

УДК: 669.017.25 - 034.715

Високоміцні евтектичні сплави потрійної системи Al – Si – Mg, леговані цинком та міддю

Н. П. Коржова, кандидат технічних наук

Т. М. Легка*, кандидат фізико-математичних наук

Н. М. Мордовець, кандидат фізико-математичних наук

В. І. Ничипоренко*

Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України, Київ

*Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України, Київ

Досліджено вплив легування цинком та міддю евтектичних ливарних сплавів (α -Al + Mg₂Si) потрійної системи Al – Si – Mg на формування високих механічних властивостей. Визначено співвідношення елементів, введення яких дозволяє після загартування та наступного старіння отримати характеристики міцності на рівні: $\sigma_{\text{в}} = 390 - 500$ МПа, $\sigma_{\text{т}} = 310 - 430$ МПа.

Розробка високоміцних ливарних сплавів алюмінію є актуальною задачею останнього десятиріччя. Як відомо, найкращі ливарні властивості мають сплави з достатньо великою часткою евтектичної складової [1]. Серед промислових сплавів – це сплави на базі алюмінієво-силіцієвої евтектики, міцність яких ($\sigma_{\text{в}} \leq 400$ МПа) часто не відповідає вимогам сучасної техніки. З іншого боку, найбільш міцні сплави систем Al – Zn – Mg – Cu та Al – Cu мають великий інтервал кристалізації і, як наслідок, характеризуються низькими технологічними властивостями [2]. Отже актуальними є дослідження, присвячені розробці нових ливарних сплавів алюмінію, які мають хорошу комбінацію механічних та ливарних властивостей. Аналіз літературних даних свідчить, що перспективним з цієї точки зору є конструювання сплавів на основі потрійної системи Al – Mg – Si, характер фазових рівноваг в якій дозволяє регулювати кількість магнію в твердому розчині на основі алюмінію та забезпечити можливість легування перехідними металами, цинком та міддю.

Метою даної роботи було вивчення впливу основних легуючих елементів (цинк, мідь) на механічні властивості евтектичних (α -Al + Mg₂Si) сплавів потрійної системи Al – Si – Mg.

В якості основи для розробки ливарних сплавів алюмінію з підвищеними характеристиками міцності обрано двофазний сплав потрійної системи Al – Si – Mg (Si – 3 %, Mg – 9 %, решта – Al, % по масі) з достатньою об'ємною долею евтектики α -Al + Mg₂Si (рис. 1 а) [3]. Для реалізації механізмів твердо-розчинного та дисперсійного зміцнення цей

