

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ВТОРИННОГО СИЛУМІНУ АК8М3

Досліджено вплив часових параметрів термічної обробки на механічні властивості сплаву АК8М3, отриманого рециклінгом лому та відходів виробництва. Була встановлена можливість суттєвого покращення якості вторинних силумінів при збільшенні часу витримки при гартуванні та старінні відповідно до концентрації заліза у сплаві.

Ключові слова: силумін, механічні властивості, гартування, старіння.

Вступ

Вторинні алюмінієві сплави знаходять все ширше розповсюдження в машинобудуванні. Особливістю хімічного складу таких матеріалів є підвищений вміст заліза та інших домішок, які утворюють інтерметалідні фази, що, в свою чергу, мають несприятливу форму та відіграють роль концентраторів напружень у металі та ініціюють процес зародження тріщин. У результаті алюмінієві сплави, виготовлені шляхом рециклінгу, характеризуються нижчою якістю ніж аналоги, отримані з первинної сировини.

Термічна обробка Al-Si сплавів, як правило, полягає в гартуванні та старінні. Керувати фазовим складом, морфологічними параметрами структури та, відповідно, механічними й експлуатаційними властивостями можна, варіюючи температуру та час витримки при термічній обробці. Виходячи з того, що вміст інтерметалідних фаз у вторинних силумінах значно вищий, ніж у первинних, має рацію припущення, що стандартні режими гартування та старіння не є оптимальними для сплавів, виготовлених з лому та відходів виробництва.

Питанню особливостей термічної обробки алюмінієвих сплавів на основі вторинної сировини в літературі уваги практично не приділяється. Зустрічаються лише окремі відомості щодо впливу домішків заліза на режими термічної обробки силумінів [1–4], проте детальні дослідження, які б враховували взаємозв'язок вмісту заліза в сплаві, морфологію та хімічний склад інтерметалідів на його основі з параметрами гартування та старіння відсутні.

Метою роботи є вивчення впливу домішки заліза та часових параметрів термічної обробки на структуру та властивості вторинного сплаву АК8М3. Об'єкт дослідження – процеси і механізми утворення структури, перебігу фазових перетворень, а також формування механічних та експлуатаційних властивостей вторинного сплаву під впливом гартування та старіння. Предмет дослідження – структурний стан, фазові перетворення, механічні та експлуатаційні властивості сплаву АК8М3.

Матеріали та методика досліджень

Лабораторні плавки проводили в електричній печі опору СНЗ-3. Плавлення та нагрівання металу до температури 720 ± 10 °С здійснювали під стандартним флюсом. У роботі використовували силумін АК8М3, виготовлений з лому та відходів виробництва (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, а концентрація інших елементів залишалася на постійному рівні. Після розплавлення та нагрівання сплаву АК8М3 до температури 720 ± 10 °С в нього вводили порошок заліза.

Розроблені рафінувально-модифікувальні комплекси [5, 6] вводили в рідкий метал за допомогою пристосування, відомого як «дзвоник», після вилучення стандартного флюсу. Розливання сплаву проводили в металеві форми після витримки при температурі 720 ± 10 °С протягом 5 хвилин.

Термічну обробку здійснювали згідно з рекомендаціями ДСТУ 2839-94, використовуючи піч СШОЛ-1.1,6/12-М3-У4.2.

Теорія та аналіз отриманих результатів

Стандартна термічна обробка сплаву АК8М3 за режимом Т6 передбачає гартування з температури 500 ± 10 °С, витримку 5...7 год, охолодження в воді та старіння при температурі 180 ± 10 °С протягом 5...10 год. Оскільки температура операцій термічної обробки нормами чітко регламентована, а їх тривалість варіюється в широких межах, при проведенні досліджень вважали за доцільне коригувати саме час витримки при гартуванні τ_T та τ_{CT} старінні, а температурні параметри прийняти постійними.

Дослідження проводили відповідно до рототабельного плану багатofакторного експерименту другого порядку 2^3 (табл. 1).

