

УДК 66.091+66.022.5 : 544

Т. Л. ТАЛАКО

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ВЛИЯНИЯ МЕХАНОАКТИВАЦИИ
НА САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩИЙСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ
СИНТЕЗ МАТЕРИАЛОВ***Институт порошковой металлургии НАН Беларуси**(Поступила в редакцию 17.10.2013)*

Введение. Известно, что механоактивация (МА) является эффективным средством модифицирования химических реакций и широко используется в различных процессах для регулирования структуры и свойств получаемых продуктов [1, 2]. В последние десятилетия активно развивается метод механоактивируемого самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (МАСВС), при котором на первом этапе реакцию смесь обрабатывают в течение сравнительно короткого времени в энергонапряженном аппарате-активаторе и затем используют в качестве прекурсора для СВС. Преимущества метода МАСВС рассмотрены в [3–7]. Установлено, что МА расширяет возможности проведения реакций в самораспространяющемся режиме в концентрационных областях, где традиционный СВС не удавалось реализовать ни при каких условиях. Этап МА необходим для инициирования реакций горения низкокалорийных систем, в которых он может использоваться вместо предварительного подогрева. МА позволяет модифицировать условия протекания химических реакций и существенно менять термические параметры фронта горения (температуру, скорость горения, скорость разогрева и др.), приводя к изменению структуры и свойств продуктов синтеза.

Однако, несмотря на большое количество публикаций, посвященных МАСВС, механизм влияния МА на СВС остается неясным [7, 8]. Отчасти это связано со сложностью и многофакторностью составляющих МАСВС процессов (МА и СВС).

Цель настоящей работы – анализ современных представлений об особенностях МАСВС-процессов и природе наблюдаемых эффектов МА.

Влияние механоактивации на основные параметры самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. Большинство авторов в качестве основных эффектов МА отмечают существенное снижение температуры и времени задержки зажигания (самовоспламенения), увеличение скорости химических реакций для активированных систем. Для других параметров СВС (величины и скорости тепловыделения, температуры и скорости горения и др.) наблюдается сложный характер зависимости от МА, который пока не получил исчерпывающего объяснения. При сопоставлении результатов различных авторов необходимо учитывать то, что процесс МА зависит от многих параметров, включая тип мельницы; материал и геометрию контейнера; материал, форму и размер мелющих тел; энергию и частоту соударений; продолжительность измельчения; соотношение масс мелющих тел и обрабатываемого порошка; степень заполнения мельницы; природу атмосферы, в которой происходит обработка; температуру измельчения и др. При этом все указанные параметры не являются полностью независимыми [9].

В [10] для сравнительного анализа влияния МА на поведение горючих составов предложено использовать три ее параметра (энергия одного удара (столкновения шаров или шара со стенкой), частота столкновений и общее время активации), произведение которых соответствует энергии, затраченной на активацию. В зависимости от энергии соударения выделяют две большие группы. Энергия соударения первой группы составляет 0,1–0,2 Дж, а продолжительность

активации – от минут до десятка часов. Эту группу авторы [10] называют «низкоэнергетическим активированием». Для второй группы («высокоэнергетическое активирование») характерны значения энергии соударения порядка 1–2 Дж и продолжительность МА от нескольких секунд до десятков минут.

В соответствии с предложенным подходом рассматриваются общие закономерности влияния МА на параметры горения для обеих групп. В первой группе скорость горения большинства смесей монотонно возрастает с увеличением времени механической обработки. При этом максимальная температура горения также увеличивается, но для многих исследованных систем остается ниже адиабатического значения. Во второй группе скорость горения меняется немонотонно с максимумом при времени обработки в диапазоне 120–300 с. Температурные кривые для некоторых систем также имеют максимум, причем он может не совпадать по времени с максимумом скорости горения.

Следует отметить, что различие в поведении обеих систем определяется, главным образом, рассмотренными параметрическими интервалами. Очевидно, что если увеличить продолжительность «низкоэнергетического активирования» либо рассмотреть промежуточный уровень энергий соударения, то и в этой группе становится возможным экстремальный характер зависимостей параметров горения от продолжительности МА. Более целесообразным представляется рассматривать динамику изменения параметров СВС с увеличением интенсивности и продолжительности МА.

