

УДК 621.74:669.714.11

В.М. Рибак, Д.Ф. Чернега

ТЕХНОЛОГІЯ РАФІНУВАННЯ ЛИВАРНИХ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ**Вступ**

Під час плавлення ливарних алюмінієвих сплавів у відкритих печах будь-яких типів відбувається підвищення вмісту газів і неметалевих включень у розплавах, які можуть істотно погіршити механічні властивості кінцевих деталей. Особливо це стосується деталей, виготовлених при переплавлюванні брухту кольорових металів [1].

Для рафінування ливарних алюмінієвих розплавів від газів і неметалевих включень використовується багато методів: продування інертними газами, рафінування флюсами, вакуумування, намерзання, фільтрування тощо [2, 3]. Але з погляду на зручність, ефективність і економічність найбільш інтересними методами можна вважати продування газами та обробку спеціальними флюсами [4, 5]. Одним із найпоширеніших способів дегазації ливарних алюмінієвих розплавів є їх обробка хлористими солями цинку, титану, алюмінію, бору або марганцю [6]. Використання цих елементів пов'язане з реакціями утворення хлоридів алюмінію, які завдяки низькій температурі кипіння підіймаються у вигляді бульбашок на поверхню розплаву, захоплюючи розчинений у ньому водень і неметалеві вкраплення. Хоч рафінування хлористими і фтористими солями й дає відчутний ефект, але останнім часом їх використання обмежене, оскільки атмосфера цеху забруднюється високотоксичними хлоридами і фторидами, які погіршують екологію і потребують спеціального устаткування для їх уловлювання та утилізації [7].

Рафінування продуванням розплаву азотом не дістало широкого застосування через недостатній ступінь рафінування і утворення в розплаві шкідливих нітридів [6]. Продування хлором дає більший ефект дегазації, але призводить до корозії устаткування, істотних втрат металу при обробці і потребує значних витрат на побудову систем витяжки та очищення шкідливих продуктів дегазації [8].

Відомими також є методи рафінування за допомогою суміші азоту з хлором, азоту з фторвуглеводнями або хлорфторвуглеводнями та азо-

ту з сіркою [7]. Але вони мають певні недоліки: виділення в атмосферу токсичних речовин та висока тривалість їх обробки.

Щодо способу рафінування алюмінію і його сплавів обробкою розплаву вуглемісткими сполуками (фреоном, бензолом, керосином), то він потребує складного обладнання, має високу собівартість, підвищену вогнебезпечність та не забезпечує необхідного рівня механічних і експлуатаційних характеристик кінцевих відливок [9].

Обробка алюмінієвих розплавів гексахлоретаном (C_2Cl_6) теж має істотні недоліки через велику собівартість процесу обробки, незначне підвищення механічних властивостей виливків та викиди шкідливого хлору в атмосферу [9].

Існує ще один спосіб рафінування ливарних алюмінієвих сплавів за допомогою хлористого амонію (NH_4Cl), коли процес рафінування відбувається за рахунок бульбашок NH_3 і HCl , які утворюються всередині розплаву і, підіймаючись на поверхню, рафінують розплав від розчинених у ньому газів та неметалевих включень. Йому відповідає формула



Однак цей спосіб також не забезпечує необхідного рівня механічних і експлуатаційних властивостей кінцевих відливок, оскільки має високу собівартість і виділяє в атмосферу шкідливий хлористий водень [9].

Отже, названі способи рафінування алюмінієвих розплавів, хоч і дають можливість деякою мірою вирішити проблему дегазації металу, проте мають ряд істотних недоліків. Враховуючи все це, вважатимемо, що пошук ефективного, економічного і безпечного рафінатора ливарних алюмінієвих сплавів є актуальною задачею.

Постановка задачі

Мета даної статті полягає у визначенні дешевого, економічного і безпечного рафінатора ливарних алюмінієвих сплавів, дослідженні його впливу на властивості кінцевих сплавів і порівнянні з іншими відомими рафінаторами ливарних алюмінієвих сплавів.

