

D. M. Berchuk

Technological aspects of ductile iron plasticity increasing

Summary

The effect of cooling rate on the structure and mechanical properties of ductile cast iron at the in-mould and ladle modifying with Mg7 – FeSi master alloy is studied. It is shown that compared with ladle modifying, in-mould modifying increases more than three times the number of spheroidal graphite inclusions and more than twice the amount of ferrite, resulting in reducing tensile strength by 15 – 20 % and increasing the elongation by 1,5 – 2,0 times that allows to produce castings of ferritic ductile cast iron without energy-intensive heat treatment – graphitizing annealing.

УДК 621.745

Вплив міді, магнію та цинку на структуру виливків з піноалюмінію

А. А. Яблонський*

Національний технічний університет України «КПІ», Київ



В роботі досліджено вплив міді, магнію та цинку на густину, пористість та відношення густин за висотою піноалюмінієвого виливка. Встановлено, що всі легуючі елементи позитивно впливають на кількість пороутворювача, засвоєного розплавом. Сплави алюмінію з цими металами мали набагато кращі показники у порівнянні з алюмінієм технічної чистоти. В статті наведено приклади перспективного застосування піноалюмінію.

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

Ці властивості пінометалів залежать від розміру, кількості та однорідності пор у виливку. Так, межа міцності при стисканні $\sigma_{ст}$ піноалюмінію з густиною 400 кг/м³ дорівнює 4,0 – 4,5 МПа, а з підвищенням густини до 1800 кг/м³ міцність пропорційно зростає до значення $\sigma_{ст} = 40 – 45$ МПа. І хоча перші дослідження по створенню цього матеріалу почались ще 1949 року, активне промислове впровадження почалося лише протягом останнього десятиріччя [1, 2].

*Третя премія ім. А. А. Горшкова.

Науковий керівник роботи д.т.н., професор В. Г. Могилатенко.

Масштаби впровадження ливарних технологій для виготовлення деталей з піноалюмінію в даний час невеликі. Австрійська компанія Metcomb Nanostructure виготовляє фасонні виливки з пористого алюмінію, але технологія їх виготовлення не розголошується. Тобто на даний час відсутні обґрунтовані технологічні параметри отримання саме якісних пористих алюмінієвих виливків. В основному дослідження з цих проблем проводяться в галузі порошкових матеріалів. Більш дешеві ливарні методи застосовують лише для виготовлення листового матеріалу компанії: Shinko Wire (Японія), Sumat (Канада), Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie (Німеччина).

Перспективним, а головне — дешевим методом виготовлення фасонних виливків є спінювання рідкого алюмінієвого розплаву за допомогою пороутворювачів — карбонатів кальцію чи магнію [3]. При температурах, близьких до температур плавлення алюмінію та його сплавів, пороутворювач дисоціює, вивільняючи газ. Таким чином отримуємо матеріал із закритими порами. Цей матеріал має структуру, що забезпечує в кілька разів більшу жорсткість деталей у порівнянні з відкритою пористою структурою [4].

Виготовлення виливків з пористого алюмінію має ряд особливостей, що обумовлені нехарактерними 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 [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. Хімічний склад сплаву, обраного в якості дисперсійного середовища, впливає на умови та можливості одержання ливарних композицій, насамперед через поверхневий натяг розплаву. Чим він нижчий, тим легше забезпечити втілення 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 виливка. Ці метали часто використовуються в якості легуючих елементів для алюмінієвих сплавів. Вони підвищують в'язкість розплаву та утворюють евтектику з алюмінієм. Додаванням цих легуючих елементів можна також суттєво (в 2 – 3 рази) поліпшити засвоєння дисперсних часток розплавом. Так, при додаванні від 1 до 6 % магнію до розплаву збільшує засвоєння порошку TiC від 1 % до 1,5 % (мас. частка) [6]. Комплексні дослідження впливу даних елементів при отриманні пористого алюмінію в літературі відсутні.

Метою даної роботи є вдосконалення технології виготовлення литих деталей з пористого алюмінію, що зумовлює покращення таких показників як рівномірність розподілу густини та пористості.