Уменьшение скорости горения с увеличением продолжительности МА часто объясняют появлением некоторого количества продуктов синтеза уже на стадии механоактивации. Однако необходимо учитывать эффекты, связанные с теплопередачей между частицами реакционной смеси и реализацией так называемого микрогетерогенного (эстафетного) режима горения в механоактивированных системах.

В [11] показано, что при формировании в процессе МА композиционных частиц, содержащих в своем составе все компоненты реакционной смеси, продвижение волны безгазового горения на микроскопическом уровне осуществляется скачками: быстрое продвижение локального фронта, связанное с горением композиционной частицы, сменяется его приостановкой на границе между частицами, определяющейся временем, необходимым на прогрев и инициирование реакции в очередной частице. Скорость химических реакций внутри композиционных частиц в данном случае не является лимитирующим фактором процесса. Макроскопическая скорость горения определяется, главным образом, временем задержки зажигания композиционных частиц. С ростом продолжительности МА размер композиционных частиц, формирующихся в данном процессе в системах с пластичными реагентами, как правило, значительно увеличивается. Более крупные частицы требуют большего времени для своего прогрева до температуры инициирования реакции и поэтому могут тормозить распространение СВС-процесса даже при отсутствии механохимического взаимодействия.

Снижение температуры горения в механоактивированных реакционных смесях традиционно связывают с уменьшением температуры начала реакций, а также потерей части химической энергии системы в результате взаимодействия компонентов в процессе механической обработки. Однако само по себе снижение температуры зажигания не обязательно должно приводить к уменьшению температуры горения, поскольку последняя определяется конкуренцией между скоростью тепловыделения за счет химических реакций и скоростью теплопотерь за счет кондуктивного теплоотвода в холодную часть образца по закону теплопроводности Фурье [8].

Авторы [4, 5] показали, что характер изменения кривой температуры горения в системе Ni–13 мас.% Al, обработанной в высокоэнергетической планетарной мельнице АГО-2, практически совпадает с характером изменения кривой тепловыделения. В [12] отмечается взаимосвязь тепловыделения в механоактивированной в атриторе реакционной смеси Fe–45 мас.% Al с процессами фазообразования при СВС: в отличие от неактивированной шихты, для которой наиболее термодинамически предпочтительной является реакция образования Fe_2Al_5 , в продукте синтеза после МА преимущественно формируется моноалюминид железа FeAl.

Связь характера изменения термограмм с механизмом взаимодействия компонентов реакционной смеси $2Fe+5Al$ в режиме теплового взрыва в зависимости от продолжительности МА

в аттриторе рассмотрена в [13]. Показано, что при достижении критических параметров МА меняется механизм СВС-процесса. При этом существенное снижение температуры горения системы при длительности МА 5 мин объясняют протеканием наблюдаемых на термограмме эндотермических процессов.

Таким образом, наблюдаемые изменения параметров горения в механоактивированных реакционных смесях связаны не только с особенностями процессов тепловыделения и теплопередачи после МА. Значительную роль могут играть изменения механизмов химического взаимодействия в механоактивированных системах.

Влияние механоактивации на кажущуюся энергию активации и кинетику химических реакций при самораспространяющемся высокотемпературном синтезе. В силу особенностей СВС-процесса важным следствием МА является значительное изменение энергии активации химических реакций в механоактивированных материалах. Выполненные экспериментальные исследования показывают возможность снижения кажущейся энергии активации до 3–20 раз по сравнению с неактивированными реакционными смесями. Это приводит к уменьшению температуры зажигания (самовоспламенения) ниже температур плавления компонентов реакционной смеси или их эвтектик и возможности реализации твердофазного режима горения [4, 5].

Долгое время наблюдаемое повышение реакционной способности механоактивированных гетерогенных систем многие авторы объясняли накоплением в материале дополнительной энергии, связанной с напряжениями кристаллической решетки и метастабильными состояниями, вызываемыми МА.

Однако выполненные недавно расчетные оценки возможного вклада запасенной энергии в снижение кажущейся энергии активации в системах Fe–Al, Ni–Al, Ti–Al [8, 14] показали, что общее количество энергии, запасенной в реакционных смесях металлов в результате упругих напряжений, формирования различных типов дефектов и увеличения поверхностной энергии из-за снижения размера зерен в процессе кратковременной механоактивации, составляет менее 1 кДж/моль. Таким образом, запасенная энергия не может вносить значительный вклад в существенное снижение кажущейся энергии активации, наблюдаемое экспериментально.

