

УДК 621.74

ОСОБЛИВОСТІ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ, ОТРИМНИХ ІЗ ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ

О. Л. Скуйбіда

Запорізький національний технічний університет

Відомі сьогодні технології виготовлення сплавів з вторинної алюмінієвої сировини потребують удосконалення. Одним з можливих способів підвищення якості вторинних силумінів є використання термічної обробки. В зв'язку з цим досліджували фазовий склад, структуру та механічні властивості сплаву АК8МЗ, виготовленого з лому та відходів. Згідно з отриманими результатами при виборі часових параметрів термічної обробки необхідно враховувати вміст домішок у складі сплаву, зокрема концентрацію заліза

Известные сегодня технологии производства сплавов из вторичного алюминиевого сырья требуют усовершенствования. Одним из возможных способов повышения качества вторичных силуминов является использование термической обработки. В связи с этим исследовали фазовый состав, структуру и механические свойства сплава АК8МЗ, изготовленного из лома и отходов. Согласно полученным результатам при выборе временных параметров термической обработки необходимо учитывать содержание вредных примесей в составе сплава, в частности концентрацию железа

Known today technologies of production of alloys from secondary aluminium materials need to be improved. Use of heat treatment is one of the possible ways to increase the quality of secondary silumins. Thereby phase composition, structure and mechanical properties of the alloy АК8МЗ, obtained from scrape and waste, were investigated. According to the results when selecting temporal parameters of heat treatment harmful impurities in the alloy composition, in particular iron concentration should be considered

Вступ

Широке впровадження вторинних алюмінієвих сплавів обмежується їх підвищеною газонасиченістю, неоднорідністю та крупнозернистістю структури, широким інтервалом вмісту основних компонентів і металевих

домішок, зокрема, заліза, що негативно позначається на механічних та експлуатаційних властивостях виливків.

Резервом покращення якості вторинних силумінів, як і інших сплавів, може виступати термічна обробка, проте цьому питанню дослідниками та виробниками алюмінієвих сплавів увага практично не приділяється. Різниця в хімічному складі та структурі первинних і вторинних Al-Si сплавів обумовлює необхідність удосконалення стандартних режимів термічної обробки, які застосовуються в металургійній та машинобудівній практиках.

Постановка задач дослідження

Термічна обробка силумінів, як правило, полягає в гартуванні та старінні, варіювання температури і часу витримки яких дозволяє змінювати фазовий склад, морфологічні параметри структурних складових та, відповідно, механічні і технологічні властивості сплавів в заданому напрямку. ДСТУ 2839-94 передбачає використання однакових режимів термічної обробки (Т1-Т8) для алюмінієвих сплавів, виготовлених як з первинної, так і з вторинної сировини. Слід відзначити, що за даним стандартом допускається використання великого діапазону часу витримки при гартуванні та старінні; при цьому відсутні будь-які відомості, що пояснювали б такі широкі часові інтервали термічної обробки. З одного боку застосування тривалих витримок є економічно недоцільним, тому що при цьому суттєво збільшується собівартість продукції. З іншого боку, при проведенні термічної обробки необхідно враховувати особливості структури, оскільки викликає значні сумніви той факт, що збільшення кількості інтерметалідних фаз зі збільшенням вмісту заліза в сплаві не чинить ніякого впливу на процеси дифузії та швидкість фазових перетворень [1].

В літературних джерелах [2-7] ми виявили лише поодинокі та, до того ж, суперечливі відомості щодо впливу термічної обробки на розмір і морфологію фаз на основі заліза. Тому значний інтерес викликає перебіг процесів, що відбуваються при гартуванні та старінні за підвищеної кількості заліза в алюмінієвих сплавах. В зв'язку з цим, задачею досліджень було вивчення комплексний вплив вмісту заліза, часу витримки при гартуванні та часу витримки при старінні на структуру та властивості вторинного силуміну АК8МЗ.

