

Исследование процессов формирования пористых цветных металлов

© 2021

Ковтунов Александр Иванович^{*1,3}, доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»
Семистенов Денис Александрович², кандидат технических наук,
руководитель Центр по аттестации сварочного оборудования (АЦСО-102)
Хохлов Юрий Юрьевич^{1,4}, заведующий лабораторией
кафедры «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»
Мямин Сергей Владимирович^{1,5}, инженер II категории НОЦ «Сварка»

¹Тольяттинский государственный университет, Тольятти (Россия)

²ООО «Средневолжский сертификационно-диагностический центр "Дельта"», Тольятти (Россия)

*E-mail: akovtunov@rambler.ru

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7705-7377>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5276-8957>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6897-4109>

Аннотация: Пенoметаллы являются перспективными материалами, обладающими уникальным сочетанием механических и эксплуатационных свойств: малым удельным весом, низким коэффициентом теплопроводности, способностью поглощать акустические и электромагнитные колебания, возможностью деформироваться при постоянной нагрузке. В настоящее время наиболее применяемыми способами получения пеноалюминия и пеномагния являются способы, основанные на замешивании в алюминиевый расплав газа или порофора и формировании пористой структуры в процессе затвердевания расплава. Альтернативой данной технологии является формирование пористой структуры за счет использования растворимых гранул, которыми предварительно заполняют форму, а затем после пропитки гранул металлическим расплавом и затвердевания отливки их выщелачивают. Целью работы является определение влияния режимов литья и размера гранул на глубину пропитки гранульной засыпки металлическим расплавом при формировании пористых отливок из цветных металлов. Предложена методика для расчета глубины пропитки гранульной засыпки при производстве отливок из пористых цветных металлов, основанная на расчете охлаждения расплава при движении по тонкостенному каналу. Проведенные расчеты позволили определить глубину пропитки и установить допустимую толщину стенки отливки из пористого алюминия в зависимости от размера применяемых гранул, скорости движения расплава в форме, температуры формы и температуры алюминиевого расплава. Установлено, что для увеличения глубины пропитки и получения более толстостенных пористых алюминиевых отливок целесообразно увеличивать диаметр солевых гранул, а не температурные и гидродинамические режимы литья. Проведены расчеты, и установлено влияние режимов литья и диаметра гранул на глубину пропитки формы для получения пористых отливок из перспективных магниевых сплавов.

Ключевые слова: пенoметаллы; алюминиевый расплав; температура формы; температура расплава; гранулы; глубина пропитки; режимы литья.

Для цитирования: Ковтунов А.И., Семистенов Д.А., Хохлов Ю.Ю., Мямин С.В. Исследование процессов формирования пористых цветных металлов // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2021. № 2. С. 9–17. DOI: 10.18323/2073-5073-2021-2-9-17.

ВВЕДЕНИЕ

Пеноалюминий, пеномагний и композиционные материалы на их основе благодаря необычному сочетанию физико-механических свойств [1]: малого удельного веса, низкого коэффициента теплопроводности, способности поглощать акустические и электромагнитные колебания, возможности деформироваться при постоянной нагрузке – находят все более широкое применение в различных отраслях промышленности [2; 3]. Пенoметаллы и композиционные материалы на их основе являются перспективными материалами для применения в различных поглотителях механической, звуковой, электромагнитной энергии [4; 5].

Существует несколько принципиально различных способов получения пенoметаллов [6]; наиболее используемыми являются способы, основанные на замешивании в алюминиевый расплав газа (аргона, азота,

углекислого газа, водяного пара) или порофора (вещества, которое при нагреве выделяет газы) и формировании пористой структуры в процессе затвердевания алюминиевого расплава [7; 8], а также способы, основанные на смешивании порошков алюминия и порообразователя с последующим прессованием и вспениванием [9–11].

Альтернативой данной технологии является формирование пористой структуры за счет использования растворимых гранул, которыми предварительно заполняют форму, а после пропитки гранул расплавом и затвердевания отливки их выщелачивают [12–14]. Аналогичные технологии пропитки через каркасы губчатой структуры применяются для получения высокопористой керамики [15; 16].

Преимуществами данной технологии являются возможность управлять размером пор, получать однородную пористость по сечению отливки, а также достаточно

высокая производительность. К недостаткам данной технологии следует отнести ограничения по толщине получаемых отливок из-за интенсивного охлаждения металлического расплава при движении через поры в засыпке гранул. Скорость охлаждения металлического расплава и глубина пропитки солевых гранул определяются прежде всего тепловыми условиями литья (температурой гранул, температурой расплава), а также размером и теплофизическими свойствами гранул [12].

Цель работы – определение влияния режимов литья и размера гранул на глубину пропитки гранульной засыпки металлическим расплавом при формировании пористых отливок из цветных металлов.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Определить зависимости глубины пропитки гранульной засыпки от тепловых режимов процесса возможно либо путем экспериментальных исследований, либо расчетом по математической модели. Экспериментальный путь достаточно трудоемкий и материально затратный, поэтому на данном этапе следует идти по второму пути и разработать математическую модель тепловых условий формирования пеноматериалов, считая гранулы при этом идеальными шарами.

