

# **СТЕРЕОТИПЫ И ЗАБЛУЖДЕНИЯ В ОБЛАСТИ СВС ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ПРЯМОГО ПОЛУЧЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОРОШКОВ ТУГОПЛАВКИХ НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ**

А.М. Столин\*, П.М. Бажин

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мержанова Российской академии наук, Черноголовка, Россия

\* amstolin@ism.ac.ru

Обнаружение и изучение в шестидесятых годах XX века феномена твердофазного горения и создание новой технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) позволило принципиально по-новому подойти к проблемам технологии получения изделий из порошков тугоплавких соединений. Появилась возможность разработки новых методов, сочетающих процессы горения с использованием тепла этой реакции и высокотемпературного сдвигового деформирования продуктов горения. Эти методы, обеспечивающие синтез материала и получение изделий в одной установке, обещают перспективу: они экономичны, создают возможность получения изделий нужного профиля и размера с минимальными затратами материала, просты в технологическом плане. Использование этих методов позволяет за десятки секунд (вместо часов, как в порошковой металлургии) проводить синтез материала из порошков исходных компонентов и формовать изделие в одну технологическую стадию.

До недавнего времени, пока продуктами СВС были различные порошкообразные материалы, предназначенные для дальнейшей обработки методами порошковой металлургии, достигнутый уровень физико-химического и кинетического понимания сущности СВС представлялся достаточным. В течении нескольких десятилетий внимание исследователей сосредотачивалось на изучении весьма сложных структурных механизмов - собственно процессов горения. Была создана новая область науки - структурная макрокинетика (СМК), основной задачей которой, является изучение структуры вещества в ходе химического превращения с учетом процессов тепло- и массообмена. Однако при расширении технологических возможностей СВС для решения задач получения изделий обнаружилась острая необходимость в дополнении уже накопленных знаний знаниями из реологии и механики и сплошных и дисперсных сред. В связи с этим возникла

настоятельная необходимость создания нового направления СМК - структурной механики и реологии СВС-материалов. Реализация любого способа получения изделий базируется на способности горячей массы синтезированного продукта к макроскопическому течению. Поэтому логично было бы совмещение СВС с процессами сдвигового деформирования называть реосинтезом (от греческого "rheo" - течь), а все секреты получения изделий необходимой формы и размеров и заданной пористости открывать на основе знаний реологического поведения продуктов СВС в высокотемпературной области. На основе этих знаний нужно четко определить цель – разработка научных и технологических основ получения новых изделий с заданными функциональными характеристиками для нужд различных отраслей промышленности. В связи с этой проблемой возникает ряд общих вопросов и ключевых моментов. Они связаны с исследованиями процесса синтеза материалов в реальных физических и химических условиях, изучением технологических особенностей процесса формования изделий в зависимости от технологических параметров и свойств материала, а также исследованиями материаловедческого характера. Если какое-то звено в комплексе такого рода исследований пропускается, то это неизбежно скажется на конечных свойствах материала и качестве изделий. Здесь требуется применение самых разнообразных подходов и инструментальных методов: как общеизвестных, так и специфических. На наш взгляд, только такой комплексный междисциплинарный подход обеспечит будущее СВС-изделий. Отсутствие взаимосвязи в исследованиях процессов синтеза материалов и формования изделий может привести к неожиданным последствиям или вызвать огромные затруднения переработки того или иного материала

Целенаправленные фундаментальные и прикладные исследования, проводимые в специально созданной в ИСМАН лаборатории пластического деформирования материалов, привели к разработке научных и технологических основ получения различных изделий из новых многофункциональных материалов: композиционных керамических материалов с наноразмерными элементами структуры, материалов на основе МАХ-фазы системы титан-алюминий-углерод, материалов на основе интерметаллидов и диборида титана, Разработаны СВС-электроды для электроискрового легирования и электродуговой наплавки, инертные аноды для электролиза алюминия, крупногабаритные плиты и пластины и т.д. Результаты этих исследований имеют общепризнанный отечественный

приоритет. Подводя итоги этих исследований можно сделать общий вывод, что у новых методов, сочетающих процессы горения с использованием тепла этой реакции и высокотемпературного сдвигового деформирования продуктов горения, есть все предпосылки для эффективного использования в промышленности.

