

# **ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ГРАНУЛИРОВАНИЯ И МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ СМЕСЕЙ $5\text{Ti}+3\text{Si}$ НА СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЛНЫ ГОРЕНИЯ И УДЛИНЕНИЕ ОБРАЗЦОВ ПОСЛЕ СИНТЕЗА**

Н.А. Кочетов\*, Б.С. Сеплярский

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения Российской академии наук, Черноголовка, Россия

\*[kolyan\\_kochetov@mail.ru](mailto:kolyan_kochetov@mail.ru)

Система  $5\text{Ti}+3\text{Si}$  имеет широкое практическое применение, например, используется в качестве одного из компонентов при СВС композиционных мишеней, используемых для осаждения многофункциональных покрытий [1]. Имеется достаточное количество работ по исследованию горения данной системы [2–4].

Многими исследователями отмечается, что если для приготовления одинаковых по составу смесей использовать порошки разных марок, эти смеси будут обладать разной скоростью горения [5]. Более того, даже если использовать порошки одинаковых марок, но из разных партий, скорость горения смесей на основе этих порошков также может различаться [6]. Таким образом, привязанность результата научной работы к марке используемого порошка является насущной проблемой.

Одним из перспективных путей управления реакционной способностью порошковых смесей является метод механической активации (МА) [7–10]. МА применяется для удаления оксидных и адсорбционных слоев с поверхности частиц; измельчения и увеличения площади контакта реагентов; интенсивной пластической деформации материала, создающей высокую концентрацию дефектов кристаллической структуры и внутренние напряжения. Благодаря этим факторам способность к СВС приобретают порошковые смеси, не горящие в обычных условиях. Образцы, спрессованные из механически активированных порошков, воспламеняются при более низких температурах, а скорость их горения может как уменьшиться, так и увеличиться. Кроме того, существуют примеры перехода от взаимодействия реагентов с участием жидкой фазы в обычных порошковых СВС-смесях к твердофазному режиму горения после предварительной активации этих же смесей.

В последнее время появляются работы, показывающие, что гранулирование смесей может нивелировать зависимость их свойств от марки используемого порошка [11].

Поэтому, в данной работе впервые исследовано влияние длительности механической активации (МА) предварительно гранулированных смесей  $5\text{Ti}+3\text{Si}$  с порошком титана разных марок ПТОМ и ПТМ на зависимости скоростей горения и изменения относительной длины образцов после синтеза. Так как гранулы в процессе МА разрушаются, то можно было предположить, что после МА предварительно гранулированные смеси будут гореть с той же скоростью, что и порошковые. Однако, наличие связки, используемой для грануляции, может изменить состав газа в барабанах активатора и, тем самым, повлиять на динамику изменения характеристик шихты в процессе МА. Ответить на вопрос, какие факторы окажут наибольшее влияние на характеристики горения и удлинение горящих МА образцов, а также распределение частиц по размерам после МА для предварительно гранулированных смесей в настоящее время возможно только экспериментальным путем. Наряду с исследованием влияния длительности МА на динамику изменения характеристик шихты и закономерности горения предварительно гранулированных смесей также проводились аналогичные исследования порошковых смесей того же состава. Сравнение закономерностей горения порошковых и гранулированных составов при различной длительности МА позволит сделать обоснованные выводы о влиянии предварительного гранулирования на зависимости скоростей горения и изменения относительной длины образцов после синтеза, а также на динамику изменения характеристик шихты в процессе МА.

### **Выводы**

Впервые исследованы зависимости скоростей горения и изменения относительной длины образцов в процессе горения от времени механической активации (МА) для гранулированных смесей  $5\text{Ti}+3\text{Si}$  с порошком титана разных марок ПТОМ и ПТМ.

В отличие от порошковых смесей, при МА гранулированных смесей происходит скачкообразное увеличение относительной длины образцов в процессе горения, при длительности МА равной 1 минуте (рис. 1).

Показано, что для гранулированных МА смесей основное газовыделение от разложения связки происходит за фронтом горения, в отличии от смесей без МА, что связано с изменением микроструктуры смеси в процессе МА.

Зависимости от времени МА относительной длины образцов после горения близки для смесей с обеими марками титана, как для порошковых, так и для предварительно гранулированных смесей (рис. 1).

