



*There are examined the peculiarities of the technology of production cast permeable materials and aluminium articles and alloys using washing out salt filters. There is studied the penetrability of the received materials.*

А. А. АНДРУШЕВИЧ, М. Н. ЧУРИК, НИИ ИП с ОП,  
В. М. КАПЦЕВИЧ, БГАТУ,  
Р. А. КУСИН, Институт порошковой металлургии

УДК 621.74:621.762

## ПОЛУЧЕНИЕ ЛИТЫХ ПРОНИЦАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ

В производстве пористых материалов наряду с традиционными способами порошковой металлургии в последнее время расширяется использование литейных процессов, так как последние более производительны, экономичны и позволяют получать изделия больших размеров и разнообразной конфигурации.

Проницаемые пористые материалы (ПМ) представляют собой особый класс композиционных материалов на керамической или металлической основе с высоким показателем открытой поверхности (40–60 %).

Проницаемость — основное свойство пористых материалов, позволяющих их использование для фильтрации, шумопоглощения, огневых преград и т.п. Проницаемость зависит от количества пор, их размера, шероховатости их внутренней поверхности.

Литейные методы подразделяются на две основные группы [1]:

- обработка жидкого металла различными газообразующими реагентами ( $TiH_2$  или другие гидриды) или продувка газом с последующей заливкой в литейную форму и затвердеванием (процесс «ALPORAS», Япония, «AL-Foam», Южная Корея);
- пропитка алюминиевым расплавом специальных вставок наполнителей с последующим удалением из затвердевшего композиционного материала неметаллической составляющей (процесс «DUOSEL», США и др.).

Если первая группа методов отличается плохой управляемостью при получении открытой пористости, но имеет высокую производительность процесса, то вторая группа характеризуется достижением стабильных параметров в отношении проницаемости и возможностью управления поровой структурой в широком интервале.

Особый интерес представляют литые композиционные материалы с алюминиевой матрицей, имеющие проницаемую структуру с уникальным комплексом параметров (плотность, механические

свойства, коррозионная стойкость и т.п.), которые могут варьироваться в широком интервале. Изготовление ПМ из алюминия и его сплавов предусматривает наличие открытых пор в отливках.

Наиболее эффективным является разработанный в США способ получения литых ПМ с использованием в качестве наполнителей термически стойких водорастворимых солей ( $NaCl$ ,  $KCl$ ,  $BaCl_2$  и т.п.) [2]. При этом в литейную форму с наполнителем заливают расплавленный металл, который, затекая в поры наполнителя, формирует геометрию отливки. Заключительная стадия получения ПМ — удаление наполнителя из отливки осуществляется растворением его в воде. Данный метод не дает возможность управлять комплексом заданных свойств ПМ в широком интервале. Отличается нестабильностью в получении поровой структуры и существенно зависит от размера частиц наполнителя. Чем крупнее частицы, тем легче расплав инфильтруется в поры. При использовании частиц наполнителя меньше 3 мм его пропитка под действием гравитации практически невозможна.

Авторами разработана технология получения ПМ из алюминия и его сплавов, в том числе вторичных сплавов, с использованием вымываемых наполнителей — вставок, в которые жидкий металл инфильтруется под действием внешнего регулируемого давления газа. Величину этого избыточного давления, превышающего величину капиллярного давления, приближенно можно оценить из уравнения:

$$P = \frac{4\sigma_{ж.г.} \cos \theta}{\left(0,5 \sqrt{\frac{\pi}{V_n}} - 1\right) d_n},$$

где  $\sigma_{ж.г.}$  — поверхностное натяжение расплава;  $\theta$  — краевой угол смачивания;  $V_n$  — объемное содержание наполнителя;  $d_n$  — средний диаметр частиц наполнителя.

Ориентировочно величина избыточного давления находится в диапазоне 0,1–2,0 МПа (1–20 атм).