Методика проведення експериментів

Дослідження проводили відповідно до рототабельного плану багатофакторного експерименту другого порядку 2^3 (табл. 1). Як незалежні змінні приймали вміст заліза в сплаві Fe, час витримки під гартування τ_r та час витримки при старінні $\tau_{ст}$.

Таблиця 1 Матриця планування експерименту другого порядку

№ складу сплаву	Масова частка заліза, %		τ_r , год	$\tau_{ст}$, год
	розрахункова	фактична		
1	0,65	0,66	3,0	2,8
2	1,05	1,06	3,0	2,8
3	0,65	0,63	9,0	2,8
4	1,05	1,06	9,0	2,8
5	0,65	0,65	3,0	11,2
6	1,05	1,05	3,0	11,2
7	0,65	0,66	9,0	11,2
8	1,05	1,05	9,0	11,2
9	0,51	0,53	6,0	7,0
10	1,19	1,23	6,0	7,0
11	0,85	0,80	1,0	7,0
12	0,85	0,81	11,0	7,0
13	0,85	0,9	6,0	0
14	0,85	0,85	6,0	14,0
15	0,85	0,85	6,0	7,0

Примітка. Варіанти 1...8 – план матриці 2^3 ; 9, 10 – зіркові точки; 11...15 – точки центра плану (нульовий рівень варіювання)

Використовували сплав АК8МЗ наступного хімічного складу: 8,49...8,51 % Si, 3,09...3,11 % Cu; 0,99...1,0 % Zn; 0,63...1,23 % Fe; 0,4 % Ni; 0,32 % Mn; 0,08 % Mg; 0,09 % Ti, решта Al. Значний інтервал вмісту заліза в сплаві обумовлений тим, що його добавки вводили в різних кількостях відповідно до плану експерименту, а концентрація інших елементів залишалася на постійному рівні.

Результати досліджень

В першу чергу для розуміння сутності процесу термічної обробки вторинних алюмінієвих сплавів з підвищеним вмістом заліза необхідно вивчити перебіг процесів гартування та старіння в сплавах, які відповідають точкам центру плану, тобто вивчити вплив часових параметрів τ_r та $\tau_{ст}$ на структуру та властивості матеріалу.

Результати фазового рентгеноструктурного аналізу зразків із силуміну АК8МЗ після термічної обробки в точках центру плану подано на рисунку 1. Після витримки під гартування протягом 1 год та подальшого штучного старіння в структурі сплаву присутні інтерметалідні фази Al_2Cu та $Al_{15}(FeMn)_3Si_2$.

