УДК 620.26; 67.03

УСТАНОВЛЕНИЕ ХАРАКТЕРА ЗАВИСИМОСТИ ФАЗОВОГО СОСТАВА МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ Ti_3AlC_2 ОТ УСЛОВИЙ СИНТЕЗА

Л. В. СУДНИК, *Т. В. БАСЮК, Ю. И. КОЛОДКЕВИЧ
Обособленное хозрасчетное подразделение
«НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ИМПУЛЬСНЫХ ПРОЦЕССОВ С ОПЫТНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ»
*«ИНСТИТУТ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ им. В. М. Бакуля»
Минск, Беларусь; Киев Украина

MAX фаз представляют собой сложные карбидные и нитридные соединения переходных металлов, описываемые общей формулой $M_{n+1}AX_n$, где n=1÷3, M – ранние переходные металлы (Ti, Cr, Nb, V), A – элементы A-группы (Al, Si), а X – углерод либо азот. Существуют следующие стехиометрии: M_2AX (211), M_3AX_2 (312), M_4AX_3 (413), которые отличаются количеством слоев карбидов или нитридов, разделенных атомами металлов A-группы. Слоистость на уровне кристаллической структуры приводит к тому, что зерна MAX фаз имеют ярко выраженное наноламинатное строение, что дает возможность в зоне концентрации механических напряжений деформировать зерна без макроскопического разрушения. Это обеспечивает материалам высокую прочность и трещиностойкость при комнатных и высоких температурах, устойчивость к термоудару [1]. Изучаемые материалы, как и металлы, обладают высокой тепловой (12–60 Вт/(м·К)) и электрической проводимостью (удельное сопротивление 0,2–0,7 μΩ·m при комнатной температуре). Подобно керамике, MAX фазы обладают относительно малой плотностью (4–5 г/см^3), высоким модулем упругости (178–362 ГПа при комнатной температуре), низким значением коэффициента теплового расширения (5–10 μK^{-1}), высокой теплостойкостью, стойкостью к окислению и коррозии (Al – содержащие MAX фазы устойчивы в инертной атмосфере до 1500 °C) [2]. Материалы на основе MAX фаз характеризуются высоким уровнем демпфирующих свойств, стойкостью к радиационному облучению, а также склонностью к самозалечиванию через образование плотного оксидного слоя на их поверхности [1]. Такое уникальное сочетание свойств и параметров позволит применять материалы на основе MAX фаз в различных областях науки и промышленности, таких как энергетика, авиация, космонавтика, электротехника и др.

Были получены образцы с высоким содержание MAX фазы состава Ti_3AlC_2 методами свободного спекания в вакууме и аргоне при атмосферном давлении, в аппаратах высокого давления (при 2 ГПа, 1350 °C) с последующим спеканием [3], а также была исследована возможность синтеза MAX фаз методом ударно-волнового нагружения из смеси порошков

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета

$TiC/TiH_2/Al$. Исследование фазового состава полученных образцов MAX фаз проводилось с помощью дифрактометра ДРОН-3 в $Cu_{k\alpha}$ – излучении (λ = 1,54156 Å).

Оптимальными температурными параметрами синтеза MAX фазы Ti_3AlC_2 методом свободного спекания в среде аргона при атмосферном давлении и в вакууме является диапазон температур 1250–1400 °С. Исходная смесь представляет собой смесь порошков $TiC/TiH_2/Al$, содержание фазы Ti_3AlC_2 в обоих случаях составляет 90–96 масс.%, однако пористость образца немного повышается (11–18 % при синтезе при атмосферном давлении, 20–30 % при синтезе в вакууме). При этом алюминий содержится в смеси исходных порошков в избытке (20–25 %) относительно расчетного соотношения, что связано с его испарением в процессе синтеза. Это явление также объясняет использование высоких давлений, которые препятствуют испарению алюминия (температура плавления 660 °С при н. у.). Однако при синтезе в аппаратах высокого давления в качестве исходной смеси используется смесь порошков Ti, Al, C, что приводит к образованию MAX фаз типа 211 и 311, которые при дальнейшей термической обработке реагируют с алюминидами титана, в результате чего происходит образование фазы 312. Оптимальным методом для получения материала с высоким содержание MAX фазы (до 96 масс.%) и низкой пористостью (1–3 %) является двухстадийный синтез (синтез методом свободного спекания с последующим уплотнением образца путем применения высоких давлений в сочетании с термической обработкой). Также установлено, что при использованном режиме ударно-волнового нагружения (скорость детонации $D = 4 \cdot 10^3$ м/с, давление p = 2,5–3,5 ГПа, высота заряда аммонита 6ЖВ – 35 мм) не протекает реакция образования Ti_3AlC_2 , а фазовый состав образца совпадает с составом исходной смеси порошков, что может быть связано с недостаточным временем воздействия ударной волны на обрабатываемый материал.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Barsoum, W.** The $M_{n+1}AX_n$: A new class of solids; thermodynamically stable nanolaminates / W. Barsoum // Progress in Solid State Chemistry. – 2000. – N 28. – P. 201–281.

2. **Anirudh , C.** Max phase materials – Review of an exciting class of ternary carbides and nitrides [Текст] / Anirudh C., Vaibhav Koushik A.V., U.N. Kempaiah // IJETAE. – 2014 – Vol. 4. – No. 8. – P. 624–628.

3. **Пат. № 109174 Україна**. Спосіб виготовлення MAX-матеріалу на основі потрійних карбідів титану і алюмінію / М. В. Новіков, Т. О. Пріхна, А. В. Козирєв, О. В. Старостіна, В. Б. Свердун, Т. В. Басюк, В. Е. Мощіль, Н. В. Сергієнко, Т. Кабиош, П. Шартье // Заявл. 08.08.13; Опубл. 27.07.15, Бюл. № 14.

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета