

УДК 544.427

**Влияние механической активации на скорость горения  
прессованных образцов и образцов насыпной плотности из смеси Ni-Al**

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

Проведено исследование закономерностей горения, как прессованных образцов, так и образцов насыпной плотности из смеси Ni-Al, подвергнутой механической активации (МА). Показано, что МА и диспергирование оказывают различное влияние на скорость горения прессованных образцов и образцов насыпной плотности. Установлено, что газовый поток практически не изменяет скорость горения смесей насыпной плотности. Доказано, что для диспергированной смеси насыпной плотности лучистый механизм теплопередачи в волне горения является основным.

Ключевые слова: горение, механическая активация, диспергирование, скорость горения, поток газа, интерметаллиды.

В последнее время интенсивно изучается влияние, оказываемое на процесс горения порошковой смеси, предварительной механической активацией (МА) [1–5]. Однако влияние, оказываемое механической активацией на процесс горения смеси насыпной плотности ранее не изучалось. В данной работе проводилось исследование закономерностей горения, как прессованных образцов, так и образцов насыпной плотности из смеси Ni-Al, подвергнутой механической активации. Сравнение закономерностей горения образцов различной плотности позволит сделать

обоснованные выводы о влиянии механической активации на механизм горения.

В работе использовался порошок никеля, получаемый карбонильным способом - никель марки ПНК-1. В этом порошке частицы никеля с размером менее 10 мкм, составляли 50%, а частицы с размером менее 18 мкм составляли 90% от общей массы частиц. Также использовался порошок алюминия АСД-4. В этом порошке алюминия частицы с размером менее 11 мкм, составляли 50%, а частицы с размером менее 16 мкм составляли 90% от общей массы частиц. Механоактивация (МА) эквимольной смеси порошков Ni+Al проводилась в течение 5 минут при ускорении 90g в механоактиваторе АГО-2 в атмосфере воздуха. После МА, образовавшиеся композитные частицы отсеивались, а в барабаны активатора, для отделения налипшей на его стенки и поверхность шаров смеси, наливали 40мл дистиллированной воды, и проводили дополнительную активацию в течение 3 минут. В исходном состоянии частицы никеля, как и алюминия, имеют округлую форму с гладкой поверхностью. В ходе активации из исходных частиц образуются композитные частицы, значительно (на порядок) превосходящие их по размеру и состоящие из чередующихся слоев исходных компонентов [4, 6]. В ходе дальнейшей активации в воде образовавшиеся композитные частицы расслаиваются, образуя плоские частицы чешуйчатой формы толщиной 5–10мкм [6]. Отметим, что рентгенофазовый анализ смеси, активированной в воздухе, и активированной в воздухе и в воде, показал, что их фазовый состав идентичен фазовому составу исходной смеси.

Из исходной смеси, смеси подвергнутой МА и дополнительно активированной в воде (диспергированной) смеси прессовали образцы диаметром 10мм и высотой 10-18,5мм. Горение образцов изучали в бомбе постоянного давления в среде аргона при давлении 1bar. Другая часть этих же смесей засыпалась в кварцевую пробирку и сжигалась без

предварительного прессования, как без продува, так и при продуве аргоном. Горение образцов насыпной плотности осуществлялось в оригинальной экспериментальной установке, описанной в [7]. 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 пробирки, не превышавшего 1 атм.

Оказалось, что линейная скорость горения образцов спрессованных из исходной смеси почти в 5 раз больше скорости насыпной смеси (2.5 и 0.5 см/сек соответственно) (см. рис.1), а массовая больше в 7 раз (см. рис.2). Наличие газового потока, практически не влияет на скорость горения смеси насыпной плотности (см. рис.3). Скорость горения образцов спрессованных из МА смеси в 1.1 раза больше скорости насыпной МА смеси (5.5 и 5.0 см/сек соответственно) (см. рис.1), а массовая больше в 1.18 раза (см. рис. 2) .