Таблиця 1 – Матриця планування експерименту другого порядку 2^3

Інтервали варіювання та рівні факторів		Фактори, які вивчаються		
		X_1 (Fe, %)	X_2 (τ_T , год)	X_3 (τ_{CT} , год)
Нульовий рівень: $X_0=0$		0,85	6,0	7,0
Інтервал варіювання	0,2	3,0	4,2	2,8
	0,14	2,0	2,8	4,2
Нижній рівень: $X=-1,0$		0,65	3,0	2,8
Верхній рівень: $X=+1,0$		1,05	9,0	11,2
Зіркові точки	0,51	1,0	0	0
	1,19	11,0	14,0	14,0

Як незалежні змінні приймали вміст заліза в сплаві Fe, час витримки під гартування τ_T та час витримки при старінні τ_{CT} . Функціями відклику виступали такі показники механічних властивостей, як твердість HB, границя міцності при випробуванні на розтяг σ_B^p та відносне подовження δ , оскільки за цими характеристиками згідно з ДСТУ 2839-94 повинна оцінюватись якість виливків.

За допомогою методу регресійного аналізу результатів випробування механічних властивостей отримали систему рівнянь другого порядку з коефіцієнтами кореляції в межах 0,89...0,96:

$$\begin{aligned}
 HB = & 140,477 - 3,811Fe + 3,997 \tau_T + \\
 & + 3,99 \tau_{CT} + 0,813Fe \tau_T + 2,313Fe \tau_{CT} + \\
 & + 0,188 \tau_T \tau_{CT} - 13,915Fe^2 - 3,66 \tau_T^2 - 5,428 \tau_{CT}^2; \quad (1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_B^p = & 271,154 - 2,427Fe + 18,652 \tau_T + \\
 & 10,305 \tau_{CT} + 2,201Fe \tau_T + 6,62Fe \tau_{CT} + \\
 & + 1,949 \tau_T \tau_{CT} - 16,437Fe^2 - 18,294 \tau_T^2 - 9,559 \tau_{CT}^2; \quad (2)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \delta = & 1,562 - 0,169Fe + 0,035 \tau_T - \\
 & - 0,09 \tau_{CT} + 0,014Fe \tau_T + 0,016Fe \tau_{CT} + \\
 & 0,004 \tau_T \tau_{CT} - 0,064Fe^2 - 0,069 \tau_T^2 - 0,053 \tau_{CT}^2; \quad (3)
 \end{aligned}$$

де Fe – масова частка заліза, %; τ_T – час витримки під гартування, год; τ_{CT} – час витримки при старінні, год.

Для полегшення інтерпретації аналітичних рівнянь були побудовані графічні залежності, які дозволяють простежити як вплив кожного досліджуваного фактора окремо, так і їх взаємозв'язок (рис. 1 та рис. 2). Результати приведено для нульового рівня варіювання при постійному часі витримки при гартуванні та старінні. Будували залежності механічних властивостей від часових параметрів термічної обробки на всіх досліджуваних рівнях варіювання вмісту заліза.

Хід кривих залежності твердості сплаву від часу витримки при гартуванні визначається тим, що на початкових етапах процесу провідна роль належить дисперсійному зміцненню частинками надлишкових фаз, а на завершальних переважає твердорозчинне зміцнення. Зростання твердості зі збільшенням вмісту заліза пов'язано з наявністю в структурі більшої кількості залізвмісних інтерметалідів, твердість яких вища за твердість основного металу приблизно в 7 разів (7500...8500 МПа порівняно із 1100...1200 МПа відповідно).