Матеріали і методика проведення досліджень

Як дешевий рафінатор ливарних алюмінієвих сплавів запропоновано використовувати карбамід — речовину органічного походження, яка в нормальних умовах являє собою гранули

Таблиця 1. Хімічний склад алюмінію і ливарних алюмінієвих сплавів

Сплав	Склад сплавів, %								
	Al	Mg	Si	Mn	Cu	Ti	Fe	Zn	Ni
A7	Основа	0,01	0,35	0,02	0,02	0,02	0,46	0,06	0,01
AK5M2	“	0,85	4,50	0,27	2,40	0,05	0,81	1,10	0,06
AK7	“	0,20	6,90	0,23	0,49	0,05	0,45	0,05	0,03
AK12M2	“	0,05	12,20	0,30	1,82	0,24	0,69	0,10	0,15

білого кольору, а при температурах 350–450 °C розпадається з виділенням двооксиду вуглецю та аміаку згідно з реакцією [10]



При цьому вважається, що двооксид вуглецю і аміак, підіймаючись з глибини розплаву у вигляді бульбашок, будуть рафінувати розплав від розчинених у ньому газів і неметалевих включень, а також додатково перемішувати розплав, усереднюючи його температуру та хімічний склад.

Згідно з реакцією розпаду карбаміду (1), 1 моль карбаміду утворює 0,5 моля двооксиду вуглецю і 1 моль аміаку, тобто разом – 1,5 моля газів. Відомо, що 1 моль будь-якого газу за нормальних умов займає 22,4 дм³. Оскільки в молярній масі карбаміду міститься 60,1 г/моль, то в 1 кг карбаміду буде 16,6 моля речовини. Тому в результаті розпаду 1 кг карбаміду утвориться за нормальних умов $16,6 \cdot 1,5 \cdot 22,4 = 558$ дм³ газів. А у зв'язку з тим, що процес проходить при температурі не менше 700 °C, мінімальний об'єм газів, які будуть виділятися за законом Л. Гей-Люссака, становитиме 1431 дм³. Об'єм газів, які виділяються при розкладанні карбаміду, відповідає об'єму газів, виділених іншими рафінаторами.

У статті [11] було отримано результати залежності механічних властивостей алюмінієвих ливарних сплавів від кількості введенного в розплав карбаміду. Встановлено, що додавання в ливарні алюмінієві розплави 0,01–0,05 % карбаміду призводить до підвищення механічних властивостей ливарних алюмінієвих сплавів на 12–35 %, а відносного подовження – на 60–240 %. У даній статті продовжено вивчення питання використання карбаміду як ефективного рафінатора ливарних алюмінієвих сплавів.

У лабораторних умовах було проведено дослідження із з'ясування впливу обробки карбамідом на структуру і фізико-механічні властивості оброблених сплавів.

Алюміній і ливарні алюмінієві сплави розплавлялися в печі опору з чавунним тиглем

(ємністю 3 кг за алюмінієм), при температурах 710–730 °C оброблялись необхідною кількістю карбаміду і відливались проби в металеві форми. Внутрішня поверхня тигля для запобігання розчинення в розплавах заліза перед кожною плавкою покривалась фарбою на основі оксиду цинку. Дослідження хімічного складу, структури і механічних властивостей проводили згідно з ДСТУ 2839–94.

Хімічний склад алюмінію і ливарних алюмінієвих сплавів, які використовувалися в дослідженнях, наведено в табл. 1.

Результати досліджень

Обробка карбамідом розплавленого алюмінію і ливарних алюмінієвих розплавів значно подрібнює їх макроструктуру (рис. 1) та підвищує густину (рис. 2).

Додавання до ливарного алюмінієвого розплаву AK7 карбаміду призводить до зміни параметрів кристалізації (рис. 3). Температура кристалізації зменшується, що свідчить про протікання в процесі кристалізації прихованих процесів, пов'язаних з модифікуванням алюмінієвої матриці.

Отримані результати вказують на те, що обробка ливарних алюмінієвих розплавів 0,01–0,05 % карбаміду приводить до їх рафінування і модифікування, що позитивно впливає на механічні властивості кінцевих сплавів. Порівняно з іншими відомими технологіями обробки ливарних алюмінієвих сплавів з метою підвищення їх механічних властивостей технологія обробки карбамідом сприяє отриманню високих значень тимчасового опору розриву і максимальних значень відносного подовження (рис. 4).

Обробка розплаву AK5M2 призводить до істотного збільшення механічних властивостей порівняно з вихідним сплавом. Тимчасовий опір розриву збільшується на 25 %, а відносне подовження – у 2,1 раза.