Основными геометрическими характеристиками засыпки гранул являются: порозность, т. е. объемная доля пространства, не заполненного твердым компонентом; объемная концентрация твердого компонента; минимальное проходное сечение; среднее проходное сечение; число гранул между двумя плоскопараллельными, проницаемыми для жидкости стенками; расстояние между центрами гранул по координате, нормальной к плоскости ограничивающих слой пластин; диаметр сфер D ; полная высота слоя [17].

При октаэдрическом типе упаковки сфер (круглых гранул) площадь минимального проходного сечения можно рассчитать исходя из схемы на рис. 1.

Площадь равностороннего треугольника ABC

$$S_{\Delta} = \frac{\sqrt{3}}{4} D^2.$$

Площадь секторов окружностей в треугольнике ABC равна площади полукруга. Таким образом, площадь минимального проходного сечения определяется по формуле

$$S_{\min} = \left(\frac{\sqrt{3}}{4} - \frac{\pi}{8} \right) D^2.$$

Для упрощения дальнейших расчетов выполним расчет минимального проходного сечения для различных диаметров гранул (рис. 2).

За основу расчета глубины пропитки засыпки гранул принимаем методику расчета охлаждения расплава при движении по тонкостенному каналу [18].

Будем считать, что канал имеет постоянное сечение, скорость ω движения металла не изменяется во времени и по длине канала. Количество теплоты, передаваемой вдоль струи и стенок канала теплопроводностью, пренебрегаем. Учитывается лишь количество теплоты, передаваемой трансляцией (т. е. конвекцией – вместе с массой самих частиц металла). Предполагается, что на входе в канал температура металла равна постоянной величине $t_{\text{зал}} > t_{\text{лик}}$.

Чтобы решить поставленную задачу, выделим в потоке металла небольшой элемент длиной dz (рис. 3). Начало координат свяжем с носиком струи, а ось z направим против движения металла (связанная, или подвижная, система координат).

Для выделенного элемента уравнение теплового баланса имеет вид

$$\alpha_1 (t_1 - t_c) dF_1 d\tau = -dV_1 \gamma_1 c_1' dt_1,$$

или

$$\alpha_1 \vartheta_1 dF_1 d\tau = -dV_1 \gamma_1 c_1' d\vartheta_1,$$

где $\vartheta_1 = t_1 - t_c$,

где t_1 – температура расплава металла, °С;

t_c – температура гранульной засыпки в форме, °С.

Штрихом сверху отмечены коэффициенты для металла, находящегося в жидком состоянии.

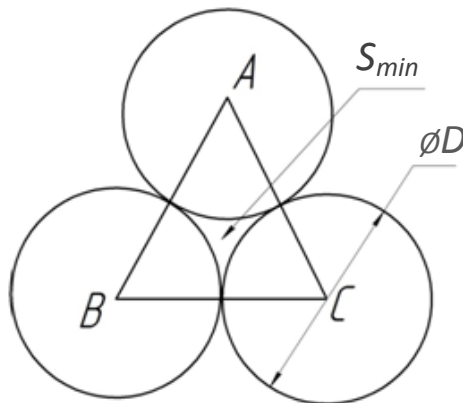


Рис. 1. Проходное сечение между гранулами
Fig. 1. Passage section between granules

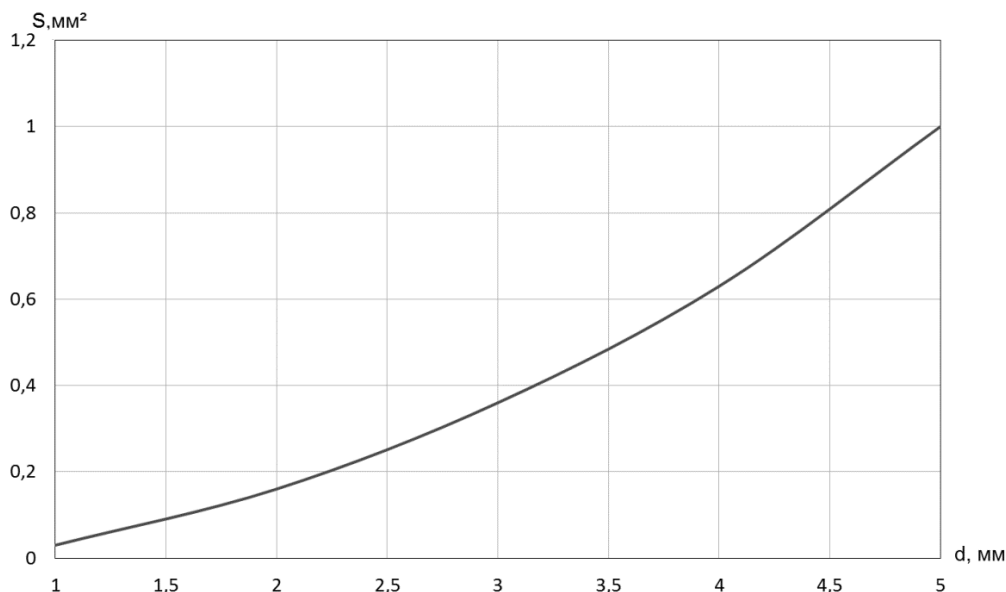


Рис. 2. Зависимость площади проходного канала от диаметра гранул
 Fig. 2. The dependence of pass area on the diameter of granules