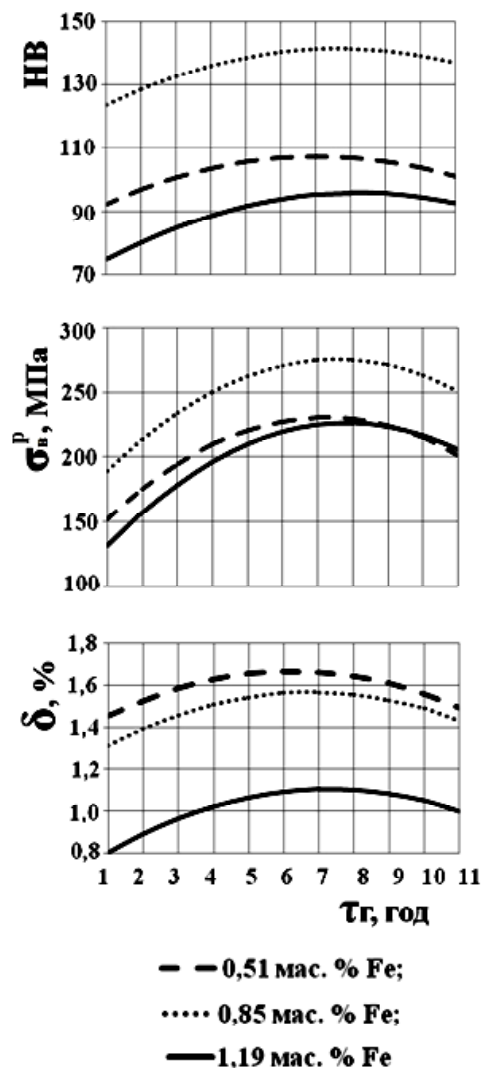


Рис 1. Залежність механічних властивостей силуміну АК8МЗ від часу витримки при гартуванні ($\tau_{CT} = 7$ год)

Максимальне значення границі міцності на розтяг властиве зразкам, які містять залізо на рівні 0,85 %, що пов'язано із протіканням процесів дисперсійного зміцнення. При оптимальній концентрації заліза інтерметалідні фази виділяються в порівняно невеликій кількості, характеризуються сприятливою морфологією і рівномірним розподілом за перетином шліфа, проте їх кількість та розміри достатні для перешкоджання руху

дислокацій та опору матеріалу руйнуванню. Подальше збільшення кількості заліза викликає суттєве механічне порушення суцільності матриці внаслідок некогерентності до неї частинок залізовмісних фаз і концентруванні напружень навколо них при пластичній деформації та руйнуванні.

Загальний вигляд графічних залежностей пластичності від часу витримки при гартуванні пов'язаний з подрібненням та диференціюванням частинок евтектичного кремнію, а також розчиненням надлишкових фаз. Певне зниження пластичності протягом тривалої витримки при температурі гартування можна пояснити коагуляцією та огрубінням кремнієвої евтектики, а також значним зміцненням твердого розчину. Максимальні значення відносного видовження відповідають вмісту в сплаві 0,51...0,65 мас. % Fe, мінімальні – 1,19 мас. % Fe, що узгоджується з літературними даними щодо негативного впливу цього елемента на пластичність силумінів.

Збільшення твердості при старінні обумовлюється процесами дисперсійного твердіння, а подальше її зменшення – знеміцненням твердого розчину, тобто на певних етапах старіння один з видів зміцнення переважає над іншим, що і визначає загальний вигляд графічних залежностей. Приріст твердості для зразків, які містять домішку заліза в високих концентраціях, відбувається уповільнено.

Збільшення границі міцності на розтяг сплаву при старінні відбувається внаслідок виділення з твердого розчину дрібнодисперсних, когерентних або частково когерентних до матриці частинок інтерметалідних фаз. Втрата когерентності на межі поділу між матрицею та інтерметалідами, а також суттєве ослаблення впливу твердорозчинного зміцнення викликають знеміцнення матеріалу при подальшому збільшенні часу витримки при старінні. Для сплавів, які містять 0,51...0,65 мас. % Fe, оптимальною при старінні є витримка протягом 7...8 год, а для сплавів, які містять 1,05...1,19 мас. % Fe – 10...11 год.

Певне збільшення пластичності силуміну АК8МЗ при старінні можна пояснити виділенням спочатку когерентних та частково когерентних частинок зміцнювальних фаз. Вищі значення відносного видовження властиві сплавам з низьким вмістом заліза ($Fe = 0,51...0,65$ мас. %), бо його підвищення ускладнює пластичний плин в матеріалі та призводить до окрихчування внаслідок існування великої кількості концентраторів напружень у вигляді залізовмісних інтерметалідів.

