

Сведения о выполненных работах
в период с 01.07.2020 г. по 30.06.2021 г.

по проекту «Исследование сверхтвёрдых материалов на основе AlMgB14»,
поддержанному Российским научным фондом

Соглашение № 19-79-10042

Руководитель: д-р физ.-мат. наук Жуков Илья Александрович

Проведен комплекс экспериментальных работ в области разработки и исследования керамических материалов на основе AlMgB14. Разработаны научно-технологические подходы получения керамических материалов AlMgB14 и композитов AlMgB14-TiB2 и AlMgB14-Si с использованием методов искрового плазменного спекания, самораспространяющегося высокотемпературного синтеза и горячего прессования порошковых смесей Al12Mg17-B, Al12Mg17-TiB2 и Al12Mg17-Si. Получен комплекс данных о физико-механических свойствах керамики и композитов на основе AlMgB14: твердости, трещиностойкости, коэффициента трения, износостойкости, коэффициента термического расширения, теплопроводности, удельного электрического сопротивления, прочности на сжатие в различном диапазоне скоростей нагружения и температур. Проведено исследование влияния дисперсности интерметаллического порошка Al12Mg17 на фазовый состав материалов AlMgB14, полученных методом искрового плазменного спекания. Установлено, что наибольшее содержание фазы AlMgB14 в спеченных материалах достигается при использовании в шихте в качестве исходного прекурсора стружки и порошка интерметаллического соединения Al-Mg, полученного после механической активации в планетарной мельнице. Обнаружено, что для керамик AlMgB14, полученных из смесей Al12Mg17-B, наибольшее значение микротвердости составляет 30.2 ГПа при коэффициенте трещиностойкости 3.5 МПа·м^{1/2}. Наибольшие значения микротвердости зафиксированы для композитов AlMgB14-TiB2 и составили 31.4 ГПа, что достигается при добавлении 70 масс. % TiB2 к порошковой смеси Al12Mg17-B. Установлено, что значение коэффициента трещиностойкости 7.5 МПа·м^{1/2} соответствует составу композиционного материала AlMgB14-TiB2, полученного при добавлении 70 масс. % TiB2 к исходной порошковой смеси Al12Mg17-B. Показано, что для образцов керамик AlMgB14-Si с увеличением содержания (Al12Mg17-B) в исходной шихте твердость получаемых спеченных материалов линейно увеличивается с 16.5 до 21.2 ГПа. При этом установлено, что получение композиционных материалов на основе AlMgB14-Si из механической смеси порошков Al12Mg17-B + Si без присутствия примесных фаз не представляется возможным, поскольку в процессе спекания магний активно вступает в химическую реакцию с кремнием, формируя MgSi2, а при реакции с кислородом – оксид MgSiO3. Формирование этих фаз нарушает стехиометрическое соотношение компонентов интерметаллида и бора и, как следствие, не позволяет получить достаточное содержание фазы AlMgB14. Таким образом, показано, что для получения материалов

AlMgB14-Si необходимо использовать исходной порошок, представленный преимущественно фазой AlMgB14. Обнаружено, что коэффициент трения образца композита AlMgB14-TiB2, полученного из порошковой смеси 70 масс. % TiB2 + 30 масс. % Al12Mg17-B, практически неизменен на протяжении всего испытания и составляет 0.3 при скорости износа $0.39 \cdot 10^{-5}$ мм³/Н·м. Коэффициент трения образца AlMgB14-Si, полученного из порошковой смеси 50 масс. % Al12Mg17-B + 50 масс. % Si, составляет 0.35 при скорости износа $9.4 \cdot 10^{-5}$ мм³/Н·м. Коэффициент трения материалов AlMgB14-Si, полученных из порошковой смеси 30 масс. % Al12Mg17-B + 30 масс. % Si, составляет 0.45 при скорости износа $13.6 \cdot 10^{-5}$ мм³/Н·м. При этом установлено, что увеличение коэффициента трения и скорости износа полученного образца по сравнению с образцом AlMgB14-Si (50 масс. % Al12Mg17-B + 50 масс. % Si) связано с уменьшением содержания фазы AlMgB14 в образце, которая выступает одновременно и в качестве твердой смазки, и в качестве более износостойкого материала. Проведены исследования теплопроводности образцов керамик AlMgB14. Установлено, что с увеличением содержания фазы AlMgB14 с 81 до 91 масс. % коэффициент теплопроводности уменьшается с 11.36 до 7.893 Вт/м·К. Для образцов композитов AlMgB14-TiB2 обнаружено, что увеличение содержания TiB2 приводит к увеличению коэффициента теплопроводности с 17.05 до 39.24 Вт/м·К. Результаты dilatометрических исследований показали, что коэффициент термического расширения получаемых материалов AlMgB14 составляет $7.9 \cdot 10^{-6}$ К⁻¹. Результаты измерения удельного электрического сопротивления показали, что удельное электрическое сопротивление образцов AlMgB14 варьируется от 0.784 до 1.240 Ом·м. Наибольшее значение электрического сопротивления 0.71 Ом·м обнаружено в композиционных материалах AlMgB14-TiB2, полученных из порошковой смеси 70 масс. % Al12Mg17-B + 30 масс. % TiB2. Предложен механизм разложения AlMgB14 в процессе искрового плазменного спекания. Установлено, что в процессе искрового плазменного спекания (температура 1400 °С) Al12Mg17 реагирует с бором с образованием AlMgB14. При реакции Al12Mg17 с оксидом бора B2O3 образуется шпинель MgAl2O4. При увеличении скорости нагрева до 250 °С/мин и температуры спекания до 1470 °С наблюдается локальный перегрев порошковой смеси, и фаза AlMgB14 начинает разлагаться. Продуктами разложения являются фазы AlB12 и Al12Mg17. Продукты разложения AlB12, Al12Mg17 и Mg вступают в реакцию с кислородом, что приводит к увеличению содержания шпинели MgAl2O4 и образованию бората алюминия Al4B2O9. Использование изотермической выдержки приводит к дальнейшему разложению AlMgB14, увеличению содержания шпинели MgAl2O4 и образованию бората алюминия Al18B4O33 из Al4B2O9. Проведены исследования прочности образцов керамик AlMgB14 и AlMgB14-TiB2. При температуре испытаний 24 °С керамика AlMgB14 обладает минимальными значениями прочности по сравнению с композитами TiB2+AlMgB14. Проведены исследования механических свойств полученных материалов при сжатии с повышенной скоростью нагружения 600 и 30 мм/мин, что соответствует скоростям деформации 2.4 и 47 с⁻¹. Показано, что с увеличением содержания TiB2 в образцах

керамик AlMgB14 увеличивается прочность на сжатие с 524 МПа (образец 30 % TiB2 + 70 % AlMgB14) до 1781 МПа (образец 70 % TiB2 + 30 % AlMgB14), соответственно. Проведены исследования по разработке научно-технологических подходов нанесения покрытий AlMgB14 на сталь марки 12X18H10T методом высокочастотного магнетронного распыления. Было обнаружено, что коэффициент трения стальной подложки после напыления AlMgB14 уменьшается в 10 раз с 1.2 до 0.11.