

## ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ АМОРФНИХ ТА НАНОКРИСТАЛІЧНИХ СПЛАВІВ

Сердюк Є.І.

**Науковий консультант:** д.т.н., професор Сайчук О.В.

*Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка  
м. Харків, Україна*

Залежно від склотвірної здатності аморфні сплави (АС) можуть бути синтезовані різними методами. Сплави з низькою склотвірною здатністю можуть бути отримані в аморфному виді за допомогою конденсації з парової фази. Однак цей спосіб вимагає більших витрат енергії і малоефективний. Інші сплави можуть бути отримані механічним стиранням, особливо розмелом у кульовому млині або шляхом інтенсивної пластичної деформації. Набагато більш продуктивним є, так званий, метод спинінгування, що полягає у швидкісному затвердінні розплаву на безупинно охолоджуваному обертовому барабані. За допомогою цього методу АС одержують у вигляді тонких плівок, стрічок або в масивному виді. Вони метастабільні при кімнатній температурі і кристалізуються при нагріванні вище температури кристалізації, яка залежить від швидкості нагрівання. У багатьох АС первинною реакцією при нагріванні є випадання наночасток у залишковій аморфній фазі. Такі нанокристалічні сплави (НКС) мають щось загальне зі старіючими кристалічними сплавами. У них матрицею для кристалічної фази служить аморфна фаза. Деякі з таких матеріалів мають поліпшені механічні властивості в порівнянні з однофазними АС. У наші дні метод кристалізації аморфних сплавів широко використовується для одержання НКС і формування нанокристалічної структури [1].

У цей час промисловістю методом швидкого загартування виготовляються кілька видів АС і НКС. Масово виробляються групи сплавів на основі Fe, Ni і Co.

Важливими особливостями фізико-механічних властивостей АС і НКС є те, що вони мають високі: міцність, твердість, зносостійкість і опір корозії, включаючи пасивацію в деяких розчинах. Крім того, АС демонструють надпластичність, включаючи сверхпластичність при високій швидкості деформації. Межа втоми АС і НКС порівнянний зі значеннями для високоміцних сплавів. Наприклад, в АС на основі Fe, С і Ni твердість може досягати значень більше 1000 МПа, а міцність - понад 4,0 ГН/м<sup>2</sup>.

Важливим фактором, що впливає на міцність, АС і НКС, є їхній хімічний склад. У сплавах з однаковими елементами основи міцнісні властивості міняються залежно від виду і концентрації атомів металоїдів.

Одним із властивостей АС є мала пружність, обумовлена відсутністю регулярності в розташуванні атомів. Атоми, що перебувають у хитких положеннях, можуть порівняно легко зміщатися під дією зовнішніх напружень, у результаті чого прикладене до аморфного металу напруження може частково релаксувати. Непружність аморфних металів зв'язана з вільним об'ємом у їхній структурі, а, отже, і із щільністю сплаву [2].

Ще однією характерною рисою АС є те, що вони, будучи високоміцними матеріалами, мають одночасно надзвичайно високу в'язкість руйнування. Концентрація напружень у вершинах тріщин в АС супроводжується великою пластичною деформацією, тому енергія, необхідна для поширення тріщин у такому матеріалі, стає надзвичайно високою [2].

Згідно із загальноприйнятим уявленням, явища, що відбуваються при нагріванні АС є конфігураційно-замороженими, метастабільними речовинами без дальнього порядку в розташуванні атомів. Вони стабілізовані нижче температури стіклування. Через свою термодинамічну квазірівновісність АС піддаються впливу пропорційної різниці термодинамічного потенціалу аморфного і рівноважного станів, що призводить до їхньої релаксації, навіть при відсутності зовнішніх впливів. Відомо два види такої релаксації - гомогенна і гетерогенна. Гомогенна релаксація відбувається однорідно в повному об'ємі матеріалу зі збереженням його аморфності. При цьому нестабільні атомні конфігурації, що виникають у процесі одержання АС, перетворюються в стабільні конфігурації за допомогою невеликих атомних зсувів. Суттєво також і те, що зсув атомів у процесі структурної релаксації менше міжатомних відстаней і відбуваються вони в локальних областях. Гетерогенна релаксація призводить до появи в матеріалі областей з далеким порядком, тому що з'являється можливість для переміщення атомів на більші відстані, і характеризується наявністю фазових границь. Вона здійснюється зародженням і ростом метастабільної кристалічної фази і супроводжується виділенням схованої теплоти фазового перетворення. Суттєво, що швидкість процесів появи нової фази активаційним образом росте з підвищенням температури. Причому, специфіка фазових перетворень в АС і НКС, полягає в тому, що при тих самих зовнішніх умовах у них можуть реалізуватися як повільні, так і швидкі, вибухові режими кристалізації [3].

Проаналізувавши процеси, що проходять при нагріванні, АС і НКС, можна припустити, що за рахунок високої швидкості охолодження продуктів ерозії і дискретності процесу ЕЮ застосування в якості електродних матеріалів АС і НКС дозволить одержати ЕПП високої мікротвердості, з аморфної і нанокристалічної структурами, а також підвищити товщину нанесеного шару і продуктивність процесу.

#### Список літератури

1. Никифорова, О. В. Кинетика процессов структурообразования при кристаллизационном отжиге аморфных сплавов с различным комплексом легирования: дис. ... канд. тех. наук: 05.16.01 / Никифорова Оксана Вадимовна. - СПб., 2009. - 101 с.
2. Судзуки, К. Аморфные металлы: [пер. с японского] / К. Судзуки, Х. Фудзимори, К. Хасимото; под. ред. Ц. Масумото. - М.: Металлургия, 1987. - 328 с.
3. Пермякова, И.Е. Эволюция механических свойств и особенности кристаллизации металлического стекла системы Co-Fe-Cr-Si, подвергнутого термической обработке: дис. ... канд. физ.-мат. наук: 01.04.07 / Пермякова Инга Евгеньевна. - Тамбов, 2004. - 140 с.