

ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ НАНОДИСПЕРСНОГО ДИБОРИДА ТИТАНА И ПОЛУЧЕНИЕ КЕРАМИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ НА ЕГО ОСНОВЕ

С.О. ПОГОРЕЛОВА, А.Р. НАСЫРБАЕВ, Д.С. НИКИТИН

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: sop2@tpu.ru

Моноборид (TiB) и диборид титана (TiB₂) вызывает высокий интерес у исследователей ввиду наличия у материала многочисленных уникальных физическо-химических характеристик, среди которых исключительно высокая твердость, которая позволяет использовать диборид титана в качестве режущих и абразивных инструментов; хорошая теплопроводность и электропроводность для использования в качестве электродов для плавления металла; нейтронопоглощающие свойства для применения в атомной энергетике в качестве нейтронопоглощающего материала; износостойкость и коррозионная устойчивость для применения в машиностроении и металлургии; высокая температура плавления и огнеупорность для использования в качестве термопар или в авиационно-космической промышленности [1,2,3]. Дополнительного улучшения свойств материала можно добиться при использовании наноструктурированной керамики, так как вещество в таком состоянии способно проявлять уникальные сочетания свойств.

Таким образом, становится актуальной проблема синтеза диборида титана в нанодисперсном состоянии. Методы синтеза диборида титана весьма многочисленны: механосинтез, золь-гель метод, помол в шаровой мельнице, однако способы для получения нанодисперсного порошка в промышленном объеме при малых энергозатратах и времени синтеза, получения продукта, удовлетворительного по фазовому составу и дисперсности, до сих пор не предложены.

Один из способов получения диборида титана является прямой динамический синтез в гиперсверхзвуковой струе электроразрядной плазмы. Для генерации плазменного потока используется импульсный сильноточный коаксиальный магнитоплазменный ускоритель (КМПУ) с титановым ускорительным каналом. Возможность использования устройства КМПУ для получения нанопорошков и покрытий была неоднократно показана в литературе, в том числе в системе с титаном [4].

С целью синтеза нанодисперсного диборида титана было проведено 3 опыта с различным способом инициирования дугового разряда: 1) с использованием титановых проводников; 2) с использованием углеволокон; 3) с использованием графитового аэрозоля (графитизация). Электропитание КМПУ осуществлялось от импульсного источника - высоковольтного накопителя энергии с емкостью конденсаторных батарей 9,6 мФ, заряженного до 3,75 кВ; таким образом, достигалось значение подведенной энергии 67,5 кДж. Выделившаяся энергия в различных экспериментах составляла 35 кДж. В качестве прекурсоров синтеза использовались порошок аморфного бора, который закладывался в зону формирования плазменной структуры, и эродируемый с внутренней поверхности ускорительного канала титан. Возникала плазменная перемычка между центральным электродом и электродом-стволом, обеспечивая инициирование дугового разряда. Образовавшийся поток плазмы со сверхзвуковой скоростью истекал в герметичный объем камеры-реактора, заполненный аргоном.

Собранный продукт без предварительной обработки был исследован методом рентгеновской дифрактометрии (XRD) на дифрактометре Shimadzu XRD 7000. Результатом проведения экспериментов являлось получение порошкообразного продукта массой до 2,2 г. В таблице 1 приведены основные параметры серий опытов. Из таблицы видно, что в продукте синтеза преимущественное содержание имеют фазы моноборида и диборида титана, которые изменяются в зависимости от способа инициирования разряда. Наибольший выход диборида титана достигается в эксперименте с использованием графитового аэрозоля, содержание TiB₂ составило 93,2%.

Таблица 1 – Параметры и результаты экспериментов

№	Способ инициирования	$m_{\text{пор}}$, г	$U_{\text{раб}}$, кВ	P_{max} , кВт	W , кДж	Фазовый состав, %	
						TiB ₂	TiB
1	Ti-проводник	2,20	1,40	201	38,3	26,8	66,2
2	углеволокно	1,90	1,34	174	36,8	62,1	21,2
3	графитизация	1,45	1,26	182	33,9	93,2	6,8

На основе синтезированных порошков была получена керамика методом искрового плазменного спекания. Преимуществами данного метода является эффективность и быстрота процесса, которая позволяет подавлять рост зерна микроструктуры образца [4]. Для получения керамики использовалась установка искрового плазменного спекания SPS-10-4, Thermal Technology. Керамические образцы были получены при следующем режиме: давление прессования $P = 60$ МПа, температура $T = 1800^\circ\text{C}$ и время выдержки $t_T = 5$ минут. Плотность полученной керамики для каждого из экспериментов составляла: 1) $\rho = 3,40$ г/см³; 2) $\rho = 3,88$ г/см³; 3) $\rho = 4,45$ г/см³. Данные образцы обработали на шлифовально-полировальной установке для подготовки шлифов Forcipol 1V. Шлифы измерили на микротвердость на установке-твердомере Galileo. Значения полученной микротвердости составили: 1) $P = 24,7$ Гпа; 2) $P = 28,3$ Гпа; 3) $P = 30,3$ Гпа.

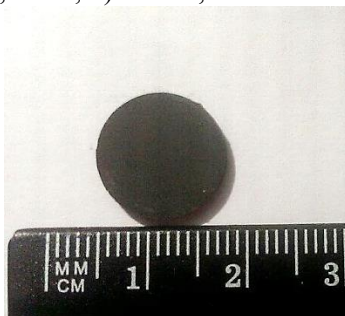


Рисунок 1 - Образец керамики, полученный из нанопорошка с использованием графитизации

Таким образом, методом плазмодинамического синтеза были получены нанопорошки моноборида и диборида титана. Количественный анализ образцов показал, что значения фазового состава порошков изменялись в зависимости от способа иницирования дугового разряда. На основе синтезированных образцов была получена керамика методом искрового плазменного спекания. Полученная керамика показала достаточно высокие значения твердости, которые зависят от фазового состава исходного порошка, а значит и способа получения порошкообразного продукта.

Список литературы

1. Andrievski R. Nanostructured titanium, zirconium and hafnium diborides: the synthesis, properties, size effects and stability // Russian Chemical Reviews. – 2015. – V.84 (5). – P. 540-554.
2. Fahrenholtz WG, Hilmas GE. Oxidation of ultra-high temperature transition metal diboride ceramics // Int Mater Rev. – 2012. – V.57 (1). – P. 61–72.
3. H. Xiang, Z. Feng, Z. Li and etc. Temperature-dependence of structural and mechanical properties of TiB₂: A first principle investigation // J. Appl. Phys. – 2015. –V. 117. – P. 225902
4. Евдокимов А. А. Дисс. Плазмодинамический синтез ультрадисперсного нитрида титана и получение TiN-керамики методом искрового плазменного спекания канд. тех. наук. – Томск: НИ ТПУ, 2013. – 216 с.