

## УДК 620.22

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОГО СПЛАВА СИСТЕМЫ NI-CO-CR

Валюхова Ирина Владимировна<sup>(1)</sup>, Власов Иван Игоревич<sup>(2)</sup>, к.т.н. Севальнёв Герман Сергеевич<sup>(2)</sup>

*Магистр 1 года<sup>(1)</sup>,  
кафедра «Материаловедение»  
Московский государственный технический университет*

*НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ<sup>(2)</sup>*

*Научный руководитель: Сафонов Михаил Дмитриевич,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»*

В настоящее время одним из наиболее перспективных направлений развития новых конструкционных материалов для ответственных деталей силовых установок и ракетно-космической техники является разработка высокоэнтропийных (ВЭС) сплавов с дальнейшей заменой коммерческих никелевых жаропрочных суперсплавов для различных деталей ТВД. [1-2]. Одним из наиболее перспективных направлений является разработка и исследование энтропийных сплавов (ЭС) или сплавов с высокой энтропией смешения [3-4].

Для достижения высоких показателей сопротивления термическому воздействию учеными активно исследуются системы на базе NiCoCr с дополнительным введением легирующих компонентов. Такие сплавы могут быть получены как по традиционной технологии с применением выплавки и обработки давлением, так и аддитивным методом с формированием различного уровня характеристик, что делает данное направление исследований достаточно перспективным [5].

Объектами исследования выступали высокоэнтропийные сплавы на базе системы Ni-Co-Cr. Содержание Ni, Co и Cr реализовано в эквивалентном и эквивалентном состояниях, а также рассмотрена расширенная система легирования NiCoCrWNbAlTiReC.

По результату исследования оптической микроскопии было выявлено, что структура сплава состоит из дендритов с избыточными фазами. Анализ химического состава показал, что в структуре присутствуют в основном карбиды. Исследование структуры после горячей деформации показало, что в полученных прутках наблюдается мелкое зерно с классом 3 и большое количество избыточных фаз в теле зерна.

По результатам физико-механических испытаний было установлено, что с увеличением температуры испытания происходит снижение уровня прочностных характеристик, и, в итоге предел прочности и предел текучести становятся практически равны. При этом относительное удлинение также начинает снижаться в температурном диапазоне 900–1100 °С. Так же было установлено, что в этом температурном интервале происходит выравнивание прочностных характеристик сплава после литья и горячей деформации. В этом диапазоне у образца после горячей деформации увеличивается относительное удлинение в 2,5 раза. Все вышеперечисленное свидетельствует о протекании структурно-фазовых превращений в данном интервале температур.

Исследование твердости энтропийного сплава показало, что после процесса горячей деформации твердость незначительно увеличилась, что связано с наличием избыточных фаз. С увеличением длительности выдержки при температуре 1200°С

наблюдается линейный характер снижения твердости сплава. Предположительно это связано растворением избыточных фаз, которые образовались во время горячей деформации. При это также произошло выделение других фаз из матрицы на границу зёрен.

В рамках данной работы были проведены исследования энтропийного сплава в различных состояниях, определены механические свойства при различных температурах. Было установлено, что в связи с протеканием структурно-фазовых превращений в интервале температур 900–1100 °С уменьшаются прочностные характеристики, но возрастаю пластические.

### **Литература**

1. Singh S., Wanderka N., Glatzel U., Banhart J. Decomposition in multi-component AlCoCrCuFeNi hightropy alloy. *Acta Materialia*, 2011, vol. 59, pp. 182–190. DOI: 10.1016/j.actamat.2010.09.023.
2. Cantor B., Chang I.T.H., Knight P., Vincent A.J.B. Microstructural development in equiatomic multicomponent alloys. *Materials Science and Engineering: A*, 2004, vol. 375–377, pp. 213–218. DOI: 10.1016/j.msea.2003.10.257.
3. Cantor B. Multicomponent and high entropy alloys /*Entropy*. 2014. V. 16. №. 9. P. 4749-4768.
4. Yeh J.-W., Chen S.-K., Lin S.-J. et al. Nanostructured hightropy alloys with multiple principal elements: novel alloy design concepts and outcomes. *Advanced Engineering Materials*, 2004, vol. 6, pp. 299–303. DOI: 10.1002/adem.200300567.
5. Yeh J.W. Recent progress in high-entropy alloys. *Annales de Chimie-Science des Materiaux*, 2006, vol. 31, pp. 633–648. DOI: 10.3166/acsm.31.633-648.