

## ЛИТЫЕ ПОРИСТЫЕ АЛЮМИНИЕВЫЕ СПЛАВЫ

Развитие современного машиностроения требует использования материалов со своеобразными свойствами: композиционных материалов, сочетающих в себе свойства двух и более материалов в одном изделии, пористых проницаемых и непроницаемых материалов, позволяющих достигать значительной конструкционной прочности при малой плотности и т.д.

Значительный интерес представляет класс пористых материалов, получаемых металлургическими методами (способами литейного производства). Перспективными в этом направлении представляются такие методы получения пористых непроницаемых металлов, как вспенивание, последовательное намораживание пористых заготовок, выжимание расплава из кристаллизующейся отливки, метод пропитки расплавом удаляемых наполнителей.

Вспененные металлы получают продувкой расплавов газами или введением в расплав гидридов металлов (лития, циркония, титана и др.) [1], которые при нагревании их до температуры разложения, выделяют значительное количество водорода. Выделяющийся водород вспенивает кристаллизующийся жидкий металл, давая при этом литую заготовку с закрытой несообщающейся ячеистой пористостью. Однако процесс формирования пористой структуры трудно контролируется, поэтому изделие, как правило, имеет по сечению неоднородную структуру, несмотря на добавки стабилизаторов пены (окалина, нитрид кремния и т.д.) и перемешивание в процессе пенообразования.

Пористые металлы, полученные методом вспенивания расплавов, обладают достаточно высокими механическими свойствами и низкой плотностью, поэтому они находят применение в качестве конструкционных материалов в машиностроении. Перспективным является использование вспененных металлов для изделий, работающих в условиях вибрационных и ударных нагрузок (корпусные элементы автомобилей, бамперов и т.д.).

Представляет интерес получение пористых проницаемых металлов намораживанием [2]. Суть метода заключается в том, что струя металла разбивается энергией сжатого газа или центробежно вращающимся диском в специальной установке. Капли металла подаются в металлоприемник, находящийся от распыляющей головки на таком расстоянии, чтобы частицы металла при полете не успевали полностью кристаллизироваться. В этом

случае частицы в металлоприемнике успевают сплавиться друг с другом в некоторых точках, в результате чего и получается пористая отливка. Данный способ не позволяет получать отливки желаемой конфигурации и с однородной структурой, так как в процессе распыления капли металла получаются разного размера. Г.П. Борисов, Ю.В. Мойсеев и А.В. Наривский предлагают способ получения пористых отливок, при котором расплав выдерживается в термостате при определенной температуре до тех пор, пока доля твердой фазы по объему отливки не составит 40–60 %, при этом образуется твердый кристаллический каркас. После чего происходит выжимание жидкого остатка из межкристаллитного пространства отливки. Способ достаточно трудоемкий, реализуется не для всех сплавов, управлять размером пор и пористостью достаточно сложно [3].

Перспективным представляется способ получения пористых проницаемых отливок с использованием удаляемых, термически стойких неорганических наполнителей. Сущность данного метода заключается в том, что помещенный в металлическую форму (кокиль) наполнитель пропитывается расплавленным металлом под действием избыточного давления, образуя тем самым отливку из композиционного материала наполнитель-металл. После кристаллизации и охлаждения металла наполнитель удаляется из отливки путем растворения. Таким образом образуется пористое проницаемое изделие.

Наполнитель (порообразователь) для получения пористых литых материалов должен обладать следующими свойствами:

- 1) иметь температуру плавления выше, чем температура плавления заливаемого сплава;
- 2) иметь химическую инертность по отношению к используемому сплаву как в жидком, так и в твердом состоянии;
- 3) не должен смачиваться заливаемым металлом;
- 4) достаточно быстро и полно удаляться при использовании каких-либо растворителей.

Для сплавов с относительно невысокой температурой заливки (на основе алюминия, магния, цинка, свинца и т.д.) в качестве порообразователя можно использовать гранулы водорастворимых солей: хлорид натрия, хлорид калия, хлорид бария. Для сплавов с высокой температурой заливки (сплавы на основе меди, чугуны и др.) возможно использование водорастворимых гранул фосфата натрия, фосфата калия или оксидов магния, кальция и т.д., удаляемых в щелочах и кислотах.

Данный способ литья изделий из пористых металлов позволяет получать заготовки с пористостью от 50–80 %, которую можно варьировать,

изменяя степень уплотнения (укладки) порообразователя в литейной форме и величину избыточного давления при пропитке. Отсутствие смачивания расплавом поверхности частиц наполнителя приводит к образованию незаполненного торообразного мениска в местах контакта частиц наполнителя друг с другом. После удаления порообразователя ячейка, сформированная в месте соприкосновения его зерен, будет в значительной степени определять механические и эксплуатационные свойства изделия.

