

УДК 658.382/3 : 536.46 + 541.412 + 621.762

## ОПЫТНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОЦЕССОВ СВС. БЕЗОПАСНОСТЬ И СТАНДАРТИЗАЦИЯ

© 2013 г. **В. И. Ратников, И. П. Боровинская, В. К. Прокудина**

Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения РАН (ИСМАН), г. Черноголовка

**В. И. Ратников** – зав. лабораторией опытного СВС-оборудования и стандартизации ИСМАН (142432, Московская обл., г. Черноголовка, ул. Академика Осипьяна, 8). Тел.: (49652) 46-303. E-mail: vir@ism.ac.ru.

**И. П. Боровинская** – докт. хим. наук, проф., зав. лабораторией СВС-процессов ИСМАН. Тел.: (49652) 46-205. E-mail: inna@ism.ac.ru.

**В. К. Прокудина** – канд. техн. наук, ст. науч. сотр. лаборатории опытного СВС-оборудования и стандартизации ИСМАН. Тел.: (49652) 46-260. E-mail: prokud@ism.ac.ru.

Рассмотрено опытное оборудование для основных операций процессов СВС (смешивание шихты, прессование и синтез). Дано описание его конструктивных элементов, наиболее ответственных за безопасность и эффективность работы с пожаровзрывоопасными порошками и их смесями. Так, в барабане для установки шаровых мельниц применяется герметизирующий клапан оригинальной конструкции, с помощью которого в мельнице может быть создана атмосфера защитного газа, получено разрежение или избыточное давление. В пресс-форме для предварительного прессования используется вкладыш из тефлона, который полностью исключает вероятность попадания порошка между трущимися поверхностями пуансона и корпуса, тем самым предотвращая возможность возгорания порошка от искр трения. Для синтеза СВС с прессованием сконструирована реакционная пресс-форма с засыпкой шихтовой заготовки слоем кварцевого песка, одно из назначений которого – удаление отходящих газов для недопустимости разрыва пресс-формы. Безопасность работы реакторов СВС закладывается на всех этапах их жизненного цикла от проектирования до эксплуатации. В связи с этим разработана система мер и правил, описанных в соответствующей технической документации, ссылки на которую приведены в статье. При строгом выполнении необходимых мер и соблюдении правил синтез в режиме СВС является безопасным.

**Ключевые слова:** опытное оборудование, процессы СВС, безопасность, стандартизация, смешивание, прессование, синтез.

The pilot equipment for the main operations of SHS processes (charge mixture, compaction, and synthesis) is considered. Description of its structural elements, which are most responsible for the safety and efficiency of work with fire-dangerous powders and their mixtures, is given. For example, a pressure-sealing valve of original design by means of which the protective gas atmosphere, reduced or gage pressure can be created in the mill is applied in the drum of ball mills. The compression mold for preliminary compaction uses a Teflon composite insert, which completely excludes the probability of powder ingress between sliding surfaces of plug and body thereby preventing the possibility of powder ignition from friction sparks. A reaction compression mold with filling of charge mixture by a layer of quartz sand, one destination of which is removal of flue gases for inadmissibility of the compression mold rupture, is designed for SHS synthesis followed by compression. Safety of the SHS reactor operation is downloaded at all the stages of their life cycle from the design to operation. In this regard the system of measures and rules described in the corresponding technical documentation, the references to which are given in the article, has been developed. The synthesis in the SHS mode is safe with taking necessary strict measures and observance of rules.

**Key words:** pilot equipment, SHS processes, safety, standardization, mixing, compaction, synthesis.

### ВВЕДЕНИЕ

Практически во всех разработанных к настоящему времени процессах СВС присутствуют такие операции, как смешивание шихты, прессование и синтез. Обеспечение безопасности на этих основных операциях весьма актуально уже по определению термина СВС: «Это физико-химический процесс синтеза материалов (порошков, изделий и покрытий), основанный на экзотермическом взаимодействии двух или нескольких компонентов, протекающем в режиме горения». То есть для поддержания горения должны использоваться компоненты, способные к горению, – как правило, это пожаровзрывоопасные порошки металлов (алюминий, магний, титан и др.) и неметаллов (сажа, бор, фосфор и др.).

В литературе проблемы безопасности работы с пожаровзрывоопасными порошками активно об-

суждались на протяжении всех этапов исследований СВС-процессов по различным аспектам, а именно: условия работы с опасными шихтами [1], методические вопросы определения показателей пожароопасности [2], характеристики СВС-шихт [3], разработка оборудования для работы с пожароопасными шихтами [4].

В настоящем обзоре представлены особенности конструктивных элементов опытного оборудования СВС для операций смешивания шихты, прессования и синтеза. Цель работы – привлечь внимание экспериментаторов к вопросам безопасности и правилам работы с этим оборудованием. Приводятся ссылки на нормативные документы, подробно описывающие указанные правила безопасности, а также даны некоторые фрагменты их текста, из которых следует, что данное оборудование не подлежит регистрации в контролирующих органах.

