

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВОГО ХАРАКТЕРА ПРОТЕКАНИЯ САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА С УЧЕТОМ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ МЕХАНОАКТИВАЦИИ РЕАГЕНТОВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ИЗНОСОСТОЙКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

¹Громыко Г.Ф., ¹Мацука Н.П., ²Ильющенко А.Ф., ²Шевцов А.И., ³Леванцевич М.А.

¹Институт математики НАН Беларуси,

г. Минск, Беларусь, E-mail: grom,matsuka@im.basnet.by

²Институт порошковой металлургии НАН Беларуси,

г. Минск, Беларусь, alexil@mail.belpak.by

³Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,

г. Минск, Беларусь, E-mail: levancev@mail.ru

Введение

При формировании износостойких материалов и покрытий, содержащих твердые включения (например, карбид титана), эффективно применение самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) [1]. В работе [2] предложена принципиальная схема математического моделирования тепловых процессов СВС при формировании износостойкого покрытия импульсно-плазменной обработкой композиционной обмазки из шихты, содержащей СВС - реагенты.

Целью работы является определение роли механической активации исходной шихты (на примере NiCr, Ti и C) в устойчивом эстафетном характере протекания СВС, результатом которой является получение частиц-агломератов («микрокомпозитов»).

Рассматриваемая математическая модель тепловых процессов учитывает различные механизмы химического реагирования, которые проявляются при моделировании тепловых процессов с предварительной механоактивацией реагентов. Схема образования «микрокомпозитов» при механоактивации показана на рисунке 1.

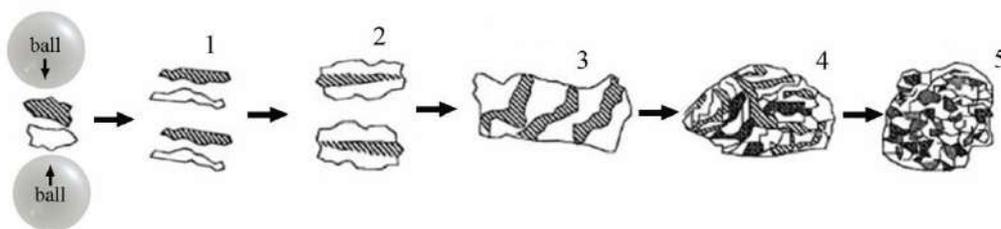


Рисунок 1 – Процесс образования «микрокомпозитов» при механоактивации

Интенсивные столкновения частиц в механоактиваторе с нейтральными шарами мельницы и между собой повышают реакционную способность реагентов, которая заключается в увеличении реакционной поверхности и накоплению дополнительной энергии, большая часть которой преобразуется в тепловую.

В результате механоактивации «микрокомпозиты» представляют собой порошковые образования, внутри которых исходные реагенты равномерно распределены. При этом существенно увеличивается площадь контакта между реагентами, уменьшается их характерный размер и растет концентрация дефектов кристаллической структуры. Это приводит к заметному росту скорости химических реакций, повышению полноты превращения и может инициировать процесс СВС даже в слабозкотермичных системах.

Таким образом, механоактивация обеспечивает дополнительной энергией «микрокомпозиты», создает большую поверхность контакта между реагентами, что зачастую приводит к условиям для протекания реакции по твердофазному механизму. Отметим, что для данной модели будем рассматривать те режимы активации, в которых реагенты находятся в стехеометрическом соотношении.

Введение в определение механоактивации энергетического состояния системы открывает возможность математического выражения и количественной оценки процесса активации: процессу механоактивации будет соответствовать изменение свободной энергии системы под действием механических сил.

В выбранной модели предварительная механоактивация шихты учитывается заданием энергетического состояния для реагирующих «микрокомпозитов» в виде дополнительной начальной энтальпии, а не температуры, и изменением констант химической реакции (указывающих на увеличение удельной поверхности контакта), которые носят эмпирический характер.

Параметры исследуемой модели. В качестве исходных материалов для подготовки шихты использован порошок нихрома (фракции ~ 50 мкм) и в качестве СВС - реагентов – смесь порошка титана (фракции ~ 50 мкм) и углерода в виде сажи ПМ-15 (размер частиц 2-5 мкм) в стехиометрическом соотношении 4:1. Массовое процентное содержание нихрома варьировано в пределах $\approx 40 - 50\%$.

Исследуемая модельная область представляет собой брусок с размерами 10мм × 10мм, на верхнюю часть которого равномерно нанесена суспензия из исходных компонентов шихты и инертного материала в цапонлаке. Толщина обмазки после предварительной обработки составляет ~ 0,6 мм.

Начальная температура образца 500 К, температура окружающего газа 300 К. Коэффициент теплоотдачи на боковых и нижней границах образца $10 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$, со стороны импульса – $5 \cdot 10^6 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$. Тепловой эффект реакции горения $Q = 251,2 \text{ кДж/моль}$.

Начальное энергетическое состояние частиц-реагентов варьируется от 10 до 100 кДж/кг.

Параметры технологического процесса взяты из работы [2], термические константы веществ – из справочника [3].

Результаты моделирования. На рисунке 2 представлена модель укладки «микрокомпозитов» слоями, с нумерацией их от границы контакта обмазки с подложкой. Такой способ укладки отражает лучшую передачу тепла со стороны импульса в глубь детали, а в центральном столбце теплопередача максимальная.

Рассмотрим поведение системы с различной дополнительной энергией «микрокомпозитов», иллюстрирующих положительный эффект механоактивации на процесс инициирования СВС.



Рисунок 2 – Модель укладки частиц в обмазке

На рисунке 3 приведены результаты расчетов динамики температурного поля с различной начальной энергией «микрокомпозитов» в центральном столбце обмазки. Как видно из рисунка 3а при дополнительной энергии в 10 кДж/кг и действии импульса длительностью 200 мкс в частицах недостаточно энергии, чтобы инициировать СВС хотя бы в нескольких слоях «микрокомпозитов».

