

## СИНТЕЗ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ СПЛАВОВ, СОДЕРЖАЩИХ РЕДКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ IV-V ГРУПП

Русских А.С., Красииков С.А., Жилина Е.М., Митюшова Ю.А.

*Институт металлургии УрО РАН, 620016, Екатеринбург, ул. Амундсена, 101,  
e-mail: Russkih\_A\_S@mail.ru*

Около 10-15 лет назад была предложена принципиально новая концепция легирования, основанная на создании многокомпонентных сплавов с отсутствующим основным элементом. Такие сплавы называются высокоэнтропийными сплавами (ВЭС)<sup>1</sup>. Одним из перспективных направлений развития ВЭС является создание композиций для высокотемпературных применений, так называемых термостойких ВЭС. Микроструктура ВЭС аналогична микроструктуре обычных сплавов, но твердый раствор является многоэлементным и может содержать частицы упрочняющих фаз.

В данной работе мы рассмотрели возможность синтеза сплавов Al-Ti-Nb-Zr-Hf-V, Ti-Al-Nb-Zr-Gd совместным алюмотермическим восстановлением металлов из оксидов. Использование алюминия в качестве восстановителя при переходе Al в сплав обеспечивает образование композиций с наименьшей плотностью. Кроме того, Al показывает свою эффективность не только для уменьшения плотности, но также и для стабилизации твердого раствора. Например, авторы<sup>2</sup> показали, что замена Cr в сплавах на Al приводит к снижению плотности с 8,2 до 7,4 г/см<sup>3</sup>, предотвращая выход фазы Лавеса, неблагоприятный для низкотемпературной пластичности, к высоким значениям удельной прочности.

Методология исследования включала термодинамическое моделирование металлотермических реакций<sup>3</sup>. Результаты показали, что при совместном алюмотермическом восстановлении оксидов могут быть выбраны условия для образования преимущественно твердых растворов, и образование стабильных интерметаллических соединений может быть исключено.

### Литература

1. Miracle D.B., Senkov O.N. A critical review of high entropy alloys and related concepts, Acta Mater. 2017. Vol. 122. P. 448–511.
2. Senkov O.N., Senkova S. V., Woodward C. Effect of aluminum on the microstructure and properties of two refractory high-entropy alloys, Acta Mater. 2014. Vol. 68. P.214–228.
3. HSC Chemistry for Windows. Outotec Research Oy Information Service, Finland. URL: <http://www.outotec.com/hsc>.

*Работа выполнена по Государственному заданию ИМЕТ УрО РАН с использованием оборудования ЦКП «Урал-М»*