В. А. Гулевский, С. Н. Цурихин, С. В. Барабанов, Ю. В. Блинов, М. И. Попов

БОРИДНОЕ УПРОЧНЕНИЕ ПЕНОМЕТАЛЛА НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: lp@vstu.ru

Показана возможность дополнительного упрочнения пеноалюминия боридами металлов, упрочняющими фазами, которые создают дополнительный упрочняющий каркас в матрице заливаемого алюминия. Увеличение прочности алюминиевого каркаса и всего композиционного материала в целом при введении боридной составляющей увеличивается в 1,4 раза.

Ключевые слова: пенометалл, пропитка алюминием, композиционный материал, боридное упрочнение.

V. A. Gulevsky, S. N. Tsurikhin, S. V. Barabanov, Yu. V. Blinov, M. I. Popov

BORIDE HARDENING OF FOAM METAL BASED ON ALUMINUM

Volgograd State Technical University

The possibility of additional hardening of foam aluminum by metal borides, hardening phases, which create an additional hardening frame in the matrix of cast aluminum, is shown. The increase in the strength of the aluminum frame and the entire composite material as a whole with the introduction of the boride component increases by 1.4 times.

Keywords: penometall, impregnation by aluminum, composite material, boridny hardening.

Введение

В 21-м веке современным материалом, который прочно вошел в нашу жизнь является композиционный материал. Это многообещающий металл с уникальным сочетанием высоких механических и физических свойств, который подходит для авиа- и автомобилестроения, космонавтики, медицины, включая стоматологию, протезирование и строительство и др. [1].

Продолжением развития композиционного материала может стать перспективное направление разработки пенометаллов. Пенометаллы, новый класс материалов, который представляют собой структуру образованную твердой составляющей из металла (меди) и пор наполненные газом. Пенометаллы так же, как и композиционные материалы сочетают в себе такие качества, как прочность, легкость и доступность. Могут быть изготовлены из совершенно различных базовых материалов: никель, ферроникель, медь, железо, нихром, алюминий, фехраль, хромаль, нержавеющие стали и сплавы, бронзы, монель, кобальт, родий, платина, золото, серебро и их сплавы [2].

В настоящее время в мировой практике существует множество способов получения пористых металлов, в частности, пеноалюминия, но наиболее популярными являются два самостоятельных направления получения пеноалю-

миния: литейный метод (компания Cymat – Канада, Alcan – Канада, Norsk Hydro – Норвегия и др.) и порошковый метод (компания Fraunhofer Institute – Германия, ОАО ВИЛС – Россия и др.) [1, 2].

При получении пенометаллов их прочность в основном зависит от размера ячейки, ее формы и толщины стенок между ячейками. Получаемые в промышленности пенометаллы обычно изготавливают с различной размерностью структуры пор 1...5 мм и, соответственно, с различной плотностью пеноалюминия, влияющей на его прочность.

Целью настоящей работы является улучшение прочностных характеристик пеноалюминия боридным упрочнением.

Перспективы применения пенометалла

Пенометаллы, в отличие от других материалов, в зависимости от строения и размера пор обладают уникальными механическими свойствами: относительно высокой жесткостью и низкой плотностью. Они хорошо поглощают звук, шум, нетоксичны, коррозионностойки. Кроме того, обладают хорошим демпфирующим свойством, высокой жесткостью, теплопроводностью. Таким образом, они являются функциональными материалами и в зависимости от строения пор находят разное применение (табл. 1) [3, 4].

Таблица 1

Применение пенометаллов в зависимости от строения пор

Виды пористости	открытые		Функциональное применение	– теплообменные устройства, – огне- и пламяпреградители
	полуоткрытые			– шумопоглотители, – теплообменные и теплоотводящие устройства, – заполнители полостей и емкостей, – демпферы механических, акустических и ЭМ импульсов, – выравниватели газовых потоков, – несущие матрицы и регуляторы горения для твердых топлив, – сэндвич-панели
	закрытые			– упрочняющие и демпфирующие элементы для автопрома, – шумозащитные экраны (для шоссе, аэропортов, мостов и др.), – звукопоглощающие панели (для кинотеатров, стадионов, жилых зданий и др.), – элементы акустических систем, – шумогасители при сбросе высокого давления, – сверхлегкие и термостойкие конструкционные элементы, трех- и двухслойные панели, композиционные материалы

Применение пенометаллов с полуоткрытым и закрытым строением пор включает в себя большую группу по функциональному применению и является более перспективной.