## СМЕШИВАНИЕ ШИХТЫ

Из большого числа известных к настоящему времени видов смесительного оборудования (смесители лопастные, вихревые, типа «пьяная бочка» и др.) наиболее удачными аппаратами для смешивания пожаровзрывоопасных шихт для СВС-процессов остаются шаровые мельницы. Их преимущество в том, что они обеспечивают высокое качество смешивания при максимальной безопасности процесса.

Необходимое качество смешивания в шаровых мельницах достигается, если скорость вращения мельницы оптимальна. Согласно [5], существует понятие критического значения этого показателя, при котором шары внутри мельницы, совершая круговые движения, вращаются вместе с ее барабаном. Для эффективного смешения рекомендуется скорость вращения, составляющая 0,5–0,6 от критической, в то время как для измельчения она должна быть 0,75–0,80 от критической.

При смешивании движение шаров сочетает скольжение и перекатывание. Такой режим наименее опасный для взрывоопасных шихт и наиболее эффективный в случае использования разнородных по дисперсности порошков. В этом режиме исключается возможность свободного падения мелющих тел (как это бывает при измельчении), вызывающего искрение. Эффективность процесса достигается за счет растирания слипшихся частиц порошков при скольжении и перекатывании шаров. Более крупные частицы металла обволакиваются более мелкими частицами неметаллов (сажа, бор и др.), заполняя пустоты и неровности поверхности. Происходит равномерное распределение всех компонентов в любом малом микрообъеме.

Безопасность смешивания в шаровых мельницах обеспечивается их устройством, а именно отсутствием в камере смешивания вращающихся узлов (валов, подшипников), требующих специального уплотнения, а также применением в качестве смешивающих тел и внутренней футеровки неискрящих материалов. Качество и безопасность смешивания зависят также от возможности создания в барабане шаровой мельницы в процессе смешивания необходимой атмосферы (инертной, окислительной) или вакуума. Для этих целей предусмотрен клапан оригинальной конструкции (рис. 1), который устанавливается на крышке барабана.

Корпус 1 клапана ввернут в крышку 5 барабана и стопорится от отворачивания колпачковой гайкой 4. Клапан 2 перемещается в корпусе (открывая и закрывая) резьбовой втулкой 9; от поворота клапан фиксируется штифтом 7. Резьбовая втулка 9 вставлена в

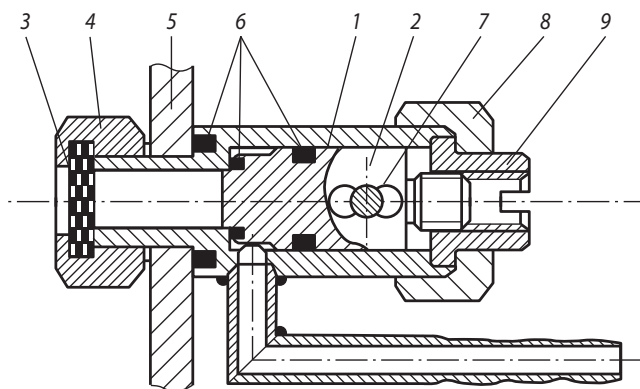


Рис. 1. Газовый клапан для барабана шаровой мельницы

1 – корпус; 2 – клапан; 3 – пылевой фильтр; 4, 8 – гайки колпачковые; 5 – крышка барабана шаровой мельницы; 6 – уплотнительные кольца резиновые; 7 – штифт цилиндрический; 9 – резьбовая втулка

проточку корпуса 1, где свободно вращается, и удерживается колпачковой гайкой 8. Уплотнения клапана выполнены резиновыми прокладками 6. От засорения клапан предохраняется фильтром 3, который вставлен в проточку колпачковой гайки 4. Простейший фильтр состоит из марлевого тампона, который помещается между дисками, вырезанными из проволочной сетки с ячейками 0,10–0,25 мм. Конструкция клапана позволяет проводить вакуумирование барабана до степени разрежения  $1 \cdot 10^{-1}$  мм рт. ст. и создавать в барабане избыточное давление до 1 атм.

Вращение барабанов шаровых мельниц осуществляется с помощью установки, приведенной на рис. 2. Барабаны размещаются на трех валках, из которых центральный (4) является приводным, а два крайних (3) – поддерживающими. Герметично закрытые

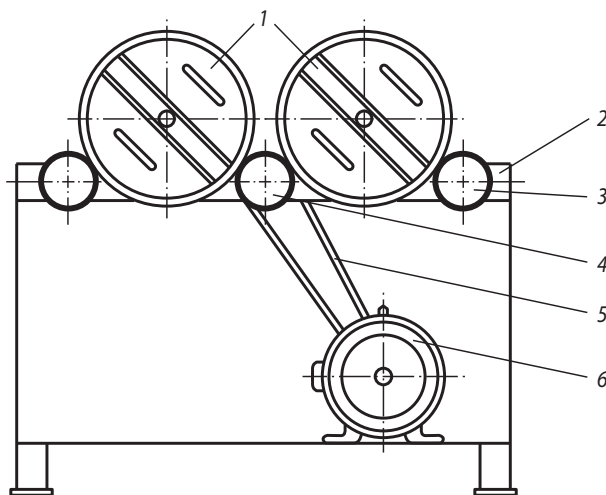


Рис. 2. Установка шаровых мельниц

1 – барабаны шаровых мельниц (6 шт.); 2 – рама; 3 – валки поддерживающие (2 шт.); 4 – валок приводной; 5 – ременная передача; 6 – электродвигатель

загруженные барабаны перемещают и устанавливают на валки с помощью малой механизации (электрокары, тельферы, тележки и т. д.) или вручную. При полной загрузке на одной установке одновременно размещаются 6 барабанов – каждый вместимостью до 15 л. Потребляемая мощность установки 1,5 кВт.