Эффективным фактором, позволяющим управлять проницаемостью и пористостью, является величина внешнего давления, прикладываемого при формировании композиционной заготовки расплав-порообразователь. Пористость  $\Pi$  заготовки зависит от объема манжеты  $V_M$  и координационного числа  $N$  (количества контактов, приходящихся на каждую частицу) (рисунк).

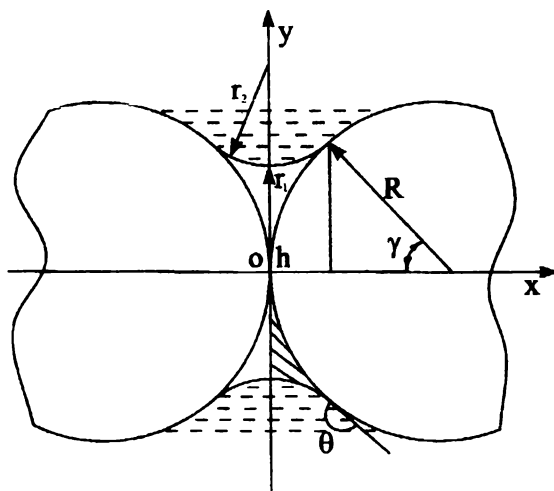


Схема образования металлической манжеты между частицами порообразователя

$$\Pi = \frac{V_M}{V} N, \quad (1)$$

где  $V$  – элементарный объем рассматриваемой системы, состоящей из объема частиц порообразователя  $V_{\Pi}$  и пространства, окружающего эту частицу.

Величину  $V$  можно выразить из определения пористости конгломерата частиц порообразователя:

$$m = 1 - \frac{V_{II}}{V}, \quad (2)$$

так как пористость  $m$  определяется экспериментально, а  $V_{II}$  – из известных геометрических представлений.

Величину  $N$  можно оценить по известной зависимости [4]:

$$N = \frac{m + 3 + \sqrt{m^2 - 10m + 9}}{2m}. \quad (3)$$

Объем манжеты  $V_M$  определяется поверхностными силами, действующими на границе раздела металл-манжета-частица и внешним давлением, прикладываемым к системе для уравнивания возникающего капиллярного давления, вычисляемого по уравнению Лапласа:

$$p = \sigma \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) = \frac{\sigma}{R} K, \quad (4)$$

где  $r_1$  и  $r_2$  – главные радиусы кривизны манжеты.

Контур манжеты аппроксимируем частью дуги постоянной кривизны и считаем один из главных радиусов кривизны  $r_2$  равным радиусу этой дуги, а второй  $r_1$  – половине толщины манжеты в ее наиболее узком месте. Перепад давления на этом участке манжеты принимается постоянным. Из простых геометрических представлений находим:

$$r_1 = R \left[ \sin \gamma + (1 - \cos \gamma) \frac{1 - \sin(\theta - \gamma)}{\cos(\theta - \gamma)} \right] = K_1 R, \quad (5)$$

$$r_2 = R \frac{1 - \cos \gamma}{\cos(\theta - \gamma)} = K_2 R, \quad (6)$$

где  $\gamma$  – угол между осью, соединяющей центры частиц, и радиусом, проведенным к линии ее касания с манжетой.

Объем манжеты можно представить как объем тела  $V_T$ , образованного вращением части нижней дуги окружности радиуса  $r_2$  с центром, удаленным от оси вращения на расстояние  $(r_1 + r_2)$ , за вычетом объема шарового сегмента занимаемого частицей:

$$V_M = V_T - V_C. \quad (7)$$

Отсюда можно найти  $V_T$ :

$$V_T = \pi \int_0^h (r_1 + r_2 - \sqrt{r_2^2 - x^2}) dx, \quad (8)$$

где  $h = R(1 - \cos \gamma) = RK_3$  – проекция контура смачивания металлом частицы на линию, соединяющую центры частиц.

Учитывая, что объем шарового сегмента равен

$$V_C = \frac{\pi h(3R - h)}{3}, \quad (9)$$

получим формулу для определения объема одной манжеты:

$$V_M = \pi R[(K_1 + K_2)^2 K_3 + K_2 K_3 - (K_1 + K_2) K_3 \sqrt{K^2 - K^3} + K_2^2 \arcsin \frac{K_3}{K_2} - K_3^2] \quad (10)$$

или  $V_M = \pi R^3 G$ . Подставляя (10) в (1), получим

$$\Pi = \frac{3G(m + 3 + \sqrt{m^2 - 10m + 9})(1 - m)}{8m} \quad (11)$$

и соответственно для пористого тела

$$V_{\text{пор}} = 1 - \frac{V_D}{V} - \Pi. \quad (12)$$

Уравнение (12) выражает параметрическую зависимость пористости порометалла от размера частиц порообразователя и давления, прикладываемого к жидкому металлу.

