

5. MW [Electronic resource]. – Access mode: "[Japan, Vietnam move ahead on nuclear reactor plans](#)". Retrieved Feb 19, 2012.
6. Wikipedia [Electronic resource]. – Access mode: [http://en.wikipedia.org/wiki/Ninh\\_Thu%E1%BA%ADn\\_1\\_Nuclear\\_Power\\_Plant](http://en.wikipedia.org/wiki/Ninh_Thu%E1%BA%ADn_1_Nuclear_Power_Plant).

**Получение материалов для ядерной техники в режиме СВС с предварительной механической активацией шихты**

*Касаткин Д. Д., Кузнецов М.С., Чурсин С.С.*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

В наше время большое значение имеет синтез неорганических веществ. Для этой цели существуют общепринятые технологии металлургии, порошковой металлургии, керамическое производство и другие. Одной из альтернативных технологий является технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС).

Сущность метода СВС состоит в том, что в результате локального инициирования реакции в тонком слое исходной шихты реагентов, находящейся в твердом состоянии, фронт горения самопроизвольно распространяется по всей системе благодаря теплопередачи от горячих продуктов к не нагретым исходным компонентам, в которых также инициируется реакция горения. Процесс получения конечного продукта в режиме СВС имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными методами печного синтеза материалов: отсутствие потребления электроэнергии для поддержания необходимых температурных режимов; высокая производительность; высокая чистота продуктов; управляемость процесса[1].

Но есть проблема заменимости традиционных технологий на СВС-технологии, даже если продукты СВС обладают лучшими свойствами по сравнению с традиционными продуктами. В полной же мере преимущества метода СВС могут быть реализованы при решении таких задач, для которых не существует традиционных технологий. Например, получение крупногабаритных твердых сплавов и изделий из них. Спекать крупные изделия размерами в несколько десятков сантиметров практически невозможно, прессовать в нагреваемых пресс-формах – дорого и сложно, а при СВС заготовка любого размера может быть равномерно разогрета теплом, выделяющимся в ходе химической реакции, до высокой температуры[2].

Актуальность работы заключается в отсутствии до настоящего времени комплексных исследований процессов синтеза материалов на основе диборида титана с добавкой никеля и алюминия из компонентов предварительно подверженных механической активации. Разработка физико-химических основ технологии получения таких материалов позволит целенаправленно создавать изделия со стабильными эксплуатационными характеристиками[3].

В настоящее время в СВС-режиме получен ряд перспективных материалов. При этом определены некоторые закономерности процессов горения и структурообразования в порошкообразных смесях химических элементов при различных режимах предварительной подготовки исходной. Вместе с тем одной из ключевых проблем СВ-синтеза в сложных системах является многостадийность процесса синтеза, вследствие чего в структуре конечного продукта могут образовываться дополнительные фазы, т.е. образуется многофазный конечный продукт.

В связи с этим возникает необходимость рассмотрения способов управления реакцией синтеза на различных его стадиях (подготовка шихты, синтез, догорание). Одним из наиболее перспективных методов управления реакцией синтеза является управление на стадии подготовки шихты исходных реагентов, к которому можно отнести предварительную механическую активацию шихты.

Суть метода механоактивации заключается в релаксации, прикладываемой к образцу механической энергии через различные каналы, среди которых стоит отметить деформацию и разрушение твердого тела путем накопления точечных дефектов и дислокаций[4]. Этот метод оказался мощным инструментом, позволяющим не только получать объекты с линейными размерами в интервале от десятков микрометров до единиц нанометров, но и управлять физическими свойствами этих объектов в процессе приготовления. С помощью метода механоактивации можно ускорить химические реакции при синтезе твердофазных соединений не только из-за увеличения их удельных поверхностей, но и за счет изменения их реальной микроструктуры. Имеются в виду изменения концентраций различных дефектов, межатомных расстояний и углов связи, а также изменения, происходящие на атомном уровне под действием силового поля.

Для получения материалов исходная шихта готовилась на основе оксида титана, бора, никеля и алюминия. Смесь никеля и алюминия добавляется для увеличения энергетического выхода во время синтеза и создания интерметаллидной матрицы. Исследования по влиянию этой смеси на процесс протекания синтеза были выполнены ранее. Шихта перед запрессовкой подвергалась механической обработке в шаровой планетарной мельнице АГО-2С при различных режимах работы мельницы. Шихта запрессовывалась в цилиндрические образцы диаметром 30 мм при давлении 5 МПа. Синтез осуществлялся в условиях технологического вакуума в СВС-реакторе.

Фазовый анализ состава исходных веществ и конечных продуктов проводился с помощью рентгенофазового анализа на дифрактометре Shimadzu XRD-6000. Регистрация температурных режимов проводилась с помощью хромель-алюмелевых термопар подключенных к счетчику импульсов Овен СИ8 с записью данных на ПК.

