

УДК 621.762.55

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА СВ-СИНТЕЗА В СИСТЕМЕ Ni₃-Al

Ф.А. Евсеев, Е.В. Богданова, А.Э. Алиев, Д.В. Санников

Институт (НОЦ) технических систем и информационных технологий,
 Югорский государственный университет
 г. Ханты-Мансийск

Методом высокоскоростной микропирометрии исследована взаимосвязь температуры фронта горения самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) с начальной температурой шихты в системе Ni₃-Al.

Ключевые слова: высокоскоростная камера, температура, самораспространяющийся высокотемпературный синтез, очаг горения.

Технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза позволяет программировать свойства создаваемого материала [1]. Поэтому, для получения материалов с заданными свойствами, необходим контроль параметра процесса горения – температура фронта горения и выявление его влияния на структурное состояние материалов [2, 3].

Цель работы – исследовать взаимосвязь температуры фронта горения СВ-синтеза с начальной температурой шихты в системе Ni₃-Al. Методика определения температуры горения СВ-синтеза включает измерение интенсивности излучения с помощью высокоскоростной камеры «Видео-Спринт».

В ходе эксперимента были подготовлены 5 образцов со стехиометрией алюминия массовой доли 13% и никеля 87%. Для контроля начальной температуры внутрь каждого образца вводилась хромель-алюмелевая термопара, которая изменялась в пределах от 50 до 280 °С с шагом 50 °С. Для спекания образцов никелидов алюминия были взяты порошки никеля марки ПНК-УТ3 дисперсностью 15 мкм и алюминия марки ПА-4 со средним размером 50 мкм. Готовая смесь помещалась в кварцевую трубку диаметром 26 мм с кажущейся плотностью 2,6 г/см³. Инициализация реакции СВ-синтеза осуществлялась путем локального нагревания верхней части поверхности насыпки электрической спирали.

Для исследования влияния начальной температуры шихты на характеристики реакции синтеза материала Ni₃-Al был использован экспериментальный стенд, позволяющий определять температуру фронта горения,

показанный на рисунке 1. Регистрация СВ-синтеза осуществлялась с помощью высокоскоростной камеры Видео-Спринт – 3 и оптического канала бинокулярного микроскопа МБС-10 – 4. Обработка тепловизионных данных велась на компьютере с процессором Intel Core I7-3930K и объемом ОЗУ 64 GB. При размере одного видео файла около 2 GB время определения макропараметра процесса СВС: температуры горения - не превышало 20 секунд, а объем выборок был не ниже 1000 отсчетов. Для использования видеокамеры в качестве высокоскоростного пирометра была проведена калибровка по эталонной температурной лампе, ТРУ 1100 – 2350 [4, 5].

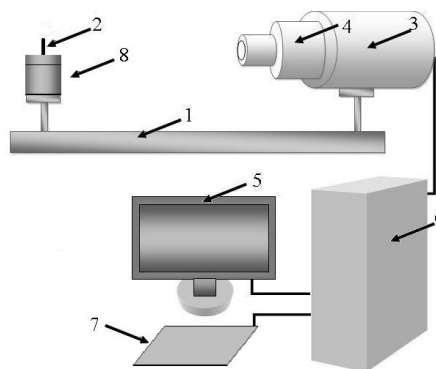


Рисунок 1 – Экспериментальный стенд:
 1 – оптическая скамья; 2 – образец;
 3 – камера Видео-Спринт; 4 – микроскоп МБС-10; 5 - монитор; 6 – системный блок;
 7 – клавиатура; 8 – вертикальная печь

По результатам полученных данных видно, что рост начальной температуры шихты от 50 до 280 °С с погрешностью 2% не вызывает изменения средней температуры го-

рения смеси системы Ni₃-Al (рисунок 2), но ведет к изменению среднего размера очага (рисунок 3). Причем размер очага уменьшается линейно вплоть до минимальной величины, которая определяется суммой размеров частиц Ni и Al.