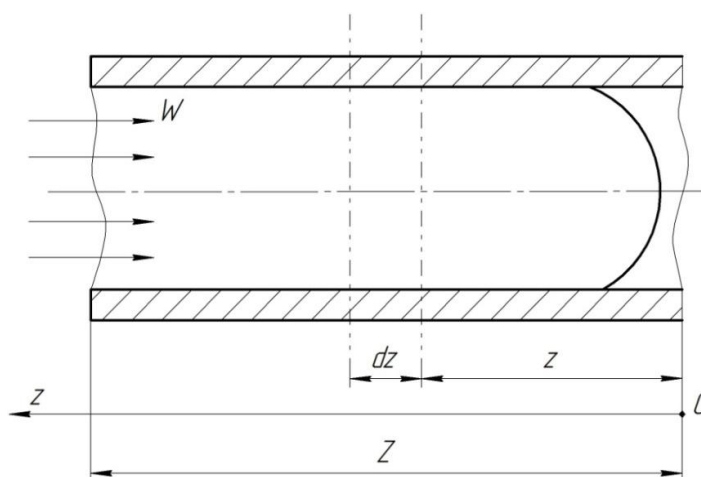


Рис. 3. Схема течения металла в тонкостенном канале (подвижная система координат)
 Fig. 3. The scheme of metal flow in a thin-walled channel (moving coordinate system)

Решением полученного уравнения является выражение

$$\tau = \frac{1}{A} \ln \frac{\vartheta_{\text{зал}}}{\vartheta_1} + \frac{z}{\omega},$$

или

$$\frac{\vartheta_1}{\vartheta_{\text{зал}}} = e^{-A \left(\tau - \frac{z}{\omega} \right)},$$

где A – коэффициент уравнения, равный

$$A = \frac{\alpha_1}{R_c \gamma_1 c_1},$$

где R_c – приведенный размер струи, м:

$$R_c = \frac{dV_1}{dF_1} = \frac{F_{\text{сеч}}}{L},$$

где $F_{\text{сеч}}$ – площадь сечения струи расплава, м²:

$$F_{\text{сеч}} = S_{\text{min}};$$

L – длина контура сечения потока, на которой происходит теплообмен между металлом и формой, м;
 ω – скорость движения металла, м/ч;
 $\vartheta_{\text{зал}}$ – избыточная температура металла, °С:

$$\vartheta_{зал} = t_m - t_c,$$

где t_m – температура жидкого металла, °С;
 t_c – температура среды (гранульной засыпки в форме), °С.

Скорость движения металла не изменяется во времени и по длине канала. В теоретических исследованиях скорость движения жидкого металла принимаем в диапазоне 18–180 м/ч.

Величина τ соответствует времени течения металла от входного сечения формы до сечения, характеризующего расстоянием z , причем величины τ и z связаны соотношением

$$\tau = \frac{z}{\omega}.$$

В момент $\tau = \tau_1$ отвода всей теплоты перегрева длина пройденного пути $z = z_2$. При этом температура металла на носике струи ($z=0$) достигает значения $\vartheta_{лик}$.

Величина z_2 находится по формуле

$$z_2 = \frac{\omega}{A} \ln \frac{\vartheta_{зал}}{\vartheta_{лик}},$$

где $\vartheta_{лик}$ – избыточная температура тела, °С:

$$\vartheta_{лик} = t_{лик} - t_c,$$

где $t_{лик}$ – температура ликвидуса расплава металла, °С.

При практических расчетах теплового потока наибольшую трудность представляет определение коэффициента α_c [19; 20]. В условиях вынужденного турбулентного движения жидкости коэффициент теплоотдачи вычисляется из выражения

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} - Pr^{0,4},$$

где Nu – критерий Нуссельта, характеризующий интенсивность теплоотдачи соприкосновением;

Re – критерий Рейнольдса, определяющий интенсивность движения среды;

Pr – критерий Прандтля, характеризующий физические свойства среды.

Критерий Нуссельта рассчитывается по формуле

$$Nu = \frac{\alpha_c}{\lambda_c} d,$$

где λ_c – коэффициент теплопроводности среды;
 d – характерный (определяющий) размер тела, м:

$$d = \frac{4F_{сеч}}{S},$$

где S – смоченный периметр сечения канала.

С учетом того, что канал (рис. 1) ограничен тремя секторами,

$$S = \frac{\pi D}{2};$$

характерный размер имеет вид

$$d = \frac{8F_{сеч}}{\pi D}.$$

Критерий Рейнольдса:

$$Re = \frac{\omega d}{\vartheta_c},$$

где ω – скорость движения среды;
 ϑ_c – коэффициент кинематической вязкости среды.

Критерий Прандтля:

$$Pr = \frac{\vartheta_c}{a_c},$$

где a_c – коэффициент температуропроводности среды.