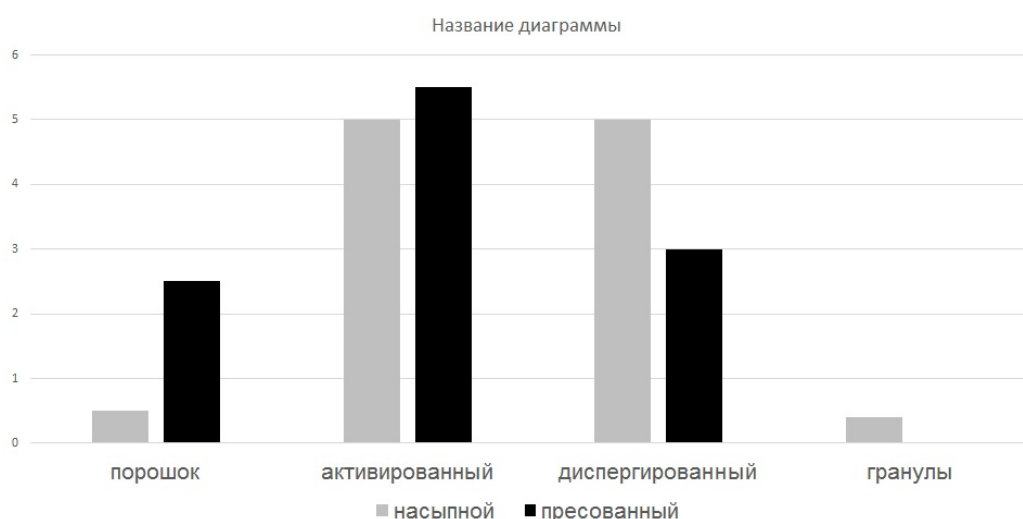


Рис. 1. Скорости горения при различных условиях проведения эксперимента, см/с.

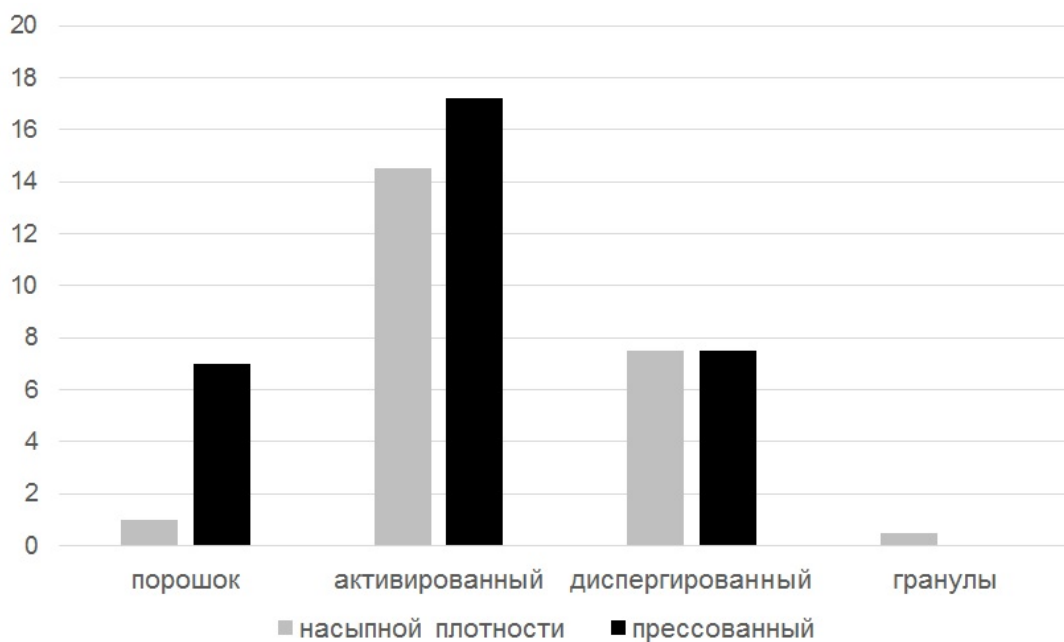


Рис. 2. Массовые скорости горения для различных типов смеси  $г/(см^2 \cdot с)$ .