Количественные оценки возможности участия неравновесных точечных дефектов в диффузионно-контролируемом взаимодействии при повышенных температурах в условиях быстрого нагрева в механоактивированной бинарной системе Ni–Al [14] показали, что избыточные вакансии полностью диссипируют в алюминии, но остаются в никеле до достижения температуры инициирования. Они могут быть причиной ускоренной диффузии в никеле. Однако это справедливо только тогда, когда мелкие включения алюминия расположены в никелевой матрице после МА. В противном случае (островки никеля в алюминиевой матрице, которые, как правило, наблюдаются экспериментально) эффект избыточных вакансий, аккумулирующихся в металлах в процессе МА, несущественен.

В таблице представлены результаты исследований температуры зажигания и скорости распространения фронта горения в реакционной смеси Ni–Al в зависимости от структурного состояния реакционной среды. Интересно отметить, что плакирование алюминиевых частиц никелем, увеличивающее контактную поверхность между реагентами примерно в два раза, не приводит к значительному изменению исследуемых параметров по сравнению с порошковой смесью, полученной с использованием мелкодисперсного никеля. Лучший контакт между реагентами в плакированных частицах обеспечивает возможность более быстрого достижения эвтектической температуры, приводя лишь к незначительному снижению температуры инициирования. Заметное снижение температуры зажигания (T_3) и увеличение скорости горения во всех рассмотренных системах наблюдаются лишь после использования МА. При этом, чем меньше величина толщины слоев в полученных прекурсорах, тем ниже значение T_3 . Наиболее значительное увеличение скорости горения (до 10 см/с) в системе Al–Ni с размером частиц Ni 5 мкм объясняют значительным снижением масштаба гетерогенности внутри частиц.

Для выяснения механизма повышения реакционной способности композиционных частиц гетерогенных реакционных смесей при МА авторами [14] проведены детальные исследования структурных превращений в реакционной смеси Ni–Al в данном процессе с использованием

Зависимость температуры зажигания (T_z) и скорости горения (U) спрессованных образцов Ni–Al от структурного состояния реакционной среды [14]

Система	Параметр горения			
	Без МА		С использованием МА	
	T_z , К	U , см/с	T_z , К	U , см/с
Al/Ni плакир. (~ 40 мкм)	914–960	$3,5 \pm 0,2$	560–661	$9,5 \pm 0,1$
Al (40 мкм) + Ni (5 мкм)	933–960	$3,2 \pm 0,1$	538–550	$10 \pm 0,1$
Al (5 мкм) + Ni (40 мкм)	940–973	$0,4 \pm 0,1$	683–700	$4,5 \pm 0,1$

электронной микроскопии высокого разрешения. Показано, что при МА не только увеличивается контактная поверхность между Ni и Al на микроуровне, но также вблизи границы раздела формируются тонкие приграничные слои (50–100 нм), где наноразмерные кристаллиты никеля внедряются в алюминиевую матрицу (рис. 1). В этой области реагенты перемешиваются на наноуровне без формирования оксидного слоя или промежуточных фаз, которые обычно служат диффузионными барьерами для химических реакций. Именно указанные структурные изменения авторы считают решающими для увеличения реакционной способности среды и преимущественного протекания твердофазных реакций.

Следует отметить, что относительно процессов, происходящих на межфазных границах при МА, в настоящее время у исследователей не существует единого мнения. В [14] авторы убедительно показали, что на границах между никелем и алюминием химического взаимодействия не наблюдается, как и аморфизации либо формирования высоких плотностей дефектов и значительного искажения решеток компонентов реакционной шихты. Подобные результаты были получены в [15, 16].

