

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ТВЕРДОГО РАСТВОРА В ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ СПЛАВАХ СИСТЕМЫ Co-Cr-Fe-Mn-Ni

Осинцев К.А.^{1,2}, Коновалов С.В.^{1,2}, Громов В.Е.¹, Чэнь С.^{1,2}, Панченко И.А.¹

¹) Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия

²) Самарский национальный исследовательский университет имени академика
С.П. Королева, г. Самара, Россия

E-mail: kirilloss@yandex.ru

PREDICTION OF SOLID SOLUTION FORMATION IN Co-Cr-Fe-Mn-Ni SYSTEM HIGH-ENTROPY ALLOYS

Osintsev K.A.^{1,2}, Konovalov S.V.^{1,2}, Gromov V.E.¹, Chen X.^{1,2}, Panchenko I.A.¹

¹) Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

²) Samara National Research University, Samara, Russia

In this paper, enthalpy of mixing, atomic radii differences and thermodynamic criteria Ω were used to predict solid solution formation of Co-Cr-Fe-Mn-Ni system high-entropy alloys in the range of atomic fraction, x from 0 to 5 for each of the elements.

Высокоэнтروпийные сплавы (ВЭС) представляют собой новый класс металлических сплавов, обычно состоящий из пяти и более основных элементов, находящихся в соотношении от 5 до 35 ат. % [1]. По сравнению с системами сплавов с одним основным элементом, увеличение прочности и твердости в ВЭС объясняется более высокой степенью дефектов решетки, вызванных твердорастворным упрочнением. Ранее было установлено, что образование твердого раствора ожидается при удовлетворении следующих условий: $-20 \leq \Delta H_{\text{смеш}} \leq 5$ кДж/моль, $1 < \Omega < 6.6$, $1 < \delta_r < 6.6\%$, где $\Delta H_{\text{смеш}}$ – энтальпия смешения, Ω – термодинамический параметр, предложенный в работе [2] и учитывающий вклад энтропии смешения в образование твердого раствора, и δ_r – разность в атомных радиусах компонентов [3]. Одним из первых высокоэнтропийных сплавов, имеющих структуру твердого раствора является эквиатомный сплав системы CoCrFeMnNi [4]. В последующих работах были изучены сплавы данной системы, имеющие не эквиатомное соотношение элементов, полной информации, включающей в себя сведения о влиянии атомной доли каждого из компонентов на образование твердого раствора, до настоящего времени получено не было. В связи с этим, в данной работе было проведено теоретическое исследование образования твердого раствора в сплавах системы Co-Cr-Fe-Mn-Ni в диапазоне x от 0 до 5.

На рис. 1 представлены зависимости энтальпии смешения, $\Delta H_{\text{смеш}}$, термодинамического параметра, Ω и разности в атомных радиусах, δ_r от атомной доли компонентов, x высокоэнтропийных сплавов системы Co-Cr-Fe-Mn-Ni. Исходя из представленных результатов можно сделать вывод, что твердый раствор может быть образован в сплавах $\text{Co}_x\text{CrFeMnNi}$, $\text{CoCr}_x\text{FeMnNi}$ во всем рассматриваемом диапазоне x , $\text{CoCrFe}_x\text{MnNi}$ при $0 \leq x < 1,6$, $\text{CoCrFeMn}_x\text{Ni}$ при $x > 0,05$, CoCrFeMnNi_x при $x > 0,6$. Таким образом, результаты проведенного исследования

показывают, что диапазон атомных долей компонентов, при которых сплавы системы Co-Cr-Fe-Mn-Ni могут образовывать твердый раствор, может быть существенно расширен. Это, в свою очередь демонстрирует, что высокоэнтروпийные сплавы не эквиатомного состава, также могут обладать повышенной прочностью и твердостью, благодаря твердорастворному упрочнению.