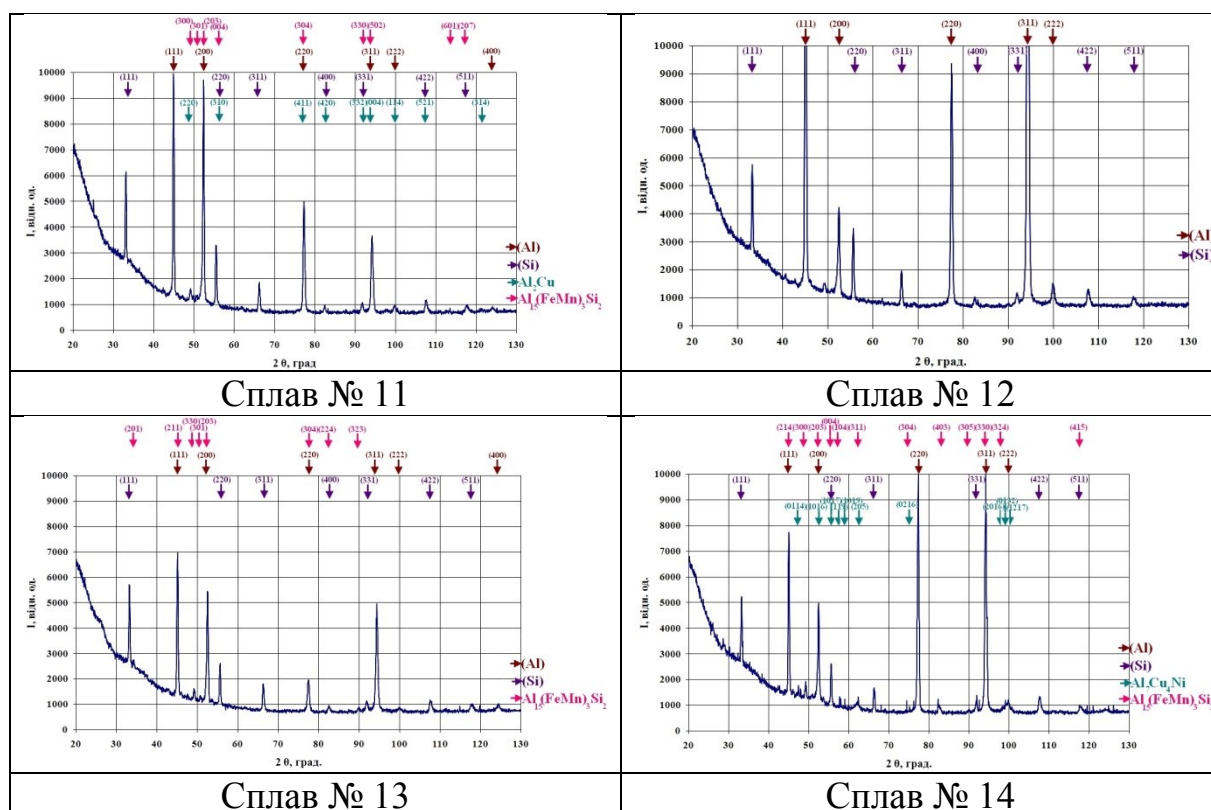


Рис. 1 Дифрактограми сплаву АК8МЗ після різних варіантів термічної обробки відповідно до табл. 1

Зі збільшенням часу гартування зміцнювальні фази в структурі не ідентифікуються, що пов'язано зі зменшенням їх кількості та низькою чутливістю методу рентгеноструктурного аналізу. В структурі сплаву № 13 присутні (Al), (Si) та фаза $\text{Al}_{15}(\text{FeMn})_3\text{Si}_2$. При застосуванні штучного старіння фазовий склад сплаву відповідає (Al), (Si), $\text{Al}_{15}(\text{FeMn})_3\text{Si}_2$ та $\text{Al}_7\text{Cu}_4\text{Ni}$, що узгоджуються з результатами мікрорентгеноспектрального аналізу.

Результати вимірювання параметру кристалічної ґратки алюмінієвого твердого розчину в сплаві АК8МЗ в залежності від режиму термічної обробки подано на рисунку 2. Зменшення параметру ГЦК- ґратки (Al)-матриці при гартуванні пов'язано з переходом в твердий розчин атомів легувальних елементів, в першу чергу кремнію та міді, радіуси атома яких є меншими за радіус атома алюмінію (0,117 нм та 0,127 нм в порівнянні із 0,143 нм відповідно) з утворенням твердих розчинів заміщення. Виділення надлишкових фаз при старінні супроводжувалось збільшенням параметру ґратки (Al)-твердого розчину.

