

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 538.911; 548.4; 669.17: 620.186.8''

DOI: 10.17223/00213411/62/9/185

И.А. ДИТЕНБЕРГ^{1,2}, М.А. КОРЧАГИН³, И.В. СМЕРНОВ^{1,2}, К.В. ГРИНЯЕВ^{1,2}, Ю.П. ПИНЖИН^{1,2},
В.В. МЕЛЬНИКОВ¹, Д.А. ОСИПОВ¹, А.И. ГАВРИЛОВ³, М.А. ЕСИКОВ⁴, В.И. МАЛИ⁴

МИКРОСТРУКТУРА И МИКРОТВЕРДОСТЬ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ СИСТЕМЫ ПОСЛЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ И ИСКРОВОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ *

Ключевые слова: механическая активация, искровое плазменное спекание, многокомпонентная система.

Многокомпонентные системы на основе тугоплавких металлов представляют интерес для использования в атомной энергетике и аэрокосмической индустрии [1–5]. Исследования в данных областях в первую очередь направлены на повышение термической стабильности прочностных свойств при высоких температурах. Существенной металлургической проблемой при получении таких систем является значительное различие в температурах плавления образующих компонентов (например: W – 3380 °С, Ta – 3014 °С, V – 1920 °С, Ti – 1671 °С), вследствие чего традиционные подходы в ряде случаев оказываются несостоятельными. Одним из способов получения подобных систем является комбинированное использование механической активации (МА) [6] и последующего импульсного плазменного спекания/синтеза (ИПС) [7, 8]. Такой подход успешно применяется как для синтеза интерметаллидных соединений [9], так и при получении высокоэнтропийных сплавов разных систем [5, 10, 11].

В настоящей работе проведено изучение микроструктуры и микротвердости многокомпонентного сплава на основе тугоплавких металлов (W–Ta–Mo–Nb–V–Cr–Zr–Ti), полученного путем механической активации порошковой смеси с последующим импульсным плазменным спеканием.

Элементный состав многокомпонентной смеси в весовых и атомных процентах приведен в таблице.

Элементный состав системы порошков в весовых (вес. %) и атомных (ат. %) процентах

Содержание	W	Ta	Mo	Nb	V	Cr	Zr	Ti
Вес. %	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
Ат. %	5.3	5.4	10.1	10.5	19.1	18.7	10.7	20.3

МА проведена в планетарной шаровой мельнице АГО-2 с водяным охлаждением. Объем каждого из двух стальных барабанов мельницы – 160 см³, диаметр шаров – 8 мм, масса шаров в каждом барабане – 200 г, масса образца – 11.44 г. Центробежное ускорение шаров – 400 м/с² (40g). Для предотвращения окисления обработку и выгрузку образцов осуществляли в атмосфере аргона. Продолжительность активации по указанному режиму составляла 10.5 мин. Для предотвращения слипания порошковой смеси перед выгрузкой смеси обработка (продолжительностью до 0.5 мин) производилась с добавлением спирта. ИПС проведено на установке SPS Labox-1575 в условиях давления 40 МПа при температуре 1250 °С с выдержкой не менее 5 мин. Образцы получены в виде таблеток диаметром 20 мм и толщиной 1.5 мм. Микротвердость (H_{μ}) определяли методом Виккерса на приборе «Neophot 21» при нагрузке 0.5 Н и выдержке 15 с.

Изучение микроструктуры методом просвечивающей электронной микроскопии проведено на микроскопе Philips CM-12 (120 кВ). Морфология смеси порошков после МА, энергодисперсионный анализ химического состава прекурсоров и синтезированных образцов изучены с применением растровых электронных микроскопов FEI Quanta 200 3D (30 кВ) и Tescan Vega 3 SBH (20 кВ).

Полученный после МА прекурсор характеризуется формированием конгломератов размерами от нескольких десятков до сотни микрометров (рис. 1, а), состоящих из мелких (субмикронных и микронных размеров) порошинок исходных компонентов. Результаты энергодисперсионного анализа свидетельствуют об однородном механическом перемешивании многокомпонентной системы на стадии МА.

Микроструктура спеченных образцов представлена зернами субмикронных и микронных размеров (рис. 1, б), различающихся фазовым составом. Внутри некоторых зерен присутствуют как дефектная структура в виде дислокаций и двойников, так и мелкодисперсные включения вторых фаз. Фрактограмма излома (рис. 1, в), полученного при температуре жидкого азота, преимущественно характеризуется хрупким типом разрушения, при этом наблюдается выкрашивание наиболее мелких кристаллитов.

После МА микротвердость прекурсора характеризуется высокой неоднородностью: при среднем значении 9.28 ГПа разброс составляет ± 1.31 ГПа. В результате ИПС среднее значение микротвердости снижается до 8.95 ГПа, а отклонения не превышают ± 0.42 ГПа.

* Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ (госзадание № 3.9586.2017/8.9).

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>