

Влияние высокоэнергетической механической активации дисперсных систем на структуру композиционных материалов ZrB_2-SiC^*

А.Г. Бурлаченко¹, Ю.А. Мировой¹, С.П. Буякова¹

¹ *Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск, Россия*

Изучено влияние высокоэнергетической механической обработки дисперсных систем ZrB_2 и ZrB_2-SiC . Показано, что механическая обработка порошков при ускорении 30g в планетарной мельнице обеспечивает активацию, что сопровождается появлением новых границ раздела в частицах (уменьшается размер ОКР) и микродеформации кристаллической решетки ZrB_2 . Механическая обработка порошков сопровождалась увеличением площади удельной поверхности, что явилось результатом образования плотных агрегатов. Увеличение длительности механической обработки способствовало увеличению плотности керамики ZrB_2 и керамических композитов ZrB_2-SiC . Наибольшей относительной плотностью обладал керамический композиционный материал ZrB_2-SiC .

Ключевые слова: механическая активация, диборид циркония, карбид кремния.

Введение

Тугоплавкие соединения оксидов, боридов, карбидов металлов являются основной частью материалов для изделий, эксплуатируемых в термонагруженных условиях. Среди материалов с высокой температурой плавления особый интерес представляют керамические композиты на основе ZrB_2 [1–4]. Керамические композиционные материалы ZrB_2-SiC демонстрируют высокую термохимическую стабильность, стойкость к окислению при высоких температурах в воздушной среде. Высокая температура плавления тугоплавких соединений предполагает высокую температуру консолидации порошковых изделий из них, что не всегда возможно обеспечить в реальных условиях их изготовления. Как и все вещества с ковалентной связью, диборид циркония демонстрирует низкую концентрацию и низкую подвижность дефектов кристаллической ячейки, сильная ковалентная связь в ZrB_2 является причиной низкой диффузионной подвижности атомов, что затрудняет его спекание [5–7]. Для активации процесса консолидации и улучшения термостойкости в окислительной атмосфере в состав композитов на основе ZrB_2 добавляют кремнийсодержащие добавки. Помимо этого, одним из решений по активации процесса консолидации дисперсных систем тугоплавких соединений является высокоэнергетическая механическая обработка [8–11]. Несмотря на хорошую изученность процессов, происходящих при механической обработке порошков, для каждой порошковой системы требуется изучение влияния длительности механической обработки на свойства и фазовый состав порошков после обработки, поскольку эти характеристики в значительной мере определяют структуру и свойства получаемых из них изделий [12]. Хорошо известно, что при высокоэнергетической обработке порошков происходят разные процессы: удаление с поверхности частиц сорбированных газов; деформация; образование новых поверхностей в результате разрушения частиц; химико-реакционное взаимодействие между компонентами порошковой смеси; образование и разрушение агрегатов [13, 14]. В результате этих процессов происходит изменение физических характеристик дисперсных систем. Даже для твердых и прочных материалов после высокоэнергетической механической обработки фиксируют увеличение микродеформации кристаллической решетки, уменьшение размеров областей когерентного рассеяния рентгеновских лучей [8, 15]. Изменение удельной площади поверхности отражает влияние механической обработки на поверхность частиц порошков. Увеличение удельной поверхности в процессе обработки порошков может быть связано как с уменьшением размеров частиц, так и с увеличением дефектности поверхности. Уменьшение удельной поверхности является индикатором образования устойчивых агрегатов в процессе высокоэнергетической механической обработки.

Цель данной работы – исследование влияния высокоэнергетической механической обработки порошковых смесей ZrB_2-SiC на физические свойства и структуру получаемых керамических композитов.

* Работа выполнена в рамках реализации мероприятий программы развития научного центра мирового уровня «Новые материалы специального назначения», соглашение о предоставлении субсидии от 25 июня 2025 г. № 075-15-2025-589.