

Выводы

1. Разработана феноменологическая модель механизма образования пористых металлокерамических материалов на основе оксидов железа и алюминия – алюминия и легирующих добавок:
 - на первичном этапе СВС – образование хрупкого керамического каркаса из Al_2O_3 ;
 - восстановление железа в реакции $Fe_2O_3 + Al_2O_3 + Al$ и коалесценция жидкого расплава железа вокруг твердого скелета из Al_2O_3 с образованием кристаллизующихся капель (глобул), которые при интенсивном теплоотводе изменяют свою форму, увеличивают размер пор между ними под действием давления расширяющегося газа.
2. Установлено, что введение в исходную шихту ферросилиция приводит в процессе синтеза к увеличению объема жидкой фазы, ее растеканию и последующему раскислению свободной поверхности железа, увеличению смачиваемости по границам раздела смежных частиц глобул.
3. Доказано, что введение в систему оксид железа (окалина) – оксид алюминия 8...10 % алюминия обеспечивает протекание СВС за счет восстановления железа из оксидов. Выбранные концентрационные пределы компонентов реакционных систем определили устойчивое горение смеси с получением пористого материала. Получены пористые изделия с заданными свойствами: средний размер пор 100...150 мкм, пористость 45...60 %, доля тупиковой и закрытой пористости при ее значении менее 0,18 составляет 2...5 % общей пористости материала, механическое напряжение сжатия варьируется от 15,4 до 1,7 МПа, а напряжения изгиба – от 4,2 до 1,0 МПа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волков В.И. Режим турбулентности фильтрации // Повышение экологической безопасности автотракторной техники: Сб. статей. – Барнаул, 1999. – С. 72–77.
2. Евстигнеев В.В., Вольпе Б.М., Горкодь Д.А. Создание принципов обобщенной СВС-технологий дисперсного композиционного материала // Труды АлтГТУ. – 1993. – Вып. 1. – С. 3–18.
3. Тубалов Н.П., Лебедева О.А., Верещагин В.И. Пористые композиционные керамические материалы, полученные самораспространяющимся высокотемпературным синтезом в системе $Fe_2O_3-Al_2O_3-Al$ // Новые огнеупоры. – 2003. – № 9. – С. 40.

Поступила 14.11.2006 г.

УДК 66.796.2

ОЧИСТКА ГАЗОВЫХ И ЖИДКИХ СРЕД МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИМИ СВС-ФИЛЬТРАМИ

А.А. Гейнеман, В.Д. Гончаров, А.Л. Новосёлов, Н.Ю. Щетинкина

Алтайский государственный технический университет им И.И. Ползунова, г. Барнаул

E-mail: drulya@inbox.ru

Разработаны промышленные образцы фильтров тонкой очистки газовых и жидких сред от механических микрочастиц. Основу фильтров составляют пористые проницаемые металлокерамические материалы полученные самораспространяющимся высокотемпературным синтезом.

На основе самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) предложена технология получения пористых проницаемых материалов, которые можно использовать для тонкой очистки жидкостей и газов [1–3]. В качестве исходных компонентов шихты использовались: окалина легированной стали, металлические порошки и ферросилиций [4].

Основными стадиями процесса получения пористых материалов является схема, рис. 1, включающая измельчение исходных материалов, рассев порошков, подготовку шихты, подбор и дозировку компонентов, проведение синтеза и доработку изделия.

Технологические эксперименты показали, что наибольшая эффективность измельчения достигается при ее проведении в два этапа, на первом из которых производится предварительное дробление, на втором – тонкое измельчение с получением достаточно узкой требуемой фракции (через сита).

Исследование порошков окалина, полученных обработкой исходного материала на дробилке КИД-100, показало, что преимущественным типом деструкции материала является межкристаллитное разрушение; частицы полученного порошка различных фракций имеют сходную морфологию, повторяющую морфологию кристаллитов феррита исходного материала.