Расчеты и моделирование по описанной выше методике выполнялись с применением программного обеспечения Mathcad. Для определения коэффициентов модели изготовлены экспериментальные образцы заливок пеноалюминия в формы круглого сечения диаметром 40 мм и с размером гранул 5–7 мм (таблица 1). Гранулы изготавливали из хлористого натрия, а в качестве связующего использовали желатин.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проведенные экспериментальные заливки гранульной засыпки позволили определить коэффициенты предложенной модели (рис. 4).

Расчеты математической модели для заданных экспериментальных отливок представлены на рис. 5. Проведенные расчеты показали удовлетворительную сходимость экспериментальных данных и результатов моделирования.

По предложенной модели была рассчитана глубина пропитки засыпки солевых гранул алюминиевым расплавом при температуре 700–1000 °С, диаметрах гранул 1–5 мм, скорости потока жидкого металла 5–50 мм/с и температуре гранул 100–600 °С (рис. 6).

Повышение температуры гранул в указанных пределах, как показали расчеты (рис. 6), позволяет в 5 раз повысить глубину пропитки. Повышение температуры алюминиевого расплава с 700 до 1000 °С увеличивает глубину фильтрации жидкого металла в 4–5 раз.

Использование гранул диаметром 5 мм увеличивает глубину пропитки в 20 раз по сравнению с заливкой формы с гранулами диаметром 1 мм (рис. 6, рис. 7).

Повышение скорости движения металла в каналах формы с 5 до 50 мм/с (рис. 8) позволяет увеличить глубину пропитки гранул в 1,5 раза.

Расчеты, проведенные для литья пористого магния (рис. 9), который является перспективным пористым материалом [6], показали, что глубина пропитки по сравнению с литьем пористого алюминия уменьшается практически в 1,5 раза.

Таким образом, при получении пористых отливок из магния и магниевых сплавов необходимо увеличивать температуру перегрева формы с гранулами и расплава по сравнению с литьем пористых алюминиевых отливок.

Таблица 1. Результаты экспериментальных исследований
Table 1. Experimental findings

№ п/п	Температура металла, °С	Температура формы, °С	Длина заливки, мм
1	800	200	157,4
2	700	200	145,2
3	800	20	122,9
4	700	20	80,6

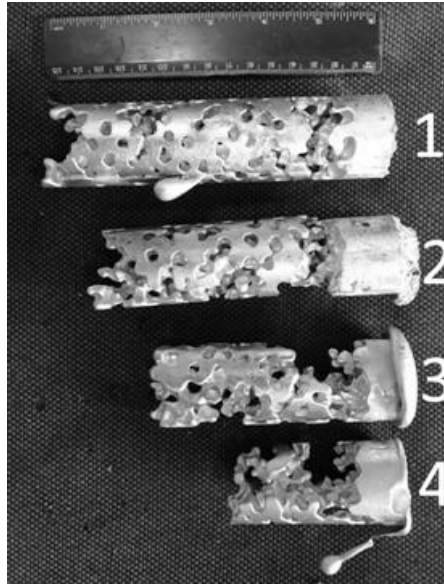


Рис. 4. Экспериментальные образцы
Fig. 4. Experimental specimens

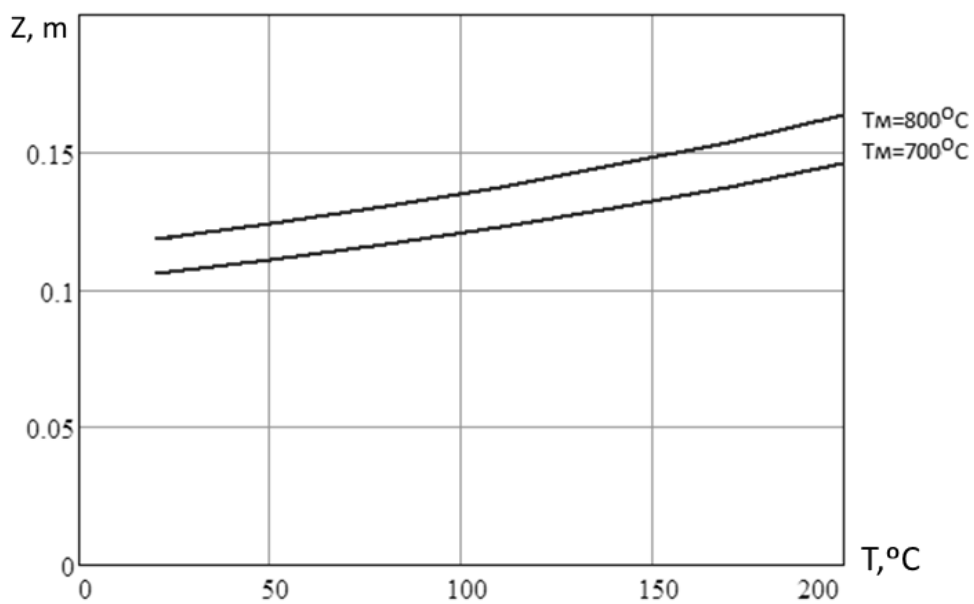


Рис. 5. Расчеты по модели для экспериментальных данных
Fig. 5. Model calculation for experimental data

