УДК 621.74.002.6:669.715

DOI: 10.35211/1990-5297-2021-7-254-87-91

В. А. Гулевский, С. Н. Цурихин, Н. Ю. Мирошкин, Д. А. Филатов

ПРИМЕНЕНИЕ ОМЕДНЕННЫХ СФЕР ПЕНОПОЛИСТЕРОЛА В ЛИТЕЙНЫХ ИЗДЕЛИЯХ

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: mitlp@vstu.ru

Приведена технологическая схема получения экспериментального пеноалюминиевого материала с зафиксированным расположением закрытых пор внутри отливки. В качестве порообразователя применяли гранулы пенополистирола, на поверхность которых несколькими способами нанесено медное гальваническое покрытие.

Ключевые слова: пористая отливка, меднение, термодеструкция, литье.

© Гулевский В. А., Цурихин С. Н., Мирошкин Н. Ю., Филатов Д. А., 2021

V. A. Gulevsky, S. N. Tsurikhin, N. Yu. Miroshkin, D. A. Filatov

APPLICATION OF COPPERED POLYSTYRENE SPHERES IN CASTING PRODUCTS

Volgograd State Technical University

A technological scheme for obtaining an experimental foam aluminum material with a fixed arrangement of closed pores inside the casting is presented. As a blowing agent, polystyrene foam granules were used on the surface of which a copper galvanic coating was applied in several ways.

Keywords: porous casting, copper plating, thermal destruction, casting.

Расположения сферических пор в пенометалле алюминиевой матрицы – это достижение изотропии механических свойств (прочности получаемого композита). Так, при хаотичном расположении (произвольном) сферических пор наблюдается минимальная плотность образца, и это влияет на неравномерное распределение в нем прочности. Максимальная прочность в пенометалле достигается при расположении сферических пор в пространстве в форме гексагональных плотноупакованных рядов [1]. Из литературных данных известно, что такое строение веществ обладает наибольшей плотностью [2, 3].

Трехмерная изотропная структура, образуемая гексагональной конфигурацией расположения сферических пор в матрице пенокомпозита, дает условный контакт с двенадцатью окружающими ее сферами (медные), в отличие от шести контактов при кубическом расположении; при этом незаполненное пространство образует проходное сечение – перемычки, для заливки алюминия и получения вторичного алюминиево-проволочно-медного каркаса в пе-

ноподобном композите, что, соответственно, увеличивает уровень сопротивляемости смятию и разрушению конструкции.

Получение расположения сфер при хаотичной, кубической или гексагональной укладки достигается в большинстве случаев за счет вибрации сфер в приготовленной модели будущего изделия и подразумевает их расположение на расстоянии друг от друга при $t = 2R$ мм [4–5]. Увеличение этого расстояния приводит к проблеме закрепления сфер в неизменном положении при пропитке (заливке) их расплавленным металлом.

Одним из путей решения является фиксирование сфер в стационарном положении за счет их крепления металлической или другой по составу проволокой.

Целью данной работы является получение расчетного и заданного расположения омедненных сфер в литейных изделиях.

Шихтовым материалом для изготовления экспериментальной пористой отливки служил сплав АК7 ГОСТ 1583-93 (его состав приведен в таблице ниже).

Химический состав используемого матричного сплава

Содержание элементов, ат. %								
	Fe	Si	Mn	Ni	Cu	Mg	Zn	Al
АК7	до 1,3	6-8	0,2-0,6	до 0,3	до 1,5	0,2-0,5	до 0,5	остальное

В качестве порообразователя использовали сферы пенополистирола (ППС) диаметром 4 мм, на поверхность которых гальваническим способом было нанесено медное покрытие. Для этого на поверхность гранул ППС необходимо было нанести токопроводящее покрытие, в качестве которого использовали графитовый порошок. Использовали несколько способов исполнения данного покрытия. Для исключения всплытия гранул ППС в электролите и передачи через них электрического тока, поскольку пенополистирол является диэлектриком, необходимым элементом гальванической ванны служила подвеска. В качестве подвески исполь-

зовали медную проволоку сечением 0,3 мм. Данную проволоку пропускали через гранулы ППС и фиксировали ее на анодную штангу.