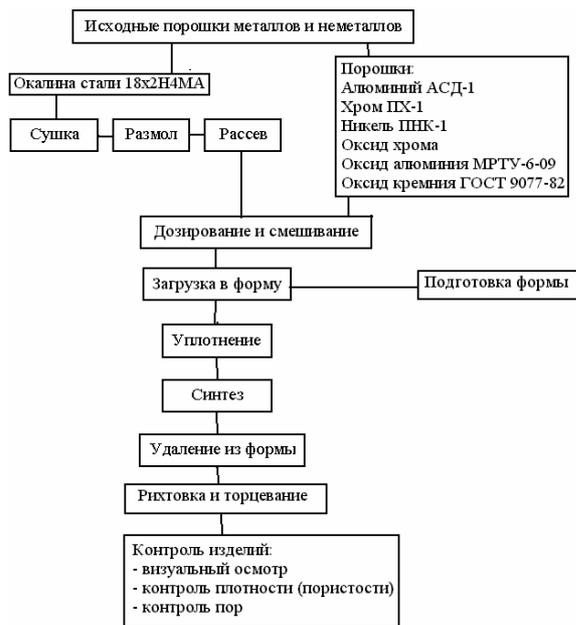


Рис. 1. Схема технологии получения пористых проницаемых изделий методом СВС

На основе выделенных фракций порошка окалины стали были подготовлены реакционные смеси постоянного концентрационного состава, из которых впоследствии приготавливались образцы пористого материала.

Фильтры для очистки газовых сред

Определяющими свойствами материала для очистки газов являлись: средний размер пор (рис. 2) и механическая прочность при сжатии и изгибе (рис. 3). Отсюда следует, что с увеличением концентрации окалины стали с 45 до 60 % по массе механическая прочность уменьшается.

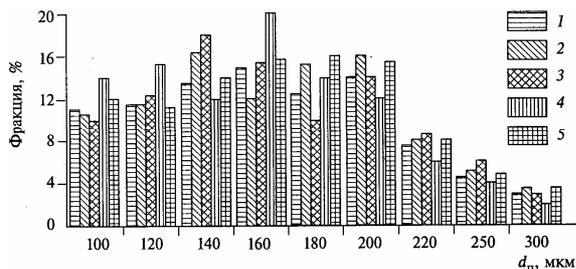


Рис. 2. Гистограмма распределения пор по размерам в образцах материала на основе различных фракций порошка окалины стали: 1) <50 мкм, 2) 50...100, 3) 100...160, 4) 160...200, 5) 200...250 мкм

Процесс фильтрации отработавших газов в пористых материалах можно разделить на несколько этапов. Сначала твердые частицы, которые должны быть отделены от потока отработавших газов, подвоятся к поверхности фильтра, затем они примыкают к поверхности фильтра, а на следующем этапе проникают в поверхность фильтра и задерживаются в порах. Чем больше размер частицы, тем больше вероятность ее улавливания в пористой стенке.

Коэффициент поглощения твердых частиц пористым СВС-фильтром вследствие зацепления можно представить как:

$$\delta_n = \frac{\delta_{cm}}{2\delta_{cl}^2 \cdot \sqrt{3}} \left(\tau_{cm} \cdot \bar{v} + \frac{3r_{mч}^2}{\delta_{cm} + \delta_{cl}} \right), \quad (1)$$

где δ_{cm} – толщина стенки многослойного фильтра; δ_{cl} – толщина слоя; τ_{cm} – время прохождения газом стенки фильтра; \bar{v} – средняя скорость отработавших газов при фильтровании; $r_{mч}$ – радиус угловой шарообразной твердой частицы.

