

УДК: 669-15, 39.376, 539.377, 539.431.2

А. Левенець, М. Тихоновський, к.ф.-м.н.

Національний Науковий центр «ННЦ ХФТІ», Україна

НОВІ ВИСОКОЕНТРОПІЙНІ МАТЕРІАЛИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ЇХ НАНОСТРУКТУРИЗАЦІЇ

A. Levenets, M. Tikhonovsky, Ph.D.

National Science Center «NSC KIPT», Ukraine

NOVEL HIGH-ENTROPY MATERIALS AND WAYS OF THEIR NANOSTRUCTURIZATION

Abstract. A new class of metallic materials, so-called “high-entropy alloys” (HEAs), was under review. Various definitions of these alloys are given, their main differences from the conventional alloys are indicated. The dynamics of publications in recent years in various databases indicates that there is an inexhaustible interest in these alloys. The unique set of properties makes these alloys suitable for any application (low temperature applications, aerospace, nuclear power etc.).

Багатокомпонентні концентровані чи високоентропійні сплави (ВЕС) – це сплави, що містять 4-5 та більше елементів у рівному чи майже рівному співвідношенні. Головною особливістю ВЕС є наявність чотирьох ефектів, що впливають на структуру та властивості цих сплавів: висока ентропія змішування, сильне спотворення решітки, сповільнена дифузія та «коктейльний» ефект [1]. Завдяки структурним особливостям ВЕС мають набір унікальних властивостей: висока міцність, висока в'язкість руйнування при низьких температурах, висока термічна стабільність, корозійна стійкість. Такі сплави можуть стати перспективними матеріалами для різних областей застосування – аерокосмічна область, атомна енергетика, кріогеніка, біомедицина, тощо. Важливість цього класу матеріалів можна оцінити за зростаючим числом публікацій. Більше 5000 робіт було опубліковано з 2004 року до 2020 (див. рис. 1) [2].

По мірі розвитку ВЕС їх можна розділити на декілька поколінь. Перше покоління ВЕС має однофазну структуру з ГЦК ґраткою. Такі сплави можуть конкурувати з традиційними аустенітними сталями, що, зазвичай, легуються подібними елементами (див. рис.2) [3].

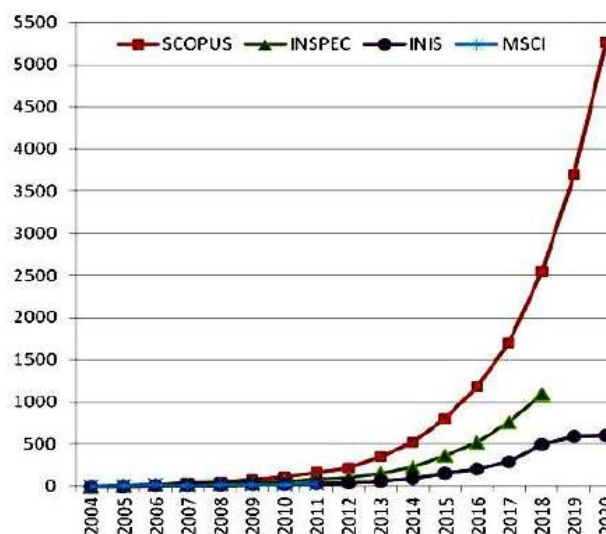


Рис. 2. Кумулятивне збільшення кількості публікацій, відображених у різних базах даних.

Друге покоління ВЕС відрізняється наявністю другої фази (чи комплексу фаз) та складаються з 4х та більше елементів у не еквімолярному відношенні. Третє покоління ВЕС відносять до формування в сплавах за допомогою термомеханічної обробки та інтенсивної пластичної деформації наноструктурного стану, що призводить до появи унікальних механічних властивостей.

