

**Щерецький В.О.¹, Верховлюк А.М.¹, Сергієнко Р.А.¹, Щерецький О.А.¹,
Каніблоцький Д.С.¹, Таранухіна Л.Д.¹, Биба Є.Г.²
(¹ФТІМС НАН України; ²КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ)
**ВПЛИВ АЛЮМІНІЮ ТА ХРОМУ НА ЖАРОСТІЙКІСТЬ
ВИСОКОЕНТРОПІЙНИХ СПЛАВІВ****

E-mail: rnmptima@ukr.net

Високоентропійні сплави (ВЕС) являють собою унікальний клас металевих матеріалів, які номінально містять п'ять або більше елементів у майже еквіатомних пропорціях. Сплави з високою ентропією викликають значний інтерес у першу чергу тому, що висока конфігураційна ентропія в таких системах сплавів блокує утворення інтерметалевих та хімічних сполук. Що призводить до формування однофазної структури твердого розчину, або комбінації твердих розчинів.

Високоентропійні сплави, структура яких складається з одно- або двофазного твердого розчину, в яких кристалічна ґратка зазнає значної деформації, можуть володіти новими, раніше недосяжними, комбінаціями властивостей. ВЕС можуть формувати багатофазні структури, що дозволяє оптимізувати їхні властивості для конкретних застосувань. Вони можуть мати високу міцність та витривалість при нормальних та екстремальних умовах, таких як високі температури, корозія та тертя. Деякі високоентропійні сплави проявляють велику стійкість до корозії, що робить їх привабливими для застосувань у середовищах з високою хімічною активністю [1].

Хром і алюміній суттєво сповільнюють окиснення сплавів на основі заліза внаслідок утворення високозахисних оксидних плівок, тому ці елементи широко використовують для легування сталей з метою підвищення їх жаростійкості [2].

В роботі досліджували жаростійкість високоентропійних сплавів систем FeCrCuNiAl та FeCrCuNiMn, які були виплавлені на повітрі індукційною плавкою з заливанням у кварцові трубки та методом лиття за моделями, що газифікуються.

Хімічний склад досліджених зразків ВЕС визначено на рентгенофлуоресцентному експрес-аналізаторі «EXPERT 3L» та наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Хімічний склад зразків ВЕС, за даними РФА, вміст елементів вказано в мас. %

№ зразка	Система	Fe	Ni	Cr	Mn	Al	Cu	C	Si
1	FeNiCrCuMn	24,537	19,763	18,756	15,733	-	20,004	0,810	0,371
2	FeCrCuNiAl	26,448	22,296	18,409	0,127	6,174	25,352	0,740	0,437
3	FeNiCrCuMn	22,847	20,326	16,844	16,259	-	22,594	0,700	0,403
4	FeCrCuNiAl	26,779	22,705	18,012	0,231	6,318	24,770	0,640	0,526
5	FeCrCuNiAl	23,449	23,295	14,062	0,375	10,146	28,464	0,070	0,126
6	FeCrCuNiAl	26,193	23,711	12,860	0,116	11,247	25,669	0,100	0,093
7	FeNiCrCuMn	23,351	20,987	13,236	17,784	-	24,385	0,090	0,147
8	FeNiCrCuMn	24,147	21,360	11,286	18,875	-	24,041	0,080	0,191

Відповідно до результатів аналізу, фазовий склад зразків системи FeNiCrCuMn представлений комбінацією твердих розчинів з ГЦК ґраткою, а сплави системи FeCrCuNiAl – комбінацією твердих розчинів з ОЦК та ГЦК ґратками. Після заливання сплавів в обох системах утворюється дендритна структура.

Дослідження окалиностійкості високоентропійних сплавів проводили по методиці згідно ГОСТ 6130-71 «Методи визначення жаростійкості», фіксуючи відношення зміни маси зразка до площі його поверхні (мг/см²).