В первом случае применяли клеевую основу и порошок графита. Поверхность гранул обрабатывали клеем, обсыпали графитовым порошком и сушили не менее 12 часов на открытом воздухе при температуре 20–25 °С. Затем гранулы с таким токопроводящим слоем отправлялись в гальваническую ванну для технологической операции омеднения. Для нанесения гальванического покрытия использовали медный сернокислый электролит, состоящий из сульфата меди, серной кислоты и спирта. Ре-

жим работы ванны омеднения: температура электролита 20–25 °С; сила тока 1 А; время выдержки 40–60 минут; в качестве анода выступала медная пластина. После нанесения гальванического слоя гранулы промывали в холодной воде и сушили.

Второй способ нанесения токопроводящего слоя исключает использование клея. Гранулы и порошок графита засыпали в «шейкер» (или миксер) и перемешивали в течение одной минуты. Затем подготовленные гранулы отправляли на омеднение. Состав электролита не меняли. Изменился режим работы ванны, время выдержки составило 90 минут, температура электролита – 20–25 °С; силу тока вначале устанавливали на 0,5 А, а затем повышали до 1 А через 40 минут от начала процесса гальванизации. По истечении 90 минут гранулы извлекали из гальванической ванны и промывали в холодной воде.

Второй способ – менее трудоемкий, чем первый; он не требует соблюдения жестких временных рамок (полимеризация клея); сохраняет точную геометрическую форму гранул, но более требователен к режиму нанесения покрытия. Было установлено, что покрытия, полученные с применением клея, обладают хрупкостью; при этом гранулы, полученные вторым способом, более пластичны. Пропускание медной проволоки через гранулы ППС (рис. 1) позволяет, не нарушая формы, отделить их от подвески.

Рис. 1. Гранулы ППС после удаления их с подвески:
а – гранулы, полученные с применением клея;
б – гранулы полученные без клея

За счет специфики литейного процесса получения пенометалла [6], а именно, течения металла по каналам литниковой системы, при заполнении жидким металлом сферических пор, имеющих недостаточную массу, существует вероятность их сноса от занимаемого положе-

ния. Это исключает и усложняет возможность конструирования различных форм моделей будущих изделий. Решением данной проблемы является фиксирование порообразующих сфер внутри литейной формы, в качестве чего могут выступать сетка или проволока, пропущенная через гранулы (рис. 2.)

Рис. 2. Фиксирование гранул ППС на сетке (а) и на проволоке (б)

Гранулы ППС без покрытия являются упругим материалом, но после гальванического омеднения теряют это свойство, что делает фиксирование на сетке невозможным без нарушения их геометрии. Использование проволоки позволяет получить нити (цепочки, бусы) из металлизированных гранул, при этом возможно располагать сферы на заданном расстоянии (рис. 3) и конструировать различные варианты расположения внутри будущей отливки.

Рис. 3. Варианты нити гранул с заданным шагом и различными способами чередования, где светлые сферы – пластичные, а темные – хрупкие

Расположение нити с порообразователем при размещении формирует строгое расположение сферических полостей. Также данный способ фиксирования позволяет создавать «армирующий» каркас из различного сечения и разных материалов проволоки. Например,

в продольном сечении отливки использовать нити порообразующих гранул, зафиксированных на латунной (медной, стальной и т. д.) проволоке сечением 0,5 мм, а в поперечном – титановую сечением 0,7 мм. Это дает возможность

правильно армировать отливку каркасом, исключить смещение гранул во время заливки формы металлом и прогнозировать (регулировать) ее механические свойства в продольном и поперечном направлениях.

Рис. 4. Получение пористой отливки в песчано-глинистой смеси:
а – размещение гранул в полый модели отливки; б – формовка модели; в – полученная отливка

Для получения пористой отливки использовали песчано-глинистую форму (рис. 4) и форму, выполненную из графита. При литье в песчано-глинистую смесь в качестве модели использовали алюминиевую трубку (рис. 4, а), в которой фиксировались омедненные гранулы ППС.

