошников В.А., Соколова Е.Н., Спивак Ю.М. Формирование и анализ структур на основе пористого оксида алюминия // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2011. №2. С.13-19.
9. Возможности получения отливок из пеноалюминия с применением гранул «сухого льда» / И.О. Леушин, А.Н. Грачев, В.Н. Назаров, П.А. Горохов // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2020. №7(242). С. 41-45.

Сведения об авторах

Леушин Игорь Олегович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Металлургические технологии и оборудование», ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», Нижний Новгород, Россия. E-mail: igoleu@yandex.ru

Грачев Александр Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Металлургические технологии и оборудование», ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», Нижний Новгород, Россия. E-mail: alexgra76@mail.ru

Назаров Валерий Николаевич – технический директор ООО «Евролит», Нижний Новгород, Россия. E-mail: nazarovvn@rambler.ru

Горохов Павел Александрович – аспирант, ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», Нижний Новгород, Россия. E-mail: pavel_goroxov@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

ALUMINUM FOAM IS A PROMISING MATERIAL FOR THE PRODUCTION OF CAST PRODUCTS FOR RESPONSIBLE PURPOSES

Leushin I. O. – D.Sc. (Eng.), Professor, head of the Department of Metallurgical technologies and equipment, Nizhny Novgorod state technical University n. a. R. E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia. E-mail: igoleu@yandex.ru

Grachev A. N. – Cand.Sc. (Eng.), Associate Professor at the Department of Metallurgical technologies and equipment, Nizhny Novgorod state technical University n. a. R. E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia. E-mail: alexgra76@mail.ru

Nazarov V. N. – technical Director of Evrolit LLC, Nizhny Novgorod, Russia. E-mail: nazarovvn@rambler.ru

Gorokhov P. A. – Postgraduate, Nizhny Novgorod state technical University n. a. R. E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia. E-mail: pavel_goroxov@mail.ru

***Annotation.** The results of the authors' analytical review of methods for obtaining aluminum foam and casting billets from it are presented. Examples of technologies for producing aluminum foam are given, and the main disadvantages are described. The technological scheme for obtaining aluminum foam is proposed, according to which foam and pore-forming agent in the form of "dry ice" granules are inputted into the aluminum melt directly in the working cavity of the mold. This scheme allows to produce foam aluminum plates for subsequent machining, as well as complex shaped castings, the overall dimensions of which are limited only by the ability of the mold to hold pressure during CO₂ sublimation. The authors suggest to conduct mathematical modeling to compare the characteristics of products made of aluminum, magnesium and aluminum foam to replace parts and components in the aircraft and space industries. The authors assume that the uniform structure and diameter of the cells in the volume of the casting positively affect the technical characteristics of the product, such as flexural and torsional strength. According to the authors, replacing parts and assemblies made of magnesium alloy with aluminum foam will reduce the weight of lightweight structures, operating under static loads, low and elevated temperatures, and increase their strength characteristics.*

Keywords: *aluminum foam, foaming agent, dry ice, granule, sublimation.*

Ссылка на статью:

Леушин И.О., Грачев А.Н., Назаров В.Н., Горохов П.А. Пеноалюминий – перспективный материал для производства литых изделий ответственного назначения // Теория и технология металлургического производства. 2020. №4(35). С. 35-38.

Leushin I.O., Grachev A.N., Nazarov V.N., Gorokhov P.A. Aluminum foam is a promising material for the production of cast products for responsible purposes. *Teoria i tehnologia metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2020, vol. 35, no. 4, pp. 35-38.