

Структура та механічні властивості сплаву системи Al – Mg – Zn, мікролегованого марганцем

В.П. Гаврилюк, член-кореспондент НАН України

А.А. Кулініч *, кандидат технічних наук

О.О. Рябініна

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

*Національний технічний Університет України “КПІ”, Київ

Досліджено вплив марганцю вмістом до 0,7 % та різних режимів відпалу на фазовий склад, структуру та рівень механічних властивостей сплаву системи Al – Mg – Zn. Встановлено, що при оптимальному співвідношенні Mn / Fe = (0,4 – 0,5) замість голчастої фази FeAl₃ утворюється більш компактна фаза (Fe, Mn)Al₆. При цьому пластичність сплаву зростає на 40 – 50 % при незначному підвищенні міцності. Застосування двостадійного режиму відпалу дозволяє підвищити пластичність сплаву, що містить 0,25 % марганцю, у 2,5 рази.

При виготовленні ливарних сплавів системи Al – Mg – Zn з брухту та відходів алюмінієвих сплавів (зокрема деформівних сплавів на основі системи Al – Mg) можлива небажана присутність в них домішок заліза, кремнію та марганцю.

Шкідливими домішками в ливарних сплавах системи Al – Mg – Zn є кремній та залізо [1 – 3]. Голчаста фаза FeAl₃ та фаза Mg₂Si подібні до китайських ієрогліфів, суттєво знижують рівень механічних властивостей даних сплавів, особливо пластичність. Тому в таких сплавах, виготовлених з первинної сировини, вміст даних домішок обмежують до 0,30 % (тут і далі – мас. частка).

Для можливості використання в якості шихтових матеріалів при виробництві високоміцних ливарних сплавів системи Al – Mg – Zn брухту та відходів алюмінієвих деформівних сплавів необхідно розробити засоби нейтралізації шкідливих домішок.

Аналіз літературних джерел показує, що при оптимізації температурно-часових параметрів відпалу можливо впливати на морфологію кремніймістких фаз в алюмінієвих сплавах. Так в роботі [2] показано, що в силумінах частки фази Mg₂Si можуть фрагментуватись при високотемпературній термічній обробці. При цьому підвищується пластичність сплавів. В роботах [3, 4, 5] встановлено, що для ливарних сплавів системи Al – Mg – Zn, з підвищеним вмістом домішок кремнію, можливо, також, змінити морфологію часток фази Mg₂Si з розгалуженої на більш компактну. Марганець вводять в ливарні сплави системи Al – Mg – Zn у кількості до 0,2 % для підвищення механічних та технологічних властивостей. Враховуючи зазначене, мета даної роботи “дослідити вплив марганцю вмістом до 0,7 % та різних режимів відпалу на фазово-структурний склад та механічні властивості сплаву Al – 6 % Mg – 2 % Zn – 0,5 % Fe – 0,5 % Si”.

Згідно даних рентгенофазового, мікрорентгеноспектрального та металографічного аналізів фазовий склад сплаву після лиття в металеву виливницю

Структура і фізико-механічні властивості

складається з α – твердого розчину магнію та цинку в алюмінії, фази Т – ($\text{Al}_2\text{Mg}_3\text{Zn}_3$), виділень фази Mg_2Si , що має розгалужену форму, та голчастої фази FeAl_3 .

На першому етапі досліджень встановлювали вплив марганцю на фазово-структурний склад і рівень механічних властивостей сплаву. Використовували стандартний режим термічної обробки: відпал – 435 ± 5 °С, 20 год; гартування в воду та штучне старіння (80 °С, 8 год + 190 °С, 2 год).

Вплив добавок марганцю на вид залізовмістких фаз та рівень механічних властивостей досліджуваного сплаву наведено в таблиці. З таблиці видно, що максимальний рівень механічних властивостей досягається при введенні в сплав марганцю від 0,2 до 0,5 %. Це пов'язано із зміною морфології інтерметалідних фаз залежно від вмісту в сплаві марганцю.

Вплив марганцю на фазовий склад та механічні властивості сплаву

Вміст Mn у сплаві, % (мас. частка)	σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ , %	Фази, що містять залізо
-	250	130	2	FeAl_3
0,1	253	131	2,1	$(\text{Fe}, \text{Mn})\text{Al}_3$
0,2	255	135	2,3	$(\text{Fe}, \text{Mn})\text{Al}_3$
0,3	262	138	2,8	$(\text{Fe}, \text{Mn})\text{Al}_6$
0,4	257	136	2,5	$(\text{Fe}, \text{Mn})\text{Al}_6$
0,5	254	135	2,4	$(\text{Fe}, \text{Mn})\text{Al}_6$
0,6	251	132	2	$(\text{Fe}, \text{Mn})\text{Al}_6$
0,7	247	128	1,9	$(\text{Fe}, \text{Mn})\text{Al}_6$

Примітка: режим термічної обробки – відпал: 435 °С, 20 год з наступним гартуванням у воду; штучне старіння: 80 °С, 8 год + 190 °С, 2 год.