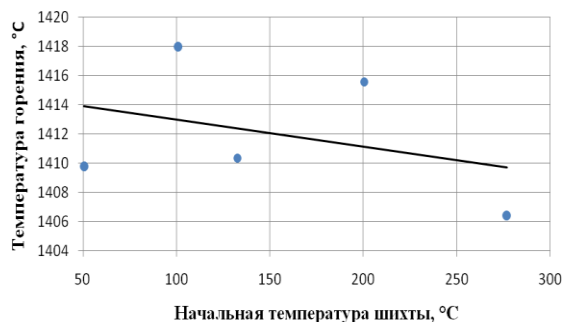


Рисунок 2 – Зависимость температуры горения системы Ni₃Al от начальной температуры шихты

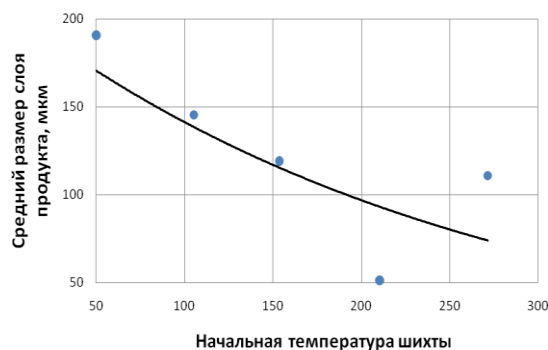


Рисунок 3 – Зависимость средней толщины слоя Ni₃Al от начальной температуры шихты

Такое поведение можно объяснить сокращением времени индукции зажигания будущего очага при постоянной теплопроводности шихты [6]. Однако с дальнейшим повышением начальной температуры шихты по результатам опытов прогнозируется рост размера очага горения (рисунок 3). Вероятно, он связан с увеличением доли неравновесного излучения ячейки горения, провоцирующего преждевременное зажигание соседней ячейки [7, 8].

Выводы

1. Экспериментальные исследования СВ-синтеза в системе Ni₃Al при плотности шихты 2,6 г/см³ показал, что рост начальной температуры шихты ведет к линейному уменьшению размера очага горения в определенных пределах;

2. Размер очагов горения может сни-

жаться до минимальной величины равной размеру элементарной ячейки горения. После чего должно происходить увеличение энергонапряженности в очаге, которое может вести к возникновению эффектов нелинейной или неравновесной теплопередачи и, как следствие, к росту размера очагов горения, наблюдаемого в эксперименте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Temperature measurements for Ni-Al and Ti-Al phase control in SHS Synthesis and plasma spray processes / P.Yu. Gulyaev, I.P. Gulyaev, I.V. Milyukova, H.-Z. Cui // High Temperatures - High Pressures. 2015. Т. 44. № 2. С. 83-92.
2. Microstructure and evolution of (TiB₂+Al₂O₃)/NiAl composites prepared by self-propagation high-temperature synthesis / X.-J. Song, H.-Z. Cui, L.-L. Cao, P.Y. Gulyaev // Transactions of Nonferrous Metals Society of China. 2016. Vol. 26. № 7. С. 1878-1884. DOI: 10.1016/S1003-6326(16)64265-6.
3. Boronenko M.P., Seregin A.E., Gulyaev P.Yu., Milyukova I.V. Phase formation time evaluation in NiAl combustion systems by the thermal fields visualization method // Scientific Visualization. 2015. Т. 7. № 5. С. 102-108.
4. Boronenko M.P., Gulyaev P.Yu., Seregin A.E., Bebiya A.G. Increasing accuracy of high temperature and speed processes micropyrometry // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2015. Т. 93. № 1. Article Id 012021.
5. Boronenko M.P., Gulyaev P.Yu., Seregin A.E., Poluhina K.G. Increasing the noise immunity of optical-electronic systems based on video cameras with an optical converter // Journal of Physics: Conference Series. 2015. Т. 643. Article Id 012028.
6. Gulyaev P.Yu. Plasma spraying of protective coatings from ferromagnetic SHS-materials // Research Journal of International Studies. 2013. № 12-1 (19). P. 74 -77.
7. Gulyaev I.P., Ermakov K.A., Gulyaev P.Yu. New High-Speed Combination of Spectroscopic And Brightness Pyrometry For Studying Particles Temperature Distribution In Plasma Jets // European researcher. Series A. 2014. № 3-2 (71). С. 564-570.
8. Cui H.Zh., Gulyaev P.Yu. The Temperature Control in the Combustion Wave SH S // Многоядерные процессоры, параллельное программирование, ПЛИС, системы обработки сигналов. 2016. № 6. С. 207-211.

Евсеев Фёдор Александрович – студент, тел.: (9088) 964-446, e-mail: fedor_evseev@rambler.ru;
 Богданова Екатерина Владимировна – студент, e-mail: Baha.Bogdanova@mail.ru;
 Алиев Азим Энверович – студент, e-mail: aliev-azim@mail.ru;
 Санников Дмитрий Валерьевич – студент, e-mail: sannikovdmitriy5231b@mail.ru.