УДК 669.14.018.298:539.2

Єфімов М.О., канд. фіз.-мат. наук, с.н.с.
Хращевський О.Д., інженер
Єфімова.К.О., канд. фіз.-мат. наук, с.н.с.
Поперенко Т.В., головний інженер технолог
Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича, k.iefimova@ipms.kyiv.ua

ВПЛИВ СКАНДІЮ НА КОРОЗІЙНУ СТІЙКІСТЬ СПЛАВУ АЛЮМІНІЮ СИСТЕМИ Al-Cu-Fe, ЩО МІСТЯТЬ КВАЗІКРИСТАЛІЧНУ СКЛАДОВУ

Квазікристали — це тверді тіла з атомним упорядкуванням, яке може характеризуватися ідеальним порядком за відсутності трансляційної симетрії. Для квазікристалів характерна саме осьова симетрія обертання 5-, 8-, 10- або 12-го порядку оскільки вона є забороненою в звичайних кристалах. Більшість виявлених квазікристалів було отримано шляхом швидкого охолодження розплаву, де вони виявилися метастабільними. Водночас, існує невелика кількість термодинамічно стійких квазікристалічних фаз, зокрема в системі Al-Fe-Cu, які присутні на діаграмі фазової рівноваги та можуть бути отримані шляхом повільного охолодження розплаву [1].

Ефективним способом керування фазовим складом сплавів із квазікристалічною структурою є їх легування. Як встановлено в роботі [2], шляхом мікролегування скандієм покриттів $Al_{63}Cu_{25}Fe_{12}$ можливо підвищити їх механічні властивості.

Метою роботи є дослідження впливу легування скандієм та відпалу на корозійну стійкість в розчині 3% NaCl, сплавів системи Al-Fe-Cu, що містять квазікристалічну складову.

Корозійно-електрохімічну поведінку було досліджено на таких зразках зливків сплавів $Al_{63}Cu_{25}Fe_{12}$, $Al_{62.7}Cu_{25}Fe_{12}Sc_{0.3}$, $Al_{62.5}Cu_{25}Fe_{12}Sc_{0.5}$. Фазовий склад визначали методом рентгеноструктурного аналізу у CuK_{α} випромінюванні. Корозійно-електрохімічні дослідження проводили потенціостатичним методом у 3% водному розчині NaCl при температурі 25 °C. На основі отриманих анодних та катодних поляризаційних кривих графічним методом було визначено потенціал корозії – E_{co}, швидкість корозії в електричних одиницях – i_{cor}, а також потенціал утворення ямкової корозії – E_{pt}.

Структура зливка $Al_{63}Cu_{25}Fe_{12}$, одразу після виготовлення була охарактеризована як суміш трьох фаз: квазікристалічної фази ψ ($Al_{63}Cu_{25}Fe_{12}$) та кристалічних фаз β ($Al_{55}Cu_{40}Fe_5$) і λ ($Al_{72}Cu_5Fe_{23}$) (Рис. 1а). Сплав $Al_{63}Cu_{25}Fe_{12}$ містив у своєму складі 55 мас.% квазікристалічної фази, сплав $Al_{62,78}Cu_{25}Fe_{12}Sc_{0,22}$ – 65 мас.%, сплав с – $Al_{62,56}Cu_{25}Fe_{12}Sc_{0,44}$ – 75 мас.%. Після відпалу при температурі 750 °C протягом 5 годин сплав $Al_{63}Cu_{25}Fe_{12}$ перейшов в однофазний квазікристалічний стан (Рис. 1г). Окрім того в фазах ψ, β та λ у злитках, легованих скандієм, виявлена присутність W-фази на основі системи Al-Cu-Sc з гексагональною решіткою типу $ThMn_{12}$ [3] (Рис.1в). Корозійно-електрохімічні характеристики досліджених сплавів наведені в таблиці 1.

Привиконанні роботи було встановлено, що швидкість корозії залежить від кількості вмісту квазікристалічної фази у зливках. Найвища швидкість корозії спостерігалась у зливку сплаву $Al_{63}Cu_{25}Fe_{12}$. Це пояснюється більшою кількістю кристалічних фаз у цьому зливку. Відтак, значна різниця в хімічному складі фаз β та λ порівняно з квазікристалічною фазою ψ спричиняє гальванічні ефекти на межах розділу фаз, що відповідно знижує корозійну стійкість. Відпал в однофазний квазікристалічний стан позитивно впливає на корозійні характеристики зливка $Al_{63}Cu_{25}Fe_{12}$. Після відпалу значення потенціалу корозії E_{cor} та потенціалу утворення ямкової корозії E_{pt} сплаву $Al_{63}Cu_{25}Fe_{12}$ зростають, а щільність корозійного струму I_{cor} зменшується порівняно з відповідними характеристиками невідпаленого сплаву, що зумовлено істотним зменшенням кількості міжфазних меж.

