

Закономерности горения порошковых и гранулированных смесей Ni +Al насыпной плотности

Б.С. Сеплярский, Р.А. Кочетков, Н.М. Рубцов
*ФГБУН Институт структурной макрокинетики и проблем
материаловедения Российской академии наук, Черноголовка, E-mail:
seplb1@mail.ru*

Проведено исследование закономерностей горения порошковых и гранулированных смесей Ni+Al насыпной плотности в условиях спутного потока газа. Показано, что эквимольная смесь порошков Ni+Al горит нестационарно, а продув засыпки аргоном не привел к существенному изменению скорости и характера распространения фронта горения. Продув азотом привел к увеличению скорости горения почти в два раза, и изменению частоты колебаний. Грануляция исходной смеси привела к стабилизации фронта горения – пульсации исчезли, горение распространяется в виде единого фронта. Полученные результаты объяснены в рамках конвективно-кондуктивной модели горения.

Ключевые слова: горение, грануляция, поток газа, скорость горения, интерметаллиды, конвективный теплоперенос.

В данной работе проводилось исследование закономерностей горения как порошковых, так и гранулированных смесей Ni+Al насыпной плотности при продуве образца аргоном или азотом (спутная фильтрация), так и без продува. В работе [1] было показано, что при горении порошковой смеси Ni+Al насыпной плотности реализуется конвективно-кондуктивный механизм горения [2], согласно которому скорость проникновения расплава в исходную шихту и есть скорость распространения волны горения. При этом конвективный перенос тепла

вызван течением слоя расплава легкоплавкого реагента под действием капиллярных сил и перепада давлений примесных газов перед и за слоем расплава [2]. Чтобы исключить образование плохо проницаемого слоя расплава в процессе горения шихты, обеспечивающего конвективный перенос тепла и сильное влияние примесного газовыделения на скорость горения, применяли грануляцию исходной смеси порошкообразных реагентов [3, 4]. В этом случае процесс растекания расплава под действием капиллярных сил ограничен размерами одной гранулы, т.к. была искусственно нарушена сплошность порошковой среды. Поэтому следует ожидать, что закономерности горения гранулированных смесей Ni+Al будут отличаться от порошковых. Т.к. общепринятой теории горения «безгазовых» гранулированных смесей нет, то выяснить, как горят гранулированные смеси, возможно, только экспериментальным путем.

Горение образцов насыпной плотности осуществлялось в оригинальной экспериментальной установке [3, 4]. Данная установка позволяет сжигать смесь при продуве газовым потоком, измерять расход и давление газа в процессе горения, а также получать видеозаписи процесса горения. На основании покадровой обработки видеозаписей процесса горения рассчитывается видимая скорость горения. Поток газа (спутная фильтрация) обеспечивался наличием фиксированного перепада давлений на входе и выходе из трубки, не превышавшего 1 атм.

В работе использовался порошок никеля, получаемый электролитическим способом – никель марки ПНЭ-1 и порошок алюминия АСД-4. В этом порошке никеля частицы с размером менее 43 мкм, составляли 50%, а частицы с размером менее 51 мкм составляли 90% от общего числа частиц. Согласно паспортным данным никель марки ПНЭ-1 содержит основного вещества (никель) не менее 99,5 масс%. Также использовался порошок алюминия АСД-4, содержащий 99,2%, основного вещества. В этом порошке алюминия частицы с размером менее 11 мкм,

составляли 50%, а частицы с размером менее 16 мкм составляли 90% от общего числа частиц. Фракционный состав и распределение частиц по размеру в порошке определяли по стандартной методике на приборе MicroSizer 201.

В ходе проведенных исследований было установлено, что эквимольная смесь порошков Ni+Al горит следующим образом: по смеси стационарно распространяется плоский фронт; за ним, то отставая, то догоняя первый, происходит сгорание исходных реагентов, не сгоревших в первом фронте (см. рис.1).