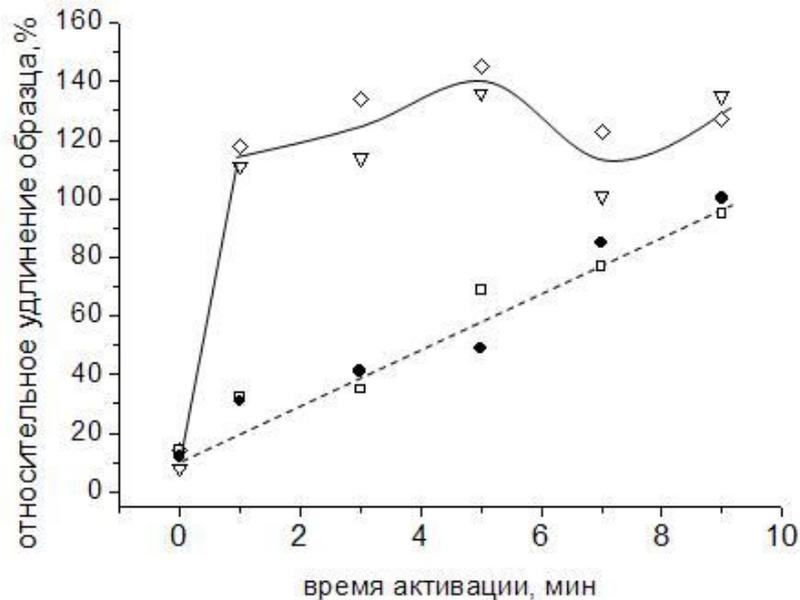


Рис. 1. Зависимости относительного удлинения образца в процессе горения от времени МА для гранулированных смесей  $5\text{Ti} + 3\text{Si}$  с титаном ПТМ -  $\diamond$  и ПТОМ -  $\nabla$ , а также для смесей без гранулирования с титаном ПТМ -  $\square$  и ПТОМ -  $\bullet$ .

Удлинение образцов возрастает с увеличением времени МА для активированных порошковых смесей и находится на одном уровне для предварительно гранулированных и затем активированных смесей (рис. 1).

Для порошковых смесей при увеличении времени МА скорость горения изменяется немонотонным образом, а для предварительно гранулированных смесей, сначала резко уменьшается (время МА 1 минута), а затем монотонно возрастает.

Показано, что предварительное гранулирование исходных смесей оказывает существенное влияние на характеристики горения и удлинения сгоревших МА образцов, а также распределение частиц по размерам после МА.

Предварительное гранулирование позволяет снизить время МА, необходимое для устранения различий в скоростях горения до 3-х мин.

## Литература

1. Ю.С. Погожев, А.С. Рогачев, Н.А. Кочетов, Д.В. Штанский. *Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия*. 2010, № 3, стр. 26–33.
2. А.С. Рогачев, Ф. Барас, С.А. Рогачев. *ДАН*, 2008, т. 6, стр. 747–749.
3. С.Г. Вадченко, А.Ю. Гордополов, А.С. Мукасян. *ДАН*, 1997, № 5, стр. 610–612.
4. Ю.С. Найбороденко, Н.Г. Касацкий, Г.В. Лавренчук, Л.Я. Кашпоров, Л.А. Малинин. В кн.: Горение конденсированных и гетерогенных систем. Материалы VI Всесоюзного симпозиума по горению и взрыву. 1980, Черногловка, стр. 74.
5. N.A. Kochetov and S.G. Vadchenko. *Inter. J. of SHS*, 2012, vol. 21, pp. 55–58.
6. N.A. Kochetov. *Inter. J. of SHS*, 2013, vol. 22, pp. 170–172.
7. 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, 342 стр.
8. S.G. Vadchenko. *Inter. J. of SHS*, 2015, vol. 24, pp. 90–93.
9. S.G. Vadchenko. *Inter. J. of SHS*, 2016, vol. 25, pp. 210–214.
10. A.S. Rogachev, N.F. Shkodich, S.G. Vadchenko, F. Baras, R. Chassagnon, N.V. Sachkova, and O.D. Boyarchenko, *Inter. J. of SHS*, 2013, vol. 22, pp. 210–216.
11. Boris S. Seplyarskii, Alexey G. Tarasov, Roman A. Kochetkov, Nikolai M. Rubtsov, *Mendeleev Communications*, 2014, vol. 24, pp. 242–244.