

УДК 669.715

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ НАНОМОДИФІКАТОРІВ ЛИВАРНИХ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ⁶

Цокур Н.І., аспірантка, Мороз Я.В., аспірант
ДНУ ім. Олеся Гончара

***Анотація.** Вивчено вплив модифікування дисперсними композиціями на зеренну структуру та механічні властивості промислових алюмінієвих сплавів. Алюмінієві сплави АЛ4, АЛ4С АК7ч модифікували дисперсним порошком В4С розміром часток до 200 нм. Розрахована кількість модифікатора для введення у розплав. Проведені плавки сплавів АЛ4, АЛ4С АК7ч у вихідному стані та з обробкою розплавів Mg₂Si. Встановлено залежності розміру частинок та кількості модифікатора на механічні властивості сплавів. Встановлено механізм взаємодії модифікатора з алюмінієвим розплавом під час кристалізації.*

***Ключові слова:** алюмінієвий сплав, структура, механічні властивості, дисперсний модифікатор.*

JUSTIFICATION OF THE CHOICE OF NANOMODIFIERS FOR FOUNDED ALUMINUM ALLOYS

Tsokur N.I., postgraduate, Moroz Ya. V., postgraduate
DNU named after Oles' Ghonchar

***Abstract.** The effect of modification with dispersed compositions on the grain structure and mechanical properties of industrial aluminum alloys was studied. Aluminum alloys AL4, AL4C AK7c were modified with dispersed B4C powder with a particle size of up to 200 nm. Calculated amount of modifier to be introduced into the melt. Smelting of AL4, AL4C, AK7c alloys in the initial state and with Mg₂Si melt processing was carried out. The dependence of the particle size and the amount of the modifier on the mechanical properties of the alloys was established. The mechanism of the interaction of the modifier with the aluminum melt during crystallization has been established.*

***Key words:** aluminum alloy, structure, mechanical properties, disperse modifier.*

Вступ

Створення дисперсних матеріалів безпосередньо пов'язано з розробкою і застосуванням нанотехнологій. На установках плазмохімічного синтезу можна отримувати широкий спектр нанодисперсних сполук, а саме: карбіди, нітриди, карбонітриди, силіциди різних елементів (Si, Al, Ti, V, Mo, W та ін.), а також нанодисперсні порошки чистих металів [2-4]. У вітчизняному машинобудуванні широко застосовують нержавіючі сталі, ливарні і деформовані алюмінієві та магнієві, титанові та нікелеві сплави. Для відповідальних деталей машинобудування можуть бути корисні перспективні напрямки з обробки наномодифікаторами сплавів різних систем ливання.

Аналіз публікацій

Модифікування дисперсними композиціями різних сплавів широко досліджувалося у наукових працях Большакова В.І., Сутугіна А.Г., Сабурова В.П., статтях та наукових роботах багатьох видатних вчених галузі матеріалознавства [1,3,8]. Дослідження модифікування дис-

⁶ Науковий керівник проф., д.т.н. Калініна Н.Є.

персними композиціями алюмінієвих сплавів є продовженням робіт, пов'язаних з даною тематикою. В роботах [6,7] наведено існуючі способи модифікування сплавів різними видами композицій. Але відсутні данні з використання модифікаторів у нанодисперсному стані.

Мета і постановка задачі

Метою роботи є встановити вплив модифікування дисперсними композиціями на структуроутворення та механічні властивості алюмінієвих сплавів. Задачі досліджень провести дослідно-промислові плавки алюмінієвих сплавів. Дослідити структуру та механічні властивості сплавів у литому стані до і після модифікування.

Основний матеріал досліджень

Матеріалом дослідження є алюмінієві сплави АЛ4, АЛ4С, АК7ч. Дисперсний Mg_2Si отримано методом плазмохімічного синтезу. Проведені дослідно-промислові плавки алюмінієвих сплавів. Досліджено структуру та механічні властивості сплавів у литому стані. Хімічний склад сплавів наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 — Хімічний склад сплавів АЛ4, АЛ4С, АК7ч, %

Сплав	Al	Si	Mg	Mn	Sb	Fe
АЛ4	ОСНОВА	9,2	0,3	0,3	—	1,0
АЛ4С		9,2	0,3	0,3	0,18	0,9
АК7ч		6-8	0,2-0,4	до 0,5	—	до 1,5

З урахуванням принципу про кристалографічну і розмірну відповідність ізоморфності кристалічних решіток алюмінію і тугоплавких сполук встановили, що модифікаторами алюмінієвих сплавів можуть бути карбіди кремнію, ніобію і бору, а також карбіди і нітриди титану, цирконію. Як ефективний модифікатор ливарних алюмінієвих сплавів запропоновано дисперсний порошок Mg_2Si розміром часток до 200 нм, який отримано методом високотемпературного плазмохімічного синтезу.

Дія нерозчинних додатків, ізоморфних до алюмінію, аналогічність впливу розчинних елементів дотримується лише тоді, коли кількість нерозчинного додатку перевищує кількість кристалів, що утворилися довільно за тих самих умов [5]. Таким чином, зі збільшенням кількості нерозчинного додатку, зокрема частинок Mg_2Si , розмір зерна спочатку зменшується, а потім буде постійним.