Во время заливки формы сплавом АК7 была выявлена термодеструкция гранул пенополистирола под гальваническим покрытием. В ходе изучения внутренней структуры отливки были выявлены дефекты, такие как непроливы (рис. 5), трещины и пористость. Для исключения данных дефектов было принято решение провести термодеструкцию омедненных порообразующих сфер до заливки формы металлом.

Чтобы определить оптимальную температуру выгорания ППС без разрушения медного покрытия, была проведена серия экспериментов, в которых покрытые медью гранулы помещали в печь с температурой от 250 до 500 °С, шагом 50 °С и выдержкой 60 с при каждой температуре. При этом омедненные гранулы подвергались как плавному нагреву в печи (от 0 до 500 °С), так и помещались в уже нагретую печь. В ходе эксперимента установлено, что в течение 60 с в диапазоне температур от 250–500 °С выгорание ППС не вызывает разрушения омедненной поверхности. Способ нанесе-

Рис. 5. Дефект отливки

ния медного покрытия также не показал отрицательных результатов.

Вторая заливка отличалась тем, что в модель устанавливались и крепились пустотелые медные оболочки. Это позволило исключить дефекты в виде дополнительных пор и трещин; однако остались непроливы металла. Данный

дефект говорит о необходимости подогрева заливаемой формы. Подогревать песчано-глинистую форму сложно (предварительная подготовка оказалась эффективней), и в лаборатории оказалось невозможно. Для решения этой проблемы была изготовлена многоразовая графитовая форма (рис. 6, а).

а

б

Рис. 6. Графитовая полуформа с расположенными нитями омедненных гранул:
а – графитовая форма; б – полученная отливка с закрытыми порами

Использование данной формы позволяет закрепить омедненные гранулы внутри каналов, заполняемых металлом. Нагревали форму в песчаной засыпке, что позволило равномерно разогреть форму до необходимой температуры и гранулы ППС до заливки формы металлом.

В частях отливки, где были расположены полые сферы, вышеупомянутые дефекты не обнаружены. На (рис. 6, б) представлена отливка с размеченными участками, содержащими соответственно нить омедненных полых сфер с рассчитанным шагом между собой и имеющими различную степень взаимодействия поверхности омеднения с заливаемым сплавом алюминия.

Для сравнения плотности металла была изготовлена отливка по аналогичной технологии из сплава АК7. Плотность исследуемого участка отливок составила 2620 кг/м^3 у стандартной отливки, а плотность экспериментального пеноалюминия $1781,6 \text{ кг/м}^3$.

Таким образом, разработанная экспериментальная технология подтвердила свою работоспособность и позволила осуществить техноло-

гический процесс получения пеноалюминия литейным методом, без смещения порообразующего материала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Получение пенометалла на основе алюминия / В. А. Гулевский, С. Н. Цурихин, С. В. Барабанов, Н. А. Кидалов, Ю. В. Блинов, В. А. Лагутин, А. В. Новосельцев // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 7 (230) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2019. – (Серия «Металлургия»). – С. 38–40.
2. Kováčik, J. (2006). Correlation between poisson's ratio and porosity in porous materials. *Journal of Materials Science*, 41(4), 1247–1249. doi:10.1007/s10853-005-4237-0
3. Yuan, G., Li, Y., Zhou, X., & Hu, L. (2021). Preparation of complex shaped aluminum foam by a novel casting-foaming method. *Materials Letters*, 293 doi:10.1016/j.matlet.2021.129673
4. Radkovský, F., Merta, V., & Obzina, T. (2021). Design of proven technology of metal foam and porous metal casting production. *Archives of Foundry Engineering*, 21(1), 125–131. doi:10.24425/afe.2021.136088
5. Слоэн, Н. Дж. А. Упаковка шаров / Н. Дж. А. Слоэн // В мире науки: Scientific American. Издание на русском языке. – 1984. – № 3. – С. 72–82.
6. Исследование пенометалла с пропиткой медного каркаса алюминием / В. А. Гулевский, С. Н. Цурихин, С. В. Барабанов, Н. А. Кидалов // Заготовительные производства в машиностроении. – 2019. – Т. 17, № 5. – 195–197.