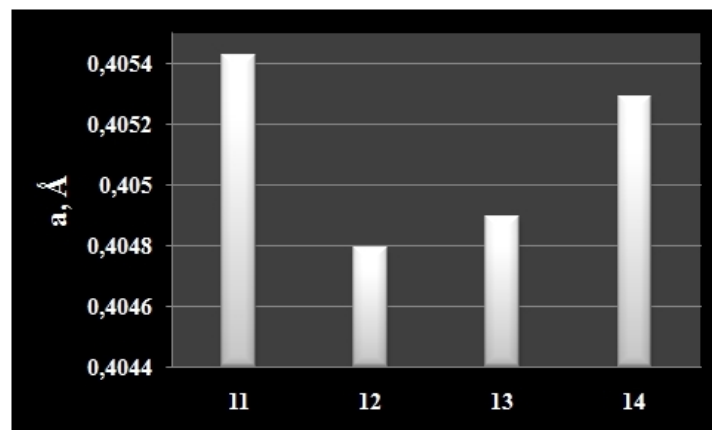


Рис. 2 Параметр кристалічної ґратки алюмінієвого твердого розчину в сплаві АК8МЗ

Мікроструктуру металу за різними варіантами термічної обробки та з різним вмістом заліза в сплаві подано на рисунку 3. Виділення евтектичного кремнію сплаву № 11 мали вигляд довгих витягнутих пластин, які відігравали роль концентраторів напружень в матеріалі. Частинки фази $\text{Al}_{15}(\text{FeMn})_3\text{Si}_2$ нерівномірно розподілялись за перетином мікрошліфа. Після термічної обробки сплаву №12 евтектика набула сильного подрібнення та фрагментації. Залізовмісні інтерметаліди мали пластивчастий вигляд, були присутніми у невеликій кількості та формували скупчення в окремих ділянках шліфа.

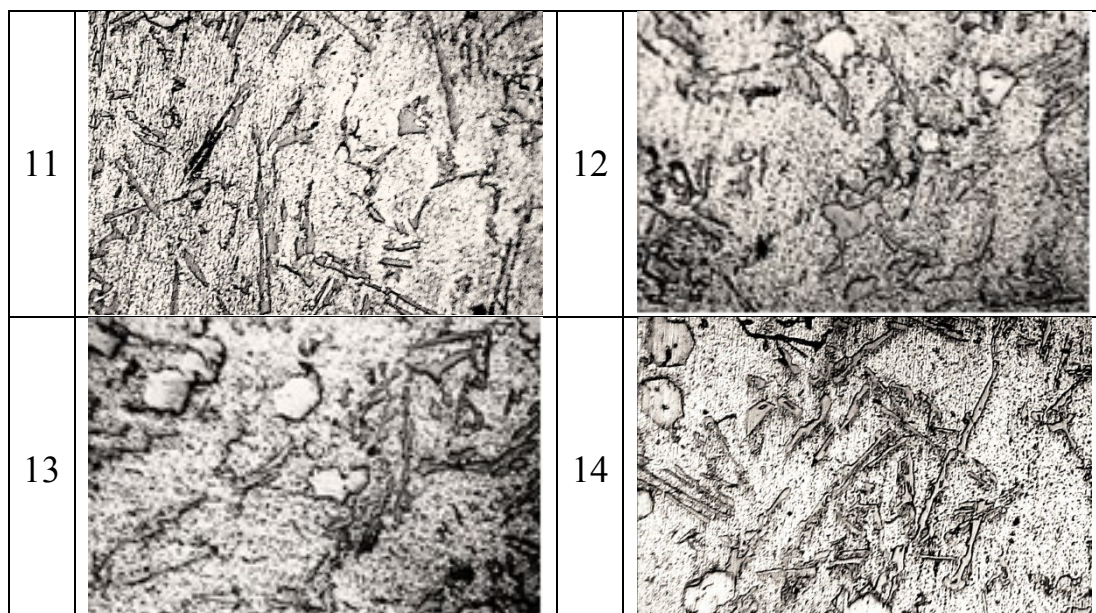


Рис. 3 Мікроструктура зразків зі сплаву АК8МЗ після обробки за режимами відповідно до матриці планування експерименту (x200)

Виділення евтектичного кремнію в структурі сплаву № 13 були грубими, проте протяжність частинок була порівняно невисокою. Залізовмісна фаза $Al_{15}(FeMn)_3Si_2$ зустрічалась у вигляді невеликих за розміром розгалужених кристалів та скупчень глобулярних частинок. Розмір структурних складових та їх розподіл були нерівномірні за перетином шліфа. Частинки евтектичного кремнію сплаву № 14 мали великі розміри та нечітку огранку. Фаза $Al_{15}(FeMn)_3Si_2$ концентрувалась на певних ділянках шліфа та мала шестигранну форму. Структурні зміни під впливом гартування та старіння відобразились на значеннях показників механічних властивостей (таблиця 2).