Відзначимо, що при відсутності марганцю утворюється лише одна фаза, що містить залізо – FeAl_3 . При вмісті марганцю до 0,20 % в сплаві утворюється фаза, що містить марганець $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{Al}_3$. Якщо в сплаві вміст марганцю знаходиться в концентраційному інтервалі 0,25 – 0,70 %, то замість фази $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{Al}_3$ утворюється нова фаза $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{Al}_6$.

Металографічний аналіз в поєднанні з рентгеноспектральним аналізом показали, що компактність форми виділень залізовмістких фаз в досліджуваному сплаві збільшується при заміні фаз FeAl_3 та $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{Al}_3$ на фазу $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{Al}_6$. Морфологія фази $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{Al}_6$ також залежить від вмісту в сплаві марганцю. Дана фаза має найбільш компакту форму при вмісті марганцю в досліджуваному сплаві в межах 0,25 – 0,30 %. При збільшенні вмісту марганцю до 0,7 % розміри фази $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{Al}_6$ поступово зростають, а компактність зменшується (рис. 1). В структурі сплаву наявна голчаста фаза FeAl_3 (рис. 1 а); при мікролегуванні сплаву марганцем (0,25 – 0,30 %) в структурі спостерігається більш компактна фаза $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{Al}_6$ (рис. 1 б, в), подальше збільшення вмісту марганцю зменшує компактність фази (рис. 1 г). При збільшенні компактності даної фази рівень механічних властивостей сплаву, особливо пластичність, зростають (таблиця).

При вмісті марганцю 0,25 % механічні властивості сплаву набувають максимальних значень: $\sigma_B = 265$ МПа, $\sigma_T = 140$ МПа, $\delta = 3$ %.

На другому етапі досліджень встановлювали вплив температурно-часових параметрів відпалу на структуру та механічні властивості досліджуваного сплаву.

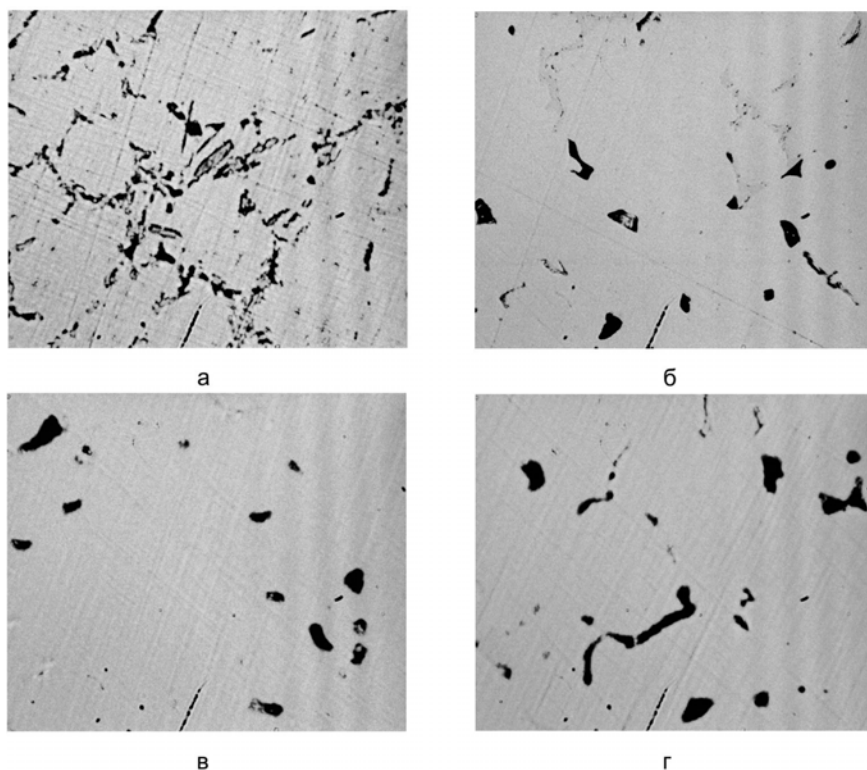


Рис. 1. Мікроструктура сплаву з добавками марганцю в литому стані. а – вихідний сплав, б – 0,25 % Мп, в – 0,30 % Мп, г – 0,50 % Мп. х 400.