## ПРЕССОВАНИЕ

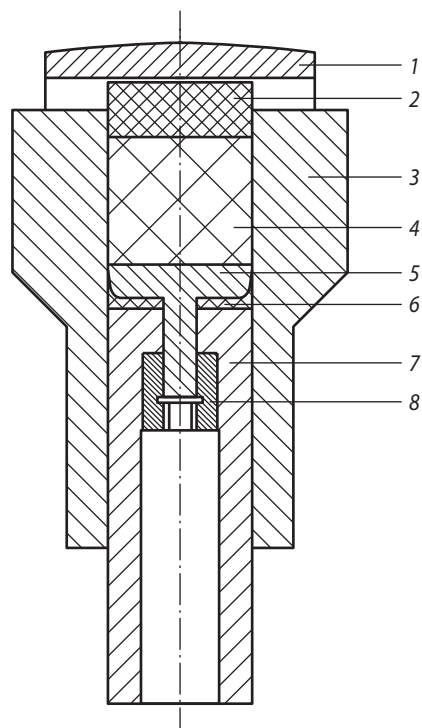
В процессах СВС следует разделять два вида прессования: предварительное (или подготовка к синтезу) и прессование в процессе синтеза (СВС-компактирование). Применяемые пресс-формы, соответственно, принципиально различаются по своему устройству.

Предварительному прессованию могут подвергаться как порошки пожаровзрывоопасных исходных компонентов, так и их смеси (шихты). Наиболее опасным моментом при этом является попадание таких порошков в зазор между пуансоном и корпусом пресс-формы с последующим воспламенением от искры трения или удара.

Для предварительного прессования небольших образцов широко практикуется использование разборных пресс-форм. Они сложны в изготовлении и не защищены от попадания порошка в зазоры между трущимися поверхностями, поэтому прессование в них проводят со специальной защитой. Кроме того, эти пресс-формы имеют ограничения по размерам в случае получения образцов диаметром более 25 мм, громоздки и с трудом поддаются разборке.

Применение неразборных пресс-форм обычной конструкции сопряжено с возможностью заклинивания пуансона за счет попадания мелких фракций порошков в зазоры, что, как уже говорилось выше, сопряжено с возможностью возгорания или даже взрыва.

Проблема безопасности при предварительном прессовании была решена использованием специальной безопасной пресс-формы, схема устройства которой приведена на рис. 3. Особенностью ее конструкции является применение уплотнительной манжеты 6 из мягкого фторопласта. Она закрепляется между поршнем 5 и штоком 7 и служит для уплотнения зазоров в трущихся поверхностях. Манжета исключает возможность попадания пожаровзрывоопасных порошков шихты 4 в зазор между пуансоном и корпусом. В процессе работы манжету периодически подтягивают посредством гайки 8 торцевым ключом, а при износе заменяют на новую.



**Рис. 3.** Пресс-форма для предварительного прессования

1 – опорная крышка; 2 – пористый вкладыш; 3 – корпус; 4 – брикет исходной шихты; 5 – поршень (пуансон); 6 – уплотнительная манжета из фторопласта; 7 – шток; 8 – гайка

Сверху пресс-формы в корпус 3 плотно вставлен пористый вкладыш 2, обычно графитовый, который опирается на опорную крышку 1. Через этот вкладыш осуществляется отвод газов (жидкости) из шихты при прессовании. Конструкция пресс-формы позволяет прессовать как сухую шихту, так и включающую жидкий наполнитель (спирт, циклогексан и др.). Жидкий компонент, так же как и газ, при прессовании удаляется через пористый вкладыш, который должен более плотно вставляться в корпус пресс-формы или иметь специальное уплотнение.

Прессование мокрой шихты, по сравнению с сухой, имеет ряд преимуществ. При одном и том же давлении прессования спрессованный из нее брикет имеет более высокую плотность и более равномерную пористость по длине образца. Прессование мокрой шихты предпочтительнее и с точки зрения техники безопасности, так как полностью исключено пыление порошков.

Предлагаемая конструкция пресс-формы была испытана при прессовании брикетов диаметром от 30 до 150 мм, максимальное давление прессования составляло до 1000 кг/см<sup>2</sup>.

