

УДК 621.763

## ПРИМЕНЕНИЯ НАНОПОРОШКА $AlN+5\%Na_3AlF_6$ МАРКИ СВС-АЗ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МАХ-ФАЗЫ В СИСТЕМЕ $Ti-Al-N-C$

© Минеханова А.Ф., Титова Ю.В., Майдан Д.А.

e-mail: minekhanovaaf@mail.ru

Самарский государственный технический университет,  
г. Самара, Российская Федерация

Создание новых материалов и технологий их производства является одной из важных научных и прикладных задач физического материаловедения. При разработке таких материалов особый интерес представляют материалы нового класса – МАХ-фазы. МАХ-фазы – химические соединения с единой формулой  $M_{n+1}AX_n$ , где М – это переходный металл, А – компонент подгруппы «А» таблицы Менделеева, а Х – это углерод либо азот. Отличительная особенность этих материалов заключается в строении гексагональных кристаллических решёток, в которых слои атомов элементов М и А чередуются в определённой последовательности, а атомы углерода (или азота) располагаются в октаэдрических порах между атомами элемента М. Особенности строения их кристаллических решёток обуславливают уникальное сочетание в таких материалах свойств металла и керамики [1-3]. Для получения материалов на основе МАХ-фаз используют различные методы. Основным методом получения материалов на основе МАХ-фаз является спекание, которое требует больших затрат энергии и времени. Альтернативой спеканию является самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС).

Цель настоящей работы заключалась в исследовании возможности использования относительно простой ресурсосберегающей технологии СВС для получения титаносодержащей МАХ-фазы в системе  $Ti-Al-N-C$ .

Работа была разделена на два этапа. На первом этапе с помощью технологии СВС с применением твердого азотирующего вещества – азиды натрия (СВС-Аз) синтезировали нанопорошок состава  $(AlN+5\%Na_3AlF_6)$  в виде нановолокон  $AlN$  диаметром 100-300 нм и длиной до 3 мкм с примесью 5 % криолита. Данный порошок был получен при горении смеси « $20Al+(NH_4)_3AlF_6+6NaN_3$ » в атмосфере азота под давлением 4МПа. Синтез осуществлялся в реакторе СВС объемом 4,5 литра [4]. Результаты микроструктурного анализа продуктов горения, полученные с помощью растрового электронного микроскопа JSM-6390А фирмы «Jeol», представлены на рис. 1.

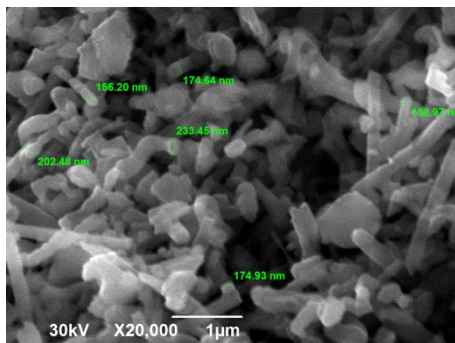
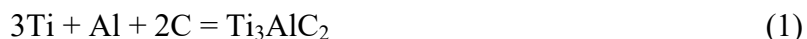


Рис. 1. Микроструктура порошка  $AlN+5\%Na_3AlF_6$  марки СВС-Аз

На втором этапе для получения МАХ-фазы системы « $Ti-Al-N-C$ » синтезированный порошок  $AlN+5\%Na_3AlF_6$  вводили в шихту, традиционно используемую

для получения наиболее изученной МАХ-фазы  $Ti_3AlC_2$ . Уравнение получения МАХ-фазы системы «Ti–Al–C» состава  $Ti_3AlC_2$  выглядит следующим образом:



Было приведено 4 эксперимента: без замены углерода, с заменой 10 % углерода на нанопорошок  $AlN+5\%Na_3AlF_6$ ; с заменой 20 % углерода на нанопорошок  $AlN+5\%Na_3AlF_6$ ; с заменой 30 % углерода на нанопорошок  $AlN+5\%Na_3AlF_6$ .

Исходные компоненты, взятые в нужном соотношении, смешивались вручную в фарфоровой ступке, прессовались в брикеты диаметром 20 мм до относительной плотности 0,4. На рисунке 2 видны пластины МАХ-фазы карбоалюминиды титана со сферическими частицами карбида титана. Наряду с ними видны частицы более сложной формы, которые согласно ЭДС состоят из титана и алюминия. Учитывая представленные результаты, можно утверждать, что это – частицы алюминиды титана  $Ti_3Al$ . Внутренние слои образца состоят преимущественно из алюминиды титана и в меньшем количестве из карбида титана.

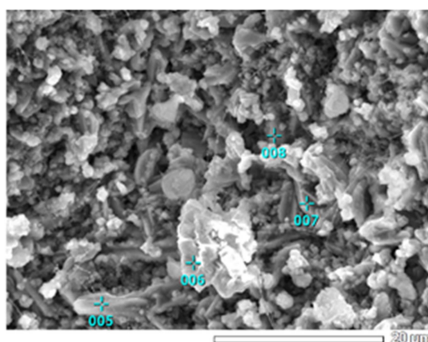


Рис. 2. Микроструктура продуктов горения смеси « $3Ti+Al+2C$ » с заменой 30 % углерода на нанопорошок  $AlN+5\%Na_3AlF_6$

Таким образом, показано, что высокодисперсный порошок нитрида алюминия марки СВС-Аз был успешно использован для получения титаносодержащей МАХ-фазы. В ходе экспериментов установлено, что с увеличением количества добавляемого порошка нитрида алюминия марки СВС-Аз снижается количество и размер пор в спеченном образце. Для определения оптимального количества вводимого нитрида алюминия вместо углерода в шихту, предназначенную для получения МАХ-фазы  $Ti_3AlC_2$ , с целью получения МАХ-фаз в системе Ti–Al–N–C необходимо продолжить исследования в этом направлении.

### Библиографический список

1. Сметкин А.А., Майорова Ю.К. Свойства материалов на основе МАХ-фаз // Вестник ПНИПУ, 2015. – Т. 17, № 4. – С. 120-138.
2. Радишевский В.Л., Лепаква О.К., Афанасьев Н.И. Синтез, структура и свойства МАХ-фаз  $Ti_3SiC_2$  и  $Nb_2AlC$  // Вестник Томского государственного университета. Химия, 2015. – № 1. – С. 33-38.
3. Колесников С.И. Определение оптимальных условий синтеза в тройной системе Ti–Al–N для получения продуктов, содержащих наибольшее количество МАХ-фаз // Башкирский химический журнал, 2012. – Т. 19. – № 4. – С. 162-165.
4. Амосов А.П., Бичуров Г.В. Азидная технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза микро- и нанопорошков нитридов. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 526 с. – ISBN 987-5-94275-344-3.