Напротив, в ряде других работ [12, 17–19] на границе раздела между реагентами в процессе МА реакционных смесей для СВС наблюдали аморфизацию, образование областей твердых растворов либо неравновесных соединений. По-видимому, рассогласование результатов, представ-

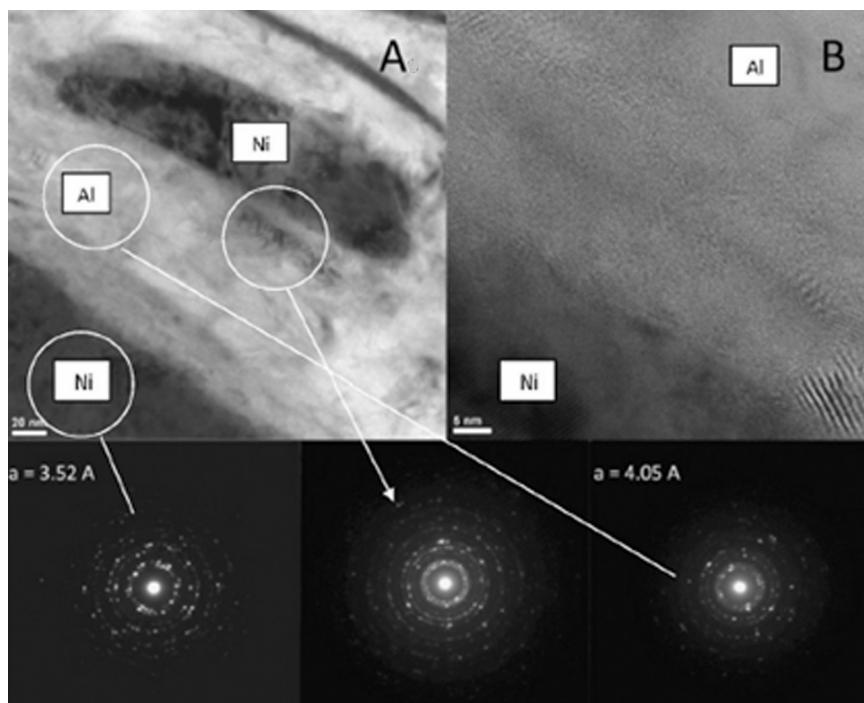


Рис. 1. ПЭМ-микротографии, иллюстрирующие внедрение наночастиц никеля в алюминий в приграничной области (А) и отсутствие дефектов в этой же области (В). Представленные внизу картины микродифракции электронов свидетельствуют о присутствии только фаз Ni ($a = 0,3352$ нм), Al ($a = 0,403$ нм) и смеси непрореагировавших Ni и Al (в центре) [14]

ленных в разных работах, обусловлено различием рассматриваемых систем (природы реагентов, равновесных диаграмм состояния) и условий их МА.

Авторы [17] связывают возможность инициирования процесса горения в свободно насыпанных порошках и повышение полноты превращения в системе Ti–3Al после МА в планетарной мельнице Spex Miller / Mill mod 8000 при стандартной частоте обработке 875 об/мин с реакционными явлениями, имеющими место на разупорядоченных межфазных границах, несмотря на то, что в смеси идентифицируются только титан и алюминий. В [3] отмечается, что образование некоторого количества продуктов взаимодействия в процессе МА может оказывать положительный эффект, действуя как центры гетерогенной кристаллизации при последующем СВС и дополнительно снижая температуру горения за счет уменьшения химической энергии системы.

Влияние промежуточных метастабильных состояний, формирующихся в процессе МА, на реакционную способность материалов обсуждалось в [18]. Показано, что образующиеся активированные комплексы, имеющие свойства, близкие как к реагентам, так и к продуктам, обычно характеризуются более высокоэнергетическим состоянием, чем исходные материалы, и на начальном этапе служат энергетическим барьером реакции. Однако при достижении некоторого критического состояния (преодоления энергетического барьера) эти комплексы инициируют реакцию. Чем больше материала переходит в промежуточное состояние, тем меньшим будет тепловыделение при последующем синтезе. Автор [18] связывает повышение реакционной способности материалов в результате МА с фундаментальной сменой природы реакций: тщательное перемешивание материалов, аморфизация межфазных поверхностей и диффузионный массоперенос, имеющие место при МА, способствуют тому, что в механоактивированных материалах более активно протекают твердофазные реакции (по сравнению с жидкофазными).

Детальные исследования структуры волны горения при получении MoSi₂ из элементов методом МАСВС [20] показали возможность твердофазного взаимодействия на первой секунде реакции во фронте горения. О реализации твердофазных реакций на начальных этапах МАСВС сообщалось и в [12, 14, 21]. При достижении критических условий МА становится возможной реализация так называемого чисто твердофазного горения [4, 5].