Таблиця 2 Механічні властивості експериментальних сплавів

№	Fe , % мас.	τ_z , год	τ_{cm} , год	$HV_{(Al)}$, МН/м ²	HB	σ_s^p , МПа	σ_s^{cm} , МПа	δ , %	ε , %	KC , МДж/м ²
11	0,85	1	7,0	918	136,0	195,8	636,5	1,37	37,70	0,28
12	0,85	11	7,0	1080	142,0	236,3	627,0	1,45	39,60	0,34
13	0,85	6	0	1110	131,0	208,9	691,8	1,74	47,60	0,37
14	0,85	6	14,0	957	137,0	262,6	667,7	1,17	37,30	0,23

Висновки

Результати досліджень показали, що для вирівнювання концентрації елементів в структурі силумінів, виготовлених з лому та відходів виробництва, а також повного перебігу дифузійних процесів необхідно збільшення часу витримки при термічній обробці, що пов'язано з підвищеним вмістом заліза та, відповідно, значною кількістю інтерметалідів на його основі. Вплив останніх вірогідно пов'язаний з тим, що коефіцієнт дифузії заліза майже вдвічі менший за коефіцієнти дифузії основних легувальних елементів. Зокрема, при 500 °С коефіцієнт дифузії магнію в алюмінії складає $2 \cdot 10^{-9}$ см²/с, міді – $2,8 \cdot 10^{-10}$ см²/с, цинку – 10^{-9} см²/с, марганцю – 10^{-11} см²/с та заліза – 10^{-17} см²/с.

Література

1. Исследование наследственного влияние структуры шихты и перегрева расплава на структуру силуминов [Текст] / Ли Пъиззе, В.И. Никитин, К.В. Никитин и др. // Литейное производство. – 2001. – № 5. – С. 15-16.
2. Силумины. Атлас микроструктур и фрактограмм промышленных сплавов : справ. изд. [Текст] / А.Г. Пригунова, Н.А. Белов, Ю.Н. Таран и др.. – М.: •МИСИС•, 1996. – 175 с.
3. Золотаревский, В.С. Металловедение литейных алюминиевых сплавов [Текст] / В.С. Золотаревский, Н.А. Белов. – М.: МИСИС, 2005. – 376 с.

4. Mityayev, A. The role of intermetallic phases in fracture of aluminium alloys [Текст] / A. Mityayev, S. Belikov, K. Loza // Problems of modern techniques in engineering and education 2009. – Cracow, 2009. – P. 59-66.213.

5. Влияние температурной обработки и электрического тока на свойства алюминиевых сплавов [Текст] / В.Б. Деев, И.Ф. Селянин, О.И. Нохрина и др. // Заготовительные производства в машиностроении. – 2008. – № 4. – С. 50-53.

6. Influence of heat treatment on the precipitation of the intermetallic phases in commercial AlMn1FeSi alloy : 11th Intrnational Scientific Conference «Achievements in Mechanical & Materials Science» [Электронный ресурс] / M. Warmuzek, G. Mrowka, J. Sieniawski. – Режим доступа: http://www.journalamme.org/papers_amme02/11127.pdf.

7. Гиржон, В.В. Формирование структуры поверхностных слоев алюминиевых сплавов после импульсной лазерной обработки [Текст] / В.В. Гиржон, И.В. Танцюра // Металлофизика и новейшие технологии. – 2005. –Т. 27, № 11. – С. 1519-1528.