

УДК 621.745

Яблонський А. А., Гурія І. М., Могилатенко В. Г., Козачук Є. В.

ВПЛИВ МІДІ, МАГНІЮ ТА ЦИНКУ НА ГУСТИНУ, ПОРИСТІСТЬ ТА СТРУКТУРУ ВИЛИВКІВ З ПІНОАЛЮМІНІЮ

Піноалюміній є відносно новим композиційним матеріалом. Пориста структура піноалюмінію забезпечує цей матеріал унікальною комбінацією властивостей, які не характерні для монолітних матеріалів. Основними є: високий коефіцієнт поглинання енергії удару чи вібрації та мала вага виробів при достатньо високій міцності.

Ці механічні властивості пінометалів залежать від розміру, кількості та однорідності пор у виливку. Так, межа міцності при стисканні σ_{cm} піноалюмінію з густиною 400 кг/м^3 дорівнює $4,0\text{--}4,5 \text{ МПа}$, а з підвищенням густини до 1800 кг/м^3 міцність пропорційно зростає до значення $\sigma_{cm} = 40\text{--}45 \text{ МПа}$. І хоча перші дослідження по створенню цього матеріалу почались ще 1949 року, активне промислове впровадження почалося лише на протязі останнього десятиріччя [1–2].

Масштаби впровадження ливарних технологій для виготовлення деталей з піноалюмінію в даний час невеликі. Австрійська компанія Metcomb Nanostructure здатна виготовляти фасонні виливки з пористого алюмінію ливарним способом, але технологія їх виготовлення не розголошується. Тобто на даний час відсутні обґрунтовані технологічні параметри отримання саме якісних пористих алюмінієвих виливків. В основному дослідження з цієї теми проводяться в галузі порошкових матеріалів. Більш дешеві ливарні методи застосовуються лише для виготовлення листового матеріалу: компанії: Shinko Wire (Японія), Cymat (Канада); або сандвіч-панелей: панелі Karmann германської компанії Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie.

Технологія виготовлення саме фасонних виливків з піноалюмінію може бути використана в різних промислових галузях, зокрема в машинобудуванні можна застосовувати пористі демпфери, різного виду ударопоглинаючі вставки в двері та кузов автомобілів, віброізоляційні кожухи та стрижні пружності.

Перспективним, а головне – дешевим методом виготовлення подібного матеріалу є спінювання рідкого алюмінієвого розплаву за допомогою пороутворювача. Одними з найдешевших та поширених пороутворювачів є карбонати кальцію чи магнію [3]. При температурах, близьких до температур плавлення алюмінію та його сплавів, пороутворювач дисоціює вивільняючи газ. Таким чином, замішуючи пороутворювач у розплав, отримуємо матеріал із закритими порами. Цей матеріал має оптимальну структуру що забезпечує в декілька разів більшу жорсткість деталей у порівнянні з відкритою пористою структурою [4].

Виготовлення виливків з пористого алюмінію має ряд особливостей, що обумовлені не характерними для традиційного ливарного виробництва процесами, а саме: низька рідкотекучість композиційної суміші що заливається та нестандартне формоутворення під дією тиску газів що вивільняються під час дисоціації пороутворювача вже у формі.

При замішуванні карбонатів у розплав відбувається взаємодія розплаву та часток, що вводяться, яка залежить від багатьох факторів. Найважливішими серед них слід вважати природу розплаву й часток, що вводяться, тобто склад, будову, взаємну розчинність, змочування. Також існує зв'язок засвоєння з розмірами часток: більші частки завжди засвоюються краще дрібних [5].

Основною складністю при виготовленні пористих виливків є забезпечення однорідності розподілу пор за об'ємом виливка.

Одним з найважливіших факторів що впливають на однорідність розподілу пор є хімічний склад сплаву, що спінюється. Хімічний склад сплаву, обраного в якості дисперсійного середовища, впливає на умови та можливості одержання ливарних композицій наперед через поверхневий натяг розплаву. Чим він нижчий, тим легше забезпечити впровадження в розплав твердих часток. Також значний вплив має змочування під час міжфазної взаємодії.