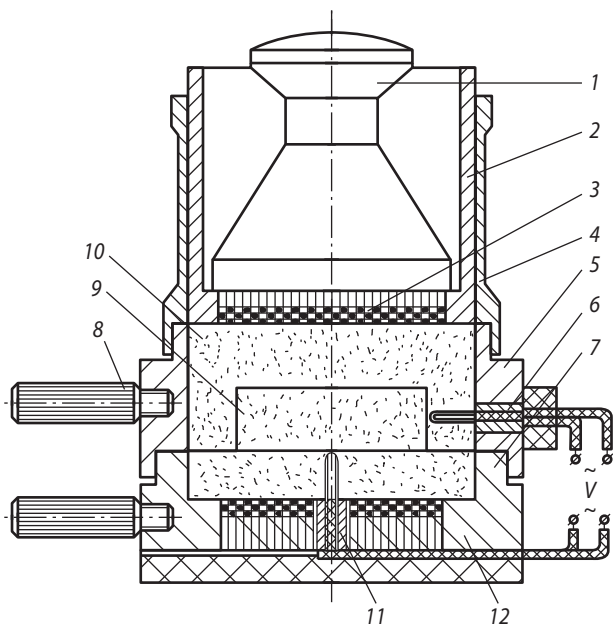
Для проведения процесса СВС-компактирования (СВС-прессования, или СТИМ-технологии) с целью получения заготовок или изделий предназначены специальные пресс-формы, называемые также реак-

ционными или пресс-реакторами [6]. Принцип действия такой пресс-формы состоит в том, что в ней инициируют процесс СВС в предварительно спрессованной заготовке из шихты, а затем горячую заготовку прессуют с помощью пресса. Несмотря на быстротечность горения (несколько секунд) и высокие температуры (2000–3000 °С) реакционная пресс-форма должна сохранять целостность и обеспечивать получение материала с заданными свойствами. Таким требованиям удовлетворяет пресс-форма, схема устройства которой показана на рис. 4.

Брикет шихты 9 теплоизолируют от стальных стенок пресс-формы с помощью теплоизолирующего материала 10 (обычно кварцевого песка).

Для инициирования горения в режиме СВС в пресс-форме предусмотрено устройство электроподжига 6 и 11, которое размещают или снизу – в основании пресс-формы 12, или в боковой поверхности корпуса 5.

Основание пресс-формы засыпают песком до верхней кромки, в центре укладывают предварительно спрессованный брикет реакционной шихты. Корпус пресс-формы устанавливают на основание и также засыпают песком до верхней кромки. Песок используют для передачи давления от поршня 2 к образцу, для теплоизоляции, а также удаления через его пористую среду отходящих от образца адсорбированных газов и газифицирующихся примесей.



**Рис. 4.** Пресс-форма реакционная

1 – вкладыш; 2 – поршень (пуансон);  
3 – фильтрующий элемент; 4 – направляющий цилиндр;  
5 – корпус; 6, 11 – инициирующее устройство;  
7 – основание; 8 – ручки; 9 – брикет реакционной шихты;  
10 – теплоизолятор (песок); 12 – основание

Для сброса газов в конструкции предусмотрены фильтровальные сетки 3 из нержавеющей стали для пуансона и основания, которые периодически подлежат замене.

Процесс синтеза с последующим прессованием проводят на прессе. Разборку пресс-формы осуществляют в обратном порядке. Спрессованную заготовку или изделие вынимают специальными щипцами или пинцетом после охлаждения.

За счет использования песка, а также других конструктивных элементов в данной реакционной пресс-форме исключена возможность «разлета» горящих порошков при горении шихт с большим газовыделением. В связи с этим, а также при соблюдении требований нормативных документов, приведенных ниже, данная пресс-форма является абсолютно безопасной. Это подтверждается почти 20-летним опытом ее эксплуатации.

## СИНТЕЗ

Основной операцией процессов СВС является, конечно, синтез – это химическая реакция горения, которая проходит при высоких температурах (> 2000 °С) и, часто, при высоких давлениях (> 10 МПа). В связи с экстремальными условиями требования, предъявляемые к безопасности реакционных камер (реакторов) для процессов СВС, особенно актуальны. В первую очередь это относится к реакторам закрытого типа, где необходимо исключить аварийную разгерметизацию с последующими выбросом и взрывом шихты в окислительной атмосфере.

Основой безопасности реакторов являются их прочность и правильная эксплуатация. Прочность реакторов закладывается на стадии проектирования, зависит от материалов, качества изготовления, испытаний и дальнейшей эксплуатации. В основе проектирования реакторов лежат нормы ГОСТ 14249-89 и справочной литературы [7–9].

Для изготовления реакторов, прежде всего, важен выбор материалов. В промышленности для сосудов, работающих под давлением, обычно используют толстостенные бесшовные трубы по ГОСТ 9940-81 (горячедеформированные) или ГОСТ 9941-81 (холодно- и теплodeформированные). По составу сталь должна быть коррозионно-стойкой, жаростойкой и жаропрочной с большим запасом прочности на разрыв. Этим требованиям удовлетворяют стали аустенитного класса типа 12X18H10T по ГОСТ 5632-72. Их предел текучести – не менее 2 МПа, предел прочности на разрыв – не менее 5 МПа. При высоких

температурах синтеза в среде, содержащей такие активные элементы, как углерод, азот, водород и др., эти стали не подвержены науглероживанию, азотированию и гидрированию. Благодаря высокой вязкости они выдерживают циклические нагрузки давлением, а в случае разрыва не образуют осколки. Близкие к ним по физико-механическим свойствам легированные стали марок 08X13 или 12X13 также могут применяться для изготовления реакторов.