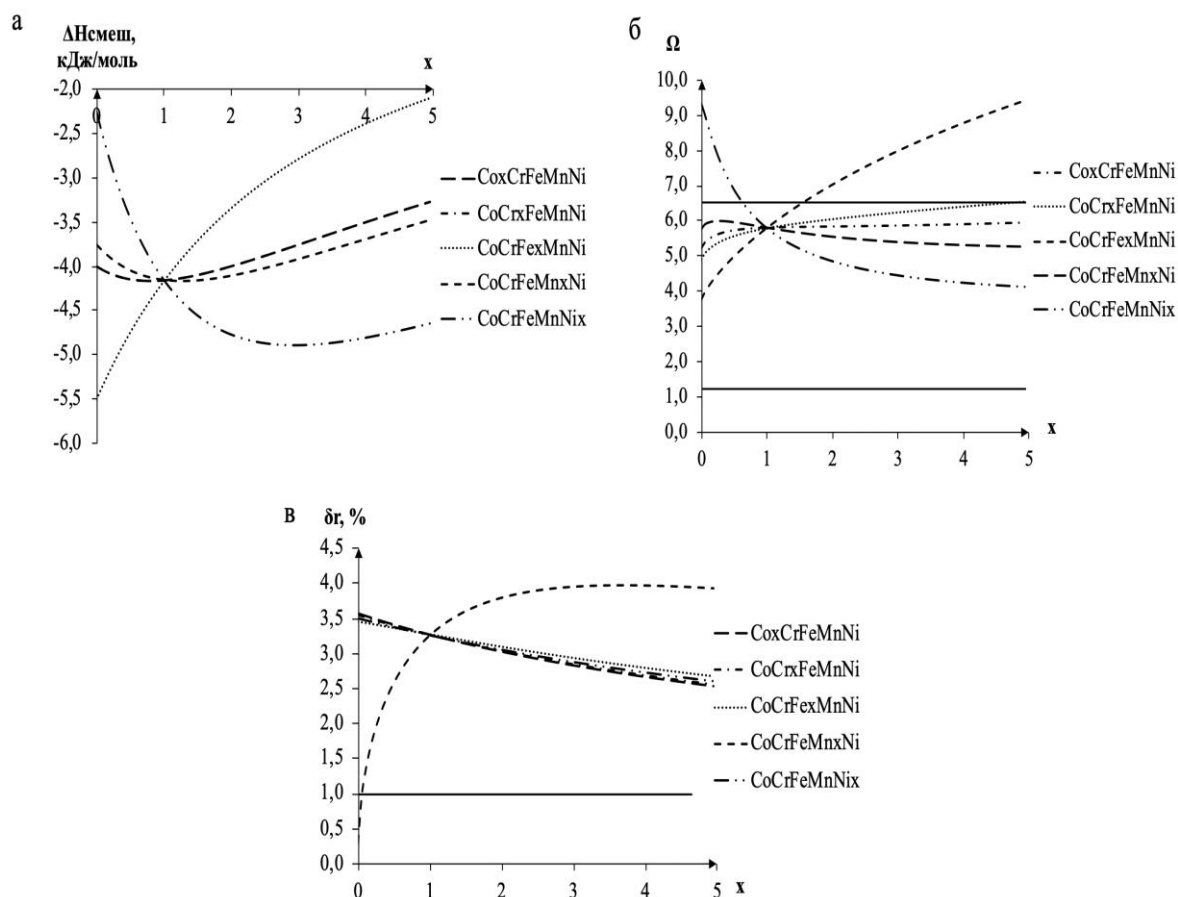


Рис. 1. Зависимости энтальпии смешения, $\Delta H_{\text{смеш}}$ (а), термодинамического параметра, Ω (б) и разности в атомных радиусах, δr (в) от атомной доли компонентов, x высокоэнтропийных сплавов системы Co-Cr-Fe-Mn-Ni

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 20-19-00452).

1. D. B. Miracle and O. N. Senkov, Acta Mater. 122, 448–511 (2017).
2. X. Yang and Y. Zhang, Mater. Chem. Phys. 132, 233–238 (2012).
3. Y. Zhang, Y. J. Zhou, J. P. Lin, G. L. Chen and P. K. Liaw, Adv. Eng. Mater. 10, 534–538 (2008).
4. B. Cantor, I. T. H. Chang, P. Knight and A. J. B. Vincent, Mater. Sci. Eng. A 375–377 213–218 (2004).