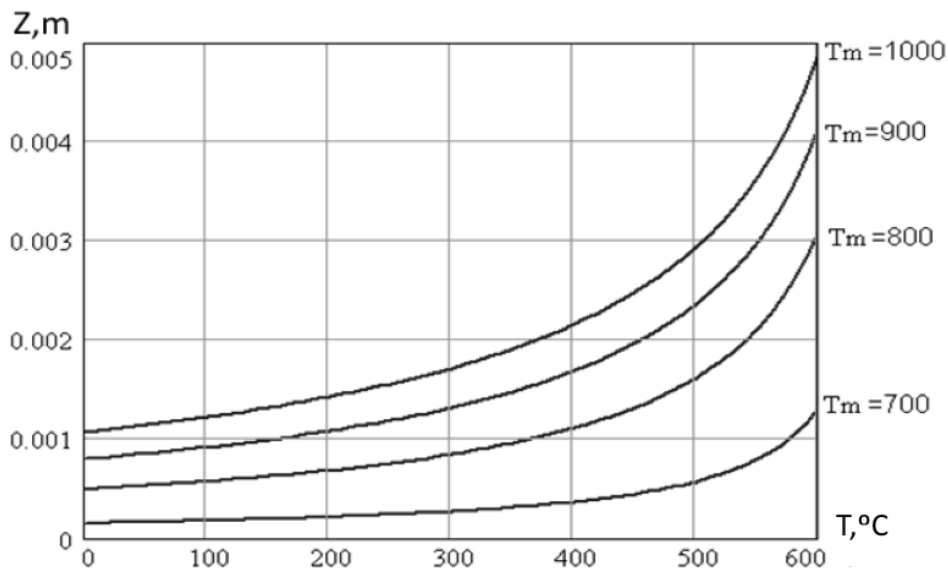


Рис. 6. Зависимости глубины пропитки алюминием солевой засыпки от температуры формы и заливаемого металла при диаметре гранул 1 мм и скорости подачи металла 5 мм/с
Fig. 6. The dependencies of the depth of salt filling impregnation with aluminum on the temperature of a form and poured metal at the diameter of granules of 1 mm and the metal feed velocity of 5 mm/s

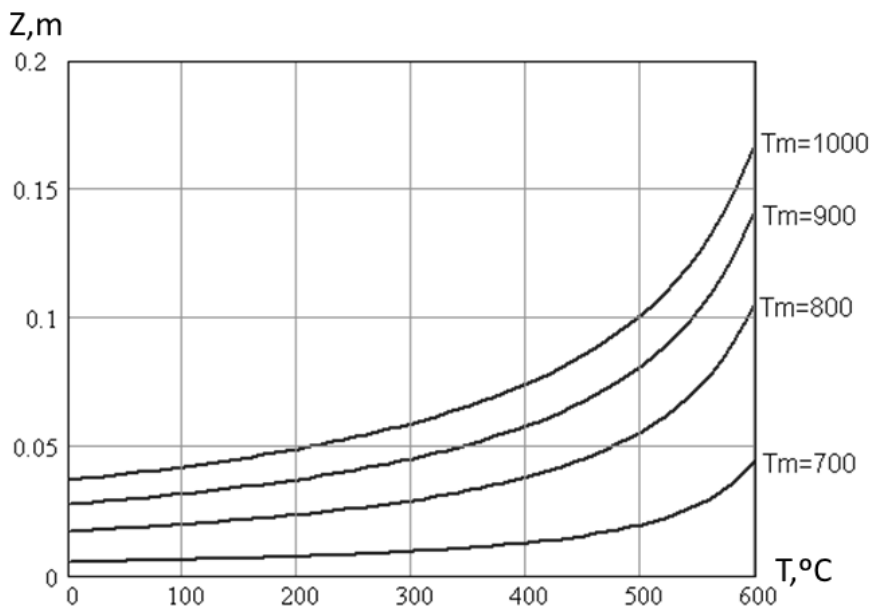


Рис. 7. Зависимости глубины пропитки алюминием солевой засыпки от температуры формы и заливаемого металла при диаметре гранул 5 мм и скорости подачи металла 5 мм/с
Fig. 7. The dependencies of the depth of salt filling impregnation with aluminum on the temperature of a form and poured metal at the diameter of granules of 5 mm and the metal feed velocity of 5 mm/s

