

Введение в СВС

А.М.Столин.

ЧТО ТАКОЕ СВС? Еще со школы нам известно, что горение — экзотермическая (с выделением энергии) химическая реакция окисления горючих веществ. В качестве окислителя обычно выступает кислород (но могут быть, например, хлор и фтор), а в качестве горючего — в первую очередь, вещества, содержащие водород и углерод. Мы привыкли, что горение сопровождается выделением тепла и света в виде факела пламени. При этом происходит дробление горючего и переход его в газовую фазу в виде капель и частиц, поэтому такой процесс принято называть газовым горением.

Диапазон практического использования огня весьма широк: от бытовых целей для приготовления пищи до грандиозных применений в науке и технике, например, в двигательных устройствах.

В 1967 г. трое наших ученых: А.Г. Мержанов, И.П. Боровинская и В.М. Шкиро — обнаружили особый тип горения твердых веществ. Он был назван **ТВЕРДЫМ ПЛАМЕНЕМ**, так как исходные реагенты и конечные продукты реакции, даже при очень высокой температуре этого процесса, находились в твердом состоянии. В результате такого горения получено огромное количество (более тысячи) ценных веществ и материалов, которые имеют разные применения практически во всех отраслях промышленности. Если используются чистые (без примесей) исходные реагенты, газовыделение при горении практически не наблюдается, и с этой точки зрения можно говорить о возможности безгазового горения. Открытый нашими учеными процесс назвали самораспространяющимся высокотемпературным синтезом (сокращенно СВС, на английском языке, соответственно, SHS — от Self-propagating High-Temperature Synthesis).

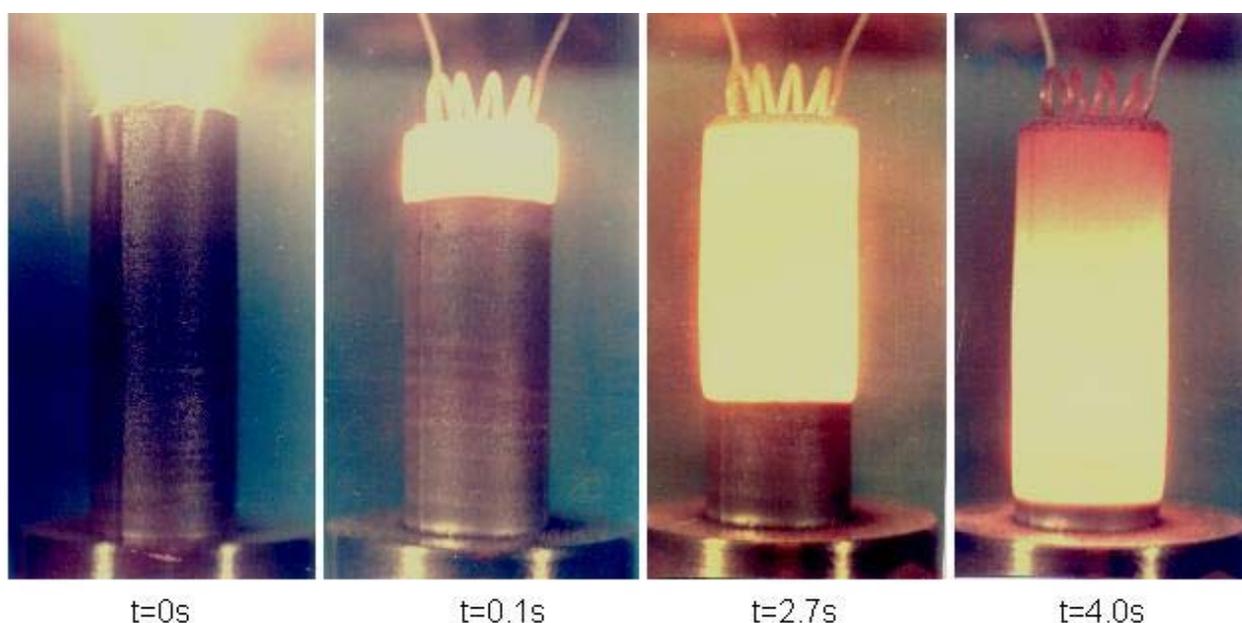
Открытие СВС коренным образом расширило ранее существовавшие представления о горении. Сложилась новая теория этих процессов, названная структурной макрокинетикой. Открылись и новые практические применения горения для синтеза новых материалов. В машиностроении это абразивы, твердые сплавы и инструментальные материалы, в металлургии — огнеупорные составы и ферросплавы, в электротехнике и электронике — высокотеплопроводные керамические материалы, клеи — герметики и нагревательные элементы, в медицине — новый класс имплантантов на основе сплавов, проявляющих так называемый эффект памяти формы.