Металевий розплав алюмінію технічної чистоти (АО), легованого магнієм Mg 80, цинком ЦЗ або анодованою міддю, спінували при замішуванні карбонатів. Він повинен мати достатню в'язкість для забезпечення стабілізації утвореної піни. Потрібна в'язкість досягається за допомогою додавання керамічних порошоків малої фракції або легуючих елементів в розплав. Розплав заливаємо у форму, нагріту до температури, вищої за температуру сплаву. Спінення та формування виливка відбувається у гарячій формі.

В попередній роботі [7] було виявлено позитивний вплив підспіювання металевої композиції на стадії замішування. 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 однакові, варіювали лише хімічний склад сплаву. Пористість такого виливка у межах 70 – 80 % (рис. 1).

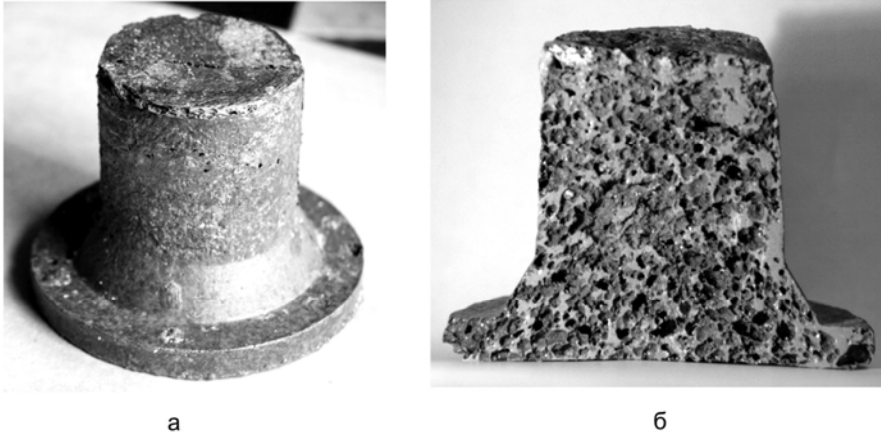


Рис. 1. Деталь для гасіння удару. а – загальний вигляд (x 0,5); б – вертикальний переріз (x0,8).

Для побудови плану експериментів використали планування на симплексі [8] з обмеженнями по граничному вмісту алюмінію – 100 %, міді – 6 %, магнію – 18 %, та цинку – 2%. Порядок плану – третій.

Одержано математичні моделі впливу міді, магнію та цинку на показники піноалюмінієвих виливків, такі 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 компонента 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. Чим він є ближчим до одиниці, тим рівномірнішим є розподіл.

Слід зазначити, що всі досліджувані легуючі елементи позитивно впливали на кількість пороутворювача, засвоєного розплавом. Сплави алюмінію з міддю, магнієм та цинком показали набагато кращі показники порівняно з алюмінієм технічної чистоти – в усіх випадках знижувалась густина та підвищувалась пористість (рис. 2, 3).

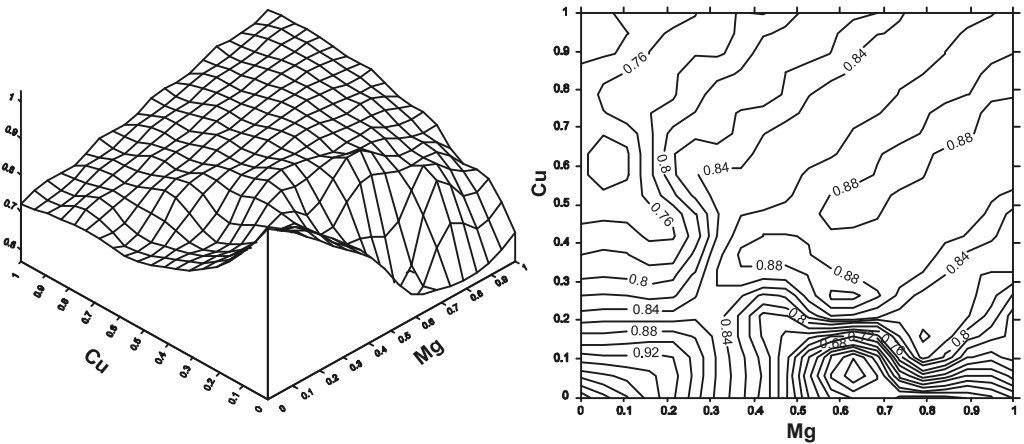


Рис. 2. Залежність впливу кількості міді та магнію на густину піноалюмінієвих виливків.