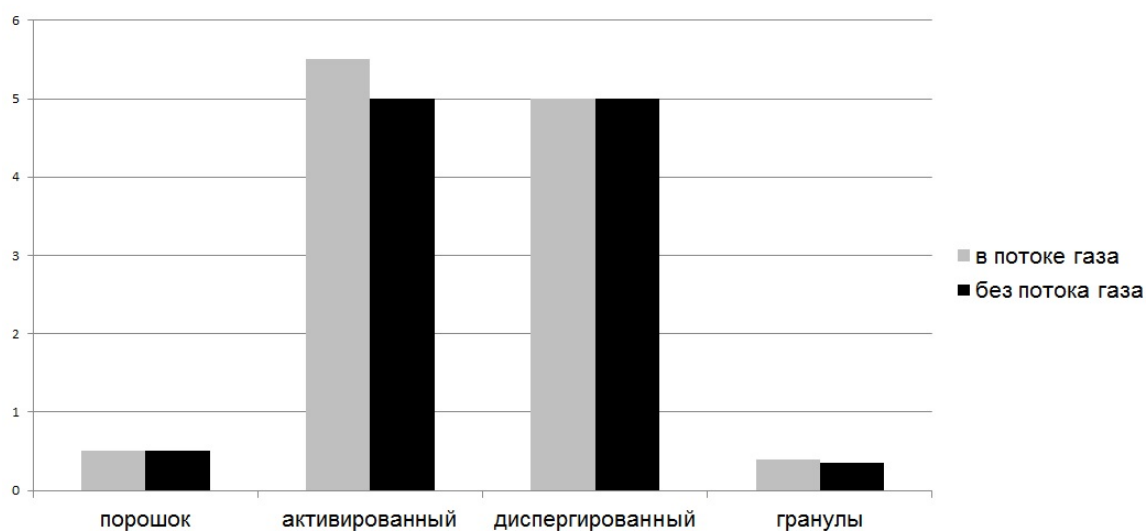


Рис. 3. Скорость горения смесей насыпной плотности при различных условиях проведения эксперимента, см/с.

Следует отметить, что в отличие от исходной смеси насыпная плотность МА смеси составляла 0.91 от плотности прессованной. Особенно неожиданные результаты с точки зрения кондуктивной теории

горения были получены для диспергированной смеси. Для этой смеси линейная скорость горения насыпной смеси была в 1.7 раза больше скорости прессованной смеси, а массовые скорости горения были равными. Была высказана гипотеза, что для диспергированной смеси насыпной плотности лучистый механизм теплопередачи в волне горения является основным. Расчеты, проведенные по модели, сформулированной в [8], с учетом данных по температурам воспламенения диспергированной смеси [6] показали, что для диспергированной смеси насыпной плотности лучистый теплообмен не может обеспечить скорость горения, наблюдаемую в эксперименте. Однако учет того факта, что в диспергированной смеси насыпной плотности частицы располагаются не только перпендикулярно направлению распространения фронта горения, как это предполагалось в [8], а хаотично позволяет получить скорости горения, наблюдаемые в эксперименте.

#### Литература.

1. Фундаментальные основы механической активации, механосинтеза и механохимических технологий. Под ред. Е.Г. Аввакумова (Интеграционные проекты СО РАН; вып. 19) Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009 г., 342 с.

2. М. А. Корчагин, Н. З. Ляхов. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез механически активированных смесей // Химическая физика, 2008, т.27, №1, с. 73-78.

3. М. А. Корчагин, Т. Ф. Григорьева, Б. Б. Бохонов, М. Р. Шарафутдинов, А. П. Барина, Н. З. Ляхов. Твердофазный режим горения в механически активированных СВС-системах II. Влияние режимов механической активации на характеристики процесса и состав продуктов горения // Физика горения и взрыва, 2003, т.39, №1, с. 60-68.

4. А.С. Рогачев, Н.А. Кочетов, В.В. Курбаткина, Е.А. Левашов, П.С. Гринчук, О.С. Рабинович, Н.В. Сачкова, Ф. Бернар. Микроструктурные аспекты безгазового горения механически активированных смесей. I. Высокоскоростная микровидеосъемка состава Ni+Al // Физика горения и взрыва, 2006, т.42, №4, с. 61-70.

5. A.S. Mukasyan, J.D.E. White, D. Kovalev, N. Kochetov, V. Ponomarev, S.F. Son. Dynamics of phase transformation during thermal explosion in the Al-Ni system: Influence of mechanical activation // Physica B, 2010, v. 405, n.2, p.778-784.

6. Vadchenko, S. G. Thermal explosion in various Ni-Al Systems: Effect of mechanical activation / S. G. Vadchenko, O. D. Boyarchenko, N. F. Shkodich, A. S. Rogachev // International Journal of Self Propagating High Temperature Synthesis.— 2013.— Vol. 22.— No. 1. — Pp. 60–64

7. 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.

8. П.М. Кришеник, К.Г.Шкадинский. Эстафетный режим горения гетерогенных систем // ФГВ, 2005, Т.41,№5, С. 70-77.