

УДК 536.46

DOI: 10.17223/00213411/64/3/33

Н.В. БУКРИНА

ВЛИЯНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ФИЗИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОБЪЕМНОГО СИНТЕЗА ИНТЕРМЕТАЛЛИДА*

Предложена двумерная математическая модель высокотемпературного синтеза химических соединений и сплавов в режиме динамического теплового взрыва при нагреве порошковой прессовки в стальной цилиндрической пресс-форме индукционным источником теплоты. Комплекс химических реакций описывается суммарной реакцией с эффективными формально-кинетическими параметрами. Кинетический закон учитывает возможное сильное торможение скорости суммарной реакции с накоплением продукта синтеза. Модель позволяет исследовать макроскопические физические закономерности синтеза интерметаллида при изменении скорости нагрева и размеров реактора. Проведено сравнение результатов, полученных для постоянного коэффициента теплопроводности и коэффициента теплопроводности, зависящего от температуры. Учет температурной зависимости коэффициента теплопроводности может привести к численному изменению времени задержки воспламенения и к качественно иному распределению температуры в объеме реактора.

Ключевые слова: высокотемпературный синтез, коэффициент теплопроводности, интерметаллид, математическое моделирование.

Введение

Система Ni–Al является одной из наиболее изученных [1], но и для нее разработка новых технологий для получения интерметаллидных соединений на основе Ni и Al вызывает много вопросов [2]. Одним из наиболее перспективных методов получения интерметаллидов является самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС). В его основе лежит нагрев материала или смеси порошков до заданной температуры, при достижении которой происходит самоподдерживающаяся реакция в режиме горения или теплового взрыва. Для инициирования реакции используют различные виды тепловых источников. Одним из них является индукционный нагрев, вызываемый поглощением электромагнитной энергии при генерации в проводящем нагреваемом теле наведенных вихревых токов по закону Джоуля – Ленца.

Для решения технологических задач получения новых материалов с повышенными характеристиками применяются разнообразные математические модели, например, многоуровневые, в которых явным образом учитываются физические механизмы, описывающие изменения структуры материала [3]. Математическое моделирование позволяет учитывать различные физико-химические процессы на разных масштабных уровнях. Наиболее распространенными являются модели с выделением так называемой реакционной ячейки [4–8]. Однако динамика нагрева, а также влияние геометрии реактора на процесс синтеза в этих исследованиях не анализируются, хотя именно понятие динамического теплового взрыва, впервые введенное в работах [9–12], позволило говорить о возможности управления процессом [13]. К сожалению, авторами [8] этот факт не отмечен.

Зависимость закономерностей процесса синтеза от скорости нагрева для некоторых составов, в том числе для системы Ni–Al, установлена экспериментально [14]. Влияние скорости нагрева на динамику инициирования СВС обнаруживается и в слоевых системах [15, 16], причем твердофазные реакции в фольгах интенсивно протекают уже при температурах около 300 °С и сопровождаются образованием прослоек интерметаллидной фазы. В работе [17] формулировка модели для системы Ni–Al основана на предположении, что в условиях теплового взрыва реализуется последовательность реакций, соответствующих равновесной диаграмме состояния, однако неоднородностью нагрева порошковой прессовки и стадией нагрева авторы пренебрегают.

Работа [18] посвящена термодинамическому описанию последовательности формирования мезоструктуры в композиционных материалах. Автор определяет критерии, позволяющие предсказать структуру гетерогенного материала, получаемого в результате самораспространяющегося высокотемпературного синтеза с добавлением тугоплавких частиц. Многие задачи, моделирующие физические закономерности формирования новых материалов, связаны с теорией тепло- и

* Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема номер FWRW-2021-0035.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>