В работе исследовали технологические параметры формирования ПМ на основе алюминиевых сплавов литьем в кокиль путем импульсной жидкофазной пропитки под избыточным внешним давлением и его свойства. Технология получения ПМ состоит в следующем. В металлическую форму 1 требуемой конфигурации (рис. 1) помещали солевой наполнитель 2 (засыпка или вставка) определенного фрикционного состава (от 0,3 до 4 мм) и заливали расплав металла 3. На поверхность сплава подавали газ под давлением  $P$ . Под действием давления расплав проникал в поры наполнителя. Воздух из пор наполнителя удаляли через специальные вентиляционные каналы 4 при воздействии пропитывающего расплава либо за счет разряжения, создаваемого у основания кокиля форвакуумным насосом. В качестве газа в зависимости от требования по заданной степени окисления сплава использовали сжатый воздух, азот, аргон. После затвердевания отливку извлекали из формы, подвергали необходимой механической обработке и из нее растворением удаляли наполнитель.

В технологическом процессе получения ПМ определяющее значение имеют капиллярные явления, температуры наполнителя, расплава и формы.

Как правило, металлический расплав не смачивает твердые зерна наполнителя, поэтому проникновение его в капилляры между зернами

может происходить под действием внешнего давления. Определено, что при использовании зерен наполнителя (хлористый натрий) размером более 4–5 мм алюминиевый расплав пропитывает наполнитель при небольшом металлостатическом давлении (50–100 мм высоты слоя алюминиевого сплава). Однако при меньших размерах зерен (0,3–0,3 мм) металлостатического давления при изготовлении реальных фасонных отливок недостаточно для преодоления капиллярного противодавления, поэтому на поверхность расплава прикладывали давление 0,5–2,0 МПа, создаваемое газом (аргоном, азотом). При таких условиях пропитка наполнителя происходит за 0,5–2,0 с.

Соотношение температур наполнителя расплава и формы выбиралось таким образом, чтобы сплав до конца пропитки оставался в жидком состоянии. Установлено, что температура солевого наполнителя должна быть не ниже 450–500 °С, алюминиевого сплава АК12 – 740–800, кокиля – 250–450 °С.

Удаление наполнителя – хлористого натрия из отливки наиболее эффективно происходит при его растворении водой, поступающей в заготовку под давлением 1,5–2,0 атм. В противном случае время растворения значительно возрастает.

Практическим примером технологии является получение из алюминиевого вторичного сплава АК12 детали «Корпус глушителя компрессора» массой ориентировочно 2,2 кг, часть которого выполнена в виде ПМ (рис. 2).

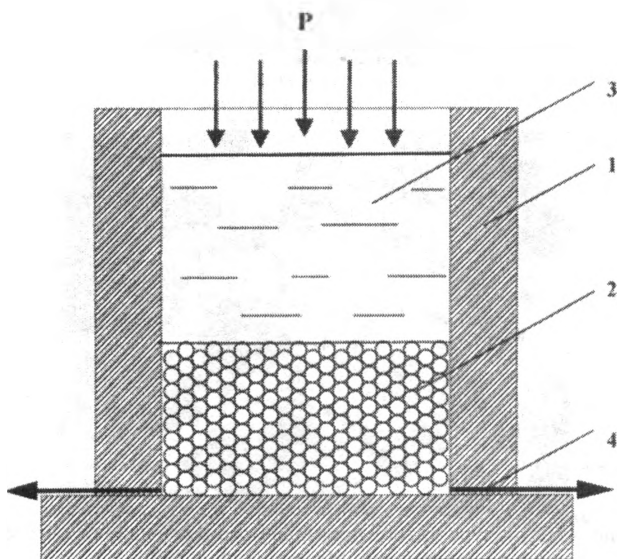


Рис. 1. Принципиальная схема получения литых пористых проницаемых материалов: 1 – металлическая форма; 2 – солевой наполнитель; 3 – расплав алюминия; 4 – вентиляционные каналы