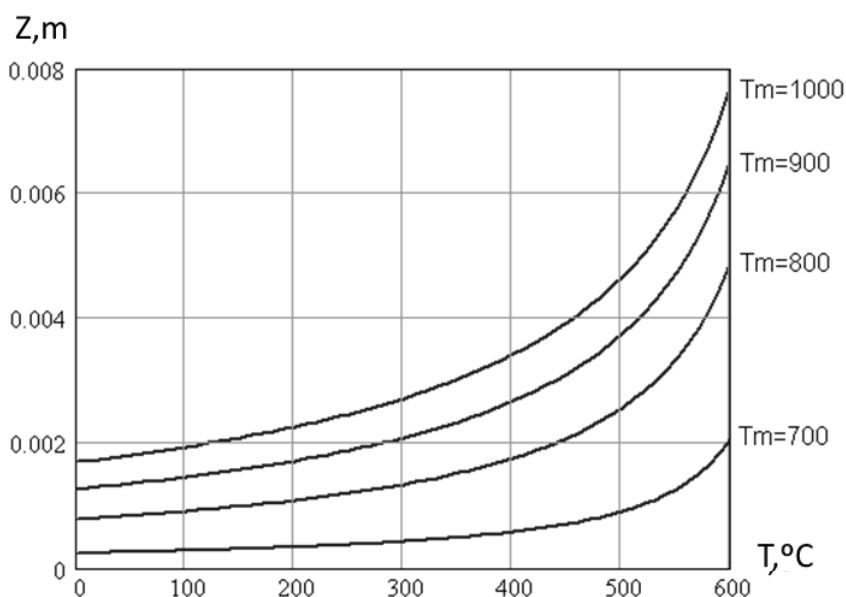


Рис. 8. Зависимости глубины пропитки алюминием солевой засыпки от температуры формы и заливаемого металла при диаметре гранул 1 мм и скорости подачи металла 50 мм/с
Fig. 8. The dependencies of the depth of salt filling impregnation with aluminum on the temperature of a form and poured metal at the diameter of granules of 1 mm and the metal feed velocity of 50 mm/s

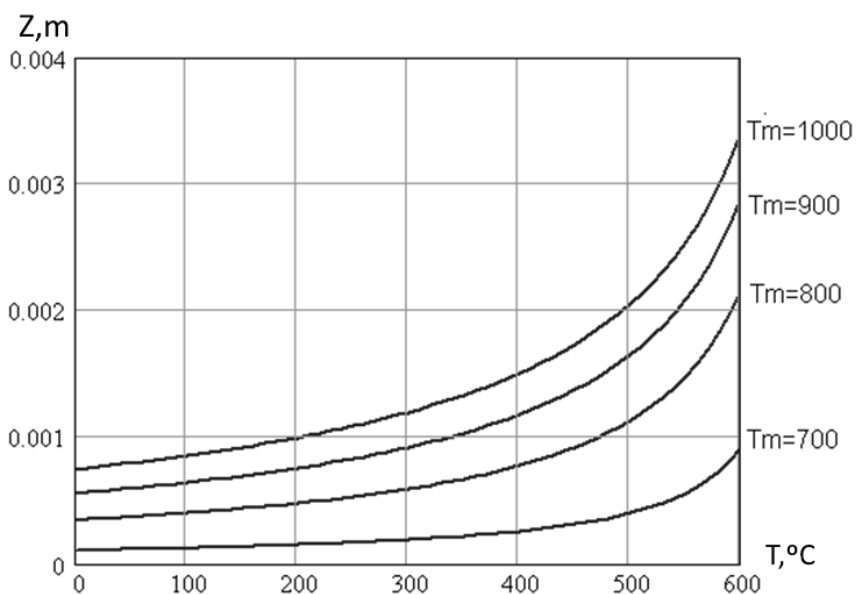


Рис. 9. Зависимости глубины пропитки магнием солевой засыпки от температуры формы и заливаемого металла при диаметре гранул 1 мм и скорости подачи металла 5 мм/с
Fig. 9. The dependencies of the depth of salt filling impregnation with magnesium on the temperature of a form and poured metal at the diameter of granules of 1 mm and the metal feed velocity of 5 mm/s

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Предложена методика расчета глубины пропитки гранульной засыпки форм изделий из пористых цветных металлов. Проведенные расчеты показали удовлетворительную сходимость результатов расчета по предложенной модели и экспериментальных данных. Предложенная модель позволяет определить оптимальные режимы литья при заданной толщине стенки пористой отливки из алюминиевых и магниевых сплавов.

2. Установлено влияние температуры металлического расплава и температуры формы с гранулами, скорости движения жидкого металла в форме и размера используемых гранул на глубину пропитки при литье пористых алюминиевых и магниевых отливок. Показано, для увеличения глубины пропитки и получения пористых отливок с большей толщиной стенки эффективнее увеличивать диаметр используемых гранул, а не скорость заливки и температуру формы и расплава.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев Д.А. Пеноалюминий: настоящее и будущее // Технология легких сплавов. 2006. № 4. С. 192–195.
2. Хохлов М.А., Ищенко Д.А. Конструкционные сверхлегкие пористые металлы (обзор) // Автоматическая сварка. 2015. № 3-4. С. 60–65.
3. Bauer V., Kralj S., Buši M. Production and application of metal foams in casting technology // Technical Gazette. 2012. Vol. 19. P. 1095–1102.
4. Shiomi M., Imagama S., Osakada K., Matsumoto R. Fabrication of aluminum foams from powder by hot extrusion and foaming // Journal of Materials Processing Technology. 2010. Vol. 210. № 9. P. 1203–1208.
5. Бутарович Д.О., Рябов Д.М., Смирнов А.А. Повышение противоминной защищенности бронированной колесной техники при помощи защитных экранов из пористых энергопоглощающих металлов // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2011. № 1-2. С. 52–57.
6. Воронин С.В., Лобода П.С. Способы получения пористых материалов на основе алюминия // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2016. Т. 18. № 4-6. С. 1068–1074.
7. Аксенов А.А., Иванов Д.О., Мансуров Ю.Н., Кадырова Д.С. Пеноалюминий для малого бизнеса Дальнего Востока // Цветные металлы. 2017. № 4. С. 81–85.
8. Banhart J. Metal foams: production and stability // Advanced Engineering Materials. 2006. Vol. 8. № 9. P. 781–794.
9. Lefebvre L.-P., Banhart J., Dunand D.C. Porous metals and metallic foams: current status and recent developments // Advanced Engineering Materials. 2008. Vol. 10. № 9. P. 775–787.
10. Banhart J. Manufacture, characterization and application of cellular and metal foams // Progress in Materials Science. 2001. Vol. 46. № 6. P. 559–632.
11. Самуйлов С.Д., Троицкий О.А. Пористые электропроводящие материалы, получаемые при использовании электроимпульсной технологии компактирования // Металловедение и современные разработки в области технологий литья, деформации и антикоррозийной защиты легких сплавов : материалы Все-