Анализ расчета реакторов на прочность показывает, что сосуды, работающие под давлением < 50 МПа, относятся к тонкостенным (толщина стенки мала по сравнению с радиусом). В этом случае полагают, что тангенциальные напряжения по толщине стенки постоянны, а радиальные – пренебрежимо малы. Тангенциальные напряжения определяются по формуле

$$\sigma = pr_b/S,$$

где  $p$  – внутреннее давление,  $r_b$  – внутренний радиус,  $S$  – толщина стенки.

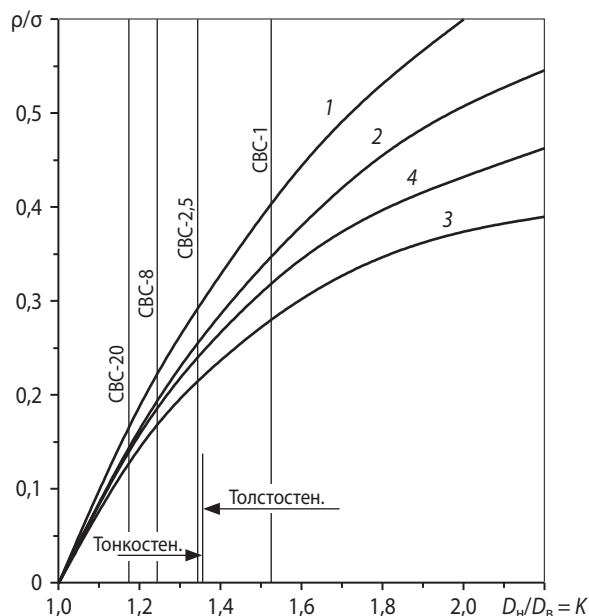
Выражая радиус сосуда и толщину стенки через отношение радиусов или диаметров:

$$r_n/r_b = D_n/D_b = K,$$

где  $r_n$  и  $D_n$  – наружные радиус и диаметр, можно записать

$$p/\sigma = K - 1.$$

Результаты расчета реакторов на прочность различными методами по различным теориям проч-



**Рис. 5.** Зависимость расчетного давления от отношения диаметров реактора для различных методов расчета  
1, 3, 4 – теории прочности соответственно 1-я, 3-я и 4-я  
2 – для тонкостенных сосудов

ности приведены на рис. 5. Представленные на нем кривые показывают зависимость отношения давления к пределу текучести от размерных параметров (отношения диаметров) для реакторов различной вместимости: СВС-20, СВС-8, СВС-2,5 и СВС-1 (цифра указывает на рабочий объем реактора в литрах). Вертикали, проведенные для каждого реактора, соответствуют минимальному значению отношения его наружного диаметра к внутреннему.

Анализируя эти зависимости, можно отметить, что с увеличением отношения диаметров (толщины стенок) возрастает расхождение расчетного давления. Так, при  $D_n/D_b = 1,1$  расхождение между кривыми составляет 8 %, а при  $D_n/D_b = 1,4$  – уже 27 %.

