

до зростання щільності дислокацій до 1 2, знижує глибину проникнення більш ніж у 5 разів (у порівнянні з відпаленим металом).

Список посилань

1. Герцрикен Д.С. та ін. Массоперенос в металлах при низких температурах в условиях внешних воздействий. – Киев: РИО ИМФ НАНУ, 2001. – 444 с.

УДК 539.4:620.192.7:661.862

Єфімов М.О., канд. фіз.-мат. наук
Голубенко О.А., канд. фіз.-мат. наук
Чугунова С.І., канд. фіз.-мат. наук
Гончарова І.В., канд. фіз.-мат. наук

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, Київ,
yefimov@ipms.kiev.ua

ДОСЛІДЖЕННЯ ТВЕРДОСТІ ТА ПЛАСТИЧНОСТІ КВАЗІКРИСТАЛІЧНИХ ПОКРИТТІВ СИСТЕМИ Al – Cu – Fe ПРИ РІЗНИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Створення нових багатофункціональних матеріалів із унікальними властивостями є характерною рисою сучасної науки та техніки. Квазікристали (КК) характеризується далеким порядком у розташуванні атомів і симетрією, яка заборонена класичною кристалографією кристалів. Незвичайність структури КК обумовлює низку специфічних фізичних властивостей, що у своє чергу створює основи розробки функціональних матеріалів для практичного використання сучасної техніки.

Стабільні КК системи Al-Cu-Fe представляють великий практичний інтерес через поєднання їх фізичних властивостей (низька щільність – близько 4,5 г/см³, висока твердість – 70-100 ГПа, високий модуль пружності – 70-100 ГПа, висока корозійна стійкість та зносостійкість, низький коефіцієнт тертя, низька теплопровідність та коефіцієнт термічного розширення, за значенням близький до металів) [1].

В роботі досліджували КК покриття Al₆₃Cu₂₅Fe₁₂ з водорозпиленних порошків фракції 40-80 мкм, які наносили на підкладку із сталі 45 методом високошвидкісного повітряно-паливного напилення, який успішно використовується для отримання жаро-та зносостійких металевих та композиційних покриттів [2]. Внаслідок крихкості при кімнатній температурі [3], для вивчення механічних властивостей КК був застосований метод локального навантаження індентором. Вимір мікротвердості при температурі 77К проводили під шаром рідкого азоту на установці ПМТН. Вимір твердості при підвищених температурах проводили у вакуумі на установці Гудцова-Лозинського [4].

За даними рентгенофазового аналізу порошки системи Al-Cu-Fe, безпосередньо після отримання, мали двофазну структуру: 75 ваг.% ікосаедричної КК фази і 25 ваг. % кристалічної β-фази на основі AlFe(Cu), що має ОЦК кристалічну решітку. Після напилення порошку методом високошвидкісного повітряно-паливного напилення в покриттях спостерігали таку ж кількість КК фази, як і у порошку - 75 ваг.%.

Після нагрівання покриття до температури 1023 К відбувається перехід з двофазного в повністю однофазний КК стан, що призводить до підвищення мікротвердості. Так у вихідному стані мікротвердість покриттів при вимірі на поверхні становила H_v = 6,51±0,23 ГПа. Після нагрівання до 2023 К мікротвердість покриття становила H_v=7,13±0,21 ГПа.

На рис. 1, а представлена температурна залежність твердості КК покриття в процесі нагрівання і подальшого охолодження. На кривій температурній залежності твердості можна виділити дві ділянки: перша ділянка до 573 К, коли зміна твердості незначна і друга ділянка, на якій відбувається різке зниження твердості із підвищенням температури.

Значення мікротвердості за температури 77 К та за кімнатною температурою, практично однакові.

Як видно, характер залежності $HV(T)$ при нагріванні та охолодженні однаковий, проте при охолодженні твердість у всьому температурному інтервалі має більш високе значення.

Різницю між залежністю рівня мікротвердості покриття при охолодженні та нагріванні можна пояснити тим, що КК покриття у вихідному стані є двофазним матеріалом: ікосаедрична КК фаза (твердіша по відношенню до кристалічної) і кристалічна β -фаза, а в процесі нагрівання при вимірюванні твердості при підвищених температурах в інтервалі 973 – 1023 К відбувається фазовий перехід КК в однофазний стан. Тому в процесі охолодження матеріал вже є однофазним і у всьому температурному інтервалі має твердість вище, ніж при нагріванні.