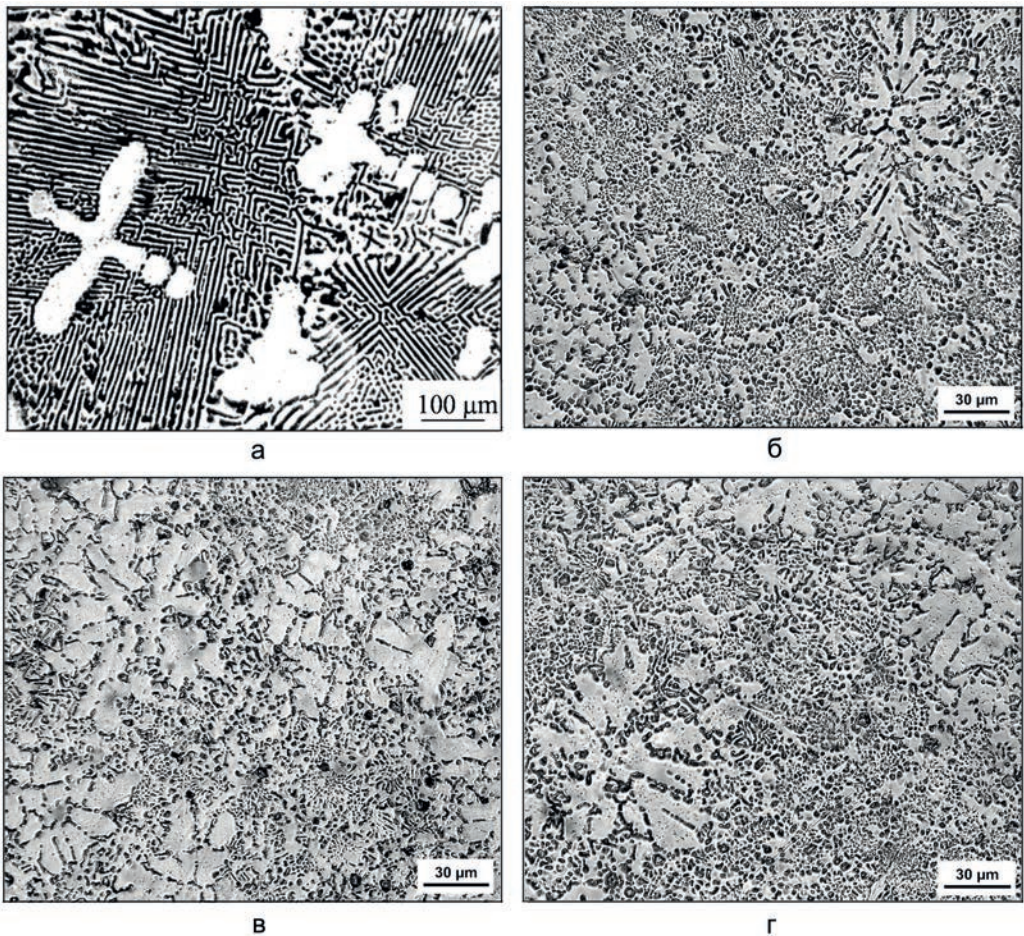


Рис. 1. Мікроструктура (а-Al+Mg₂Si) сплавів. а – базовий сплав, виливниця діаметром 25 мм. Леговані сплави, що містять 6,0 % Zn та Cu: б – Cu – 0 %, в – 0,5 %, г – 1,0 %. Термічна обробка за режимом гартування та наступне старіння, треф-வில்ливница.

сплав легували хромом, титаном, марганцем, скандієм та цирконієм у кількостях, які не призводять до суттєвого розширення інтервалу кристалізації та утворення потрійних евтектик.

Оскільки цей сплав містить надлишок магнію в твердому розчині α -алюмінію (~ 0,9 ат. %), додатково його можна зміцнити частинками фаз, які будуть виділятися після термічної обробки за режимом гартування та наступне старіння. З цією метою в сплав додатково вводили (% по масі) Zn (5,0 – 9,0) та Cu (0,8 – 2,0). Відповідно літературним даним в цьому випадку можна говорити про утворення в матриці α -алюмінію частинок η -фази (MgZn₂), в якій частково розчиняється мідь [4].

Виплавку зливоків здійснювали у електропечі опору з чистих шихтових матеріалів (алюмінію, цинку, магнію) і лігатур (% по масі): Al – 10Si, Al – 30Cu, Al – 4Mn, Al – 3Cr, Al – 5Ti, Al – 4Zr, Al – 2Sc. У результаті спеціального дослідження визначено температурно-часові параметри плавки: температура плавки 710 – 750 °С, температура розливу 700 – 730 °С.

З метою створення на поверхні розплаву хімічно пасивного шару в якості флюсу використовували суміш солей LiF и CaF (кількість флюсу, який вводили у сплав, складала 2 % від ваги зливка).

Задля отримання зливоків без пор та зменшення витрат шихтових матеріалів використовували роз'ємну мідну трэф-вилівницю. За результатами металографічного аналізу мікроструктура в поперечному перерізі зливоків, отриманих при розливанні у нагріту до 150 °С трэф-вилівницю, була однорідною та мала мінімальну зону стовпчастих кристалів.

Після виплавки і термічної обробки зливоків (за режимом Т6: гартування у воду після витримки при температурі 440 °С протягом однієї години та старіння при температурі 120 °С протягом 20 годин) вивчали їх мікроструктуру, вимірювали твердість та проводили механічні випробування на розтяг.