Следует отметить, что в ходе этих исследований нам пришлось столкнуться с рядом стереотипов, дискуссия по которым со специалистами из смежных областей науки (прежде всего специалистами порошковой металлургии) представляет определенный научный интерес. В настоящем докладе представлена наша точка зрения по следующим стереотипам:

Стереотип 1. Для получения крупногабаритных изделий методами СВС-компактирования требуется мощное прессовое оборудование.

Действительно, ранее для получения крупногабаритных изделий (габаритный размер более 100 мм) методом СВС-прессования использовался специализированный гидравлический пресс усилием 2000 т, который был изготовлен на Ново-Краматорском машиностроительном заводе в одном экземпляре. Обычно, при СВС-прессовании используются специальные пресс-формы, которые должны выдерживать достаточно высокие давления (~1000 МПа) и высокие тепловые нагрузки (~2000 К). Геометрические размеры пресс-формы должны соответствовать габаритным размерам прессуемой заготовки. Сложность использования такого специализированного и вспомогательного оборудования является препятствием для широкого распространения метода СВС-прессования в технологической практике получения крупногабаритных изделий. Важным преимуществом предлагаемого нами метода свободного СВС-сжатия является возможность использования более простого оборудования: нами использовался гидравлический пресс усилием 12 т, что в 166 раз меньше усилия гидравлического прессы 2000 т. На основе результатов исследования процесса свободного СВС-сжатия для получения крупногабаритных компактных плит размерами более 100 мм из порошков тугоплавких неорганических соединений из материалов на основе диборида титана и на основе МАХ-фазы, показана возможность получения крупногабаритных плит, что обеспечивает технологии СВС большие преимущества.

Стереотип 2. В технологии СВС и порошковой металлургии не найдут должное широкое применение такие прогрессивные способы переработки (экструзия, прокатка, штамповка),

использующие полезным образом сдвиговую пластическую деформацию материала, и позволяющие объединить в едином цикле и синтез материала, и получение изделий из них. Отмеченная негативная особенность имеет объективную причину. Тугоплавкие материалы – объекты хрупкие и труднодеформируемые. В низкотемпературной области они разрушаются под действием механических напряжений без заметной или весьма малой (менее 5 %) пластической деформации. Для сравнения отметим, что полимерные или резиновые материалы обладают высокой способностью деформироваться без разрушения под действием даже больших напряжений: деформации могут достигать иногда более сотни процентов. В наших работах используется новый подход, который можно сформулировать следующим образом: как управлять технологическими процессами горения в сочетании с высокотемпературным деформированием продуктов горения, чтобы получить изделия с нужными свойствами. И такая задача выполнима.

Стереотип 3. Вес пресс-формы для СВС-экструзии должен составлять более 20 кг. Материалом для изготовления пресс-форм могут быть только высоколегированные стали, которые должны выдерживать достаточно высокие давления (~1000 МПа) и высокие тепловые нагрузки (~2000 К).

В настоящее время существует большое количество методов прочностного расчета цилиндрических обечаек (корпусов, прессформ и т.п.), нагруженных внутренними силовыми и температурными напряжениями. В основном эти методы сводятся к расчету прочности на основе допущения о постоянстве температурного профиля в стенке рассчитываемого объекта, когда тепловой поток через стенку можно считать установившимся. Такой «стационарный изотермический» расчет можно использовать лишь при разработке лабораторных установок с малой толщиной стенок. Однако СВС-процессы протекают в режиме неустановившегося теплового потока при высоких, а иногда и сверхвысоких температурах. Применение традиционных методов прочностного расчета корпусов оборудования приводит в этих случаях к неоправданному увеличению веса прессформы и соответственно расходу материала. Практика использования метода СВС-экструзии показала, что материалом для прессформ могут быть и низколегированные стали.