Наиболее распространенными, в применении на сегодняшний день, являются сэндвич-панели. Это композитный материал, применяемый в области строительства. Чаще всего сэндвич-панель представляет собой трехслойную структуру, состоящую из двух внешних панелей и внутреннего слоя между ними. Внешние панели чаще всего представляют собой листы цельного и достаточно прочного материала, играющего роль несущей структуры, а внутренний слой обычно выполняют из легких пенных материалов, обеспечивающих изоляционные свойства сэндвич-панелей. Упрощенной версией такой конструкции в нашем случае

может являться пеноалюминий с медным каркасом из сферических гранул [5].

Материал и методы исследования

Пеноподобный композит получали путем заливки алюминиевым расплавом (А0 ГОСТ 11069–2001) формы, заполненной пенополистероловыми шариками диаметром 4...8 мм, с внешней оболочкой из графита толщиной до 50 мкм и омеднением 300...500 мкм [5]. Получаемая плотность образцов пеноалюминия составила 1670 кг/м³.

Для увеличения прочностных характеристик пеноалюминия вводили бориды титана, молибдена, хрома [6, 7] в виде порошков (табл. 2) в равных долях с соотношением один к трем, путем обмазки тонким слоем поверхности плакированной гранулы (табл. 3).

Таблица 2

Бориды металлов, применяемые для упрочнения

Компоненты		ГОСТ, ТУ	Размеры компонентов, мкм
Порошки	Борид титана	28377–89	20–40
	Борид хрома	28377–89	
	Борид молибдена	6–09–03–28–75	

Таблица 3

Состав получаемого металла матрицы

Образец	Содержание химического элемента в образце, %		
	Al	Si	Бориды металлов (TiB ₂ , MoB ₂ , CrB ₂)
1	93,02	6,98	0
2	91,52	6,98	1,0

Заливку алюминия осуществляли в заранее сформированный между двух медных пластин ряды порообразующих гранул в виде сфер (рис. 1) одного размера [8].

Рис. 1. Расположение плакированных порообразующих сфер [8]

ДюрOMETрические исследования образцов проводили на образцах размером 20×22×40 мм на приборах ТП-2 при нагрузке 150 кгс и ПМТ-3М при нагрузках 0,1 и 0,2 кгс. Прочность сплава при сжатии проводили на разрывной машине РМ-50 при настройке на нагрузку 10 кН.

Металлографические исследования производили на электролитически травленных образцах. Структуру, морфологию полученного композиционного материала изучали с помощью оптической (модульный цифровой микроскоп OLIMPUS BX61) и электронной (двухлучевой электронный сканирующий микроскоп SMA Versa 3D FEG) микроскопии.

Результаты и их обсуждение

Полученный композиционный материал представляет собой сотовую конструкцию сэндвич-панели с медным каркасом из сферических гранул. При разложении полиуретана газовые продукты должны были порвать медные оболочки. При расположении порообразующих сфер имеет место условный контакт с соседними окружающими ее сферами, при этом незаполненное пространство образует проходное сечение, для заливки алюминиевым расплавом создающий каркасное строение (рис. 2), дополнительно упрочненное боридами.

Рис. 2. Общий вид каркаса полученного порообразующими сферами [8]

Металлографическими исследованиями установлено, что на срезе макрошлифов заполнение

алюминиевым расплавом медных сфер в форме происходит максимально на 100 %. Между алюминиевым расплавом и медными сферами отсутствуют дефекты в виде горячих и холодных трещин (рис. 3).

Выявлено, что введение боридной составляющей способствует более качественному заполнению формы с каркасом в виде омедненных сфер, т. е. наблюдается полное заполнение формы с отсутствием недоливов.

Наблюдали также, что при заполнении аналогичных образцов алюминием технической чистоты без введения боридной составляющей ухудшалась заливка металла, появился его недолив.