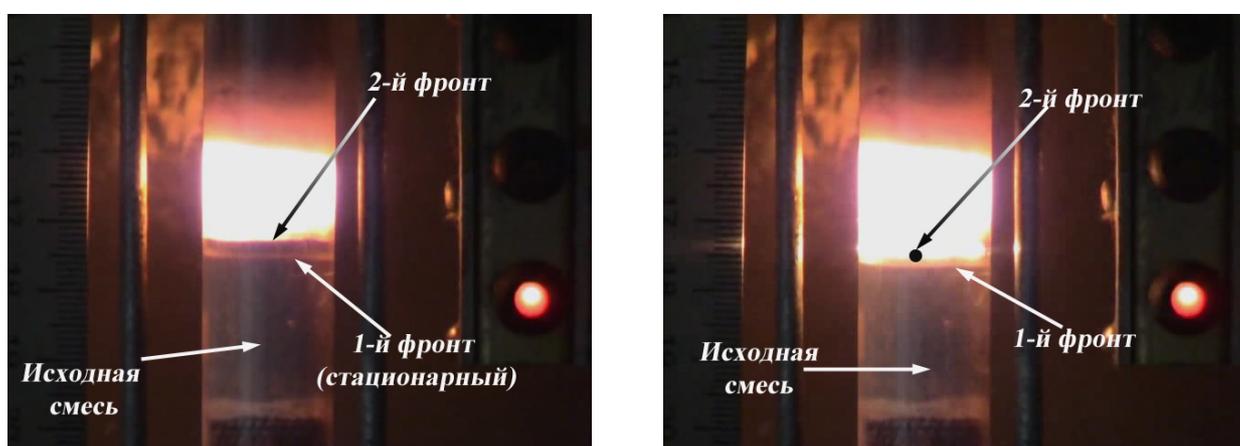


Рис. 1. Положение фронтов горения в последовательные моменты времени. А) момент отставания второго фронта. Б) второй фронт догнал первый.

Внешне горение выглядит следующим образом. На боковой поверхности засыпки возникает яркий очаг, который охватывает всю боковую поверхность и практически сливается с первым фронтом. Первый фронт продолжает двигаться и между ним и местом, где остановился второй фронт, возникает относительно темная область. Затем на боковой поверхности засыпки опять возникает яркий очаг и процесс повторяется. Такой характер горения нашел отражение во внешнем виде продуктов синтеза. Полученный цилиндрический образец состоит из чередующихся светлых и темных полосок (рис. 2), которые также видны на срезе.



Рис. 2. Внешний вид образца после горения.

Продув засыпки аргоном не привел к существенному изменению средней скорости (см. рис.3) и характера распространения фронта горения: горение осталось нестационарным. Продув засыпки азотом привел к увеличению средней скорости горения почти в два раза. Причем частота колебаний в верхней части засыпки была почти в два раза больше чем в нижней. Наличие поджигающей подсыпки из гранул $Ti+0.5C$ привело к переходу от пульсирующего к спиновому режиму горения в нижней части засыпки. Грануляция исходной смеси привела к кардинальному изменению режима горения – пульсации исчезли, горение распространяется в виде единого фронта. Скорость распространения фронта горения увеличилась почти в два раза (см. рис.3), что связано с «тормозящим» влиянием примесных газов на скорость горения порошковых смесей. В отсутствие существенного влияния примесного газовыделения на процесс горения, гранулирование должно было привести к уменьшению скорости горения из-за уменьшения площади контакта между гранулами [4] .