Механізм впливу дисперсних частинок Mg_2Si на формування структури доєвтектичних алюмінієвих сплавів під час кристалізації полягає в тому, що основна їх маса виштовхується фронтом кристалізації в рідку фазу і бере участь у подрібненні структурних складових сплаву [6].

На механічні властивості алюмінієвих сплавів суттєво впливають розміри частинок зміцнювальної фази [8]. Промислові експерименти з застосуванням дисперсних частинок у широкому діапазоні розмірів 10...20; 30...40; 50...60 і 90...200 нм виявили, що зі зменшенням розмірів частинок до 100 нм межа міцності сплаву АЛ4 зростає з 110 до 260 МПа. Мікроструктура сплаву АЛ4 до і після модифікування приведено на рисунку 1.

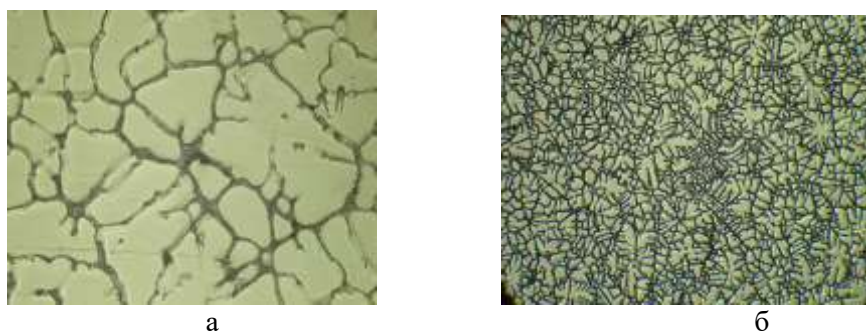


Рис. 1. Мікроструктура сплаву АЛ4, а – до модифікування, б – після модифікування $\times 100$

У вихідному стані виявлено крупнозеренну структуру з середньою площею $15,6 \text{ мм}^2$. Після модифікування досягнуто подрібнення зерна до $7,6 \text{ мм}^2$.

Для визначення оптимальної кількості модифікатора виконали промислові плавки та випробування зразків, що пройшли термічну обробку за режимом Т6 (гартування і штучне старіння).

Подальше збільшення кількості модифікатора від 0,10 до 0,25% в сплаві АЛ4 суттєво не впливає на механічні властивості, а за вмісту більше 0,25% незначно знижується параметр σ_B . Незначне зниження межі плинності сплаву АЛ4 спостерігали під час введення більше 0,1 мас. % модифікатора Mg_2Si .

Таким чином, механічні характеристики ливарного алюмінієвого сплаву АЛ4 значно підвищуються за рахунок введення у розплав 0,1 мас. % нанодисперсних частинок. Досягнуто наступний рівень властивостей сплавів: σ_B – 260 МПа, δ – 7,2 %, що на 10 % вище показників міцності та на 8,2% вище показника пластичності сплавів у вихідному стані.

Якість ливарних алюмінієвих сплавів під час модифікування залежить від багатьох чинників: природи дисперсної фази, температури розплаву, режимів його перемішування під час введення частинок. Під час вивчення впливу температури на ступінь засвоєння тугоплавких частинок Mg_2Si встановлено, що за певної для даного розплаву температури спостерігається максимум їх засвоєння. Характерною особливістю результатів досліджень, виконаних з різними тугоплавкими композиціями в алюмінієвих сплавах, є досягнення максимуму засвоєння частинок за нижнього значення температури розплавів.

Висновки

Вивчено фізико-хімічні властивості дисперсного модифікатора. Проведено промислові плавки ливарних сплавів АЛ4, АЛ4С, АК7ч у вихідному стані та з обробкою розплавів порошковим модифікатором. Встановлено механізм взаємодії дисперсного модифікатора з алюмінієвим розплавом під час кристалізації. В результаті дослідження досягнуто значне подрібнення зеренної структури модифікованих сплавів. Встановлено залежності розміру часток та кількості модифікатора на механічні властивості ливарних алюмінієвих сплавів. Досягнуто наступний рівень властивостей сплавів: σ_B – 260 МПа, δ – 7,2%, що на 10% вище показників міцності та на 8,2% вище показника пластичності сплавів у вихідному стані.

Література

1. Большаков В.І., Куцова В.З., Котова Т.В. Наноматеріали і нанотехнології. – Дніпропетровськ : ПДАБА, 2016. – 220 с.
2. Калініна Н.Є., Никифорчин Г.М., Калінін О.В. та ін. Структура, властивості та використання конструкційних наноматеріалів: Монографія – Львів: Простір. – 2017. – 304 с.
3. Солнцев Ю.П., С.Б. Беліков, І.П. Волчок, С.П. Шейко. Спеціальні конструкційні матеріали. Запоріжжя: «ВАЛПС-ПОЛІГРАФ». 2010. 536 с.

4. Кузін О.А., Яцюк Р.А. Металознавство та термічна обробка металів: Підручник – Львів: Афіша, 2002. – 304 с.
5. Алюміній та сплави на його основі // В.З. Куцова, Н.Е. Погребна, Т.С. Хохлова та ін. – Дніпропетровськ: Пороги. 2004. – 136 с.
6. Young- Domd K., Zin-Hyoung L. The effect of grain refining and oxide inclusion on the fluidity of AL-4,5Cu-0,6Mn and A356 alloys // Mater. Sci. and Eng. – 2003. - №12. – P. 372-376.