На рисунке 1 представлена характерная термограмма горения для рассматриваемой системы без механической активации. Видно, что процесс синтеза проходит в две стадии. На первом этапе в реакцию вступает смесь никеля с алюминием, разогревая образец до температуры инициирования реакции оксида титана с бором. Далее уже происходит синтез диборида титана.

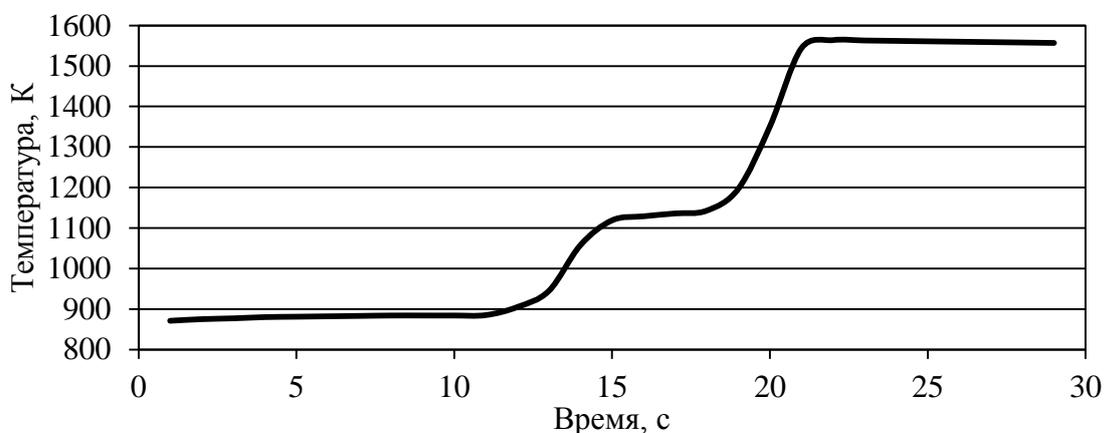


Рисунок 1. Термограмма горения исследуемой системы без механоактивации

Анализ данных по фазовому составу полученных образцов показывает, что конечный фазовый состав в значительной степени зависит от режима предварительной механической обработки шихты исходных реагентов. Однако механическая активация оказывает положительный эффект только в определенном диапазоне. В крайних же значениях необходимого воздействия не наблюдается, либо возникает отрицательное воздействие, в результате того, что при длительном времени активации или избыточной силе активации частицы смеси начинают рекомбинировать в крупные агломераты или вступать в реакцию еще в процессе механоактивации, тем самым ухудшая реакционную способность смеси в целом.

В таблице 1 представлены сравнительные данные рентгенографического исследования образцов синтезируемых при различном режиме механоактивации.

По результатам рентгенофазового анализа видно, что при недостатке или избытке механической активации исходные компоненты реагируют не полностью, остается непрореагировавший оксид титана, что не желательно.

Ввиду недостаточной реакционной способности системы связанной с недостаточным контактом между взаимодействующими частицами или недостатком энергии запасенной в системе. Так же стоит отметить, что при механической активации с частотой вращения мельницы 30 Гц происходит практически полное превращение исходных компонентов в целевой продукт. Следовательно, механическая активация дает явное преимущество при синтезе материалов на основе диборида титана методом СВС.

Так же в результате рентгенофазового анализа исходной шихты до проведения синтеза было обнаружено, что реакция образования диборида титана начинается еще в процессе измельчения компонентов смеси, что приводит к локальным очагам образования целевого продукта, тем самым ухудшая контакт между компонентами смеси и препятствует прохождению волны горения в объеме образца.

Таблица 1. Результаты рентгенографического исследования образцов боридов, полученных методом СВ-синтеза

Параметры механоактивации	Обнаруженные фазы	Содержание фаз, масс. %
10 мин 10 Гц	$TiB_2$	70.68
	$Al_4B_2O_9$	17.22
	$AlNi_3$	2.97
	$TiO_2$	9.13
10 мин 20 Гц	$TiB_2$	76.19
	$Al_4B_2O_9$	17.22
	$AlNi_3$	3.26
	$TiO_2$	3.33
10 мин 30 Гц	$TiB_2$	83.19
	$Al_4B_2O_9$	10.22
	$AlNi_3$	6.26
	$TiO_2$	0.33
10 мин 40 Гц	$TiB_2$	76.72
	$Al_4B_2O_9$	20.7
	$TiO_2$	2.58
10 мин 50 Гц	$TiB_2$	63.82
	$Al_4B_2O_9$	16.63
	$TiO_2$	19.55