Нами предлагается метод теплового расчета прессформы для СВС-компактирования (прессования и экструзии), учитывающий специфику процессов, протекающих внутри

прессформы, а именно, их существенную нестационарность, неизотермичность, а также качественно различный уровень термической градиентности по толщине стенки прессформы. Показано, что такие тепловые расчеты прочности позволяют существенно уменьшить вес прессформы.

Стереотип 4. Содержание металлической связки в композите является обязательным условием для получения сформованного материала методами СВС-компактирования.

Ранее наиболее распространенными объектами СВС-компактирования были порошковые материалы, сформированные из смеси реагирующих компонентов и инертного наполнителя. Обычно, эти материалы содержали износостойкую составляющую (карбиды, бориды, нитриды и т.д.) и связующий металл или сплав (никель, кобальт, сталь и т.д.). Выбор порошков металла-связки во многом определял качество продуктов, так как связка при достаточно высоких температурах играет роль смазки, облегчающей скольжение частиц износостойкой составляющей. На самом деле содержание металлической связки в композите не является обязательным условием для получения сформованного материала. Этот факт доказан экспериментальными результатами при получении изделий из различных материалов (например, материалов на основе борида титана и на основе МАХ-фазы).

Стереотип 5. Термин «формуемость», известный в порошковой металлургии и определяемый согласно ГОСТУ, следует использовать и в области СВС при получении изделий.

Изучение процесса формования и формуемости материала – ключевой момент разработки процессов твердофазной технологии любых материалов. Действительно, в порошковой металлургии такое определение формуемости используется применительно к практике одноосного прессования заготовок заданной плотности в пресс-форме и определяется, как способность порошка сохранять приданную ему в результате прессования форму в заданном интервале пористости. Так, например, по ГОСТ 25280–90 формуемость определяется, как способность порошка под давлением сжимающих усилий образовывать заготовку заданной формы и размеров. В этом определении требования предъявляются уже не к качеству получаемой заготовки, а к свойствам исходного порошка в реальных технологических условиях.

Однако, с технологической и научной точек зрения процессы прессования и формования принципиально различны. Основная задача процесса прессования – уплотнение пористого материала, изменение объема без изменения формы. Основная задача процесса формования – изменение формы за счет сдвиговой деформации. На наш взгляд, в качестве характеристики процесса формования возможно принять степень деформации, которая зависит от давления и температуры нагрева заготовки. На основе полученных экспериментальных данных по этим зависимостям определяются интервалы оптимальных температур и давлений, позволяющие без привязки к конкретному оборудованию получать изделия методами твердофазной технологии. Конечно, эти данные носят оценочный характер, но в то же время они характеризуют способность материала к формованию.

Стереотип 6. СВС - это синтез керамических, тугоплавких и композиционных материалов в режиме горения.

Возможно уточнение: СВС это синтез керамических, тугоплавких и композиционных материалов и получение изделий в режиме горения в сочетании с различными процессами деформации.

Стереотип 7. Возможно употребление термина *combustion synthesis* – синтез горением (его зачастую используют за рубежом) вместо термина СВС.

Такая подмена терминов является неправильной. Важно обращать внимание на разницу в этих двух терминах. Синтез вещества - это лишь одно из многих направлений технологии СВС. В связи с этим уместно сослаться на высказывание академика А.Л. Бучаченко: «Вещество - это еще не материал, нужно добиться, чтобы оно стало товаром - и это забота химического материаловедения. Надо дать веществу путевку в жизнь через химическую технологию - умную, чистую, экономичную, безопасную». Понятие СВС значительно шире понятия «*combustion synthesis* – синтез горением».

Академик А.Г. Мержанов отмечал: «Из всего многообразия наиболее важных задач в области развития технологии СВС можно выделить две задачи, одна из которых связана с прямым получением методом СВС (в одну технологическую стадию) изделий нужной формы, размеров, состава и структуры и в конечном счете, с заданными эксплуатационными свойствами. Будущее СВС-изделий многообещающее».

Можно дополнить: «Настоящее СВС-изделий многообещающее».