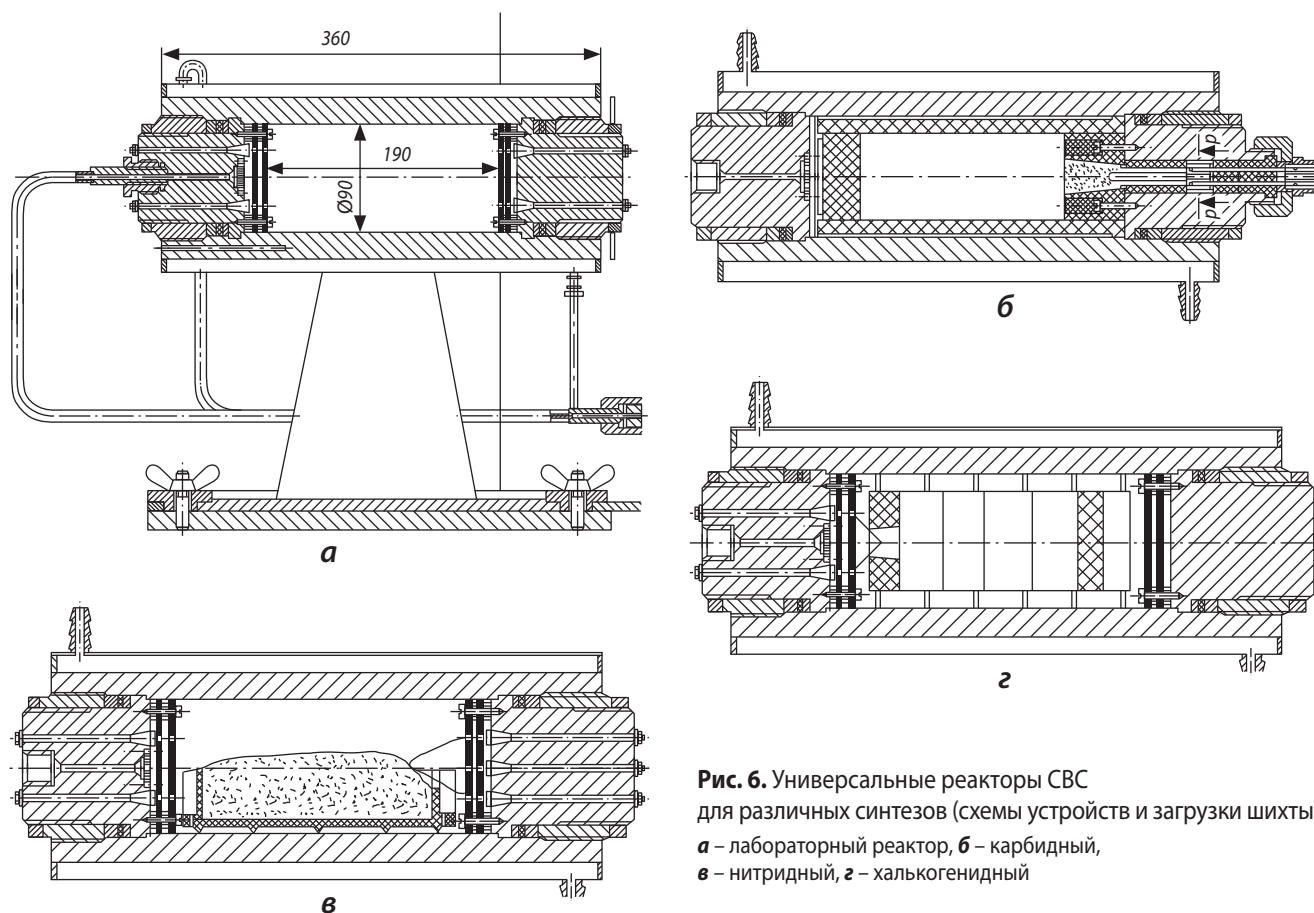
Тонкостенным следует считать реактор, у которого  $D_n/D_b \leq 1,35$ , при этом расхождение по давлению не превышает 25 %. В этом случае расчет сосудов для рабочего давления можно осуществлять по третьей теории прочности (минимальное значение давления). Давление испытания на прочность (пробное давление) для большинства реакторов СВС может быть снижено до 1,25 рабочего давления (для толстостенных сосудов оно должно быть не менее 1,5 рабочего давления).

К настоящему времени разработан целый ряд разновидностей реакторов, отличающихся рабочим объемом в пределах 30 л и конструктивными элементами в зависимости от назначения и параметров синтеза. Эти реакторы названы «универсальными», поскольку предназначены для синтеза различных классов соединений (карбиды, нитриды, халькогениды, гидриды и др.) и выполнения различных задач.

Так, реакторы с рабочим объемом от 8 до 30 л нашли применение в технологиях получения порошков, где СВС проводится в вакууме или контролируемой газовой среде (инертной или реагирующей). Реакторы СВС-1 и СВС-2,5 используются для лабораторных исследований (рис. 6).

В зависимости от рабочего давления и удобства загрузки-выгрузки шихты сконструированы реакторы, отличающиеся видом затворов (рис. 7).

Для работы в заводских условиях в ряде организаций созданы более производительные реакторы. Так, реактор рабочим объемом 100 л для производства карбида титана разработан на Закарпатском опытном металлургическом заводе [10, 11]. Реакторы рабочим объемом 150 л для производства азотированных ферросплавов и других материалов для металлургии [12] работают на Челябинском металлургическом комбинате.



**Рис. 6.** Универсальные реакторы СВС для различных синтезов (схемы устройств и загрузки шихты)  
**а** – лабораторный реактор, **б** – карбидный, **в** – нитридный, **г** – халькогенидный

## СТАНДАРТИЗАЦИЯ ОПЫТНОГО СВС-ОБОРУДОВАНИЯ

Задача стандартизации (по определению) заключается в обеспечении технической документацией объекта стандартизации, в данном случае опытного СВС-оборудования. При его разработке и технической документации к нему авторы руководствовались государственными стандартами России в основном следующих систем: ЕСКД (единой системы конструкторской документации), ЕСТД (единой системы технологической документации), ГСИ (государственной системы обеспечения единства измерения), ССБТ (системы стандартов безопасности труда), СРПП (системы разработки и постановки продукции на производство). Основным руководящим материалом для реакторов являлись «Правила Госгортехнадзора» [13] (далее – Правила).

