

ПОЛУЧЕНИЕ ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ДЛЯ МАТРИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДИСПЕРСИОННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА МЕТОДОМ СВС

О.Ю. Долматов, Д.К. Колядко, С.С. Чурсин
Научный руководитель: к.ф.-м.н. О.Ю. Долматов
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: chursinss@tpu.ru

Топливная проблема является одной из центральных для современного общества. В современном мире источником производства основного количества потребляемой энергии в мире служит органическое топливо: уголь, нефть и природный газ. По ресурсо-экономическим и экологическим соображениям это топливо требует замены новым более богатым по запасам и более экологичным в использовании. Известно несколько «нетрадиционных» источников энергии, основные из них: ядерная, термоядерная, солнечная и геотермальная энергия. В настоящее время альтернативой энергетике на органическом топливе, в промышленных масштабах, служит только атомная промышленность.

Однако для развития атомной энергетики необходимо решить большое количество научно-технических задач, одна из которых это применение новых видов ядерного топлива. Дисперсионное ядерное топливо обладает ключевыми преимуществами по сравнению с традиционно используемым диоксидом урана [1]. Сердечник твэла дисперсионного типа выполнен из металлического или интерметаллидного соединения, в котором диспергированы частицы топлива.

На данный момент дисперсионное топливо производится ресурсозатратными традиционными методами металлургии, альтернатива которым – самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВ-синтез).

Основа данного физико-химического метода в экзотермической реакции между компонентами исходной шихты [2]. При локальном инициировании реакция начинает распространяться в автоволновом режиме – процесс является самоподдерживающимся [2]. Скорость распространения фронта волны горения лежит в промежутке от нескольких миллиметров до десятков сантиметров в секунду, что обеспечивает большую производительность данного метода [3].

В данной работе рассматривается синтез алюминида циркония. Так как это соединение подходит для использования в качестве матрицы для дисперсионного ядерного топлива. Исходными реагентами являлись: алюминиевая пудра ПАП-2 со средним линейным размером 20-30 мкм, а так же порошок циркония ПЦрК-1, со средним линейным размером менее 100 мкм [4]. Компоненты брались в стехиометрическом соотношении 1:1. Смешивание порошков осуществлялось в кубическом смесителе штырькового типа в течение 30 минут.

Давление прессования варьировалось от 5 МПа до 30 МПа. В данном диапазоне было выбрано оптимальное давление равное 25 МПа. Если давление было ниже 25 МПа, температура инициации синтеза была мала, материал получался с высоким содержанием пор, а сам СВ-синтез проходил не в полном объеме – в конечном продукте наблюдались фазы непрореагировавших исходных компонент. При давлении свыше 25 МПа наблюдалось более резкое энерговыделение, в тоже время из-за увеличения площади контакта частиц исходных компонент, увеличивался теплоотвод, и максимальная температура синтеза уменьшалась.

Время прессования не оказывает значительного влияния на синтез в системе Zr-Al. Уже при 5 минутах прессования наблюдается сохранение формы запрессованной заготовки. Однако происходила быстрая релаксация – образец начинает крошиться и расслаиваться в течение 10 минут после окончания прессования, оптимальное время прессования – 15 минут.

После проведения пробоподготовки, осуществлялся синтез в техническом вакууме (10^{-1} Па). Первоначально после прохождения синтеза образец не выдерживался до полного остывания, но как показал рентгенофазовый анализ (РФА), проведенный на рентгеновском дифрактометре

Shimadzu XRD 7000, основную часть конечного продукта составляли нецелевые соединения: ZrN (42,12 % масс.), ZrO₂ (2 % масс). Таким образом, происходило взаимодействие системы с атмосферным кислородом и азотом в процессе остывания образца, вследствие чего появлялись примеси в целевом материале.

Для исключения взаимодействия с воздухом после проведения синтеза проводилась выдержка в техническом вакууме в течение 1 часа для снижения температуры образца до ~30 °С. Результаты РФА показали отсутствие примесных соединений – конечный продукт состоял из соединений Zr и Al. Данные по фазовому составу готового продукта были сведены в таблицу 1.

Таблица 1 - Фазовый состав продуктов СВ-синтеза системы Zr-Al, полученных при различных условиях

Фаза	Содержание фазы, об. %		
	Синтез на воздухе	Синтез в вакууме с выдержкой	Синтез в вакууме без выдержки
Al ₂ Zr	–	18,74	8,22
Al ₃ Zr	22,82	74,32	38,97
α-Zr	2,97	6,94	–
ZrO ₂	35,62	–	2,04
ZrN	21,61	–	42,12
Zr ₅ Al ₃ O _{0,5}	13,98	–	8,65

Таким образом, установлен режим проведения СВ-синтеза, при котором не образуются примесные соединения в готовом продукте, однако наблюдается фаза α-Zr, что говорит о не полном взаимодействии всех реагентов исходной системы. Для детального представления фазовых превращений рассмотрены температурные поля в образце во время протекания СВ-синтеза. Установлено, что для изменения соотношения между фазами возможно изменять начальное соотношение реагентов в определенных соотношениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

12. Самойлов А.Г. Дисперсионные твэлы. В 2 т., Т. 2., М.: Энергоиздат, 1982 – 256 с.
13. Мержанов А.Г., Мукасян А.С. Твердопламенное горение. – М.: Торус пресс, 2007, – 336 с.
14. Итин В.И., Найбороденко Ю.С. Высокотемпературный синтез интерметаллических соединений. Томск: ТГУ. 1989 – 214 с.
15. Металлические порошки и порошковые материалы: справочник / Под. ред. Ю. В. Левинского. М.: ЭКОМЕТ, 2005. – 520 с.
16. Физическое материаловедение: Учебник для вузов. В 6 т. Том 6, Часть 1, Конструкционные материалы ядерной техники / Под общей ред. Б.А. Калина, – М.: МИФИ, 2008, – 672 с.
17. Вол А.Е. Строение и свойства двойных металлических систем: в 4 т., т.1 – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1959, 757 с.
18. Интерметаллиды Ni₃Al и TiAl: микроструктура, деформационное поведение. / Гринберг Б.А., Иванов М.А. – Екатеринбург: УрО РАН, 2002. – 360 с.