При постепенном увеличении времени механоактивации (что выражается в увеличении энергии реагирующих частиц) начинается процесс синтеза карбида титана. Для того, чтобы прореагировали все слои покрытия, требуется разное время. Отметим, что процесс зажигания центрального вертикального столбца частиц с реагентами, показанный на рисунке 3г идентичен по времени приведенному в [2] эксперименту с начальной температурой системы 800 К. Полученной дополнительной энергии системы хватило для инициирования СВС даже при существенно более низкой начальной температуре.

Исходя из численных экспериментов, благоприятный прогноз формирования качественного упрочняющего покрытия для исходных параметров, когда наблюдается устойчивый эстафетный характер СВС даже при начальной температуре 500 К, наблюдается в диапазоне дополнительной энергии порядка 20 – 100 кДж/кг.

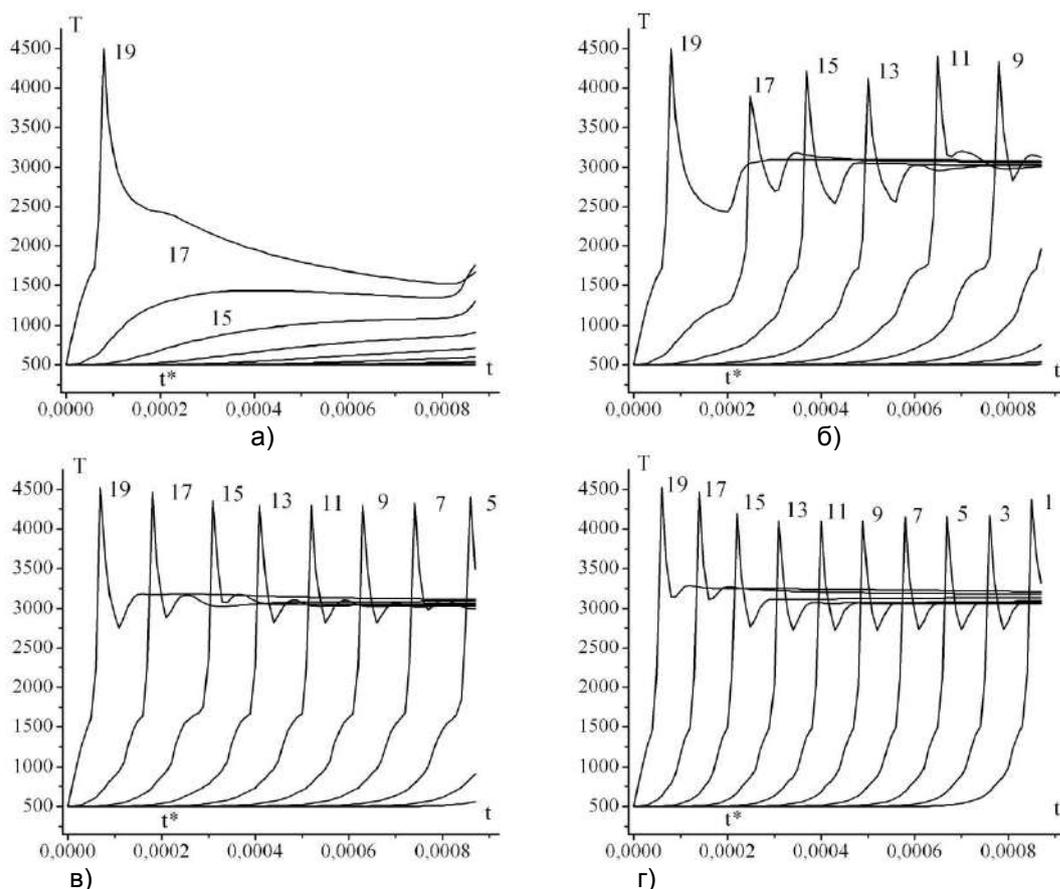


Рисунок 3 – Динамика температуры в центральном столбце «микрокомпозитов» при дополнительной энергии после механоактивации:
 а) 10 кДж/кг, б) 20 кДж/кг, в) 50 кДж/кг, г) 100 кДж/кг

Заключение

Проведена серия численных экспериментов по изучению процесса самораспространяющегося высокотемпературного синтеза при формировании износостойкого покрытия импульсно-плазменной обработкой композиционной обмазки из шихты, содержащей СВС – реагенты, с учетом предварительной механоактивации реагентов. Показано, что механическая активация исходной шихты позволяет запустить устойчивый СВС – процесс при более низкой начальной температуре. С помощью численных экспериментов установлены оптимальные режимы обработки обмазки (Ni80Cr20 + Ti + C). Выбранные диапазоны технологических параметров создают предпосылки нанесения качественного износостойкого покрытия.

Список литературы:

1. Витязь П.А., Ильющенко А.Ф., Шевцов А.И. Основы нанесения износостойких, коррозионностойких и теплозащитных покрытий. Минск: Бел. Наука. 2006. 363 с.
2. Gromyko G., Ilyuschenko A., Matsuka N., Shevtsov A., Buikus K. Modeling of Thermal Processes at Forming a Composite Coating of plastering with SHS-reagents// Electronic Journal of New Materials, Energy and Environment (EJNMEE). 2015. V. 01, № 2, p. 18 – 31. url: <http://ejnmee.eu/>; eISSN: 2367-6868.
3. Глушко В.П. Термические константы веществ. Справочник / Под ред. В.П. Глушко // Вып. IV, М.: Изд-во АН СССР, 1970; вып. V, 1971; вып. VII, 1974.