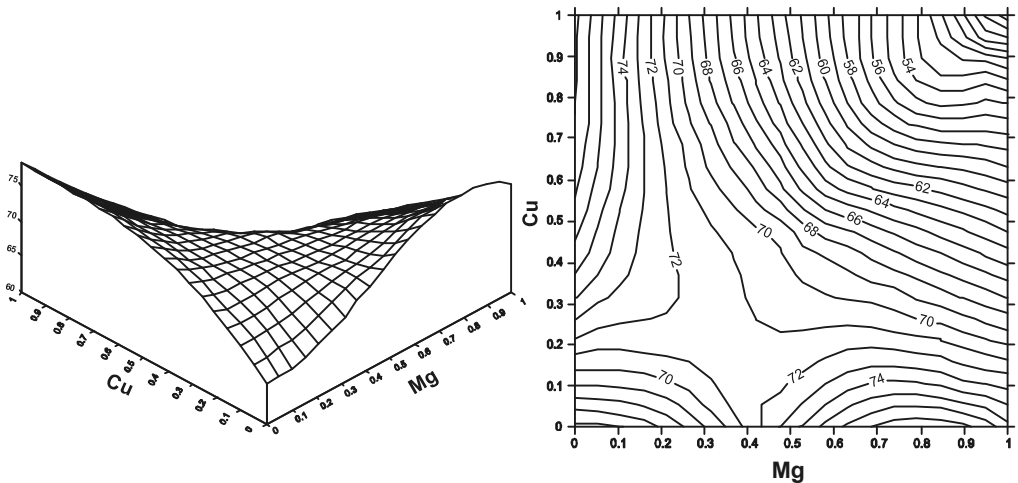
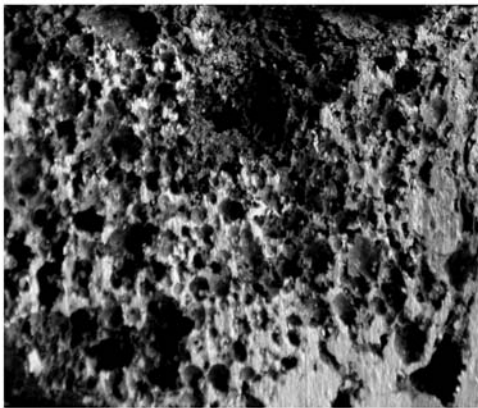


Рис. 3. Залежність впливу кількості міді та магнію на пористість піноалюмінієвих виливків.

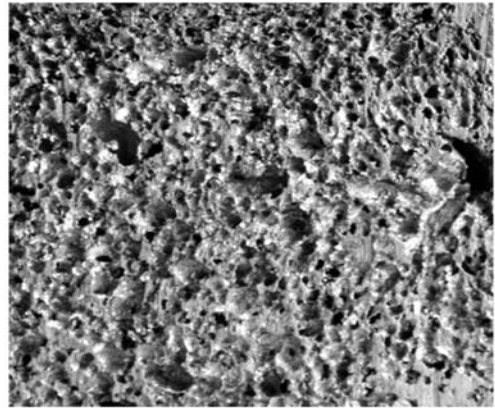
Додавання цинку в якості основного легуючого елемента позитивно впливало лише на загальні показники густини та пористості. Рівномірність же розподілу густини за висотою виливка хоч і покращувалась, але все ще була далекою від 1.

На рис. 4 наведено макроструктуру пористих виливків. Навіть при близьких значеннях основних досліджуваних параметрів спостерігаємо відмінності в структурі та розподілі розмірів пор за площиною перерізу виливків. Зазначимо важливість такого показника, як наявність дефектів порового простору, таких як коагуляція пор в нижній частині виливка, що є одним з основних дефектів виливків з пористого алюмінію.

