

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ МО-СИ, ПОЛУЧЕННЫХ В СИСТЕМЕ ИСКРОВОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ

Ю.Н.ВЫМПИНА (ПОЛОВИНКИНА), Ю.Л. ШАНЕНКОВА

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: xyulyashax@mail.ru

Металлические композиционные материалы на основе молибдена и меди обладают такими уникальными свойствами, как высокая теплопроводность и низкое тепловое расширение, механическая прочность, что обуславливает их возможность применения в качестве электродов, корпусов интегральных схем, СВЧ-приборах высокой мощности и т.д. [1-2]. Также молибден является более предпочтительным вольфраму ввиду своей малой плотности. Однако молибден и медь имеют очень малую растворимость в твёрдом состоянии при температуре плавления меди. Это приводит к некоторым трудностям по созданию плотного композиционного материала на основе данных компонентов.

Композиты системы Мо-Си обычно получают путём инфильтрации жидкого металла. Предварительно порошок молибдена спекают, тем самым получая пористую заготовку, затем проводят инфильтрацию расплавленной меди [3]. Однако данный способ имеет множество недостатков, таких как низкая скорость уплотнения, большая длительность процесса. В данной работе представлены результаты по получению композиционных материалов на основе порошков меди и молибдена искровым плазменным методом, а также исследования механических свойств полученных композитов. Данный метод является безопасным, одностадийным, имеет малую продолжительность по времени, что снижает вероятность образования агломератов в конечных продуктах. Также позволяет сохранять мелкозернистую структуру у получаемого материала, что положительно сказывается на механические свойства изготавливаемого материала.

В работе использовалось 2 вида порошка: порошок молибдена – коммерческий, производства Aladdin Industrial Corporation (Китай), порошок меди получен плазмодинамическим методом, в системе коаксиального магнитоплазменного ускорителя с медными электродами [4]. Порошки молибдена и меди использовались в соотношении 70 к 30; смесь готовилась в мельнице Mixer/Mill 8000M в форме из нитрида кремния Si_3N_4 в течение 30 минут без шариков. Далее производили компактирование полученной смеси в установке искрового плазменного спекания при следующих параметрах: $P = 60$ МПа, $t = 10$ минут, окружающая среда – вакуум, температура – от 1000°C до 1060°C , с шагом 20°C .

Микроструктура полученных образцов исследована методом сканирующей электронной микроскопии с использованием сканирующего электронного микроскопа Hitachi TM-3000. Выявлено, что диапазон размера зёрен составляет $3\div 35$ мкм и зависит главным образом от размера частиц исходных порошков. С повышением температуры спекания уменьшается количество пор, тем самым обеспечивается высокая плотность материала. К тому же, в образцах, полученных при температурах $1040\div 1060^\circ\text{C}$, частицы имеют минимальный размер, что также обеспечивает их более плотное прилегание друг к другу. Плотная структура образцов должна положительным образом сказаться на их механических свойствах.

Твердость объёмных образцов определяли с помощью тестера твердости Galileo Durometer Isoscan HV2 OD с нагрузкой образца 0,5 кгс. Измерение твердости проводили по методу Виккерса. Сущность метода заключается во вдавливании в испытуемый материал правильной четырёхгранной алмазной пирамиды с углом 136° между противоположными гранями. Результаты измерений представлены на рисунке 1. Видно, что твёрдость образцов растёт с увеличением температуры, т.к. высокая температура способствует более быстрому уплотнению материала. Наибольшее значение твёрдости было получено для образца, спечённого при $t = 1060^\circ\text{C}$ и равно $260,2$ HV, что значительно выше твёрдости чистого молибдена, равной около 157 HV.