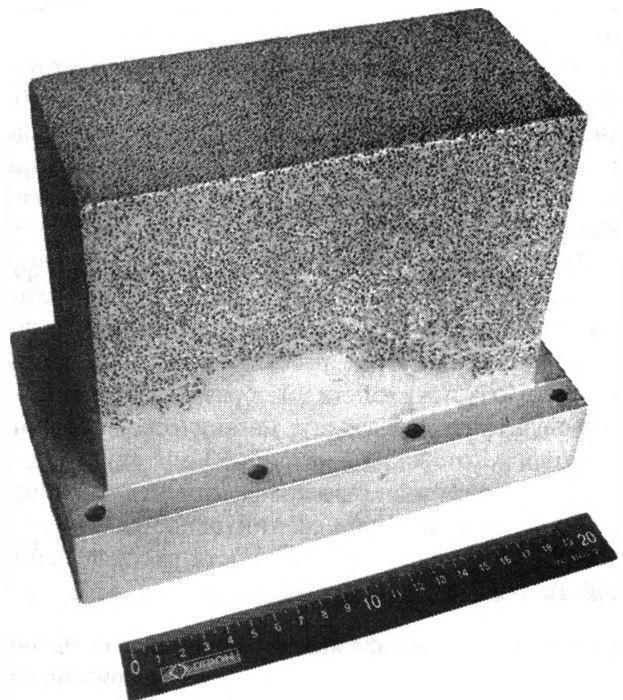


Рис. 2. Деталь «Корпус глушителя компрессора» из сплава АК12

Исследования свойств полученных литьем в кокиль проницаемых материалов проводили на экспериментальных образцах, которые изготавливали следующим образом. В подогретый кокиль с внутренним диаметром 60 мм засыпали солевой наполнитель NaCl и заливали сплав АК12 при температуре 780–800 °С при давлении 0,4 МПа. Полученную заготовку разрезали на диски толщиной 5 мм и вымывали порообразователь, растворяя его в воде.

Для оценки равномерности распределения свойств по площади фильтрации из исследуемого образца были вырезаны образцы в виде дисков

диаметром 8 мм. У всех образцов были определены коэффициент проницаемости (ГОСТ 25283-93), средний и максимальный размеры пор (ГОСТ 26849-86) и пористость (ГОСТ 18898-89).

Усредненные результаты исследования свойств трех экспериментальных образцов литого проницаемого материала на основе алюминия в виде диска диаметром 60 мм приведены в табл. 1. Для сравнения также представлены свойства образцов проницаемых материалов на основе оловянно-фосфористой бронзы и титана, которые были выбраны исходя из критерия равенства среднего размера пор.

Таблица 1. Свойства литого проницаемого материала из алюминиевого сплава АК12 и порошковых материалов на основе оловянно-фосфористой бронзы и титана

Материал	Пористость	Размер пор, мкм		Коэффициент проницаемости, $\text{м}^2 \cdot 10^{13}$
		максимальный	средний	
АК12	0,60	140	133	348
Бр ОФ10-1	0,40	180	133	1120
Ti	0,42	200	133	720

Анализ полученных результатов показывает, что, несмотря на более высокое значение пористости, коэффициент проницаемости при одинаковой величине среднего размера пор у исследуемого литого проницаемого материала в 2–3 раза меньше по сравнению с порошковыми материалами, получаемыми методом спекания со свободной насыпкой в форму (на основе оловянно-фосфористой бронзы) и прессования (на основе титана). Изучение структуры литого материала по фотографии хрупкого излома (рис. 3) позволяет сделать вывод, что снижение проницаемости может быть объяснено наличием перемычек, приводящих к возникновению закрытой и тупиковой пористости.

Этот же вывод подтверждается и микроструктурой литого материала (рис. 4). В то же время однородность порораспределения литого материала выше, поскольку значения максимального и среднего размеров пор у него различаются в меньшей степени.

Для оценки равномерности распределения свойств по фильтрующей поверхности образца определено значение вариации коэффициента локальной проницаемости, рассчитанного по результатам исследования свойств 10 образцов диаметром 8 мм, полученных в результате механической обработки литых заготовок диаметром 60 мм (табл. 2).

Полученное значение коэффициента вариации ( $\delta < 0,2$ ) в первом приближении свидетельствует о достаточно хорошей равномерности распределения свойств по площади фильтрации.

Таблица 2. Коэффициент вариации коэффициента локальной проницаемости литого образца из алюминиевого сплава АК12

Коэффициент проницаемости $K$ , $\text{м}^2 \cdot 10^{13}$										$\bar{K}$ , $\text{м}^2 \cdot 10^{13}$	$\sigma$ , $\text{м}^2 \cdot 10^{13}$	$\delta$
347	364	400	340	411	371	398	279	280	290	348	45,34	0,13



Рис. 3. Структура литого проницаемого материала на основе алюминия. Хрупкий излом.  $\times 100$