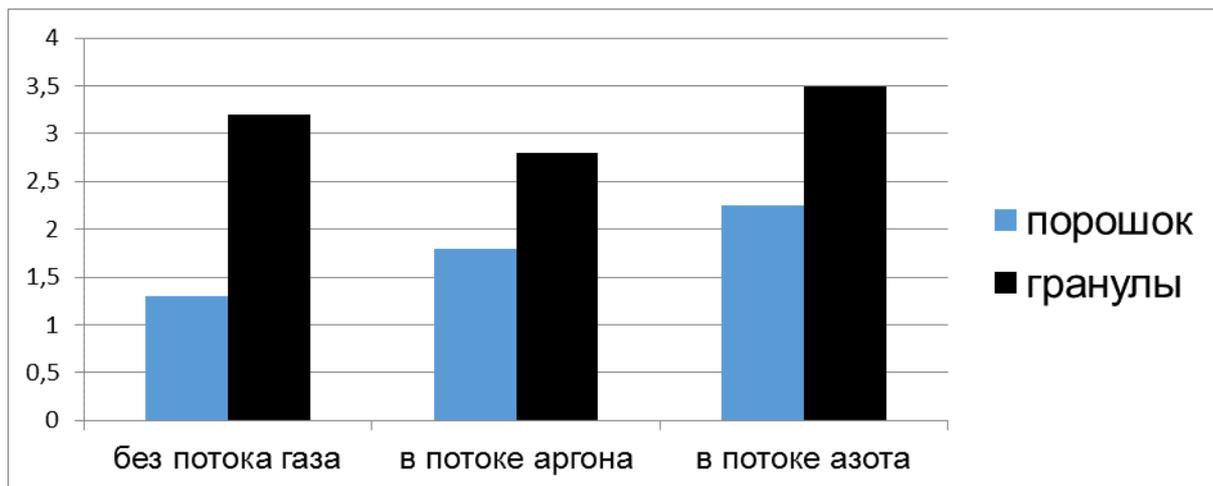


Рис. 3. Скорости горения при различных условиях проведения эксперимента.

Спутный поток азота, в отличие от порошковой смеси, стабилизирует фронт горения и делает его более плоским, а скорость горения в потоке азота увеличивается в полтора раза. Такое принципиальное изменение режима горения, по-видимому, связано с тем, что для гранулированных смесей процесс растекания расплава под действием капиллярных сил был ограничен размерами одной гранулы. Таким образом, грануляция делает невозможным реализацию конвективно-кондуктивного режима горения смеси Ni+Al, который и обеспечивал нестационарные эффекты при горении порошковой смеси. Эти результаты коррелируют с данными работы [5], в которой показано наличие эффектов фильтрационного перераспределения расплава в волне горения для ряда порошковых систем, в том числе, и смеси Ni+Al. Изменение условий поджигания гранулированной смеси с помощью подсыпки из гранул Ti+0.5C не привело к изменению скорости горения, как в потоке газа, так и без потока газа.

Литература.

1. Сеплярский Б.С., Вадченко С.Г., Брауэр Г.Б., Костин С.В. Закономерности горения смесей Ni+Al насыпной плотности в потоке

инертного газа // Химическая Физика и Мезоскопия, 2008, Том 10, №2, С.135-145.

2. Сеплярский Б.С., Природа аномальной зависимости скорости горения безгазовых систем от диаметра // Докл. РАН. 2004. Т.396, № 5 С. 640-643.1.

3. B. S. Seplyarskii, A. G. Tarasov, and R. A. Kochetkov. Influence of Granulation on Combustion of 2Ti + C Mixtures // International Journal of Self Propagating High Temperature Synthesis, 2013, Vol. 22, No. 1, pp. 65–67

4. Б. С. Сеплярский, А. Г. Тарасов, Р. А. Кочетков. Экспериментальное исследование горения "безгазового" гранулированного состава Ti + 0.5C в спутном потоке аргона и азота // ФГВ, 2013, №5, С. 55-63.

5. А.И Кирдяшкин, В.Д.Китлер, В.Г.Саламатов, Р.А.Юсупов, Ю.М.Максимов. Капиллярные гидродинамические явления в процессе безгазового горения // ФГВ, 2007, Т.43,№6, с. 31-39.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы фундаментальных исследований Президиума РАН (П-26_2014г).