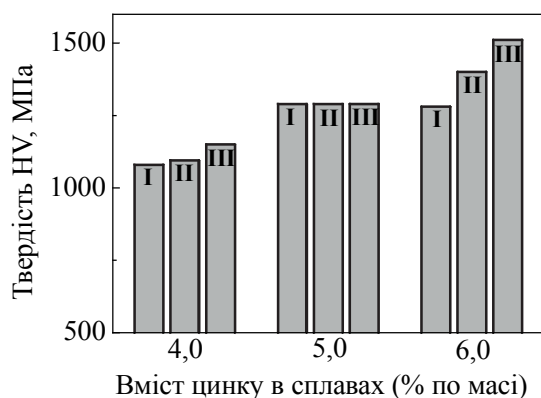


Рис. 2. Залежність твердості евтектичних сплавів α -Al + Mg₂Si від вмісту цинку (вміст міді: I – 0 %; II – 0,5 %; III – 1,0 %).

дослідження механічних властивостей цієї групи наведено на рис. 1 б – г. Це типові доевтектичні сплави, пластично-волокниста евтектика яких коагулювала в результаті термічної обробки.

Наведені залежності механічних властивостей сплавів цієї групи від вмісту міді свідчать про наявність максимумів міцності та пластичності при вмісті міді 0,5 %. Ускладнення системи легування базового сплаву сприяє підвищенню характеристик міцності σ_b / σ_T від 293/143 МПа базового сплаву 1 до 387/314 МПа складно-легованого сплаву 3, який додатково містить цинк та мідь (рис. 4).

Вибір оптимального з точки зору міцності співвідношення основних легуючих елементів проводили на основі вимірювання твердості. Результати вимірювань показали, що підвищення вмісту цинку від 4,0 до 6,0 % приводить до зростання твердості, а залежність від вмісту міді має більш складний характер (рис. 2).

Найбільшою твердістю характеризується група сплавів, які містять (% по масі) 6,0 цинку та (0,5 – 1,0) міді. Ця група була відібрана для більш детального

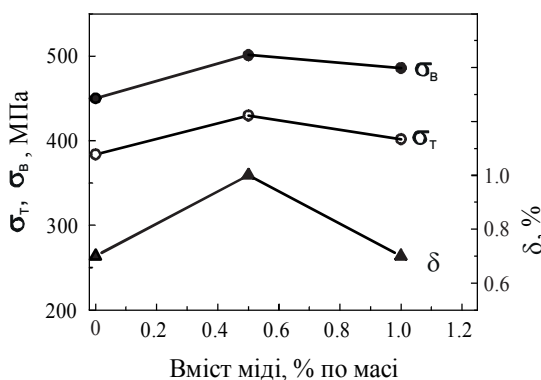


Рис. 3. Вплив міді на механічні властивості комплексно легуваного сплаву α -Al + Mg₂Si, який містить 6 % цинку.

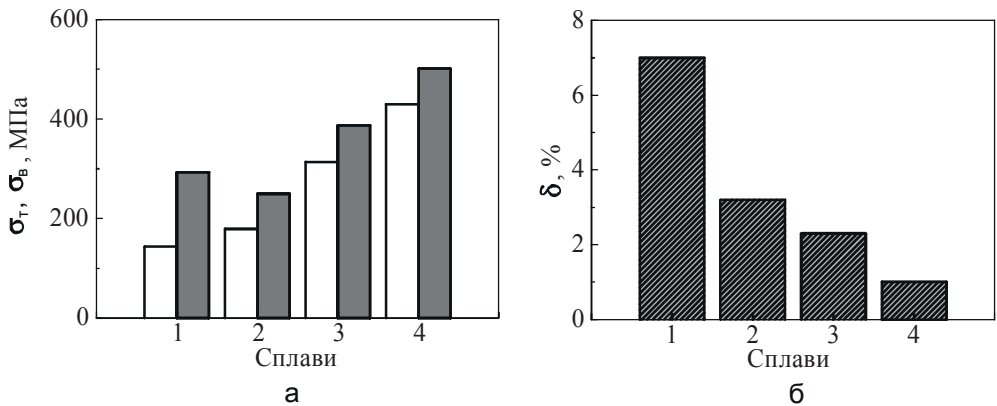


Рис. 4. Вплив легування на механічні властивості сплавів. а – $\sigma_{\text{в}}$ ■, $\sigma_{\text{т}}$ □, б – δ . 1 – базовий сплав, 2 – сплав 1 + хром, марганець, титан, 3 – сплав 2 + цинк, мідь, 4 – сплав 3 + скандій.