На кривих залежності механічних властивостей силуміну АК8МЗ від часу витримки при гартуванні та старінні спостерігається зміння оптимумів твердості, міцності та пластичності при збільшенні кількості заліза. Подані на рис. 3 залежності, які було побудовано за даними рис. 1 та рис. 2, свідчать про необхідність збільшення часу витримки при гартуванні та старінні зі збільшенням концентрації заліза в сплаві.

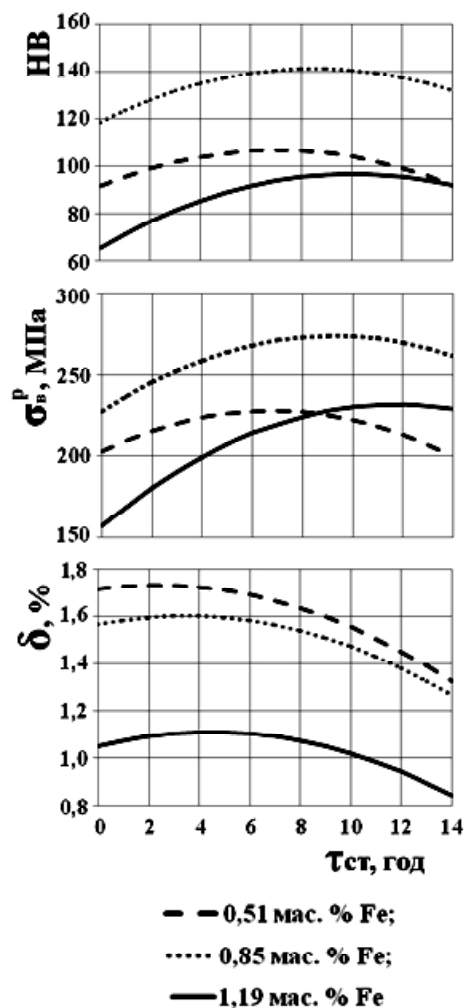


Рис. 2. Залежність механічних властивостей силуміну АК8МЗ від часу витримки при старінні ($\tau_r = 6$ год)

За ДСТУ 2839-94, стандартний режим Т6 передбачає широкий діапазон часу витримки при термічній обробці: $\tau_r = 5...7$ год та $\tau_{CT} = 5...10$ год. Відповідно до проведених досліджень, при концентрації заліза близько 0,5 мас. % найбільшу ефективність має використання верхньої межі регламентованого стандартом часу витримки при гартуванні. Зі збільшенням вмісту заліза в сплаві до 1,2 мас. % виникає потреба у збільшенні часу витримки до 8 год, що пов'язано з гальмуванням перебігу дифузійних процесів залізовмісними інтерметалідами.

Старіння відбувається при нижчих за гартування температурах, внаслідок чого залежність часу витримки при старінні від вмісту заліза у сплаві виражена яскравіше, оскільки процес оптимізації структури в цьому випадку є тривалішим. Відомо, що пластичність силумінів при старінні зменшується, тому практичний інтерес викликає лише загальний вигляд графічної залежності відносного видовження від часу витримки при старінні та концентрації домішки заліза в сплаві, а не конкретні числові значення. Відповідно до рис. 3, для

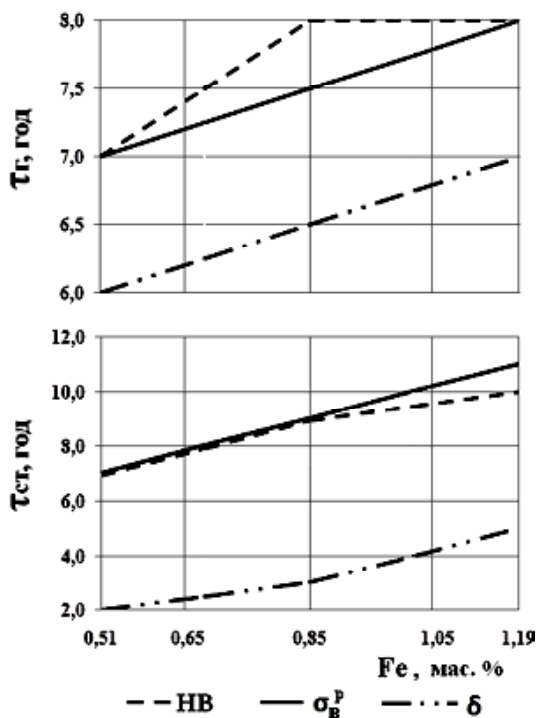


Рис. 3. Залежність часу витримки при гартуванні та старінні, який забезпечує максимальний рівень механічних властивостей, від вмісту заліза