- росийской научно-технической конференции. М.: ВИАМ, 2019. С.193–208.
12. Самуйлов С.Д. Диспергирование и компактирование металлов с использованием электрического тока большой плотности. Часть 1 // Технология металлов. 2018. № 1. С. 6–10.
 13. Ковтунов А.И., Хохлов Ю.Ю., Мямин С.В., Семистенов Т.В. Исследование тепловых условий формирования пористого алюминия // Технология металлов. 2020. № 3. С. 34–40.
 14. Kovtunov A.I., Khokhlov Y.Y., Myamin S.V., Semistenov D.A. Mechanical and operational characteristics of layered titanium-aluminum foam composite materials // Inorganic Materials: Applied Research. 2020. Vol. 11. № 1. С. 238–242.
 15. Фурман Е.Л., Финкельштейн А.Б., Черный М.Л. Перспективы технологий получения и применения пористых отливок // Литейщик России. 2012. № 9. С. 27–29.
 16. Бучилин Н.В., Басаргин О.В., Варрик Н.М., Луговой А.А. Особенности спекания высокопористых керамических материалов на основе системы Al_2O_3 - MgO // Неорганические материалы. 2020. Т. 56. № 4. С. 438–445.
 17. Kido T., Masuda T. Manufacturing method of a ceramics body having through holes: Pat. US4664858; app. № 06/765340; fil. date 13.08.1985; publ. date 12.05.1987. 5 p.
 18. Кутателадзе С.С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление. М.: Энергоиздат, 1990. 365 с.
 19. Галдин Н.М., Чистяков В.В., Шаткульский А.А. Литниковые системы и прибыли для фасонных отливок. М.: Машиностроение, 1992. 256 с.
 20. Чернышов Е.А., Евстигнеев А.И. Теоретические основы литейного производства. Теория формирования отливки. М.: Машиностроение, 2015. 480 с.

REFERENCES

1. Andreev D.A. Aluminum foam: Present and future. *Tekhnologiya legkikh splavov*, 2006, no. 4, pp. 192–195.
2. Khokhlov M.A., Ishchenko D.A. Structural superlight porous metals (review). *The Paton welding journal*, 2015, no. 3-4, pp. 57–62.
3. Bauer V., Kralj S., Buši M. Production and application of metal foams in casting technology. *Technical Gazette*, 2012, vol. 19, pp. 1095–1102.
4. Shiomi M., Imagama S., Osakada K., Matsumoto R. Fabrication of aluminum foams from powder by hot extrusion and foaming. *Journal of Materials Processing Technology*, 2010, vol. 210, no. 9, pp. 1203–1208.
5. Butarovich D.O., Ryabov D.M., Smirnov A.A. Increasing the mine protection of armored wheeled vehicles using protective screens made of porous energy-absorbing metals. *Voprosy oboronnoy tekhniki. Seriya 16: Tekhnicheskie sredstva protivodeystviya terrorizmu*, 2011, no. 1-2, pp. 52–57.
6. Voronin S.V., Loboda P.S. Methods of obtaining porous materials based on aluminum. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, 2016, vol. 18, no. 4-6, pp. 1068–1074.
7. Aksenov A.A., Ivanov D.O., Mansurov Yu.N., Kadyrova D.S. Foam aluminium for small business in the Far East. *Tsvetnye Metally*, 2017, no. 4, pp. 81–85.