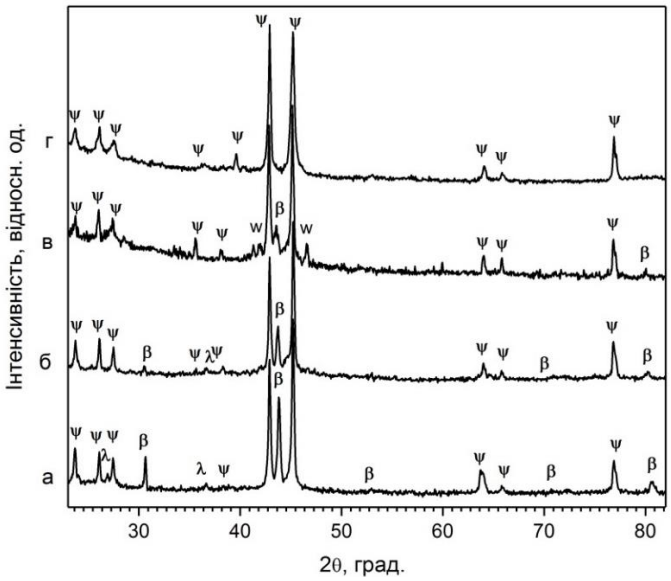

Рис. 1 – Рентгенофазовий аналіз зливків сплавів системи Al-Cu-Fe: а) $Al_{63}Cu_{25}Fe_{12}$; б) $Al_{62,78}Cu_{25}Fe_{12}Sc_{0,22}$; в) $Al_{62,56}Cu_{25}Fe_{12}Sc_{0,44}$; г) $Al_{63}Cu_{25}Fe_{12}$ після відпалу при температурі 750 °C протягом 5 год.

Таблиця 1 – Корозійні та електрохімічні характеристики сплавів Al-Cu-Fe, що містять квазікристалічну фазу, в розчині 3 % NaCl за температури 25 °C

Корозійні та електрохімічні характеристики	Хімічний склад, ат.% (атомних відсотків)			
	$Al_{63}Cu_{25}Fe_{12}$ у литому стані	$Al_{62.7}Cu_{25}Fe_{12}Sc_{0.3}$ у литому стані	$Al_{62.5}Cu_{25}Fe_{12}Sc_{0.5}$ у литому стані	$Al_{63}Cu_{25}Fe_{12}$ після відпалу в однофазний квазікристалічний стан
$E_{cor.}$, V	-0,203	-0,250	-0,310	-0,180
$E_{pt..}$, V,	-0,195	-0,265	-0,290	-0,180
$I_{cor.}$, A cm^{-2}	$4,26\times10^{-6}$	$3,55\times10^{-6}$	$2,45\times10^{-6}$	$2,54\times10^{-6}$

Легування квазікристалів системи Al-Cu-Fe скандієм зменшило швидкість корозії зливків, але одночасно це призвело до зниження значення потенціалів корозії та утворення піттінгових зон, причому це зниження збільшувалося з ростом вмісту скандію. Очевидно, що в разі легування скандієм, як і в більшості алюмінієвих сплавів [4], на поверхні досліджених зливків утворюється більш повна оксидна захисна плівка яка забезпечує зниження швидкості корозії.

Список посилань

1. Dubois J. M. Introduction to Quasicrystals: Berlin: Springer Verlag, 1998. 392 p.

2. Iefimov M.O. Structure-Phase State, Mechanical Properties, and Corrosion Behavior of Quasicrystalline AlCuFeSc Coating / M.O.Iefimov, B.N.Mordyuk, S.I.Chugunova, I.V.Goncharova, W.Changliang, Zh.Chonggao, L.Zhang // Journal of Materials Engineering and Performance, 2023. – Vol.32. – P.10371-10382. https://doi.org/10.1007/s11665-023-07844-2.

3. Iefimov M.O. Structure and high-temperature properties of the alloyed quasicrystalline Al-Cu-Fe powders and thermal-sprayed coatings from them / M.O.Iefimov, D.V.Lotsko, Y.V.Milman, A. L. Borisova, S.I.Chugunova, Ye. A. Astakhov., O.D. Neikov // High Temperature Materials and Processes, 2006. – Vol. 25. – P.31-38. https://doi.org/10.1515/HTMP.2006.25.1-2.31.

4. Milman Yu.V. Scandium effect on increasing mechanical properties of aluminum alloys /High Temperature Materials and Processes, 2006. – Vol. 25, No.1-2. – P.1-10. https://doi.org/10.1515/HTMP.2006.25.1-2.1.