В роботі досліджували вплив міді, магнію та цинку на розподіл густини та пористості по висоті вилівка. Данні метали часто використовуються в якості легувальних елементів для алюмінієвих сплавів. Ці компоненти підвищують в'язкість розплаву та утворюють евтектику з алюмінієм. Також з літературного огляду зроблено висновок що додаванням цих легуючих елементів можна суттєво (в 2–3 рази) поліпшити засвоєння дисперсних часток розплавом при одержанні ливарних композицій. Наприклад, магній є елементом що покращує засвоюваність розплавом твердих порошків лінійно. При додаванні від 1 до 6 % магнію до розплаву збільшує засвоєння порошку TiC від 1 % мас. до 1,5 % мас [6].

Комплексні дослідження впливу даних елементів при отриманні пористого алюмінію в літературі відсутні. Найвні лише поодинокі данні для різних сплавів.

Метою даної роботи є вдосконалення технології виготовлення литих деталей з пористого алюмінію, що означає покращення таких показників як рівномірність розподілу густини та пористості по висоті виливків, а також підвищення загальної густини та пористості.

Металевий розплав спінюється шляхом утворення бульбашок в рідині при замішуванні карбонатів. При цьому розплав має мати достатню в'язкість, щоб забезпечити стабілізацію утвореної піни. Потрібна в'язкість досягається за допомогою додавання керамічних порошків малої фракції або легуючих елементів в розплав. Після замішування компонентів при потрібному температурному режимі розплав заливаємо у форму, що нагріта до температури вищої за температуру сплаву. Спінення та формування виливка відбувається у гарячій формі.

В попередній роботі [7] було виявлено позитивний вплив підспінювання металевої композиції на стадії замішування на процес отримання піноалюмінієвих виливків. На основі цієї технології нами було розроблено спосіб отримання якісних пористих алюмінієвих виливків. Наведеним способом було отримано піноалюміній із закритими порами та суцільною ливарною кіркою по всій поверхні виливка. Для всіх дослідів технологічні параметри були константами, варіювали лише хімічний склад сплаву. Пористість такого виливка лежить у межах 70–80 % (рис. 1).

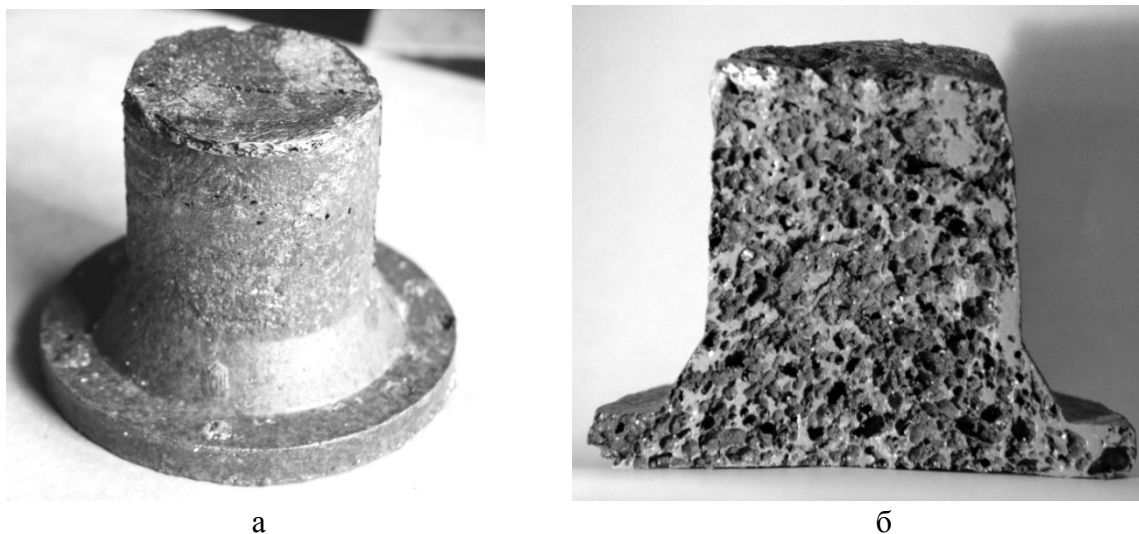


Рис. 1. Деталь для гасіння удару:
а – загальний вигляд, $\times 0,5$; б – вертикальний переріз, $\times 0,8$