Процесс инициируется воздействием на поверхность спрессованной смеси исходных реагентов короткого теплового импульса (например, путем прикосновения электроспирали) с мощностью $10 — 20 \text{ кал/см}^2\text{с}$ с задержкой поджигания $0,2 — 1,2 \text{ с}$ и температурой $900 —$

1300°C.

Для СВС-процесса необходимо соблюдение двух основных условий: смесь исходных реагентов должна обладать большой теплотворной способностью, а продукты горения должны быть достаточно тугоплавкими, чтобы при высоких температурах твердого пламени они оставались в твердом состоянии. В дальнейшем стали изучать и так называемое «жидкое пламя» — процесс горения, продукты которого при температуре горения находятся в жидком состоянии, а при комнатной температуре — в твердом.

Приведем типичные характеристики СВС-процесса: скорость распространения фронта пламени — 0,1 — 20 см/с; максимальная температура горения — 2300 — 3800К; скорость нагрева вещества в волне — 10^3 — 10^6 град./с.



Этапы процесса самораспространяющегося высокотемпературного синтеза.

Открытие твердого пламени вызвало не только большой интерес в научных кругах, но и привело к становлению самостоятельной области науки и техники. Преимущества СВС при создании ценных материалов, основанных на использовании нового типа горения по сравнению с традиционными печными технологиями очевидны: сам процесс синтеза происходит за доли секунд (вместо часов), при этом технология существенно упрощается, и отпадает необходимость в сложном и дорогом оборудовании.

ШИРОТА ПРИМЕНЕНИЯ И ПРЕИМУЩЕСТВА СВС-ТЕХНОЛОГИЙ.

В настоящее время пока нет возможности достаточно точно определить границы применения СВС — они расширяются с огромной скоростью, при этом уже сегодня

практически решены и созданы более 30 вариантов СВС, которые можно объединить в шесть технологических типов (ТТ).

ТТ-1. Реакторная технология СВС-продуктов для получения порошков различной применимости.

ТТ-2. СВС-спекание для получения изделий сложной формы.

ТТ-3. Силовое СВС-компактирование. Общей особенностью методов является сочетание процессов горения и высокотемпературного деформирования при воздействии на продукты горения высокого давления.

ТТ-4. СВС-металлургия.

ТТ-5. СВС-сварка.

ТТ-6. Газотранспортная СВС-технология. Используется для нанесения тонкого покрытия (толщиной до 150 мкм) на детали или готовые изделия во время твердофазного горения.

На сегодняшний день можно говорить лишь о некоторых преимуществах СВС-технологий по сравнению с традиционными.

Во-первых, не требуется существенных энергетических затрат, так как процесс протекает за счет использования внутренней энергии, заключенной в исходных реагентах.

Во-вторых, создание специального оборудования для СВС не вызывает больших затруднений.

В-третьих, скорость СВС-процесса на несколько порядков превышает все достигнутое к настоящему времени в аналогичных технологических процессах;

В-четвертых, СВС не требует больших сооружений, заводов и цехов и легко приспособляется к уже имеющимся помещениям других производств.

КРАТКАЯ ИСТОРИЯ СВС В НАШЕЙ СТРАНЕ.

