

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ РЕЖИМОВ ГОРЕНИЯ МАЛОГАЗОВЫХ СОСТАВОВ В АРГОНЕ ПРИ НОРМАЛЬНОМ ДАВЛЕНИИ

УДК 536.46

Л. К. Демидова, А. К. Филоненко, В. В. Барзыкин

Институт структурной макрокинетики РАН, 142432 Черноголовка

*С целью более подробного изучения возможности возникновения низкотемпературного стационарного режима горения и уточнения областей других режимов проводилось экспериментальное исследование горения малогазовых составов в аргоне при атмосферном давлении. В качестве модельной системы выбран разбавленный железоциркониевый термит с газообразующей добавкой трехокси молибдена. Выявлено отсутствие низкотемпературного стационарного режима горения и изменение областей реализации других режимов горения малогазовых систем по сравнению с тем, что наблюдалось при горении на воздухе.*

Данная работа продолжает исследования горения малогазовых составов (МГС), которое сочетает в себе особенности безгазового и фильтрационного горений. Ранее в [1] экспериментально изучался спиновый режим горения. В работах [2, 3] экспериментально исследованы закономерности горения МГС, теоретически изученные в [4, 5] с помощью физико-математической модели горения пористой смесевой системы. В [6] обнаружен низкотемпературный стационарный режим горения МГС в некотором интервале температур, где безгазовый состав горит нестационарно.

Для более полного соответствия экспериментального исследования теоретической модели следовало исключить возможность реакции порошкообразного циркония, содержащегося в прессованном образце, с кислородом воздуха. С этой целью процесс сгорания образцов был организован в металлическом сосуде, заполненном аргоном. Это позволило сравнить области реализации различных режимов горения МГС при наличии дополнительного газообразного окислителя в окружающей среде и без него.

В качестве объекта исследования использован железоциркониевый термит, горение которого изучалось в [7], а газифицирующей добавкой, как и в [3], выбрана трехокись молибдена. Такая система моделирует процесс горения МГС с газовыделением в зоне прогрева. Для уменьшения калорийности к исходной смеси добавляли продукт реакции. Подготовка порошков проводилась аналогично [6]. Готовая смесь запрессовывалась в цилиндрические образцы плотностью 3,0–3,5 г/см<sup>3</sup>. Диаметр образцов составлял 1,0 см, высота таблеток в два раза превышала диаметр.

Образец на теплоизолирующей подложке устанавливали в герметичный металлический сосуд, снабженный прозрачными окнами для визуального наблюдения. Из сосуда откачивали воздух, а затем заполняли его аргоном до атмосферного давления. Поджигание прессованных образцов производилось спиралью, которая поджимала образец для исключения удлинения. Скорость горения образца определяли с помощью фоторегистратора ФР-14, а также рассчитывали способом, описанным в [8].



Зависимость массовой скорости горения состава  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Zr} + n\text{ZrO}_2$  с газообразующей добавкой  $\text{MoO}_3$  от степени разбавления ( $m = 40\%$ )

Эксперименты проводили при постоянном количестве газообразующей добавки  $m = 40\%$  (сверх  $100\%$ ) в термитном составе с различной степенью разбавления исходных компонентов продуктом реакции  $n$  (сверх  $100\%$ ). Значения  $n$  варьировались от соответствующих устойчивому стационарному режиму до соответствующих затуханию процесса.

На рисунке представлена зависимость массовой скорости горения железозиркониевого термита с постоянным количеством газообразующей добавки от степени разбавления стехиометрического состава  $n$ .

Стационарное горение протекает интенсивно, с разбрызгиванием искр и большим выделением тепла. Оно реализуется в интервале  $n = 0 \div 45\%$ .

Пульсирующему горению соответствуют значения  $n = 45 \div 105\%$ . Пульсации происходят медленно, таблетка после горения практически не расслаивается, хотя на боковой поверхности цилиндрических образцов есть трещины, соответствующие периодам пульсаций.

Многоточечный режим горения реализуется в области  $n = 105 \div 160\%$ . Возникающие очаги, визуально наблюдаемые через окно бомбы, несколько более крупные и более размытые, чем при горении той же системы без газообразующей добавки. На сгоревшем образце следы очагов малозаметны. Установившемуся спиновому режиму горения соответствуют значения  $n$  от  $160$  до  $240\%$  в области затухания. Следы прохождения очага спина на сгоревших образцах видны отчетливо, полосы прохождения очагов широкие.