Для побудови плану експериментів використали планування на симплексі з обмеженнями по граничному вмісту алюмінію – 100 %, міді – 6 %, магнію – 18 %, та цинку – 2 %. Порядок плану – третій.

Результатом проведеної роботи є створення математичних моделей впливу міді, магнію та цинку на такі показники піноалюмінієвих виливків як:

– густина:

$$y = 1,03X_1 + 0,64X_2 + 0,72X_3 + 0,98X_4 - 0,51X_1X_2 - 0,51X_1X_3 - 0,94X_1X_4 + 0,77X_2X_3 - 0,19X_2X_4 + 0,17X_3X_4 + 0,46X_1X_2(X_1 - X_2) - 0,46X_1X_3(X_1 - X_3) - 1,88X_1X_4(X_1 - X_4) + 0,49X_2X_3(X_2 - X_3) + 2,03X_2X_4(X_2 - X_4) + 1,77X_3X_4(X_3 - X_4) + 0,48X_1X_2X_3 + 0,62X_1X_2X_4 + 0,52X_1X_3X_4 - 2,52X_2X_3X_4;$$

– пористість:

$$y = 65,67X_1 + 75,33X_2 + 78,33X_3 + 65,33X_4 + 12X_1X_2 + 18X_1X_3 + 42X_1X_4 - 33X_2X_3 + 3X_2X_4 - 9X_3X_4 - 25,5X_1X_2(X_1 - X_2) + 6X_1X_3(X_1 - X_3) + 78X_1X_4(X_1 - X_4) + 9X_2X_3(X_2 - X_3) - 63X_2X_4(X_2 - X_4) - 76,5X_3X_4(X_3 - X_4) - 39X_1X_2X_3 - 60X_1X_2X_4 - 84X_1X_3X_4 - 36X_2X_3X_4;$$

– відношення густин по висоті виливка:

$$y = 0,32X_1 + 1,02X_2 + 0,68X_3 + 0,82X_4 + 1,93X_1X_2 + 1,43X_1X_3 + 3,25X_1X_4 + 0X_2X_3 - 0,44X_2X_4 - 0,32X_3X_4 + 2,51X_1X_2(X_1 - X_2) + 0,87X_1X_3(X_1 - X_3) + 4,52X_1X_4(X_1 - X_4) - 1,04X_2X_3(X_2 - X_3) - 2X_2X_4(X_2 - X_4) + 0,32X_3X_4(X_3 - X_4) - 4,78X_1X_2X_3 - 7,61X_1X_2X_4 - 11,4X_1X_3X_4 + 1,25X_2X_3X_4,$$

де y – густина, пористість, або відношення густини по висоті виливка (г/см^3 , %, або од. відповідно); X_1, X_2, X_3, X_4 – вміст компоненту в заданих межах. F – критерій в усіх випадках не перевищував 1,64, що дозволяє не відкидати гіпотезу про адекватність моделей.

Останній параметр свідчить про рівномірність густини, що є важливим показником. Чим він є ближчим до одиниці – тим рівномірнішим є розподіл.

Слід зазначити що абсолютно всі легуючі елементи позитивно впливали на кількість пороутворювача, засвоєного розплавом. Сплави алюмінію з міддю, магнієм та цинком показали набагато кращі показники в порівнянні з алюмінієм технічної чистоти (А0) – в усіх випадках знижувалась густина та підвищувалась пористість (рис. 2, рис. 3). У випадку з магнієм та міддю значно покращувалось розподілення густини за висотою виливків, тобто підвищувалась рівномірність порового простору (рис. 3).