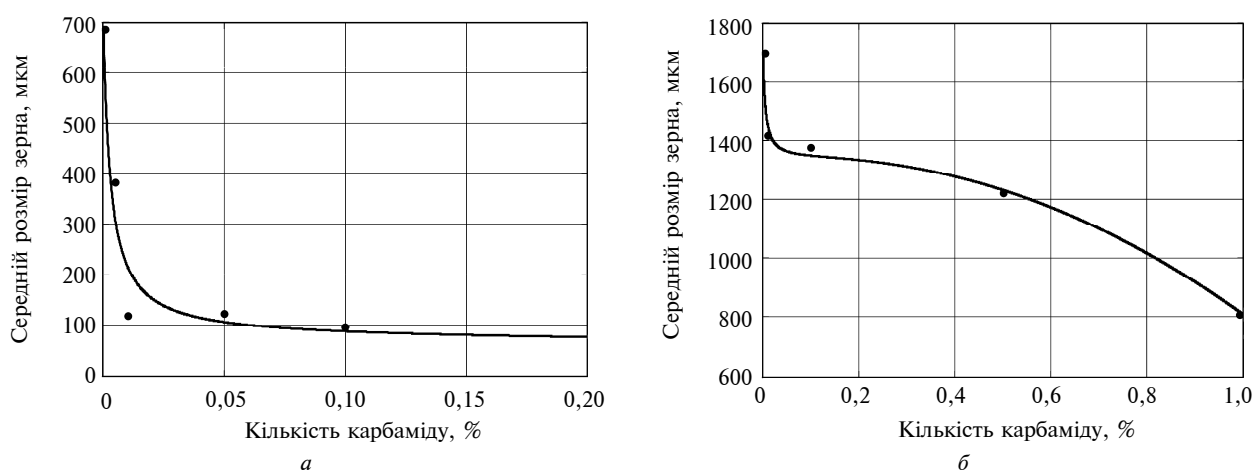


Рис. 1. Залежність середнього розміру зерна алюмінію А7 (а) і сплаву АК5М2 (б) від кількості введенного в розплав карбаміду

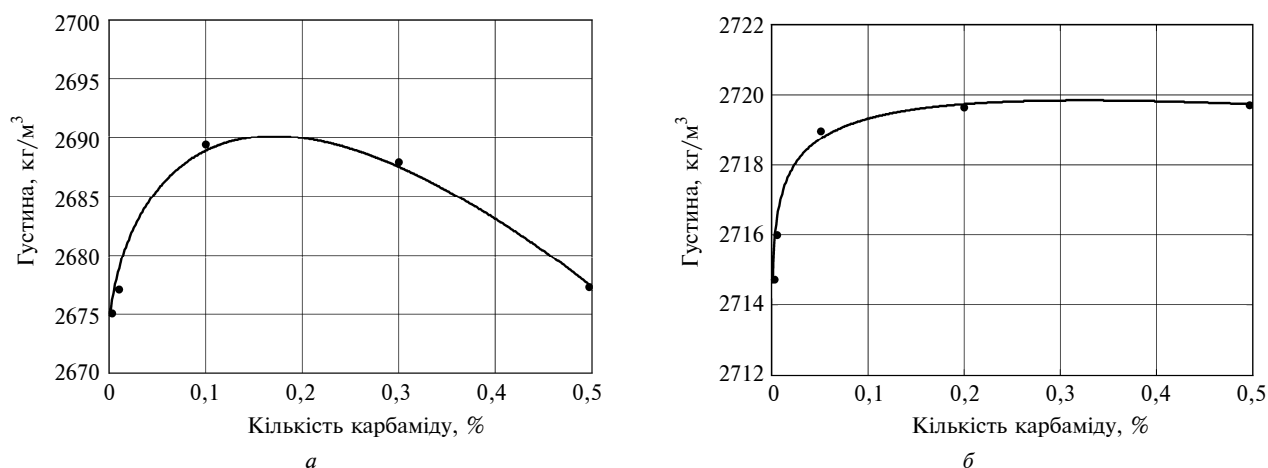


Рис. 2. Залежність густини алюмінію А7 (а) і сплаву АК5М2 (б) від кількості введенного в розплав карбаміду