До 1971 г. — разработка теории СВС-процессов и изучение химии и физико-механических свойств СВС-продуктов. В это время исследовались механизмы горения, кинетика, термодинамика, теоретические модели твердого горения, составы, строения и свойства конечных продуктов.

В 1971 — 1979 гг. продолжались физико-химические исследования СВС-процессов, начались технологические работы, был создан ряд инициативных групп по всей стране, в том числе в Ереване, Томске, Киеве, Москве, Новосибирске.

Можно сказать, что СВС переместился из области фундаментальных исследований в область практического применения — как простой и дешевый метод получения важных для производства соединений и материалов. Так, в 1972 г. в Черноголовке была создана первая опытная установка, выдававшая 10 — 20 т продукта в год. Три года спустя в том же научном центре

получили прямым методом материалы и изделия без стадии предварительного синтеза порошков и разработали многие процессы, упомянутые ранее, когда СВС сочетался со спеканием, горячим прессованием, прокаткой и т.д. Тогда же совместно с Институтом проблем материаловедения АН Украины были созданы и опробованы на 300 предприятиях высокоэффективные пасты на основе СВС-порошка карбида титана.

В конце 70-х гг. началось промышленное производство СВС-продуктов на Кировоканском заводе высокотемпературных нагревательных приборов. С 1979 по 1983 г. сформировалась общегосударственная система по изучению, применению и развитию СВС-технологий. Так, в 1979 г. вышло постановление правительства о проектировании и организации строительства комплекса СВС в Черноголовке.

В этот период в Государственном Комитете по науке и технике был создан Научный Совет «Теория и практика СВС-процессов», который проводил выездные тематические сессии по отдельным перспективным направлениям СВС.

С 1983 по 1992 г. шла работа по государственным программам в области горения, макрокинетики и СВС, был создан Межотраслевой научно-технический комплекс (МНТК) «Термосинтез», началось промышленное внедрение технологий. Тогда же развернулись работы в США и Японии, а затем в Польше, Китае и других странах, пришло признание российских достижений в этой области за рубежом. А.Г. Мержанова стали называть за границей «Ратпег от 5Н5» («отецСВО).

Однако этот период был омрачен деятельностью наших спецорганов, связанной с ошибочной информацией по поводу контактов ученых Черноголовки с японскими фирмами «Чори» и «Киерицу» по вопросам СВС. В дальнейшем выяснилось, что криминала в действиях ученых не было, но «принятые меры» привели к разрыву всех договоренностей нашей страны с японскими фирмами, несмотря на понесенный сторонами существенный материальный ущерб (стоимость контракта составляла 200 тыс. долл., а за продажу лицензии намечалось получить несколько миллионов).

Кроме разрыва контрактов, были запрещены все наши открытые публикации по СВС, а ученых наказали в административном порядке, правда, непонятно за что.

Начиная с 1986 г. ситуация стала меняться к лучшему. Именно в том году вышло постановление правительства о создании МНТК «Термосинтез», а в 1987-м — постановление о создании Института структурной макрокинетики (ИСМ), который стал головной организацией МНТК. Во главе этого института по праву стал его основатель — А.Г. Мержанов. ИСМ в период работы с МНТК «Термосинтез» создал более 15 цехов и участков СВС-технологий в различных городах нашей страны.



СВС позволяет создавать фильтры не ременной пористости.

Следствием этих успехов было решающее заявление в 1988 г. генерального секретаря ЦК КПСС М.С. Горбачева: «Мы ожидаем очень многого от внедрения технологии получения материалов методом СВС, который не имеет аналогий в мировой практике». С 1992 г. по настоящее время работа ведется в условиях жесткого дефицита средств. Зато широко развиваются международные связи, создано международное сообщество специалистов.

После распада СССР государственная поддержка МНТК была приостановлена, и «Термосинтез» перестал существовать. С этого момента финансировать развитие научных исследований и создание новых технологий позволяет, в основном, инициатива сотрудников ИСМАНа, зарабатывающих материальные средства как у нас в стране, так и за рубежом. Сотрудники нашего института сумели найти покупателей для своих разработок и тем самым обеспечили условия для выживания всего его персонала.