Додавання цинку в якості основного легуючого елементу позитивно впливало лише на загальні показники густини та пористості. Рівномірність розподілу густини за висотою виливка хоч і покращувалась в порівнянні з чистим алюмінієм, але все ще була далекою від 1.

На рис. 4 наведено макроструктури пористих виливків. Навіть при близьких значеннях основних досліджуваних параметрів спостерігаємо відмінності в структурі та розподілу розмірів пор по площині перерізу виливків. Також слід зазначити важливість такого показника, як наявність дефектів порового простору, таких як коагуляція пор в нижній частині виливка, тобто об'єднання кількох пор в одну, досить значну порожнину. Це є одним з основних дефектів виливків з пористого алюмінію.

При додаванні до алюмінієвого розплаву міді пори набувають більш правильної (округлої) форми (рис. 4, а) в порівнянні з чистим алюмінієм (рис. 4, в). Рівномірність порового простору покращується і зменшується кількість зон з коагуляцією пор.

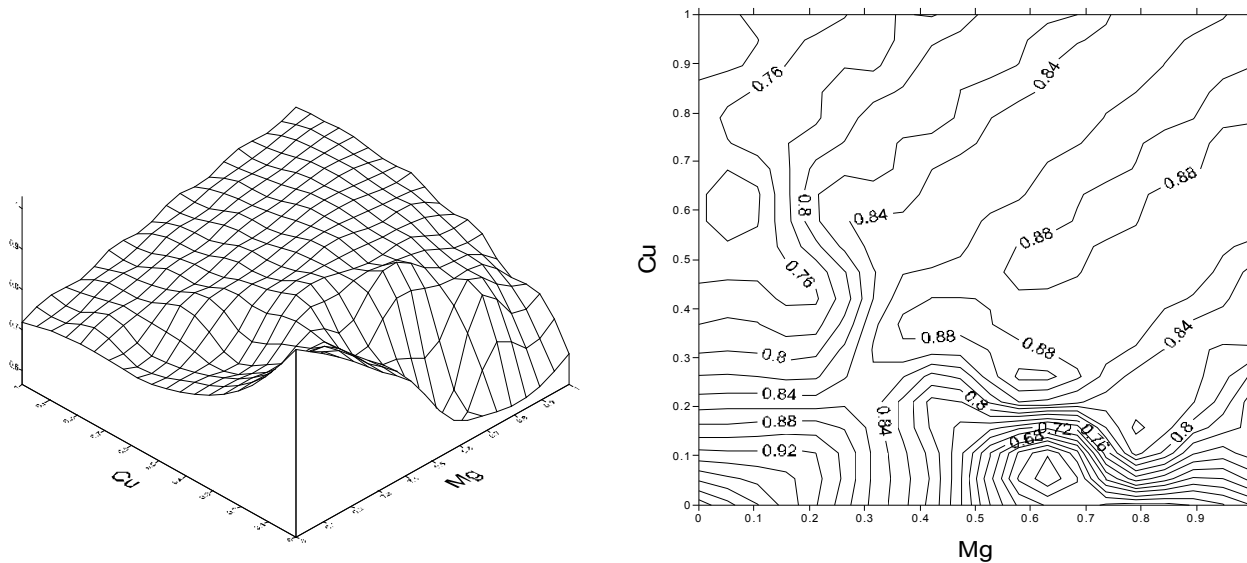


Рис. 2. Залежність впливу кількості міді та магнію на густину піноалюмінієвих виливків