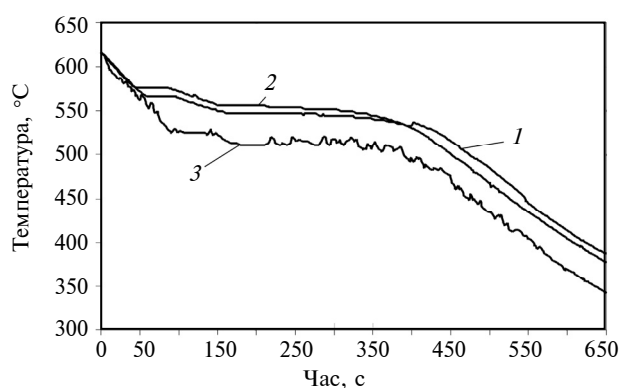


Рис. 3. Криві охолодження ливарного алюмінієвого сплаву АК7: 1 – без обробки; 2 – після обробки 0,01 % карбаміду; 3 – після обробки 1 % карбаміду

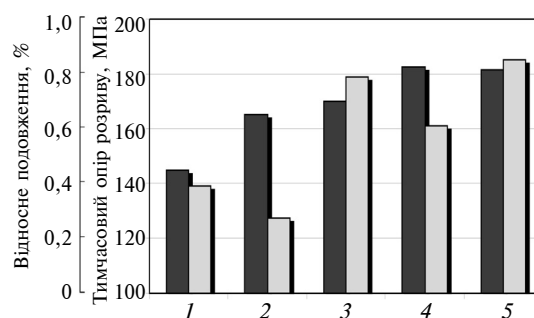


Рис. 4. Механічні властивості сплаву АК5М2 після обробки розплаву різними флюсами: 1 – без обробки; 2 – 1 % кріоліту; 3 – 2,5 % фтортитанату натрію з 1 % кріоліту; 4 – 1 % кріоліту з 1 % карбаміду; 5 – 0,01 % карбаміду; ■ – тимчасовий опір розриву; ■ – відносне подовження

Отримані результати впливу обробки карбамідом на алюміній і алюмінієві ливарні сплави дозволяють розглядати карбамід як високо-

ефективний рафінатор і модифікатор алюмінію та ливарних алюмінієвих сплавів, що дає змогу рекомендувати рафінування і модифікування

зручнішим, безпечнішим та економічно вигіднішим карбамідом. У табл. 2 наведено параметри деяких схожих з дією карбаміду відомих способів рафінування алюмінію та ливарних алюмінієвих сплавів, які сприяють збільшенню тимчасового опору розриву сплавів системи Al–Si–Cu на 10–30 % та відносне подовження в 1,1–1,5 раза.

Таблиця 2. Порівняльний аналіз рафіраторів алюмінієвих розплавів (маса розплаву 1000 кг)

Рафіратор	Вартість, грн/кг	Витрати, %	Вартість, грн/т
Фторид алюмінію	102,29	0,10	102,29
Хлорид алюмінію	100,47	0,10	100,47
Хлористий цинк	15,43	0,15	23,15
Гексахлоретан	532,57	0,02	106,51
Хлористий амоній	2,80	0,03	0,84
Карбамід	2,31	0,01	0,23

Найбільш економічно вигідними рафіраторами алюмінієвих розплавів є хлористий амоній і карбамід. Собівартість обробки цими елементами в кілька десятків разів менша за інші відомі способи. Але використання карбаміду є екологічно безпечнішим, бо на відміну від хлористого амонію карбамід виділяє замість хлориду водню двооксид вуглецю, який є безпечним і не викликає корозії устаткування.

Висновки

При обробці алюмінієвих розплавів карбамідом (до 0,05 %) відбуваються процеси рафінування рідкого металу від газів та шкідливих домішок. Один кілограм карбаміду виділяє 1431 дм³ двооксиду вуглецю та аміаку, які, пі-

діймаючись на поверхню розплаву у вигляді бульбашок, рафінують розплав, усереднюють температуру і хімічний склад. При цьому гази, що виділяються під час розпаду карбаміду (двооксид вуглецю і аміак) є більш безпечними для людей та устаткування, ніж гази, які виділяються при розпаданні існуючих рафіраторів алюмінієвих сплавів – гексахлоретану та хлористого амонію. Це дає можливість замінити дані рафіратори на більш безпечний та економічно вигідніший карбамід. Собівартість рафінування карбамідом 1000 кг алюмінієвого сплаву становить 0,20–0,60 грн (на листопад 2009 р.).