Согласно этим Правилам все сосуды под давлением свыше 0,07 МПа подлежат регистрации в органах Госгортехнадзора – это влечет за собой контроль и надзор со стороны инспектирующих органов, что создает значительные препятствия в работе. В связи с этим на основании опыта эксплуатации СВС-

оборудования и при участии авторов были разработаны ведомственная инструкция [14] (далее – Инструкция) и предложение о введении в Правила дополнения, касающегося процессов СВС. Данное дополнение Госгортехнадзором было принято и опубликовано в очередной редакции Правил:

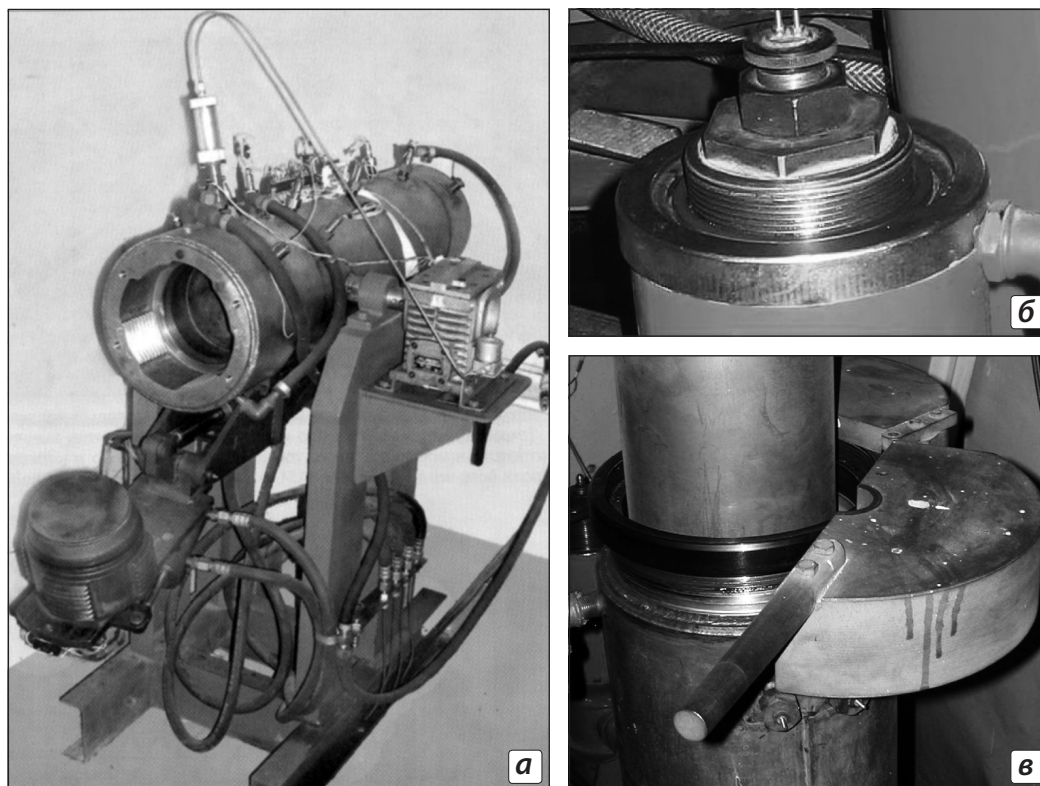
«1.1.3. Правила не распространяются на сосуды, работающие под давлением, создающимся при взрыве внутри них в соответствии с технологическим процессом или горении в режиме самораспространяющегося высокотемпературного синтеза».

Это означает, что (приводим цитату из Инструкции):

«1.2. Оборудование СВС регистрации в органах Госгортехнадзора России не подлежит. При вводе в эксплуатацию оборудование СВС должно быть зарегистрировано в эксплуатирующей организации.

1.3. Ведение документации, техническое освидетельствование, осуществление надзора за безопасной эксплуатацией и содержанием оборудования СВС должны осуществляться в соответствии с Правилами Госгортехнадзора».

Реакторы синтеза и установки на их основе относятся к опытному СВС-оборудованию, которое



**Рис. 7.** Разновидности реакторов по типу затвора  
**а** – байонетный, **б** – грибовый, **в** – лепестковый

наиболее полно защищено нормативно-технической документацией. Отдельно на каждый реактор, входящий в установку, оформляется паспорт. Для нескольких реакторов, объединенных в установку одним пультом управления (а также общими газовыми и механическими коммуникациями), разрабатывается подробное техническое описание (ТО) с инструкцией по эксплуатации.

Каждый реактор подвергают приемочным (у изготовителя) и периодическим (в эксплуатирующей организации) испытаниям на прочность и герметичность, как этого требуют Правила. Периодические испытания проводят через 500 синтезов, результаты испытаний оформляют протоколом и заносят в паспорт реактора. В этом паспорте предусмотрен учет технического обслуживания реактора конкретным лицом в соответствии с требованиями Правил.