СВС ЗА РУБЕЖОМ.

Надо отметить, что за рубежом высоко оценивали перспективность и эффективность СВС-технологии. Немалую роль в стимулировании зарубежных исследований в этом направлении сыграл американец Джой Кайзер, занявшийся пропагандой наших СВС-разработок на американском производственно-торговом рынке и издавший обзор «Самораспространяющийся высокотемпературный синтез — советский метод получения керамических материалов».

Для реализации своих целей Д.Кайзер создал компанию Kiser reseach. В статье «Интерес к красным технологиям» он писал: «...великолепные примеры использования советских новых разработок показывают, что это исключительно изобретательное общество, оно продолжает

быть глубоко научным и всесторонне развитым, но пока без возможности внедрения своих открытий в практику. Советские ученые, используя простой карандаш, выводят различные формулы, и на этом процесс заканчивается... бесспорно, мировое лидерство в разработке СВС-технологий принадлежит России и группе ученых Института структурной макрокинетики...».

Директор американского Джордж-таунского университета Х.Д. Балзер писал, что советские ученые, как, например, Мержанов, добиваются практических успехов по своим открытиям, благодаря тому, что они больше, чем талантливые ученые, так как в России надо «нарушать» законы и вести борьбу с огромной государственной бюрократией, на что у большинства ученых нет сил и способностей.

Разработки по СВС за рубежом начались позднее, чем в России. Джой Кайзер называет такие рубежи: 1980 — США; 1984 — Япония; 1985 — Польша; 1990 — Канада, Китай, Индия, Тайвань, Испания, Бразилия; 1994 — Корея, Франция, Англия, Финляндия, Италия, Голландия. В США, например, исследованиями технологий СВС занимаются более 78 организаций, преимущественно небольших, которые, изучив рынок сбыта, полагают, что их продукция будет куплена. Зарубежные ученые пытаются найти свое место в СВС-технологиях. В активе американских и японских ученых — разработки функционально-градиентных материалов, изготовление с помощью центробежного СВС-литья крупногабаритных труб.

Практически во всех основных публикациях зарубежных ученых признается приоритет российских ученых, и академик А.Г. Мержанов называется основоположником новой технологии СВС.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СВС.

Завтрашний день СВС будут определять следующие направления:

1. Структурная макрокинетика, регулирование структур СВС-продуктов.
2. Многомерное моделирование процессов горения.
3. Газофазный и газодисперсный СВС. Интерес к такого рода процессам сам связан с возможностью организации непрерывного СВС-производства при использовании газовых горелок, циклонных топок и других устройств с утилизацией тепловыделения.
4. СВС в органических системах.
5. Нетрадиционные порошки. Оказалось, что методом СВС можно получать поликристаллические продукты с наноразмерными кристаллитами и реализовать качественно новые их свойства.
6. Неравновесные, так называемые функционально-градиентные материалы.
7. Одностадийное производство изделий заданной формы. В процессах СВС реализуются все предпосылки для прямого получения полезных изделий заданной формы и размеров из

продуктов горения: тугоплавкий материал синтезируется быстро (порядка минуты) и с таким внутренним тепловыделением (а не внешним нагревом), что под действием внешнего давления материал переводится в пластическое состояние. Это позволяет сразу в одну стадию и в одной установке получать готовое изделие.

8. Непрерывное производство и крупномасштабное производство. Не прерывная СВС-технология все еще остается проблемой будущего.

9. Механохимия СВС.

10. Эксперименты в космосе, эффекты микрогравитации.

В заключение можно сказать, что, несмотря на всего лишь 30-летие открытия твердого пламени и процессов СВС, эта отрасль науки продолжает развиваться быстрыми темпами.

Мировой рынок СВС-материалов оценивается в настоящее время в один млрд. долл. Наиболее перспективным считается сбыт абразивов. Создание технологии СВС, разработка ее теории является величайшим достижением советской и российской науки. Пионерская и лидирующая роль современной отечественной школы СВС общепризнанна за рубежом.