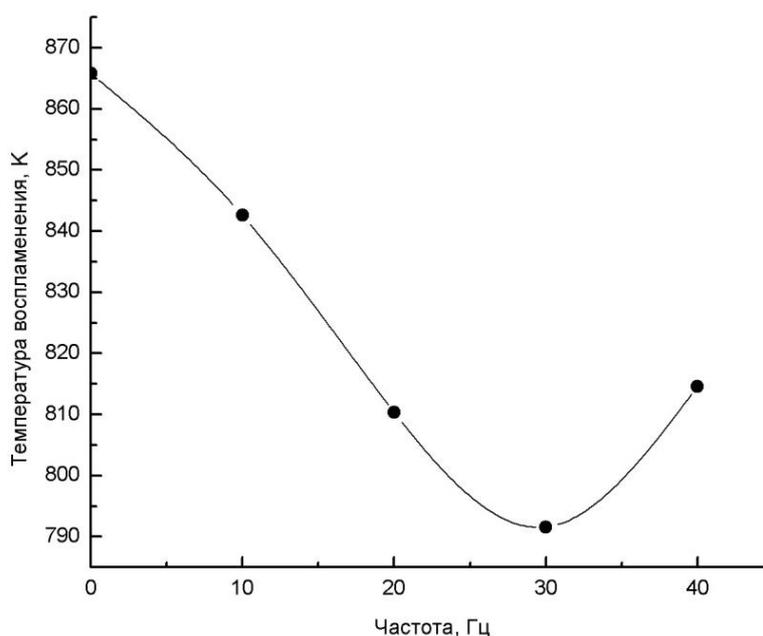


Рисунок 2. Зависимость температуры инициирования реакции горения от частоты вращения мельницы при механоактивации

На рисунке 2 отображен график зависимости температуры инициирования реакции синтеза от частоты вращения мельницы при механической активации исходной шихты.

Механическая активация позволяет снизить температуру инициирования синтеза, что является явным преимуществом, так как необходимо будет приложить меньше энергии, что бы

инициировать реакции. Однако так же наблюдается «порог насыщения» механической активации, после которого наблюдается рост температуры инициирования реакции. Следовательно, избыточная механическая активация вносит отрицательный вклад во время синтеза материала.

#### Выводы

Рассмотрены результаты экспериментов по синтезу материалов на основе соединения диборида титана с добавлением алюминия и никеля в режиме СВС. Исследование показало, что механическая обработка снижает температуру воспламенения горючей системы, способствует более полному сгоранию и даже может привести к увеличению скорости распространения волны горения. А так же при механической активации происходит увеличение температуры синтеза, что позволяет получать более чистый продукт.

Экспериментально установлен «порог насыщения» механоактивации, выше которого дальнейшая обработка исходных реагентов не приводит к улучшению протекания синтеза, а либо не оказывает никакого воздействия либо ведет к торможению и затуханию процесса горения. Это можно объяснить тем, что при избытке энергии в системе происходит рекомбинация частиц в более крупные агломераты, что снижает реакционную способность компонентов, так же локально может происходить процесс синтеза, приводящий к образованию промежуточных или целевых фаз в шихте, что ухудшает протекание последующей реакции синтеза.

Так же проведен анализ влияния механоактивации на фазообразование при СВ-синтезе. Установлены оптимальные параметры механической активации планетарной мельницей, при которых достигается максимальное содержание целевой фазы.

#### Список литературы:

1. А.Г. Мержанов. Процессы горения и синтез материалов. Черноголовка: ИСМАН, 1998, 512 с.
2. Рогачев А. С., Мукасян А. С. Горение для синтеза материалов: введение в структурную макрокинетику. – М.: ФИЗМАЛИТ, 2013. – 400 с.
3. Самсонов Г. В., Серебрякова Т. И., Неронов В. А. Бориды. М., Атомиздат, 1975. 376 с.
4. Итин В. И., Найбороденко Ю. С. Высокотемпературный синтез интерметаллических соединений. – Томск: ТГУ. 1989.

#### Модернизация системы видеонаблюдения на ядерном объекте для повышения эффективности системы физической защиты

*Смирнов А.С., Понер М.В., Степанов Б. П.*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

На любом ядерном объекте всегда существует необходимость в улучшении системы физической защиты. Средства видеонаблюдения являются неотъемлемой частью любой системы физической защиты на ядерном объекте. Также системы видеоконтроля применимы в учете и контроле ядерных материалов.[1]

Важным значением, относящимся к этой системе, является понятие эффективности. Эффективность любой технической системы отражает ее способность к выполнению своей функции.[2] В частности эффективность системы видеоконтроля можно охарактеризовать, как способность обнаруживать и способствовать тем самым невозможности несанкционированных действий нарушителя в рамках проектной угрозы.

Реализация процесса видеоконтроля рассматривается как анализ каждого отдельного кадра.[3] В существующих системах это чаще всего происходит при помощи специального программного обеспечения и установки видеокамер с повышенными техническими характеристиками.

Специализированное программное обеспечение анализирует каждый кадр, полученный с помощью видеокамер. Благодаря этому у нарушителя уменьшается вероятность остаться незамеченным даже при использовании им скрытых возможностей по совершению несанкционированных действий, уменьшается вероятность ошибки оператора. Однако остаются трудности при использовании средств видеонаблюдения в условиях ограниченной видимости или других сложных условиях таких как:

- атмосферные осадки (снег, дождь);
- попадание в кадр птиц и зверей;
- засветка объектива;
- неравномерная освещенность периметра в ночное время.