Вопросы техники безопасности при эксплуатации и контроля за исправным состоянием другого опытного оборудования СВС, в частности прессформ предварительного прессования и реакционных, освещены в таких документах, как «Описание и паспортные данные» (ТО и П), «Технические требования» (ТТ), «Технический регламент» (ТР) [15–19].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вопросы безопасности процессов СВС всегда актуальны в связи с использованием пожаровзрывоопасных порошковых шихт, которые на основных операциях подвергаются механическим и термическим воздействиям. В последнее время внимание к проблемам безопасности СВС ослабло, несмотря на заметное увеличение интереса к технологиям на основе процессов СВС. Составной частью технологии является оборудование, в том числе нестандартное или опытное. На примере нескольких образцов опытного оборудования для операций смешивания, прессования и синтеза показаны основные конструктивные элементы, принципы и система мер при эксплуатации, руководствуясь которыми можно сделать вновь разрабатываемые процессы СВС безопасными.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Олишевец В. А., Селиванова В. М. // Проблемы технологического горения: Матер. III Всерос. конф. по технологическому горению (Черноголовка, 17 ноября 1981 г.). Черноголовка: Изд-во ИХФ АН СССР, 1981. Т. 2. С. 111.

2. Черненко Е. В., Афанасьева Л. Ф. // Инж.-физ. журн. 1993. Т. 65, № 4. С. 394.
3. Селиванова В. М., Афанасьева Л. Ф. // Некоторые вопросы обеспечения пожаровзрывобезопасности СВС-процессов: Сб. ст. Черноголовка: Ред.-изд. отдел ОИХФ АН СССР, 1984. С. 42.
4. Амосов А. П., Боровинская И. П., Мержанов А. Г. Порошковая технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза материалов: Учеб. пос. М.: Машиностроение-1, 2007.
5. Кипарисов С. С., Либенсон Г. А. Порошковая металлургия. М: Металлургия, 1972.
6. Мержанов А. Г. // Концепция развития СВС как области научно-технического прогресса. Черноголовка: Территория, 2003. С. 155.
7. Федюшкин М. Ф. Выбор оптимальных вариантов толсто-стенных конструкций: Справ. пос. М.: Машиностроение, 1965.
8. Девитсон Т. Э., Кендалл Д. П. // Механические свойства материалов под высоким давлением / Под. ред. Х. Л. Пью. М.: Мир, 1977. Ч. 1. С. 81.
9. Анурьев В. И. Справочник конструктора машиностроителя. М.: Машиностроение, 1973. Т. 2.
10. Пат. 1834845 (РФ). Способ получения карбида титана и устройство для его осуществления / В. А. Дрозденко, В. И. Ратников, В. К. Прокудина и др. 1992.
11. Мержанов А. Г., Боровинская И. П., Прокудина В. К. и др. // Наука производству. 1998. № 1(3). С. 36.
12. Зиятдинов М. Х. // Фундаментальные и прикладные проблемы самораспространяющегося высокотемпературного синтеза: Матер. науч. сем. (Томский научный центр. Отдел структурной макрокинетики, 29 сент. 2009 г.). Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2009. С. 41.
13. ПБ 03-576-03. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением. СПб.: Изд-во ДЕАН, 2004.
14. Инструкция по безопасной эксплуатации оборудования для процессов СВС: Утв. распор. № 10143-2 Президиума РАН от 08.01.2003. Черноголовка: Изд-во ИСМАН, 2003.
15. ТОиП 268-97. Пресс-форма для предварительного прессования: Техн. описание и паспорт. Черноголовка: ИСМАН, 1997.
16. ТОиП 269-97. Пресс-форма реакционная СВС: Техн. описание и паспорт. Черноголовка: ИСМАН, 1997.
17. ТТ 272-97. вспомогательное оборудование для изготовления твердосплавных СВС-пластин: Техн. требования. Черноголовка: ИСМАН, 1997.
18. ТТ 273-97. Прессовое оборудование для изготовления твердосплавных СВС-пластин: Техн. требования к устройству и монтажу. Черноголовка: ИСМАН, 1997.
19. ТР 270-97. Производство твердосплавных пластин из однородного материала: Техн. регламент. Черноголовка: ИСМАН, 1997.

Издательский Дом МИСиС представляет:

## Физико-химические основы технологии композиционных материалов Директивная технология композиционных материалов Учебное пособие

**Автор:** В. И. Костиков

М.: ИД МИСиС, 2011. – 163 с.

Рассмотрена директивная технология получения композиционных материалов на основе металлических, полимерных и углеродных матриц. Описаны особенности технологии эвтектических композиционных материалов. В связи с особым значением для современной техники углепластиков и углерод-углеродных композиционных материалов подробно изложены физико-химические основы технологии, свойства и основные области применения этих материалов в важнейших отраслях современной техники.

Издание предназначено для студентов, обучающихся по специальностям 150108 «Порошковая металлургия, композиционные материалы, покрытия» и 150701 «Физикохимия процессов и материалов», а также для магистров и аспирантов, обучающихся по направлению «Металлургия».

♦ ♦ ♦ ♦

Учебное пособие можно купить в книжном павильоне Издательского Дома МИСиС по адресу:

**Москва, Ленинский пр-т, 4**, главный корпус МИСиС, цокольный этаж; тел.: **(495) 638-44-12**.

Для приобретения издания по безналичному расчету необходимо предварительно оформить заказ по электронной почте: [alek-drovna@yandex.ru](mailto:alek-drovna@yandex.ru) (справки по тел.: **(495) 638-44-28**).