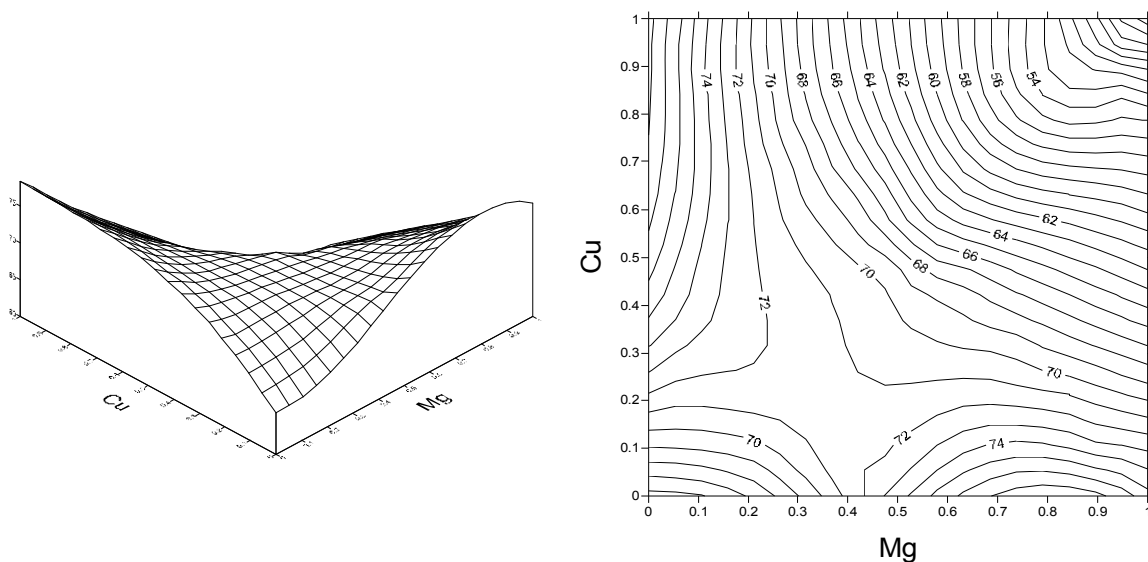


Рис. 3. Залежність впливу кількості міді та магнію на пористість піноалюмінієвих виливків

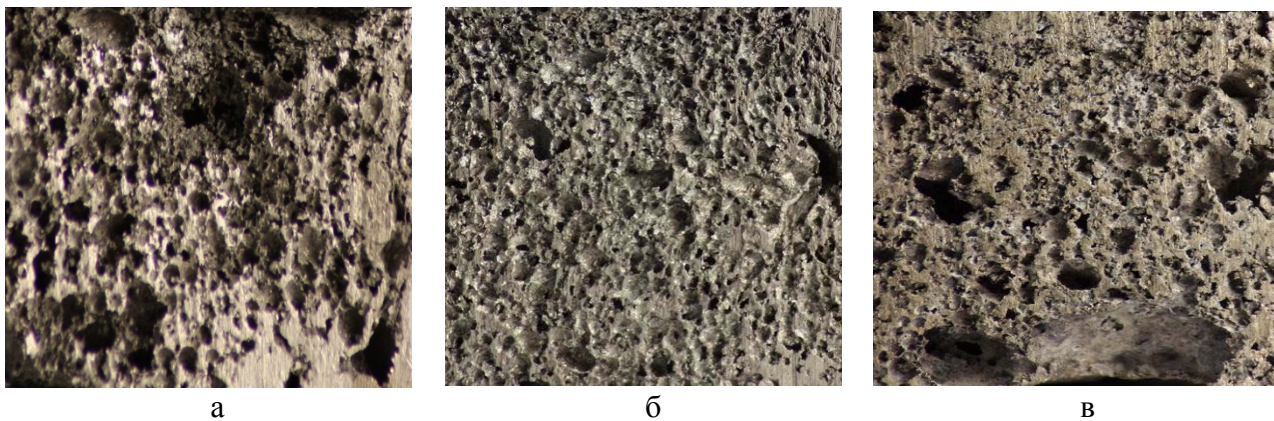


Рис. 4. Структура пористих виливків $\times 2$:
 а – з вмістом міді 4 %; б – з вмістом магнію 12 %; в – із чистого алюмінію

При додаванні Mg до 12–14 % пористість збільшується з 64 % до 77 % (рис. 4, б). Рівномірність порового простору є доброю навіть при малому часі замішування. Коагуляція пор відсутня взагалі в більшості випадків. При подальшому підвищенні вмісту Mg (до 18 %) дещо збільшується кількість зон коагуляції.