Одним із способів отримання наноструктурного стану в ВЕС є метод кручення під високим тиском (КпВТ). Метод КпВТ дозволяє здійснювати великі деформації зсуву та є одним з найбільш ефективних методів для досягнення наноструктурного стану. Наприклад, КпВТ сплава $\text{Co}_{20}\text{Cr}_{26}\text{Fe}_{20}\text{Mn}_{20}\text{Ni}_{14}$

при кімнатній температурі призводить до зростання межі міцності в 3 рази (з 700 до 2100 МПа) [4]. Для сплава CoCrFeMnNi КпВТ при 300 К призводить до зростання мікротвердості з 1,4 ГПа до 4,75 ГПа. Пониження температури КпВТ призводить до ще більшого зростання мікротвердості (див. рис. 3).

Висновки:

1. Концепція ВЕС відкриває нове широке поле сплавів, які мають унікальні властивості.

2. Досягнення нанокристалічного стану в ВЕС призводить до значного зростання їх механічних характеристик

Література.

1. B.S. Murty, J.W. Yeh, S. Ranganathan, P.P. Bhattacharjee. High-entropy alloys: basic concepts. Elsevier, High-Entropy Alloys, (2019), 13-30.
2. A.V. Levenets, M.A. Tikhonovsky, V.N. Voyevodin, A.G. Shepelev, O.V. Nemaskalo. High-entropy alloys as a prospective class of new radiation-tolerant materials. Research development analysis based on the information databases. PAST, 2021.
3. Y. Zhang, T.T. Zuo, Z. Tang, M.C. Gao, K.A. Dahmen, P.K. Liaw, Z.P. Lu. Microstructures and properties of high-entropy alloys // Prog. Mat. Sci. 2014, N 61, p. 1-93.
4. J. Moon, Y. Qi, E. Tabachnikova, Y. Estrin, W.-M. Choi, S.-H. Joo, B.-J. Lee, A. Podolskiy, M. Tikhonovsky, H.S. Kim, Microstructure and mechanical properties of high-entropy alloy $\text{Co}_{20}\text{Cr}_{26}\text{Fe}_{20}\text{Mn}_{20}\text{Ni}_{14}$ processed by high-pressure torsion at 77 K and 300 K, Sci. Rep. 8 (2018) 11074.

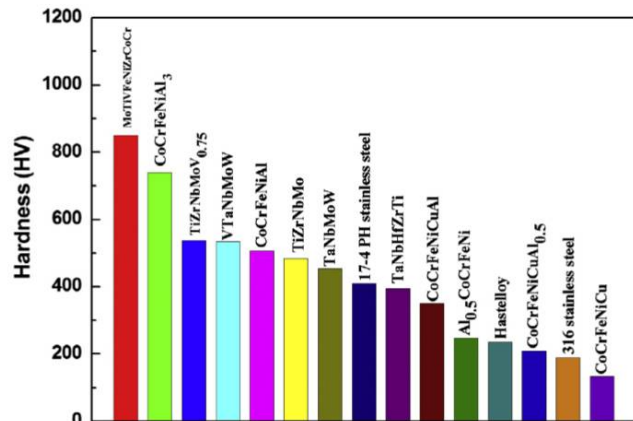


Рис. 3. Порівняння твердості деяких ВЕС із нержавіючими сталями та Hastelloy.

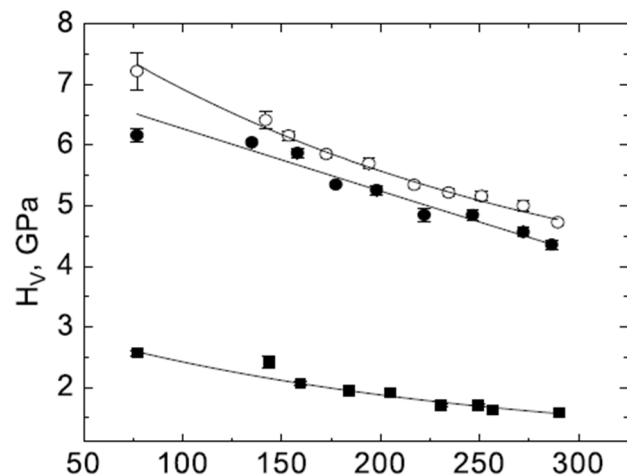


Рис. 4. Температурна залежність мікротвердості сплава: ■ – без КпВТ, ○ – КпВТ при 300 К, ● – КпВТ при 77 К.