силумінів, що містять залізо у кількості 0,5 мас. %, використання нижньої межі стандартного часу витримки при старінні є недостатньо ефективним. При такій концентрації заліза оптимальним $t = 7$ год. На кожні 0,1 мас. % Fe при його вмісті в сплаві більше 0,5 мас. % необхідно додатково передбачити 0,5 год витримки при старінні.

Висновки

Результати роботи засвідчили необхідність коригувати часові параметри режимів термічної обробки си-

лумінів, отриманих шляхом рециклінгу, залежно від вмісту найшкідливішої домішки – заліза, що пов'язано зі значною кількістю залізовмісних інтерметалідів в структурі, їх несприятливою морфологією та великими розмірами, а, відповідно, і більш тривалим часом для проходження дифузійних процесів.

Список літератури

1. Золотаревский В. С. Металловедение литейных алюминиевых сплавов / В. С. Золотаревский, Н. А. Белов. – М. : МИСИС, 2005. – 376 с.
2. Ali Reza Eivani. Modeling of Microstructural Evolution During Homogenization and Simulation of Transient State Recrystallization leading to Peripheral Coarse Grain Structure in Extruded Al-4.5-Zn-1Mg Alloy : (doctoral thesis) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://discover.tudelft.nl:8888/recordview/view?recordId=aleph%3A000362070&language=en>.
3. Influence of heat treatment on the precipitation of the intermetallic phases in commercial AlMn1FeSi alloy : 11th International Scientific Conference «Achievements in Mechanical & Materials Science» [Електронний ресурс] / М. Warmuzek, G. Mrowka, J. Sieniawski. – Режим доступу: http://www.journalamme.org/papers_amme02/11127.pdf.
4. Шепелева Л. В. Модифікування порошком нітриду титану та термічна обробка багатокомпонентних доєвтектичних силумінів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.16.01 «Металознавство та термічна обробка металів» / Л. В. Шепелева. – К., 1993. – 19 с.
5. Пат 44463 Україна, МПК (2009) C22B 1/00 C22B 9/00. Флюс для оброблення алюмінієвих сплавів / Волчок І. П., Міт'яєв О. А., Островська А. Є., Скуйбіда О. Л. ; власник Запорізьк. нац. техн. ун-т. - № u200902450 ; заявл. 19. 03. 2009; опубл. 12. 10. 2009, Бюл. №19.
6. Пат 42653 Україна, МПК (2009) C22C 1/00. Модифікатор алюмінієвих сплавів / Волчок І. П., Міт'яєв О. А., Островська А. Є., Скуйбіда О. Л. ; власник Запорізьк. нац. техн. ун-т. – № u200902454; заявл. 19. 03. 2009; опубл. 10. 07. 2009, Бюл. №13.

Одержано 01.12.2015

Скуйбіда Е.Л., Волчок І.П. Усовершенствование процессов термической обработки вторичного силумина АК8МЗ

Исследовано влияние временных параметров термической обработки на механические свойства сплава АК8МЗ, полученного рециклингом лома и отходов производства. Была установлена возможность существенного улучшения качества вторичных силуминов при увеличении времени выдержки при закалке и старении согласно концентрации железа в сплаве.

Ключевые слова: силумин, механические свойства, закалка, старение.

Skuibeda E., Volchok I. Improving the processes of heat treatment of secondary silumin AK8V3

Influence of temporal parameters of heat treatment on mechanical properties of the alloy AK8M3, obtained from scrape and waste was investigated. The possibility of significant improvement of quality of secondary silumins by increasing the time of quenching and aging according to iron concentration in the alloy was revealed.

Key words: silumin, mechanical properties, quenching, aging.