Цинк позитивно впливає лише на кількість засвоєного CaCO₃, тобто зменшується загальна густина виливка. Зони коагуляції присутні при додаванні будь-якої кількості цього елемента.

ВИСНОВКИ

Додавання до алюмінію таких легувальних елементів як Cu, Mg, та Zn позитивно впливає на засвоєння пороутворювача розплавом при замішуванні та покращує рівномірність порового простору при виготовленні виливків. Найкращі результати рівномірності порового простору отримані при додаванні до розплаву Mg в кількості від 10 до 15 % мас. При спінюванні сплаву, легованого одразу кількома з досліджуваних елементів показники густини, пористості, та рівномірності густини по висоті виливка значно погіршуються в порівнянні з одноконтентним легуванням. Цей результат потребує подальшого дослідження на предмет утворення та впливу різних фаз при спіненні алюмінієвих сплавів, легованих Cu, Mg, та Zn.

Cu та Zn доцільно додавати не як легувальні елементи, а у якості добавок у кількості до 1 % мас. При цьому прогнозується покращення засвоєння пороутворювача та відсутність виникнення дефектів.

При однакових показниках таких параметрів як густина, пористість та розподіл густини по висоті виливків результат, що наведений на макроструктурах порового простору, мав значні відмінності. Тобто слід додати також показник, що характеризує розподіл пор по розмірам та площині розрізу виливка. І хоча дані значення будуть показувати неточну загальну картину по об'єктивному розміру пор, співставлення цих даних покаже загальні тенденції змін у поровому просторі для різних сплавів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Davies G. J., Zhen S. // *J. of Material Science*. – 1983. – N18. – P. 1899–1911.
2. Алюмінієві піни – конструкційний матеріал з високим потенціалом, 1-ий симпозіум по металічним пінам, 6–7 березня, 1997. – ФРГ: Бремен. – С. 62–66.
3. Gutiérrez-Vázquez J. A., Oñoro J. *Espumas de aluminio. Fabricación, propiedades y aplicaciones* // *Revista De Metalurgia*. – Sep-Oct № 44 (5). – 2008. – S. 457–476.
4. Harte A. M. *Fatigue failure of an open cell and a closed cell aluminium alloy foam* / A. M. Harte, N. A. Fleck, M. F. Ashby // *Engineering Department. Cambridge University. Trumpington St., Cambridge CB2 1PZ, U.K.*, 1999.
5. Иванов Д. О. *Исследование и разработка пеноалюминия, получаемого методом механического легирования из вторичного сырья* / Д. О. Иванов. – 2008. – 150 с.
6. Гаврилин И. В. *Разработка теории и технологии композиционного лиття* / И. В. Гаврилин. – Владимир, 1991. – 353 с.
7. Могилатенко В. Г. *Особенности изготовления виливків з піноалюмінію* / В. Г. Могилатенко, І. М. Гурія, А. А. Яблонський // *Нові матеріали і технології в машинобудуванні: матеріали III Міжнародної науково-технічної конференції, 26...27 травня 2011, м. Київ*. – Київ: НТУУ «КПІ», 2011 р. – С. 66–67.
8. *Cellular Metals and Metal Foaming Technology* / J. Banhart, N. A. Fleck, A. Mortensen, eds. – MIT-Verlag: Berlin, 2003. – 147 p.
9. Babcsán N. *Metal Foams – Manufacture And Physics Of Foaming* / N. Babcsán, J. Banhart, D. Leitmeier // *Int. Conf. Advanced Metallic Materials, 5–7.11.2003, Smolenice, Slovakia*. – 2003. – P. 5–15.

Стаття надійшла до редакції 04.11.2011 р.