Таким образом, основные причины снижения энергии активации и ускорения кинетики химических реакций в механоактивированных материалах связаны с изменением структуры реакционных смесей (в первую очередь, с формированием композиционных частиц с областями тонкого объемного перемешивания реагентов у межфазных границ), приводящим к модифицированию способа массопереноса и обусловленной этим смене механизмов фазообразования.

Влияние механоактивации на химические маршруты при самораспространяющемся высокотемпературном синтезе. Изменения химического маршрута при МАСВС включают прямой синтез целевой фазы без образования промежуточных продуктов, формирующихся в неактивированных системах [16, 20], а также изменение типа и последовательности протекания реакций (взамен, одновременно или после реакций, имеющих место при СВС без механоактивации) [4, 5, 12, 21–23].

Быстрая одностадийная химическая реакция, протекающая по механизму растворения–кристаллизации, как правило, наблюдается в образующихся в процессе МА композиционных прекурсорах, в которых

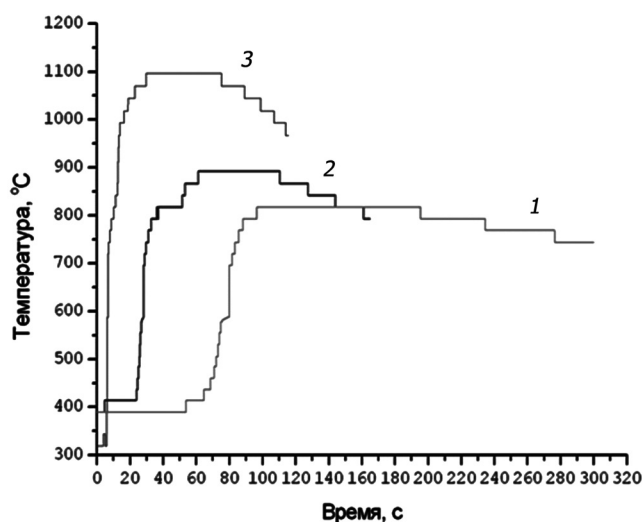


Рис. 2. Термограммы горения механоактивированных реакционных смесей Fe–25 мас.% Al в зависимости от режима механоактивации: 1 – 30 мин МА в атриторе; 2 – 120 мин МА в атриторе; 3 – 10 мин МА в планетарной мельнице Fritsch PULVERISETTE 6

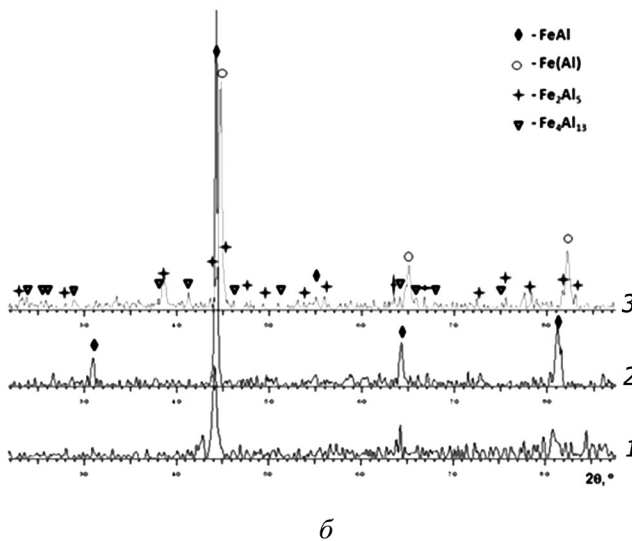
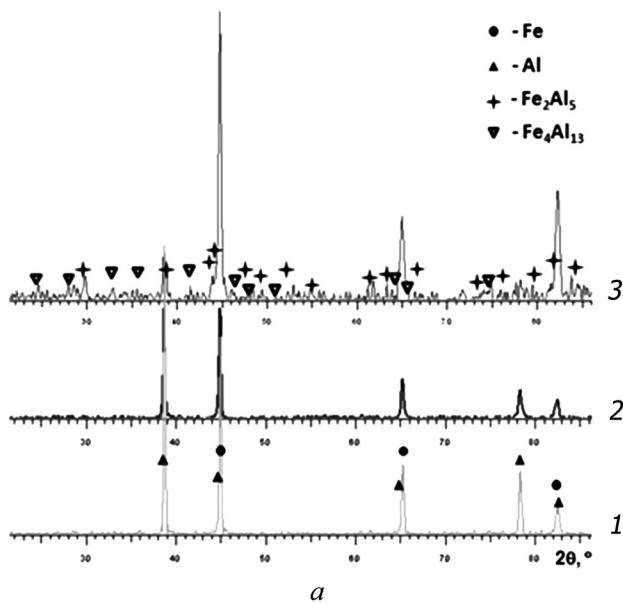