Було вивчено можливість додаткового зміцнення наведених вище сплавів скандієм. Для цього у сплав 3 було введено 0,2 % по масі скандію. Результати (рис. 4, сплав 4) показали збільшення міцності $\sigma_{\text{в}}/\sigma_{\text{т}}$ до 500/430 МПа при деякому зниженні пластичності (1,0 %). Такий ефект може бути обумовлений додатковим дисперсійним зміцненням частинками $\text{Al}_3(\text{Sc}_{1-x}\text{Zr}_x)$ фази, яка виділяється в процесі термічної обробки [5]. Подальший резерв покращення механічних характеристик слід шукати в оптимізації режимів термічної обробки.

Результати досліджень дозволяють зробити висновок, що легування евтектичних сплавів $\alpha\text{-Al} + \text{Mg}_2\text{Si}$ потрібної системи Al – Si – Mg цинком до 6,0 %, міддю до 1,0 % та скандієм забезпечує високу міцність: $\sigma_{\text{в}} = 390 - 500$ МПа, $\sigma_{\text{т}} = 310 - 430$ МПа. Розроблені складнолеговані евтектичні сплави перевищують найбільш відомий серед силумінів сплав АК8МЗч за міцністю приблизно до 27 % [1] і можуть бути рекомендовані для виготовлення литих деталей складної форми для роботи в умовах підвищених навантажень, зокрема, корпусів двигунів.

Література

1. Zolotarevsky V. S., Belov N. A., Glazoff M. V. Casting aluminium alloys. – Elsevier, 2007. – 530 p.
2. Белов Н. А. Новые Al-сплавы для внедрения на предприятиях Базового элемента //Круглый стол «Организация производства алюминиевых сплавов с высокой добавленной стоимостью на заводах РУСАЛа». – Москва: Марриотт Гранд, 2012. – 46 с.
3. Легкая Т. Н., Барабаш О. М., Мильман Ю. В. Физические основы разработки нового класса литейных сплавов алюминия // Металлофизика и новейшие технологии. – 2009. – 31, 4. – С. 545 – 552.

4. Мондольфо Л. Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов. – М.: Металлургия, 1979. – 639 с.
5. Milman Yu. V. Scandium-effect on increasing mechanical properties of aluminum alloys // High Temperature Materials and Processes. – 2006. – 25, 1 – 2. – P. 1 – 10.

Одержано 07.04.15

Н. П. Коржова, Т. Н. Легкая, Н. М. Мордовец, В. И. Ничипоренко

**Высокопрочные эвтектические сплавы тройной системы
Al – Si – Mg, легированные цинком и медью**

Резюме

Исследовано влияние легирования цинком и медью эвтектических литейных сплавов α -Al + Mg₂Si тройной системы Al – Si – Mg на формирование высоких механических свойств. Определено соотношение элементов, введение которых позволяет после закалки и последующего старения получить характеристики прочности на уровне: $\sigma_B = 390 - 500$ МПа, $\sigma_T = 310 - 430$ МПа.

N. P. Korzhova, T. M. Legka, N. M. Mordovets, V. I. Nichiporenko

**High-strength eutectic alloys of the ternary Al – Si – Mg system,
alloyed by zinc and copper**

Summary

The influence of alloying by zinc and copper of the eutectic α -Al + Mg₂Si casting alloys of the ternary Al – Si – Mg system on the formation of high mechanical properties has been investigated. There was determined a proportion of elements, introduction of which allows one to obtain after quenching and artificial ageing strength characteristics at the level of: $\sigma_B = 390 - 500$ MPa, $\sigma_T = 310 - 430$ MPa.