

## Синтез горением композиционных ферросплавов в режиме термического сопряжения\*

М.Х. Зиатдинов<sup>1</sup>, А.С. Жуков<sup>1</sup>, А.Е. Куликов<sup>1</sup>, Г.А. Байгонакова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

Представлены результаты изучения термически сопряженных процессов синтеза горением различных сплавов. Показано, что термическая активация процесса самораспространяющегося высокотемпературного синтеза систем с низкой экзотермичностью на основе сплавов железа возможна с помощью различных методов: с использованием физического тепла; механическим активированием исходной порошковой смеси; перераспределением химической энергии; химическим нагревом смеси порошков термитными смесями, а также с использованием так называемой «химической печи». На примерах показаны возможности различных видов термического активирования для безгазового и фильтрационного режимов синтеза горением с участием различных сплавов.

**Ключевые слова:** *самораспространяющийся высокотемпературный синтез, нитриды, бориды, азотированные ферросплавы, термическое сопряжение, фильтрационное горение, безгазовое горение, композиционные ферросплавы.*

### Введение

В настоящее время известно большое количество экзотермических химических реакций получения тугоплавких неорганических соединений, которые сопровождаются выделением тепловой энергии и формированием твердых веществ. Многие из таких реакций, обычно наиболее экзотермические, используются в классических металлотермических и СВС-процессах. [1, 2]. Кроме того, известно множество реагирующих порошковых смесей, перспективных с технологической точки зрения, экзотермичности которых недостаточно для осуществления в них химических реакций в режиме самораспространяющегося высокотемпературного синтеза [3].

Активировать процесс синтеза горением в таких слабоэкзотермических смесях можно путем введения в реагирующую систему дополнительной тепловой энергии, или осуществить рекуперацию имеющегося в системе тепла. В традиционном процессе синтеза горением сейчас используются различные варианты активирования слабоэкзотермических смесей:

- Рекуперация выделяющегося тепла.
- Предварительная мехактивация экзотермической смеси.
- Предварительный электронагрев СВС-шихты.
- Химический нагрев экзотермической шихты термитными смесями.
- Применение химической печи.

Перераспределение тепловой энергии путем ее рекуперации во время осуществления СВС-процесса в слабоэкзотермических смесях порошков обычно осуществляется в режиме принудительной фильтрации газа. При синтезе в режиме безгазового горения спутная продувка СВС-смеси порошков осуществляется газом, не участвующим в химических реакциях, обычно аргоном. При получении нитридов и композиций на их основе применяют вынужденную фильтрацию реагирующим газом, обычно азотом или его смесью с инертным газом [4].

Механическое активирование порошковых экзотермических смесей обычно осуществляют с использованием планетарных мельниц различных конструкций [5]. Такая предварительная мехактивация экзотермической СВС-шихты позволяет осуществлять синтез в режиме самоподдерживающегося горения в системах с низкой экзотермичностью и одновременно повышать степень выхода целевого соединения.

Дополнительное тепло в СВС-экзотермическую смесь может добавляться в виде физического или химического тепла. Физическое тепло вводится путем предварительного увеличения температуры исходной порошковой смеси в электропечи. При таком осуществлении синтеза горение можно осуществлять как в режиме послыонного распространения волны синтеза, так и в объемном режиме (в так называемом синтезе в режиме теплового взрыва).

\* Исследование проводилось при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Соглашение № 075-15-2025-607 от 01/07/2025).