Рис. 3. Дифрактограммы реакционных смесей Fe–25 мас.% Al после МА (а) и соответствующих продуктов синтеза (б) в зависимости от режима МА: 1–3 см. рис. 2

и температуры горения с ростом интенсивности и продолжительности МА (рис. 2), преимущественное формирование моноалюминида железа наблюдается лишь при определенных режимах МА (рис. 3, б, дифрактограмма 2). Характерной особенностью структуры прекурсоров, сформированных на таких режимах, являются размытость межфазных границ и появление небольшого количества богатых алюминием неравновесных интерметаллидов ($\text{Fe}_4\text{Al}_{13}$ и Fe_2Al_5 [21] (рис. 4, а). Следует отметить, что для указанных режимов не характерно сильное измельчение реагентов в объеме композиционных частиц.

Напротив, характерное для обработки в планетарной мельнице формирование тонкой слоистой структуры композиционных прекурсоров с активным объемным перемешиванием реагентов (рис. 4, б) и заметным механохимическим взаимодействием (рис. 3, а, дифрактограмма 3), сопровождающееся снижением температуры инициирования реакций и увеличением скорости тепловыделения, (рис. 2, термограмма 3), не приводит к образованию значительного количества В2–FeAl в продукте синтеза (рис. 3, б, дифрактограмма 3). Очевидно, это связано с более высокой скоростью распространения волны горения (приблизительно 2,3 мм/с по сравнению с при-

достигается объемное перемешивание реагентов на наноуровне с формированием ювенильных контактных поверхностей [16, 20].

Возможность одновременного протекания при СВС нескольких реакций [4, 5], в том числе с сильно отличающимися экзотермическими эффектами [23], вероятно, связана с локальными химическими концентрациями на межфазных границах и быстрой реакционной кинетикой в наноразмерных диффузионных парах, формирующихся при МА.

Авторы [22] показали возможность регулирования характера взаимодействия реагентов в механоактивированных реакционных смесях Fe–2Si в зависимости от режима МА: при кратковременной активации и средней напряженности процесса обработки в планетарной мельнице основным продуктом синтеза является силицид FeSi, формирующийся непосредственно в волне горения. При длительной обработке и высокой напряженности процесса в зоне догорания формируется FeSi_2 . Однако причины протекания дополнительных реакций за фронтом горения в настоящей статье не обсуждались.

Механизм формирования моноалюминида железа FeAl в результате многостадийной СВС-реакции в механоактивированной реакционной смеси Fe–25 мас.% Al рассмотрен в [21]. Показано, что последовательность химических превращений при СВС существенно зависит от внутренней структуры композиционных частиц, формирующихся в процессе МА, и макрокинетических параметров горения. Так, несмотря на заметное увеличение скорости тепловыделения

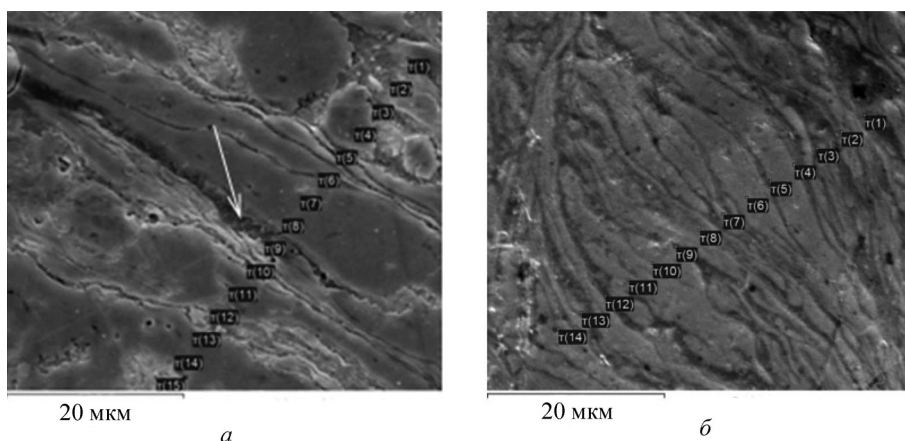


Рис. 4. СЭМ-микрофотографии поперечного сечения композиционных частиц Fe/Al, формирующихся в реакционной смеси Fe–25 мас.% Al после 120 мин МА в атриторе (а) и 10 мин МА в планетарной мельнице Fritsch PULVERISETTE 6 (б)