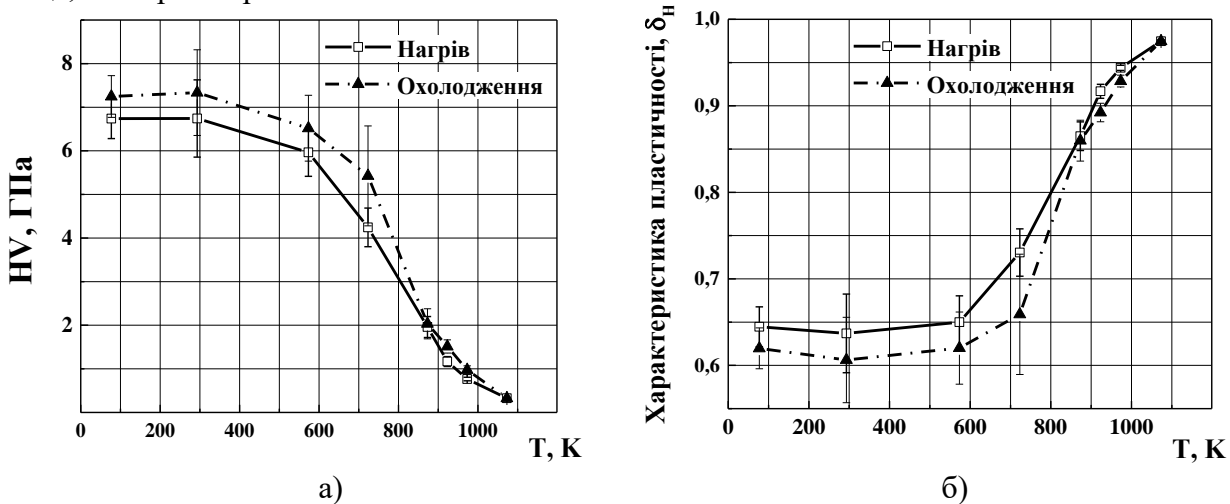


Рис. 1 – Температурна залежність а) мікротвердості б) характеристики пластичності

Метод локального індуентування дає можливість на основі вимірів твердості визначити пластичність [5], що особливо важливо для покриттів, т.к. інших можливостей вивчити пластичність покриттів немає. Температурна залежність фізичної пластичності δ_n наведена на рис. 1б. При кімнатній температурі $\delta_n = 0,62$, що є типовим значенням для КК [5]. Зі зростанням температури твердість падає, а пластичність зростає і за 600 °С становить 0,9. Як було показано у роботі [5] значення $\delta_n \geq 0,9$ є критичним значенням, вище якого у матеріалу з'являється макропластичність.

Список посилань

1. Dubois J.-M. Introduction to Quasicrystals./ Dubois J.-M. – Berlin: Springer Verlag, 1998. – 392 p.
2. Кисель В.М. Высокоскоростное воздушно-топливное напыление – современный метод нанесения жаро- и износостойких металлических и композиционных покрытий / В.М. Кисель, Ю.Е. Евдокименко, В.Х. Кадыров, Г.А. Фролов // Авиационно-космическая техника и технология. – 2007. – №8 (44). – С. 31-35.
3. Bresson I. Plastic deformation in AlCuFe icosahedral phase / L.Bresson L., D.Gratias //J. Non-Cryst. Solids. – 1993. – Vol. 153&154. – P. 468-472.
4. Гудцов Н.Т. Изучение процесса старения металлов и сплавов измерением твердости при нагреве в вакууме / Н.Т. Гудцов, И.Г. Лозинский // Журнал технической физики. – 1952. – Т.22, №8. – С.1249.
5. Yu.V. Milman. Plasticity characteristic obtained through hardness measurement (overview No. 107). / Yu.V. Milman, B.A. Galanov, S.I. Chugunova. // Acta Met. and Mater., V.41. – No.9. – 1993. – P.2523-2532.