

# ПОЛУЧЕНИЕ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ТУГОПЛАВКИХ Nb-Mo-Ta-W-V И Nb-Mo-Ta-W-Hf ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ СПЛАВОВ МЕТОДОМ МЕХАНИЧЕСКОГО ЛЕГИРОВАНИЯ

Юркова А.И., Чернявский В.В., Кравченко А.И.

Национальный технический университет Украины «КПИ»

Просп. Победы, 37, Киев, 03056, Украина,

yurkova@list.ua; vadikv13@gmail.com.

Высокоэнтропийные сплавы (ВЭСы) – это многокомпонентные металлические сплавы, содержащие 5 и более элементов, при этом концентрация каждого может изменяться от 5 до 35 ат.% в зависимости от количества компонентов в сплаве. Высокая энтропия смешения разных металлических элементов ( $n \geq 5$ ) с концентрацией, близкой к эквиполной, может значительно уменьшить свободную энергию Гиббса и стабилизировать твердые растворы с простой кристаллической структурой и хорошей комбинацией свойств, таких как высокая прочность, термостабильность, сопротивление износу и коррозии, как при комнатной, так и при высокой температуре [1]. ВЭСы могут быть получены теми же методами, что и традиционные сплавы. Основным преимуществом МЛ над литьем, особенно многокомпонентных систем с большими различиями в температурах плавления исходных компонентов, является увеличение однородности твердых растворов в условиях обработки при комнатной температуре. МЛ также обеспечивает формирование нанокристаллической структуры, что способствует улучшению механических свойств сплавов, по сравнению с другими способами их получения.

На сегодняшний день особое значение уделяется исследованию высокоэнтропийных сплавов на основе переходных металлов, таких как Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Ti и Cu. Систематические исследования синтеза методом МЛ ВЭСов на основе тугоплавких элементов для высокотемпературного применения практически отсутствуют. Целью настоящей работы явилось изучение возможности формирования тугоплавких высокоэнтропийных сплавов NbMoTaWHf и NbMoTaWV методом механического легирования.

Смеси исходных порошков Nb-Mo-Ta-W-Hf и Nb-Mo-Ta-W-V (чистотой выше 99,5%) эквиполного состава с размером частиц  $\leq 45$  мкм подвергали МЛ в планетарной мельнице на протяжении 10 ч в бензине. Формирование

структуры и фазового состава сплавов на разных этапах МЛ (1; 2; 5; 10 час.) исследовали на рентгеновском дифрактометре Riga-ku Ultima IV в  $\text{Cu } K_{\alpha}$  излучении. Изменение размера частиц, их морфологии и химического состава изучали с помощью сканирующего электронного микроскопа РЕММА - 101А, укомплектованного энергодисперсионным рентгеновским (EDX) микроанализатором.

По мере увеличения продолжительности МЛ, интенсивность дифракционных максимумов, принадлежащих исходным компонентам, уменьшается, а их ширина увеличивается, что является следствием уменьшения размера кристаллитов и повышения уровня микронапряжений в результате интенсивной пластической деформации. Средний размер ОКР, рассчитанный по уширению дифракционных максимумов, исключая влияние микронапряжений и инструментального расширения, после 2 ч обработки не превышал 40 нм. После 10 часов МЛ средний размер ОКР уменьшился до 17 нм. Исчезновение дифракционных максимумов большинства компонентов порошковой смеси после 5 часов МЛ и смещение максимума W в сторону меньших брэгговских углов указывает на формирование твердого раствора замещения. Можно предположить, что V, Hf, Mo, Nb и Ta растворяются в ОЦК-решетке W. Результаты количественного рентгеноспектрального анализа показали однородный эквиполный состав частиц NbMoTaWV и NbMoTaWHf сплавов после 10 часов МЛ.

Методом механического легирования смеси порошков эквиполного состава синтезированы однофазные высокоэнтропийные NbMoTaWHf и NbMoTaWV сплавы, состоящие из ОЦК твердого раствора замещения с нанокристаллической структурой.

1. Yeh J.-W., Chen Y.-L., Lin S.-J., Chen S.-K. High-Entropy Alloys – A New Era of Exploitation // Materials Science Forum. - 2007. - 560. - P.1- 9.