мерно 1,6 и 0,22 мм/с для двух других режимов), не обеспечивающей достаточного времени для трансформации богатых алюминием интерметаллидов, формирующихся на начальной стадии СВС, в моноалюминид железа, а также с формированием в результате активного протекания твердофазных реакций на границе раздела между реагентами сплошной пленки продукта, затрудняющей диффузионные процессы.

Влияние наноразмерных включений оксида алюминия, формирующихся на этапе МА в реакционной смеси (60,9 мас.% Fe + 26,6 мас.% Al + 12,5 мас.% Fe₂O₃), на качественный состав продуктов синтеза и глубину превращения при СВС обсуждалось в [23]. Показано, что, несмотря на практически полное протекание алюминотермической реакции восстановления оксида железа в процессе МА, обеспечивающей наибольшее тепловыделение в рассматриваемой системе, продукт синтеза содержит, главным образом, моноалюминид железа FeAl (упрочненный включениями оксида алюминия). Однако при аналогичном режиме МА реакционной смеси Fe–Al при том же соотношении металлов (Fe-25 мас.% Al) после СВС была получена многофазная структура, включающая в себя значительное количество твердого раствора α-Fe(Al), остаточное железо и разупорядоченный интерметаллид Fe₂Al₅. Следует отметить, что формирующиеся в процессе МА включения Al₂O₃ не растворяются в расплаве, образующемся при СВС, и не реагируют с другими компонентами реакционной смеси в процессе синтеза. Поэтому следует рассматривать два основных эффекта их присутствия. С одной стороны, включения Al₂O₃ способствуют процессу гетерогенной кристаллизации при СВС, ускоряя скорость тепловыделения. С другой стороны, они уменьшают контактную поверхность между железом и алюминием и играют роль инертного разбавителя, снижая теплосодержание реакционной смеси. Несмотря на этот отрицательный эффект, концентрация В2-фазы в системе, содержащей оксид, оказалась значительно выше по сравнению с аналогичной механоактивированной системой без оксида. Это свидетельствует о том, что стимулирование процессов гетерогенной кристаллизации является важным фактором, влияющим на протекание химических реакций при СВС в механоактивированных системах.

Выводы

1. Выполненный анализ современных представлений о механизме влияния МА на СВС показал, что сильные изменения параметров СВС в механоактивированных реакционных смесях могут быть связаны не только с изменением характера процессов тепловыделения и теплопередачи, но и с изменением механизмов химического взаимодействия реагентов.

2. Основные эффекты МА имеют место на начальных этапах процессов горения и связаны с протеканием твердофазных реакций с пониженной энергией активации. Значительное снижение кажущейся энергии активации и ускорение кинетики химических реакций в композицион-

ных прекурсорах, формирующихся при МА, обусловлено, главным образом, структурными изменениями на межфазных границах (формированием в приграничной области наноконпозиционной структуры с ювенильными контактными поверхностями).

3. Основными причинами изменения химических маршрутов в механоактивированных материалах являются тонкое объемное перемешивание реагентов и образование центров кристаллизации новых фаз. При этом важную роль играют макрокинетические параметры волны горения (в первую очередь, средняя скорость распространения фронта) и механизм процесса.