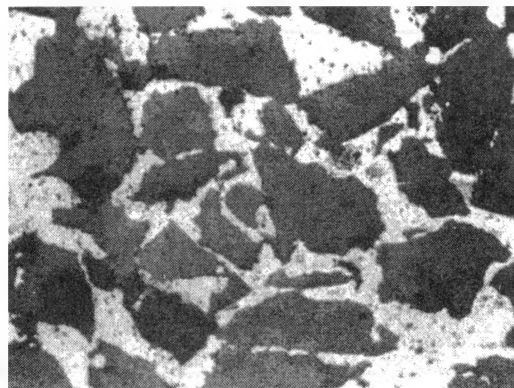


Рис. 4. Структура литого проницаемого материала на основе алюминия. Микрошлиф.  $\times 200$

### Заключение

Литейные технологии дают возможность изготавливать проницаемые материалы фильтрующего назначения на основе алюминия и его сплавов с удовлетворительной однородностью порораспределения и хорошей равномерностью получения свойств по площади. Низкая проницаемость получаемых материалов обусловлена наличием перемычек, приводящих к возникновению закрытой и тупиковой пористости. Повышение проницаемости связано в первую очередь с совершенствованием технологии изготовления вставок из вымываемых наполнителей, предназначенных

для пропитки расплавленным металлом, и обработкой режимов инфильтрации. Применение прогрессивного метода литья в кокиль с импульсной жидкофазной пропиткой позволяет разработать новый вид высокоэкономичных и эффективных литых проницаемых материалов, в том числе из вторичных алюминиевых сплавов, не используя дорогостоящие порошки.

### Литература

1. Korner C., Singler R. // Advanced Engineering Materials. 2000. Vol. 2. N 4. P. 159–165.
2. Polonsky L., Lipson S., Markus H. Lightweight cellular metals // Modern casting. 1961. Vol. 39. P. 57–71.



### Новая техническая литература

В издательстве Московского государственного института стали и сплавов вышла в свет книга "Производство стальных отливок". Учебник для вузов под редакцией проф., д. т. н. Л. Я. Козлова. Москва. МИСИС, 2003, 352 стр.

В учебнике даны основные характеристики стальных отливок, их химический состав, физические и специальные свойства, области применения. Приведена классификация стальных отливок.

Большое внимание уделено процессам выплавки различных сталей, подготовки расплавов к кристаллизации и формированию структуры отливок. Рассмотрены основные литейные свойства сталей и их влияние на качество отливок, условия возникновения и развития ликвации, образования неметаллических и газовых включений, усадочных раковин и пор, внутренних напряжений и трещин. Установлены меры по их предотвращению или снижению негативного воздействия на качество отливок.

Изложены особенности литниково-питающих систем при изготовлении стальных отливок, методы их расчета.

Приобрести книгу можно в издательстве МИСИС по предварительной заявке. В заявке необходимо указать наименование Вашей организации, ИНН, адрес, способ доставки книг, телефон и контактное лицо. Желательно также указать, каким способом выставить счет.

Реквизиты издательства МИСИС: 119049, Москва, Ленинский пр., 4. Тел./факс (095) 230-4531, тел. 230-4406, e-mail: izdat@misis.ru, Internet: www.misis.ru/izdatelstvo

ОАО "Институт Стальпроект" и ООО "НПВП Теплоэнергетик" предлагают:

- Справочник "Современные нагревательные и термические печи" (конструкции и технические характеристики).
- Справочник "Современные горелочные устройства" (конструкции и технические характеристики).
- Справочник в 2-х книгах "Хрестоматия энергосбережения".
- "Технологическое сжигание и использование топлива".
- Справочник в 2-х томах "Сырье для черной металлургии". Том 1. "Производство окискованного сырья" (сырье, технологии, оборудование, метрология для черной металлургии).
- Справочник "Современные огнеупоры для нагревательных и термических печей".
- Справочник "Очистка газов".
- Справочник в 2-х томах "Неформованные огнеупоры".  
Том 1. "Сырье, классификация, составы, технология".  
Том 2. "Свойства и служба неформованных огнеупоров".
- Каталог-справочник в 2-х книгах "Огнеупоры: материалы, изделия, свойства и применение".

Обращаться: Россия, 125171, Москва, Ленинградское шоссе, 18. ОАО "Институт Стальпроект", "НПВП Теплоэнергетик", Ладыхичеву М.Г.

Справки: тел./факс (095) 146-8273, 339-7006, факс 150-8484