Під час обробки алюмінієвого розплаву карбамідом відбуваються процеси модифікування структури кінцевого сплаву. Середній розмір зерна алюмінію зменшується в 15 разів, а сплаву АК5М2 – у 2,1 раза.

Також при додаванні в алюміній 0,2 % карбаміду спостерігається збільшення густини на 0,6 %, а додавання такої ж кількості карбаміду до сплаву АК7 призводить до збільшення густини на 0,2 %. Збільшення густини алюмінію і алюмінієвих сплавів пов'язане з отриманням більш щільної структури за рахунок збільшення кількості зерен. Обробка карбамідом ливарних алюмінієвих сплавів покращує їх механічні та експлуатаційні властивості: тимчасовий опір розриву підвищується на 20–30 %, а відносне подовження – у 1,5–2,5 раза. Оптимальна кількість введенного карбаміду становить 0,01–0,03 % від маси розплаву в печі.

У майбутньому необхідно дослідити вплив обробки карбамідом на сплави інших систем, а також вивчити механізм і розробити математичну модель процесу рафінування карбамідом ливарних алюмінієвих сплавів.

В.Н. Рыбак, Д.Ф. Чернега

ТЕХНОЛОГИЯ РАФИНИРОВАНИЯ ЛИТЕЙНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Разработана технология рафинирования литейных алюминиевых сплавов от газов и неметаллических включений при помощи карбамида. Исследовано влияние карбамида на физико-механические свойства конечных сплавов и параметры кристаллизации. Проведен сравнительный анализ разработанной технологии с известными. Доказано, что обработка литейных алюминиевых

V.M. Rybak, D.F. Chernega

THE REFINEMENT TECHNOLOGY OF FOUNDRY ALUMINIUM ALLOYS

We develop the refinement technology of foundry aluminium alloys from gases and nonmetallic inclusions by means of carbamide. We study the influence of carbamide on physical and mechanical properties of final alloys and crystallization parameters. The comparative analysis of the developed technology with other technologies is conducted. Finally, we verify that processing of foundry alumi-

сплавов карбамидом позволяет улучшить физико-механические свойства конечных сплавов и уменьшить стоимость рафинирования.

nium alloys by carbamide allows enhancing physical and mechanical properties of final.

1. Москалев И.Н. Флюсы для приготовления вторичных алюминиевых сплавов на машиностроительном заводе // 36. матеріалів X Міжнар. техн. конф. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2003. – С. 196–199.
2. Верховский Ю.Т., Доценко Ю.В., Селивейстров В.Ю., Мазорчук В.Ф. Перспективные методы рафинирования литых и деформируемых алюминиевых сплавов // Там же. – С. 203–205.
3. Грабовый В.М., Крептюк Я.В., Федченко В.М. Улучшение качества алюминиевого сплава АК9ч в результате комплексной обработки // Процессы литья. – 2006. – № 3. – С. 31–36.
4. Ремизов Г.А., Готвянский Ю.Я. Технологические аспекты получения качественного алюминиевого литья // Там же. – 1997. – № 3. – С. 59–68.
5. Шустеров С.В., Шеметов Г.Ф. Разработка методов комплексного рафинирования и модифицирования алюминиевых сплавов // Литейное производство. – 2001. – № 6. – С. 15–16.
6. Колобнев И.Ф., Альтман М.Б. Газы в алюминиевых сплавах. – М.: ГИОП, 1948. – 126 с.
7. Задруцкий С.П., Немененок Б.М., Королев С.П. и др. О рафинировании и модифицировании алюминиевых сплавов // Литейное производство. – 2004. – № 3. – С. 17–19.
8. Найдек В.Л., Наривский А.В., Ганжа Н.С. Новые технологии рафинирования алюминиевых сплавов // Там же. – 2003. – № 9. – С. 8–10.
9. Коротков В.Г. Рафинирование литейных алюминиевых сплавов. – М.: МАШГИЗ, 1963. – 45 с.
10. Кучерявый В.И. Синтез и применение карбамида. – М.: Химия, 1970. – 448 с.
11. Чернега Д.Ф., Рибак В.М. Вплив карбаміду на структуру і властивості алюмінієвих сплавів // Наукові вісті НТУУ “КПІ”. – 2003. – № 3. – С. 82–85.

Рекомендована Радою
інженерно-фізичного факультету
НТУУ “КПІ”

Надійшла до редакції
26 листопада 2009 року