Трибологические характеристики композитов оценивались в условиях возвратно-поступательного скольжения. Испытания проводились с частотой колебаний 2 Гц с радиусом кривизны 2 мм. В качестве индентора использовался шарик карбида вольфрама WC диаметром 10 мм, его скорость составляла 2,5 см/с при 5000 оборотах. Нормальная нагрузка была равной 3 Н. Трибологические испытания проводились при комнатной температуре в воздухе с относительной влажностью 50%. Время проведения эксперимента составляло в среднем 40 минут. На протяжении всего теста регистрировался коэффициент трения. Результаты измерений представлены на рисунке 2. Стоит отметить, что с повышением температуры спекания коэффициент трения падает ввиду более плотной структуры спекаемых таблеток при высоких температурах. Максимальный коэффициент трения был выявлен у образца, полученного при $t = 1060$ °C, и равен 0,48 о.е. Наихудший результат достигается при минимальной температуре спекания, т.е. при 1000 °C ввиду недостаточно высокой температуры спекания.

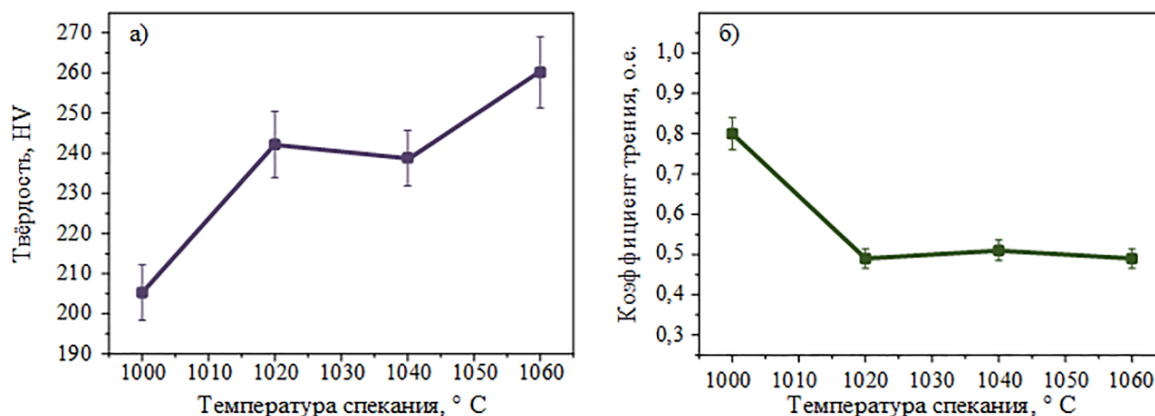


Рисунок 1 – Графики зависимостей твёрдости (а) и коэффициента трения (б) от температуры спекания

В конце стоит отметить, что в работе представлены результаты по созданию металлических композиционных материалов на основе порошков молибдена и меди искровым плазменным методом. Микроструктура образцов формируется мелкозернистой, с малым количеством пор. Выявлено, что наиболее оптимальной температурой спекания является 1060 °C. Образец, полученный при данной температуре, имеет лучшие показатели по твёрдости и коэффициенту трения.

Список литературы

1. Aguilara C., Guzman D., Rojas P.A., Ordoñez Stella, Rios R. Simple thermodynamic model of the extension of solid solution of Cu–Mo alloys processed by mechanical alloying // *Materials Chemistry and Physics*. – 2011. – Vol. 128. – P. 539–542.
2. Kumar A., Jayasankar K., Debata M., Mandal A. Mechanical alloying and properties of immiscible Cu-20 wt.% Mo alloy // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2015. – Vol. 647. – P. 1040-1047.
3. Johnson J.L., German R. M. Role of Solid-State Skeletal Sintering during Processing of Mo-Cu Composites // *Metallurgical and Material Transactions A*. – 2001. – Vol. 32. – P. 605-613.
4. Половинкина Ю. Н., Шаненкова Ю. Л., Сайгаш А.С. Нанесение медного покрытия на алюминиевые поверхности с высокой прочностью сцепления // *Перспективы развития фундаментальных наук: сборник научных трудов XIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых*. – Томск, 2016. – Т. 1: Физика. – С. 229–231.