Особенность рассматриваемой задачи состоит в том, что радиусы кривизны поверхности манжеты направлены в разные стороны. Если по окончании пропитки металлом порообразователя снять перепад давления,

то незакристаллизовавшийся металл будет выходить из околосконтактных областей до тех пор, пока радиусы кривизны не будут равны друг другу ( $|r_1| = |r_2|$ ). Такое положение будет соответствовать максимальной пористости порометалла. Для получения материала с меньшей пористостью необходимо поддерживать перепад давления до окончания кристаллизации металла в порах порообразователя. Уравнение (11) позволяет рассчитать не только пористость, но и размер манжеты и, в частности, величину ее минимального радиуса  $r_1$ , от которого в первую очередь зависит проницаемость пористого изделия.

Видно, что в рассматриваемом способе получения пористых отливок все основные параметры, обуславливающие свойства изделия – пористость и проницаемость (а соответственно связанные с ними пропускную способность, фильтрующие, демпфирующие, звукопоглощающие свойства, грязеемкость и т.д.), могут с достаточной точностью управляться технологическими параметрами литья: размером порообразователя, величиной избыточного давления пропитки и временем его приложения.

Результаты проведенных исследований позволили разработать ряд бескаркасных фильтров и фильтроэлементов для очистки различных сред (воды, масла, топлива, СОЖ и т.д.) от инородных примесей. Тонкость очистки устройств с использованием пористых литых металлов может колебаться в широких пределах: от 10–20 мкм до 400 мкм. Способность улавливать и накапливать примеси объемно (по всему сечению фильтроэлемента) увеличивает грязеемкость по сравнению с традиционными сетчатыми и бумажными в 2–3 раза.

Разработанные пористые литые материалы использованы для изготовления различных шумопоглощающих и шумоглушащих устройств. По своим шумопоглощающим свойствам изделия из пористых литых металлов приближаются к таким традиционным шумопоглотителям, как поролон и минераловатная плита. На основе пористых литых материалов разработан конструктивный ряд пневмоглушителей для снижения шума при сбрасывании сжатого воздуха во время работы различных пневматических устройств и механизмов. Аналогичные традиционные пневмоглушители – это механически собранная конструкция из нескольких деталей (пористый элемент, узел крепления, защитный кожух и т.д.), а предложенное изделие представляет собой единую деталь, полученную одной операцией литья.

#### Библиографический список

1. *Тутубалин А.В.* Пористые металлы //Литейное пр-во. 1993. №10. С. 4 – 5.

2. Michizu S., Hidetoshi U. *Unoho-J.Jap//Foundrymen's Soc.* 1991. №1. P. 9–14.

3. А.С. 558953, МКИ С 22С 1/08. Способ получения пористых отливок//Г.П. Борисов, Ю.В. Мусеев, А.В. Наривский//Открытия. Изобретения. 1977. №19. С. 35–36.

4. Дульнев Г.Н., Заричняк Ю.П. Теплопроводность смесей и композиционных материалов. Л.: Энергия, 1974. 264 с.

**Д.А. Котов, О.С. Кузьмин,  
А.В. Тропотов, С.В. Брусницын,  
Д.Д. Лащенко**

### **ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ КРЕМНИЯ НА МОРФОЛОГИЮ И ОБЪЕМНУЮ ДОЛЮ СИЛИЦИДОВ В СЛОЖНОЛЕГИРОВАННЫХ ЛАТУНЯХ**

Нами исследовалось влияние кремния на размеры, морфологию и объемную долю силицидов в латуни ЛМцАЖКС 70–7–5–2–2–1. Данная латунь является представителем класса износостойких латуней. По своей сути она является природным композитом, состоящим из матрицы  $\alpha$ -фазы,  $(\alpha+\beta)$ -фазы и силицидов различной морфологии: розеточной, глобулярной и игольчатой. Силициды по твердости превосходят твердость матричных фаз в несколько раз, иногда в десять раз. Данная латунь используется для производства колец-синхронизаторов в коробке передач легковых автомобилей, где кольца испытывают ударные и фрикционные нагрузки.

В индукционной высокочастотной тигельной печи из свежих шихтовых материалов были выплавлены разные составы сплава ЛМцАЖКС и отлиты опытные слитки массой по 500 г, химический состав которых приведен в таблице. В опытных образцах постепенно увеличивалось содержание кремния. Другие факторы – температура заливки жидкого расплава, температура изложницы, в которую заливались исследуемые образцы – поддерживались стабильными (изменялись в очень узком интервале). Таким образом, влиянием других факторов можно пренебречь.

Качественный и количественный металлографический анализ образцов латуни с содержанием кремния 0,13 – 2,7 % показал, что при последовательном переходе от образца с минимальным содержанием кремния к