Для дослідження окалиностійкості використовували прилад синхронного термічного аналізу STA 449 Jupiter F1, зразки нагрівали з максимально можливою швидкістю 50 град./хв до 900 °С та 1000 °С. Після нагрівання зразок піддавали ізотермічній витримці протягом 4 годин.

Результати дослідження представлені у вигляді діаграм на рис. 1.

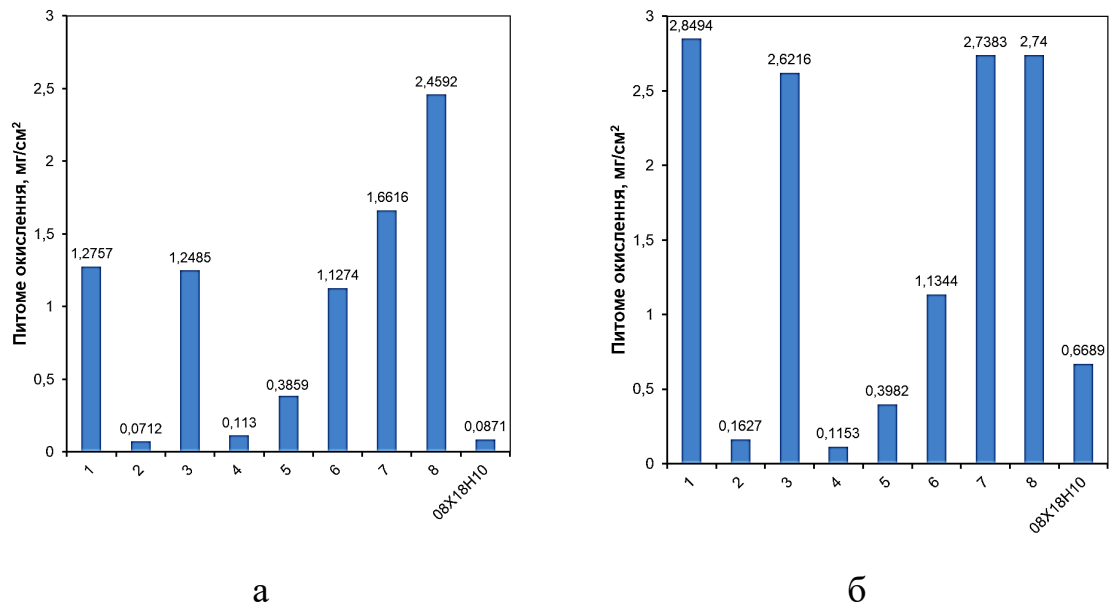


Рис. 1. Питоме окиснення зразків після витримки 4 години в атмосфері штучного повітря при температурах 900 °C (а) та 1000 °C (б)

Одержані результати свідчать, що високоентропійні сплави системи FeCrCuNiAl є жаростійкими і за показниками жаростійкості (інтенсивність окиснення поверхні та робоча температура) можуть значно перевищувати жаростійкі аустенітні сталі. Встановлено, що заміна Mn в багатокомпонентній системі ВЕС на Al сприяє підвищенню опору високотемпературному окисленню, вірогідно за рахунок утворення на поверхні Al_2O_3 . Хром, як і в сплавах на основі заліза та нікелю, загалом позитивно впливає на жаростійкість ВЕС, а його вміст на рівні 18 мас. % надає їм тривалу стійкість від окислення за температури 1000 °C.

Література:

1. Qiu, Y., Thomas, S., Gibson, M.A. et al. Corrosion of high entropy alloys. // *npj Mater Degrad.* – 2017. – 1(15), P. 1-18. <https://doi.org/10.1038/s41529-017-0009-y>
2. Wang F.J., Zhang Y., Chen G.L., Cooling rate and size effect on the microstructure and mechanical properties of AlCoCrFeNi high entropy alloy // *J. Eng. Mater. Technol.* – 2009. – V. 3. – P. 034501.