Встановлено, що максимального рівня механічних властивостей ($\sigma_{\text{в}} = 292$ МПа, $\sigma_{\text{Т}} = 171$ МПа, $\delta = 8,2$ %) сплав набуває після наступної термічної обробки за режимом: 435 °С, 5 год + 535 °С, 8 год; штучне старіння за режимом: 80 °С, 8 год + 190 °С, 2 год.

Підвищення пластичності пов'язано зі зміною морфології фази Mg_2Si з розгалуженої (рис. 2 а) на більш компактну (рис. 2 б).

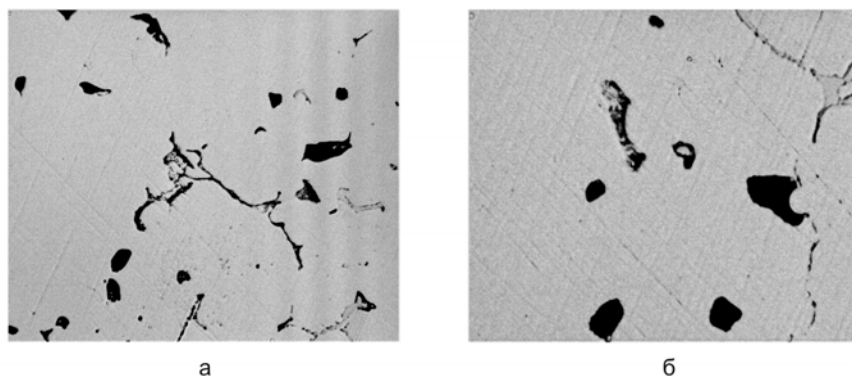


Рис. 2. Мікроструктура сплаву після різних режимів відпалу. а – 435 ± 5 °С, 20 год; б – 435 °С, 5 год + 535 °С, 8 год. х 400.

Таким чином, в результаті проведених досліджень показано, що добавки марганцю у кількості (0,2 – 0,5) % підвищують рівень механічних властивостей сплаву Al – 6 % Mg – 2 % Zn – 0,5 % Fe – 0,5 % Si, особливо пластичності. При оптимальному вмісті марганцю – 0,25 % – пластичність сплаву підвищується на 50 % при підвищенні міцності до 25 МПа. При цьому спостерігається заміна голчастої фази FeAl₃ на більш компактну фазу (Fe, Mn)Al₆, що і зумовлює підвищення механічних властивостей сплаву.

Застосування двостадійного відпалу суттєво підвищує характеристики міцності сплаву (на 20 – 25 МПа), а пластичність у 2,5 рази, що пов'язано зі зміною морфології фази Mg₂Si з розгалуженої на компактну.

Література

1. Машиностроение. Энциклопедия. Цветные металлы и сплавы. Композиционные металлические материалы. Т. II / Под ред. И.Н. Фридляндера. – М.: Металлургия, 2001. – 880 с.
2. Постников Н.С. Коррозионностойкие алюминиевые сплавы. – М.: Металлургия, 1976. – 303 с.
3. Мондольфо Л.Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов. – М.: Металлургия, 1979. – 640 с.
4. Кулініч А.А., Гаврилюк В.П., Рябініна О.О. // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2007. – № 3. – С. 101 – 104.
5. Кулініч А.А., Гаврилюк В.П., Рябініна О.О. // Металознавство та обробка металів. – 2007. – № 2. – С. 28 – 32.

Одержано 19.02.09

В.П. Гаврилюк, А.А. Кулинич, Е.А. Рябинина

Структура и механические свойства сплава системы Al – Mg – Zn, микролегированного марганцем

Резюме

Исследовано влияние марганца содержанием до 0,7 % и разных режимов отжига на фазовый состав, структуру и уровень механических свойств сплава Al – Mg – Zn. При оптимальном соотношении Mn / Fe = (0,4 – 0,5) вместо игольчатой фазы FeAl₃ образуется более компактная фаза (Fe, Mn)Al₆. При этом пластичность сплава увеличивается на 40 – 50 % при незначительном повышении прочности. Применение двухстадийного режима отжига позволяет повысить пластичность сплава, содержащего марганец в количестве 0,25 %, в 2,5 раза.

V.P. Gavriliuk, A.A. Kulinich, E.A. Ryabinina

Structure and mechanical properties of Al – Mg – Zn alloy with microadditions of manganese

Summary

Influence of manganese (up to 0.7 %) and different modes of annealing on phase composition, structure and mechanical properties of Al – Mg – Zn alloy is investigated. It is determined that at optimum relation Mn / Fe = (0.4 – 0.5) more compact phase (Fe, Mn)Al₆ appears in place of needle-shaped phase of FeAl₃. Thus, plasticity of alloy increased on 40 – 50 % at the slight increase of strength. The use of two stage annealing results in 2.5 times increase of the alloy plasticity additionally contained a manganese in an amount 0.25 %.