Металлографический анализ показал, что боридная обмазка на поверхности гранул, в процессе пропитки конструкции из омедненных сфер частично легирует алюминиевую матрицу вблизи границы с медной оболочкой. Благодаря этому, матричный металл в указанной области приобретает мелкозернистую структуру, с равномерно распределенными по объему дисперсными частицами боридов (рис. 3), служащих в качестве упрочняющей фазы в металле матрицы. Такой упрочняющий пояс вокруг сферы служит вторичным дополнительным упрочняющим фактором для медной оболочки сферической поры, который образует первичный медный каркас в пеноподобном композите.

Рис. 3. Сечение порообразующей сферы после выгорания пенополистерола

Боридная составляющая в виде обмазки на плакированных медных сферах легировала алюминиевую матрицу в узкой зоне 100–140 мкм прилегания заливаемого расплава, оставляя центр матрицы нелегированной. При этом

структура алюминия около медных сфер измельчалась, создавая каркас из боридного легирования алюминиевого расплава при относительно мягкой сердцевине матрицы.

Микротвердость алюминиевой матрицы со-

ставила 22 НВ. В приграничной переходной зоне между медной сферой и матрицей заливаемого алюминия наблюдаются включений округлой формы от 90 до 97 мкм с микротвердостью 21–33 ГПа, что соответствует твердости боридной составляющей.

Монотонное испытание образцов продемонстрировало типичное поведение упруго-пластического пеноалюминия при сжатии (рис. 4). Образец с закрытыми порами, получаемый методом заливки формы алюминиевым расплавом и имеющий структурированный медный каркас, обладает при деформации сильно нелинейным поведением. Существует начальная линейная упругая область, которая сопровождается увеличением нагрузки при относительно малой деформации. При 0,2 % начинается текучесть пеноалюминия до 50 % деформации, так как материал не достиг полного сжатия. После того, как 50 % деформируется, все полые сферы деформировались сплющиванием, пеноалюминий начинает вести себя как обычный металл. Введение боридной составляющей способствует увеличению начального порога пластической деформации композиционного пеноалюминия в 1,4 раза.

Выводы

1. Полученный композиционный пеноалюминий имеет ряд преимуществ по сравнению со сплошным материалом, а именно, меньшую массу и большую прочность при сжимающих нагрузках.

2. Введение боридной составляющей увеличивает прочность алюминиевого каркаса

и всего композиционного материала в целом в 1,4 раза.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Metal Foams: A Design Guide. M.F. Ashby, A.G. Evans, N.A. Fleck, L.J. Gibson, J.W. Hutchinson and H.N.G. Wadley, Butterworth Heinemann, 2000.
2. Лапин, И. В. Новые модификации металлов в современном производстве / И. В. Лапин, В. Г. Кузнецов, Г. А. Аминова // Изв. КГАСУ. Строительные материалы и изделия : сб. науч. ст. / КГАСУ. – Казань, 2017 – № 3. – С. 188–195.
3. Кукарцев, В. А. Процессы литья алюминиевых сплавов за рубежом : учеб.-метод. пособие / В. А. Кукарцев, Т. В. Трушкова. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2012. – 112 с.
4. Оглезнева, С. А. Материаловедение и технологии современных и перспективных материалов : учеб. пособие / С. А. Оглезнева. – Пермь : Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2012. – 307 с.
5. Гулевский, В. А. Исследование пенометалла с пропиткой медного каркаса алюминием / В. А. Гулевский, С. Н. Цурихин, С. В. Барабанов, Н. А. Кидалов // Заготовительные производства в машиностроении. – 2019. – № 5. – С. 7–10.
6. Артемьев, А. А. Исследование структуры и износостойкости наплавленного металла, упрочненного гранулами диборида титана / А. А. Артемьев, Ю. Н. Дубцов, Г. Н. Соколов // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 4 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. – (Серия «Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении»; вып. 4). – С. 141–144.
7. Артемьев, А. А. Влияние микрочастиц диборида титана и наночастиц карбонитрида титана на структуру и свойства наплавленного металла / А. А. Артемьев, Г. Н. Соколов, В. И. Лысак // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2011. – № 12. – С. 32–37.
8. 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.