

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКИ СОПРЯЖЕННЫХ РЕАКЦИЙ СВС ПРОЦЕССАХ НА ПРИМЕРЕ ГРАНУЛИРОВАННОЙ СОСТАВНОЙ СМЕСИ (Ni+Al) - (Ti+C)

Р.А. Кочетков, Б.С. Сеплярский, Т.Г. Лисина, Н.И. Абзалов

Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мержанова Российской академии наук, Черноголовка, Россия

В работе для реализации термически сопряженных реакций использована гранулированная шихта, состоящая из перемешанных между собой гранул разного состава. В таком случае скорость теплообмена между донором и акцептором практически не зависит от размера всей шихты, а определяется лишь размерами используемых гранул. Преимуществом такого способа является возможность масштабирования процесса, оптимизированного в лабораторных условиях, без изменения его характеристик и свойств целевого продукта синтеза.

В качестве термически сопряженной системы была выбрана гранулированная смесь, состоящая из отдельных гранул Ti+C и Ni+Al. Особенностью данной смеси является сочетание быстро горящего высокотемпературного состава Ti+C (донор) с медленно горящим Ni+Al (акцептор). Адиабатические температуры горения смесей Ti+C и Ni+Al, рассчитанные по программе THERMO (<http://www.ism.ac.ru/thermo>) составляют 3290 К для смеси Ti+C и 1912 К для смеси Ni+Al. В ряде экспериментов гранулы Ni+Al заменялись на инертные гранулы Al₂O₃ со схожими гранулометрическими характеристиками.

Используемые в данной работе исходные вещества и их краткие характеристики приведены в таблице.

Для обеспечения равномерного зажигания как составной гранулированной шихты, так и шихты из гранул Ni+Al в экспериментах использовалась поджигающая засыпка из 0.8 ÷ 1г гранул Ti+C. Фотография кварцевой трубки с гранулированной смесью (Ni+Al) + (Ti+C) и поджигающей подсыпкой из гранул Ti+C сверху показан на рис. 1.

Таблица. Применяемые вещества и реагенты.

Вещество	Марка	Размеры частиц	
		до 50% масс.	до 90% масс.
Титан	ПТМ-1	< 105 мкм	< 169 мкм
Сажа	П-803	< 2,5 мкм	< 4 мкм
Алюминий	АСД-4	< 11 мкм	< 16 мкм
Никель	ПНЭ-1	< 43 мкм	< 51 мкм
Аргон	1 сорт (99,987%)		
Азот	1 сорт (99,987%)		
4% спиртовой раствор поливинилбутираля SD-4			



Рис. 1. Внешний вид смеси, состоящей из гранул Ti+C (более темные) и Ni+Al (более светлые) с поджигающей подсыпкой Ti+C сверху.

Предварительно были определены параметры горения каждой из гранулированных смесей Ti+C и Ni+Al в отдельности. Результаты экспериментов показали, что скорость горения гранулированной смеси Ni+Al примерно в 7 раз меньше скорости горения гранулированной смеси Ti+C: 3 мм/с и 22 мм/с, соответственно.

В экспериментах по горению составной смеси (Ni+Al) + (Ti+C) сначала была использована шихта с объёмным соотношением гранул донора и акцептора 50%/50%, что соответствует массовому соотношению 64%(Ni+Al)/36%(Ti+C). Однако при горении данной смеси наблюдалось хаотичное искривление фронта, характерное для горения разбавленных смесей вблизи пределов распространения. Для получения стабильных результатов содержание донорной смеси Ti+C в шихте было увеличено до 60% в объёмных долях, что соответствует составу 54%(Ni+Al)/46%(Ti+C) в массовых долях. Расчетная адиабатическая температура горения такой смеси 2518 К, что значительно выше температуры плавления никелида алюминия стехиометрического состава (1912 К). Средняя скорость горения такой шихты составила 12.5 мм/с. Учитывая, что скорость горения смеси, состоящей только из гранул состава Ni+Al намного ниже, чем скорость горения составной смеси и состоящей только из гранул Ti+C можно предположить, что в смешанной гранулированной шихте (Ni+Al) – (Ti+C) во фронте реакции гранулы Ni+Al ведут себя как инертные частицы, то есть воспламеняются и сгорают уже после прохождения видимого фронта горения. Для проверки этого предположения были проведены эксперименты, где гранулы Ni+Al в шихте были заменены на инертные гранулы Al₂O₃ такого же размера и в таком же массовом соотношении 54%Al₂O₃/46%(Ti+C). Эксперименты показали, что такая смесь не способна к горению – не воспламенялся даже верхний слой засыпки под действием длительного прогрева раскаленной спиралью или поджигающей засыпкой. Это позволяет сделать вывод, что в термически сопряженной гранулированной смеси (Ni+Al) – (Ti+C) зажигание гранул Ni+Al происходит во фронте горения. Важно отметить, что продукты горения составной смеси (Ni+Al) – (Ti+C) не спекались и образец легко разделялся на отдельные гранулы вручную без каких-либо приспособлений. Это довольно неожиданный результат, потому что адиабатическая температура горения такой смеси намного превышает температуру плавления никелида алюминия стехиометрического состава, и следовало ожидать его растекания по гранулам карбида титана. Таким образом, при такой реализации процесса появляется возможность выделения легкодробящегося целевого продукта из смеси механически (за счет разных размеров гранул акцептора и донора, разных плотностей, отличных магнитных характеристик и т.д.)

Выводы

Изучены закономерности горения термически сопряженной гранулированной смеси, состоящей из смеси гранул разного состава Ni+Al и Ti+C, отличающихся скоростью и температурой горения.

Экспериментально доказано, что воспламенение акцепторных гранул Ni+Al происходит во фронте горения.

Определено время выравнивания температур донорной и акцепторной смеси, которое оказалось существенно меньше времени остывания всего образца, что позволяет масштабировать процесс, оптимизированный в лабораторных условиях, без изменения его характеристик и свойств целевого продукта синтеза.

На примере смеси (Ni+Al) – (Ti+C) показано, что использование гранулированных смесей для проведения сопряженных термических реакций позволяет получать продукты горения в виде легко разрушаемого образца, даже если температура плавления продукта взаимодействия акцепторной смеси меньше адиабатической температуры горения.