Литература

1. *Аввакумов Е. Г.* Механические методы активации химических процессов. Новосибирск, 1986.
2. *Болдырев В. В. и др.* Фундаментальные основы механической активации, механосинтеза и механохимических технологий / Отв. ред. Е. Г. Аввакумов. Новосибирск, 2009.
3. *Bernard F., Gaffet E.* // *Int. J. Self-Propag. High-Temp. Synth.* 2001. Vol. 2. P. 109–131.
4. *Корчагин М. А., Григорьева Т. Ф., Бохонов Б. Б. и др.* // *ФГВ.* 2003. Т. 39, № 1. С. 51–59.
5. *Корчагин М. А., Григорьева Т. Ф., Бохонов Б. Б. и др.* // *ФГВ.* 2003. Т. 39, № 1. С. 60–68.
6. *Levashov E. A., Kurbatkina V. V., Rogachev A. S. and Kochetov N. A.* // *Int. J. Self-Propag. High-Temp. Synth.* 2007. Vol. 16, N 1. P. 46–50.
7. *Ляхов Н. З., Талако Т. Л., Григорьева Т. Ф.* Влияние механоактивации на процессы фазо- и структурообразования при самораспространяющемся высокотемпературном синтезе. / Отв. ред. О. И. Ломовский. Новосибирск, 2008.
8. *Khina B. B.* // *Int. J. Self-Propag. High-Temp. Synth.* 2008. Vol.17, N 4. P. 211–217.
9. *Suryanarayana C.* // *Progress in Materials Science.* 2001. Vol. 46. P. 1–184.
10. *Рогачев А. С., Мукасьян А. С.* // *ФГВ.* 2010. Т. 46, № 3. С. 3–30.
11. *Рогачев А. С., Кочетов Н. А., Курбаткина В. В. и др.* // *ФГВ.* 2006. Т. 42, № 4. С. 61–70.
12. *Леуко А. И., Талако Т. Л., Ильющенко А. Ф. и др.* // *Химия в интересах устойчивого развития.* 2009. Т. 17, № 6. С. 621–628.
13. *Найбороденко Ю. Г., Касацкий Н. Г., Сергеева Е. Г., Лепанова О. К.* // *Химия в интересах устойчивого развития.* 2002. Т. 10, № 1-2. С. 199–204.
14. *Mukasyan A. S., Khina B. B., Reeves R. V., Son S. F.* // *Chem. Eng. J.* 2011. Vol. 174. P. 677–686.
15. *Charlot F., Gaffet E., Zeghmami B. et al.* // *Mater. Sci. Eng.* 1999. Vol. A262. P. 279–288.
16. *Gauthier V., Bernard F., Gaffet E. et al.* // *Mater. Sci. Eng.* 1999. Vol. A272. P. 334–341
17. *Medda E., Delogu F., Cao G.* // *Mater. Sci. Eng.* 2003. Vol. A 361. P. 23–28.
18. *Reeves R. V.* Control of ignition and reaction behavior in gasless reactive systems via microstructural modification / Dis. ...D. Phil. Deg. School of Mechanical Engineering; Purdue University; West Lafayette, Indiana. 2011.
19. *Shkodich N. F., Rogachev A. S., Vadchenko S. G. et al.* // *Int. J. Self-Propag. High-Temp. Synth.* 2012. Vol. 21, N 2. P. 104–109.
20. *Gras C., Gaffet E., Bernard F.* // *Intermetallics.* 2006. Vol. 14, N 5. P. 521–529.
21. *Талако Т. Л., Леуко А. И., Казакевич А. Г., Реутёнок Ю. А.* // *Весн. Гродз. дзярж. ун-та. Сер. 6. Тэхніка.* 2012. Вып. 3 (137). С. 67–79.
22. *Gras C., Bernsten N., Bernard F., Gaffet E.* // *Intermetallics.* 2002. N 10. P. 271–282.
23. *Talako T. L., Letsko A. I., Grigorieva T. Ph.* // *Combustion Science and Technology.* 2009. Vol. 182, Issue 11. P. 1598–1609.

T. L. TALAKO

ON THE MECHANISM OF INFLUENCE OF MECHANICAL ACTIVATION ON SELF-PROPAGATING HIGH-TEMPERATURE SYNTHESIS OF MATERIALS

Summary

The mechanism of influence of preliminary mechanical activation of charge mixtures on the following self-propagating high-temperature synthesis of materials has been considered. It is shown that significant changes in the SHS parameters after mechanical activation can be connected with not only changing the nature of heat evolution and heat transfer processes but also with alteration of chemical interaction mechanisms in mechanically activated materials. Main reasons for reduction of activation energy and acceleration of reaction kinetics, as well as possibilities of variations in chemical pathways during MASHS have been discussed.