В таблице представлены результаты сравнения областей реализации режимов горения МГС в аргоне и на воздухе для  $m = 40\%$ . Области стационарного режима в обоих случаях практически совпадают; диапазон пульсирующего режима в аргоне несколько уже; область многоточечного режима в аргоне расширяется, и его верхняя граница при горении в аргоне совпадает с верхней границей при горении на воздухе.

Отсутствие обнаруженного в [6] низкотемпературного стационарного режима при горении в аргоне, вероятно, можно объяснить невозможностью подпитки реакции окисления кислородом воздуха.

Режим горения	n, %		
	m = 40 %		m = 0 (воздух)
	аргон	воздух	
Стационарный	0-45	0-50	1-90
Пульсирующий	45-105	50-155	90-155
Многоточечный	105-160	155-165	155-175
Низкотемпературный стационарный	—	165-220	—
Установившийся спиновый	160-240	220-240	175-270

При горении в аргоне установившийся спиновый режим занимает область, соответствующую и низкотемпературному стационарному, и установившемуся спиновому режиму при горении на воздухе. При этом верхние границы по  $n$  совпадают, т. е. система при одной и той же степени разбавления не способна гореть и в аргоне, и на воздухе.

В работе [6] отмечалось, что зависимость скорости горения от доли инертного разбавителя в исходной смеси имеет менее выраженный характер для МГС по сравнению с безгазовым горением.

Сравнение горения МГС в аргоне и на воздухе позволяет сделать ряд выводов.

При наличии газифицирующего компонента в отсутствие конкурирующей реакции циркония с кислородом воздуха зависимость скорости горения от степени разбавления имеет более выраженный характер, чем при горении на воздухе, и более сходна с зависимостью скорости горения безгазового состава от степени разбавления.

Появление низкотемпературного стационарного режима горения МГС связано с наличием конкурирующей реакции компонентов смеси с кислородом воздуха, а не с присутствием газообразующей добавки.

Газообразующая добавка основное влияние оказывает на характер горения и перестройку режимов. Это видно из сравнения областей реализации различных режимов горения на воздухе систем без газообразующей добавки и горения в аргоне и на воздухе систем с газообразующей добавкой.

Перестройка режимов и затухание горения МГС на воздухе и в аргоне происходят при горении более калорийных составов (с меньшим количеством инерта), чем в отсутствие «летучей» компоненты.

В заключение следует отметить, что горение МГС в аргоне — менее сложный процесс, чем горение МГС на воздухе, и ближе к процессу горения, рассмотренному теоретически в [4, 5].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Филоненко А. К., Вершинников В. И. Закономерности спинового горения титана в азоте // Физика горения и взрыва. 1975. Т. 11, № 3. С. 353-362.
2. Филоненко А. К., Вершинников В. И. Газовыделение от примесей при безгазовом горении смесей переходных металлов с бором // Хим. физика. 1984. № 3. С. 430-434.
3. Струнина А. Г., Демидова Л. К., Бутакова Э. А., Барзыкин В. В. Горение модельных малогазовых систем // Физика горения и взрыва. 1991. Т. 27, № 4. С. 30-34.

4. Шкадинский К. Г., Струнина А. Г., Фирсов А. Н. и др. Математическое моделирование горения пористых малогазовых составов // Физика горения и взрыва. 1991. Т. 27, № 5. С. 84–91.
5. Струнина А. Г., Демидова Л. К., Фирсов А. Н. и др. Устойчивость стационарного режима горения малогазовых составов при тепло- и массообмене через боковую поверхность цилиндрического образца // Физика горения и взрыва. 1992. Т. 28, № 5. С. 44–50.
6. Струнина А. Г., Дергачев С. И., Демидова Л. К., Барзыкин В. В. Экспериментальное исследование устойчивости и нестационарных режимов горения модельных малогазовых составов // Физика горения и взрыва. 1993. Т. 29, № 1. С. 78–82.
7. Дворянкин А. И., Струнина А. Г., Мержанов А. Г. Устойчивость горения термитных систем // Физика горения и взрыва. 1985. Т. 21, № 4. С. 44–48.
8. Андреев К. К., Беляев А. Ф. Теория взрывчатых веществ. М.: Оборонгиз, 1960.

*Поступила в редакцию 29/1 1996 г.*

---