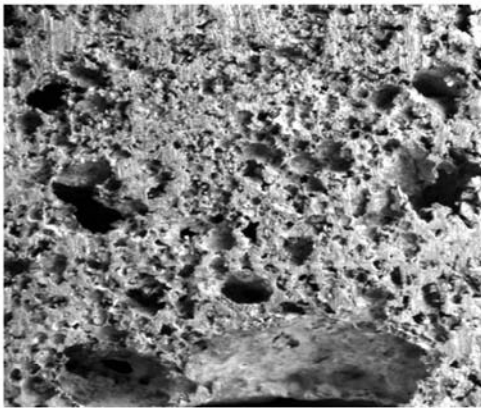
При додаванні до алюмінієвого розплаву міді пори набувають більш правильної (округлої) форми (рис. 4 а) порівняно з чистим алюмінієм (рис. 4 в). Рівномірність порового простору покращується і зменшується кількість зон з коагуляцією пор.



а



б



в

Рис. 4. Структура пористих виливків. а – вміст міді 4 %; б – вміст магнію 12 %; в – чистий алюміній.

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

Цинк позитивно впливає лише на кількість засвоєного CaCO_3 , тобто зменшується загальна густина виливка. Зони коагуляції присутні при додаванні будь-якої кількості цього елемента.

Таким чином додавання до алюмінію таких легуючих елементів як мідь, магній та цинк 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 магнію в кількості від 10 до 15 % (мас. частка). При спіюванні сплаву, легovanого одразу кількома з досліджуваних елементів, показники густини, пористості, та рівномірності густини по висоті виливка значно погіршуються в порівнянні з однокомпонентним легуванням. Цей результат потребує подальшого дослідження на предмет утворення та впливу різних фаз при спіненні алюмінієвих сплавів, легovanних міддю, магнієм та цинком. Мідь та цинк доцільно додавати у кількості до 1 % (мас. частка). При цьому прогнозується покращення засвоєння пороутворювача та відсутність виникнення дефектів. При однакових показниках таких параметрів як густина, пористість та розподіл густини по висоті виливків слід додати також показник, що характеризує розподіл пор за розмірами та по площині розрізу виливка.

Література

1. Davies G.J., Zhen S. // J. of Material Science. – 1983. – N 18. – P. 1899 – 1911.
2. Алюмінієві піни – конструкційний матеріал з високим потенціалом. // 1-ий симпозіум по металічним пінам. 6 – 7 березня 1997, Бремен, ФРН. // Aluminum. – 73, 5. – 1997. – С. 62 – 66.
3. Gutiérrez-Vázquez J.A. Ocoro J. Espumas de aluminio. Fabricación, propiedades y aplicaciones. // Revista De Metalurgia. – 2008. – 44, 5. – P. 457 – 476.
4. Harte A.M., Fleck N.A. Ashby M.F. Fatigue failure of an open cell and a closed cell aluminium alloy foam. // Engineering Department, Cambridge University, U.K. – 1999.
5. Иванов Д.О. Исследование и разработка пеноалюминия, получаемого методом механического легирования из вторичного сырья. – Дис. ... канд. техн. наук. – 2008. – 150 с.
6. Гаврилин И.В. Разработка теории и технологии композиционного лития. – Владимир, 1991. – 353 с.
7. Могилатенко В.Г., Гурія І.М., Яблонський А.А. Особливості виготовлення виливків з піно алюмінію. // Матеріали для роботи в екстремальних умовах – 3. – НТУУ “КПІ”, 2010. – С. 259 – 262.
8. Новик Ф.С. Планирование эксперимента на симплексе. – М.: Металлургия, 1985. – С. 256.

Одержано 30.05.11

А. А. Яблонский

Влияние меди, магния и цинка на структуру отливок из пеноалюминия

Резюме

В работе исследовано влияние меди, магния и цинка на плотность, пористость и отношение плотности по высоте отливки из пеноалюминия. Установлено, что все легирующие элементы положительно влияют на количество порообразователя, усвоенного расплавом. Сплавы алюминия с этими металлами имеют гораздо лучшие показатели по сравнению с алюминием технической чистоты. В статье приведены примеры перспективного применения пеноалюминия.

A. A. Yablonskiy

Influence of copper, magnesium and zinc on structure of foamed aluminum castings

Summary

The influence of copper, magnesium and zinc on such characteristics of foamed aluminum castings as density, porosity and density ratio on the height of the casting was investigated. It should be noted that all the elements, which was investigated, have positive impact on the quantity of foamed agent that was assimilated by the melt. Aluminum alloys with these metals have shown much better performance compared to aluminum of technical purity. The article also provides