8. Banhart J. Metal foams: production and stability. *Advanced Engineering Materials*, 2006, vol. 8, no. 9, pp. 781–794.
9. Lefebvre L.-P., Banhart J., Dunand D.C. Porous metals and metallic foams: current status and recent developments. *Advanced Engineering Materials*, 2008, vol. 10, no. 9, pp. 775–787.
10. Banhart J. Manufacture, characterization and application of cellular and metal foams. // *Progress in Materials Science*, 2001, vol. 46, no. 6, pp. 559–632.
11. Samuylov S.D., Troitsky O.A. Porous Electrically Conductive Materials Obtained Using Electro-Pulse Compaction Technology. *Materialy Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Metallovedenie i sovremennye razrabotki v oblasti tekhnologii lit'ya, deformatsii i antikorroziynoy zashchity legkikh splavov"*. Moscow, VIAM Publ., 2019, pp.193–208.
12. Samuylov S.D. Dispersing and compacting metals by electric high-density current. Part 1. *Tekhnologiya metallov*, 2018, no. 1, pp. 6–10.
13. Kovtunov A.I., Khokhlov Yu.Yu., Myamin S.V., Semistenova T.V. Investigation of thermal conditions for formation of porous aluminum. *Tekhnologiya metallov*, 2020, no. 3, pp. 34–40.
14. Kovtunov A.I., Khokhlov Y.Y., Myamin S.V., Semistenov D.A. Mechanical and operational characteristics of layered titanium-aluminum foam composite materials. *Inorganic Materials: Applied Research*, 2020, vol. 11, no. 1, pp. 238–242.
15. Furman E.L., Finkelshteyn A.B., Cherniy M.L. Perspectives of porous castings manufacture and application technology. *Liteyshchik Rossii*, 2012, no. 9, pp. 27–29.
16. Buchilin N.V., Basargin O.V., Varrik N.M., Lugovoi A.A. Sintering behavior of highly porous ceramic materials based on the Al₂O₃-MgO system. *Inorganic Materials*, 2020, vol. 56, no. 4, pp. 417–424.
17. Kido T., Masuda T. *Manufacturing method of a ceramics body having through holes*: Pat. US 4664858; app. № 06/765340; fil. date 13.08.1985; publ. date 12.05.1987. 5 p.
18. Kutateladze S.S. *Teploperedacha i gidrodinamicheskoe soprotivlenie* [Heat transfer and flow resistance]. Moscow, Energoizdat Publ., 1990. 365 p.
19. Galdin N.M., Chistyakov V.V., Shatul'sky A.A. *Litnikovye sistemy i priblyi dlya fasonnykh otlivok* [Gating systems and risers for shaped castings]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1992. 256 p.
20. Chernyshov E.A., Evstigneev A.I. *Teoreticheskie osnovy liteynogo proizvodstva. Teoriya formirovaniya otlivki* [Foundry theoretical foundations. Casting Formation Theory]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2015. 480 p.

The research of the processes of formation of porous non-ferrous metals

© 2021

Aleksandr I. Kovtunov^{*1,3}, Doctor of Sciences (Engineering), Associate Professor, professor of Chair "Welding, Pressure Treatment of Materials and Allied Processes"

Denis A. Semistenov², PhD (Engineering), Head of the Center of Welding Equipment Certification (ATsSO-102)

Yury Yu. Khokhlov^{1,4}, Head of the Laboratory of Chair "Welding, Pressure Treatment of Materials and Allied Processes"

Sergey V. Myamin^{1,5}, category 2 engineer of the Research and Education Center "Welding"

¹Togliatti State University, Togliatti (Russia)

²Srednevolzhskaya Certification and Diagnostics Center "Delta", Togliatti (Russia)

*E-mail: akovtunov@rambler.ru

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7705-7377>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5276-8957>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6897-4109>

Abstract: Foamed metals are promising materials with a unique combination of mechanical and operational properties: low specific gravity, low thermal conductivity, ability to absorb acoustic and electromagnetic vibrations, and the ability to deform under a constant load. Currently, the most used methods for producing foamed aluminum and foamed magnesium are methods based on mixing gas or porophore into molten aluminum and forming a porous structure during the solidification of the aluminum melt. An alternative to this technology is the formation of a porous structure through the use of soluble granules that pre-fill the mold and after impregnating the granules with molten metal and solidifying the castings, they are leached. The work aims to determine the influence of casting modes and the size of granules on the depth of impregnation of granular filling with metal melt during the formation of porous aluminum castings. The authors proposed the technique for calculating the depth of impregnation of granular filling when producing castings of porous non-ferrous metals based on the calculation of melt cooling when moving along the thin-walled channel. The calculations made it possible to determine the depth of impregnation and establish the allowable wall thickness of the casting of porous aluminum, depending on the size of the granules used, the speed of the melt in a form, the mold temperature, and the temperature of molten aluminum. The study identified that to increase the depth of impregnation and obtain porous aluminum castings with thinner walls, it is advisable to increase the diameter of the salt granules and not the temperature and hydrodynamic modes of casting. The authors carried out calculations and identified the influence of the casting regimes and the diameter of the granules on the depth of mold impregnation to obtain porous castings from promising magnesium alloys.

Keywords: foamed metals; molten aluminum; mold temperature; melt temperature; granules; impregnation depth; casting regimes.

For citation: Kovtunov A.I., Semistenov D.A., Khokhlov Yu.Yu., Myamin S.V. The research of the processes of formation of porous non-ferrous metals. *Vektor nauki Tolyattinskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2021, no. 2, pp. 9–17. DOI: 10.18323/2073-5073-2021-2-9-17.