

**СОЗДАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ МОЛИБДЕНА И МЕДИ ДЛЯ
ТЕРМОРЕГУЛИРОВАНИЯ В ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМАХ**

Ю.Н. ВЫМПИНА, Ю.Л. ШАНЕНКОВА

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: xyulyashax@mail.ru

Композиционные материалы на основе молибдена Mo и меди Cu широко используются для различных электронных устройств, теплоотводящих материалов, вакуумных технологий, авионавтики и др. [1,2] благодаря их отличным свойствам, таким как высокая теплопроводность и электрическая проводимость, низкий и изменяемый коэффициент теплового расширения, малый вес, немагнитные и высокотемпературные характеристики [3]. В большинстве случаев высокоплотные материалы Mo-Cu с однородной микроструктурой требуются для высокой производительности, поэтому многие учёные осуществляют попытки синтезировать ультрадисперсные порошки Mo-Cu различными способами, такими как распылительная сушка, механическое легирование и т.д. Однако все выше упомянутые способы предполагают консолидацию порошков при высоких температурах с большой выдержкой по времени, что приводит к нежелательному росту частиц материалов. Более того, эти методы чаще всего являются многостадийными и сложными.

В данной работе предлагается получение объёмных материалов посредством консолидации порошков молибдена и меди искровым методом искрового плазменного спекания. Метод является простым, быстрым по сравнению с традиционными методами спекания, что позволяет сохранить мелкозернистую структуру материала.

В работе использовались порошок молибдена, полученный методом электровзрыва проводников и порошок меди Cu, синтезированный плазмодинамическим методом, базовым элементом которого является коаксиальный магнитоплазменный ускоритель с медными электродами. Этот метод является уникальным и позволяет получать дисперсные неорганические материалы за короткий промежуток времени (менее 1 мс) без предварительной подготовки прекурсоров.

Предварительно, проводилась подготовка смеси из порошков Mo и Cu соотношении 70:30 путём перемешивания в шаровой мельнице Mixer/Mill 8000M в течение 30 минут в форме из нитрида кремния Si₃N₄. Далее полученные смеси консолидировались в установке искрового плазменного спекания SPS 10-4 Thermal Technology при параметрах, приведённых в таблице 1. Стоит отметить, что главным изменяющимся параметром является температура спекания [17].

Таблица 1 – Параметры спекания порошковых смесей

Состав смеси	Рабочая атмосфера	Время выдержки, мин.	Температура спекания, °С	Давление, МПа
70Mo+30Cu	Вакуум	10	1000÷1100, Δt = 20	60

Далее полученные образцы без какой-либо предварительной подготовки исследовались методом рентгеновской дифрактометрии с использованием рентгеновского дифрактометра Shimadzu XRD7000 (Cu-K_α), оснащённым счетным монохроматором. Полнопрофильный анализ дифрактограмм проводился в программной среде «PowderCell2.4» с использованием базы структурных данных PDF4+. На рисунке 1 приведены рентгеновские дифрактограммы для всех образцов.

Видно, что преобладающими фазами являются Mo (кубическая сингония, пространственная группа Im3m {229}) и Cu (кубическая сингония, пространственная группа Fm-3m {225}), т.к. эти материалы изначально закладывались в пресс-формы. Также был обнаружен вольфрам W (кубическая сингония, пространственная группа Im3m {229}),

процентное содержание которого также различно в конечных продуктах, однако оно не превышает 10 %. Наличие вольфрама объясняется загрязнением с электродов во время синтеза порошка (электроды были выполнены из вольфрама) – как говорилось ранее, указанный материал был получен методом электровзрыва проводников. Помимо основных фаз, идентифицированы химические соединения, как карбид молибдена Mo_2C и оксид молибдена MoO_2 . Их присутствие первого обусловлено диффузией между частицами молибдена и графитовой пресс-формы, присутствие второго – исходным состоянием порошков.

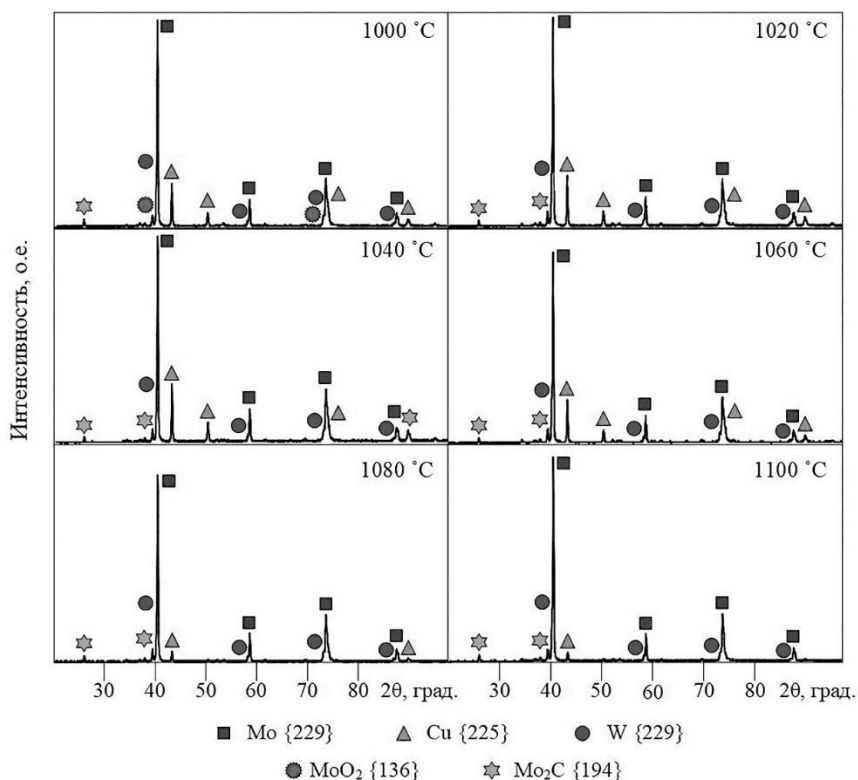


Рисунок 1 - Рентгеновские дифрактограммы полученных композиционных образцов

В работе показаны результаты, демонстрирующие возможность получения композиционных материалов на основе металлических порошков молибдена и меди посредством их консолидации искровым плазменным методом. По результатам рентгенофазового анализа обнаружено, что преобладающими фазами являются молибден и медь. Также обнаружены вольфрам, оксид молибдена и карбид молибдена. Для оценки влияния найденных фаз на физико-механические и теплофизические характеристики необходимо проводить дальнейшие исследования.

Список литературы

1. Jinglian F., Yubo C., Tao L., Jiamin T. Sintering behavior of Nanocrystalline Mo-Cu Composite Powders // *Rare Metal Materials and Engineering*. – 2009. – Vol. 38. – № 10. – pp. 1693-1697.
2. Aydinyan S.V., Kirakosyan H.V., Kharatyan S.L. Cu–Mo composite powders obtained by combustion–coreduction process // *Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. – 2016. – Vol. 54. – pp. 455-463.
3. Wang D., Yin B., Sun A., Li X., Qi C., Duan B. Fabrication of Mo-Cu composite powders by heterogeneous precipitation and the sintering properties of the composite compacts // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2016. – Vol. 674. – pp. 347-352.