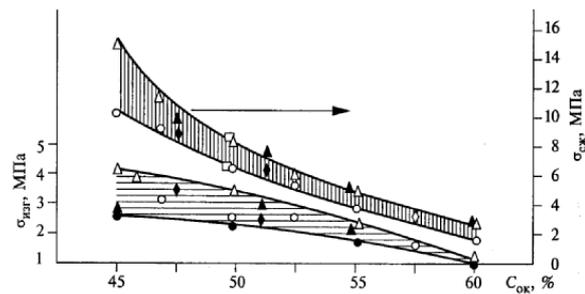


Рис. 3. Зависимость механической прочности СВС-материала от концентрации окалины ($C_{ок}$) стали в шихте

Теоретические скорости движения твердых частиц можно вычислить на основании выше приведенных зависимостей для условно принятых частиц шарообразной формы, а при испытании фильтров для очистки газов целесообразно отдельно определить скорости осаждения частиц различного происхождения.

Проведено исследование эксплуатационных свойств СВС-фильтров. В соответствии с целью и задачами исследований выделены основные направления:

1. Изучение структуры и характеристик твердых частиц.
2. Изучение структуры и физико-механических свойств СВС-фильтров.
3. Оценка эффективности применения СВС-блоков для фильтрации твердых частиц отработавших газов.

При конструировании фильтров очистки газов от твердых частиц необходимо было с одной стороны, подобрать габариты блоков, их пористость и толщину стенок, а с другой стороны – сохранить допустимые противодавления на выпуске и в то же время обеспечить эффективность фильтрации. Для оценки влияния пористости, толщины стенок и количества фильтров на качество очистки отработавших газов и создаваемые противодавления на выпуске были проведены специальные испытания на стенде с дизелем 4ЧН13/14.

Испытания были проведены с блоками, имеющими толщины стенок 10, 12, 14 мм, изготовленными по СВС-технологии из материала, имеющего одинаковый средний диаметр пор, равный 180 мкм. Толщина стенок в 10 мм из такого материала позволяет производить очистку газов от твердых частиц

практически на 75 % в режиме полной мощности. Однако из условий стабильности качества и механической прочности оказался предпочтительней вариант с толщиной стенок, равной 12 мм.

Таблица 1. Состав и характеристика пористых СВС-блоков для фильтрации твердых частиц отработавших газов дизелей

Блок	Содержание компонентов шихты, мас. %					Средний размер пор, мкм	Максимальное отклонение плотности распределения, %	Максимальное отклонение размера от среднего, %	Механическая прочность при сжатии, МПа
	Fe ₂ O ₃	CrO ₂	Cr	Ni	Al				
1	45	17,5	5	5	27,5	300	16	20	8,4
2	47,5	18	5	5	24,5	260	10	16	8,6
3	47,5	18	7	5	22,5	180	8	12	9,7
4	47,5	18	7	12,5	15	150	6	10	12,2
5	50	18	7	12,5	12,5	120	5	7,5	12,2

Качество очистки отработавших газов от твердых частиц при увеличении толщины стенки фильтрующего материала возрастает на 3 % на 1 мм толщины.

Качество очистки при трехступенчатой очистке самое высокое и достигает 91 % в режиме, когда диаметр твердых частиц значителен, а при одноступенчатой очистке качество достигает лишь 75 %.

Таким образом, получен экспериментальный материал, который дает представление о путях совершенствования фильтров очистки отработавших газов на основе пористых СВС-материалов.

Экспериментальные данные убедительно показывают эффективность применения в качестве фильтрующих элементов пористой СВС-металлокерамики по сравнению с известными фильтрами.

Фильтры для очистки жидкостей

Проведенные исследования действующих напряжений в цилиндрических фильтрах от их размеров и наружных избыточных давлений показали применимость разработанных фильтров жидких сред в условиях промышленного использования.

В качестве рабочей модели тонкой фильтрации жидкости рассмотрена модель гидромеханического процесса фильтрования полидисперсной суспензии с учетом закупорки пор при прохождении частиц дисперсной фазы через пористый слой. Процесс фильтрования непрерывный. Полагаем, что движение жидкости в порах фильтрующего слоя подчиняется закону Гагена-Пуазейля. На входе модели брали массу загрязненной жидкости, на выходе — массу дисперсной фазы, находящейся в фильтрате к данному моменту времени. Для технического контроля фильтрации использовалось из-

мерение гидравлического сопротивления фильтра, определяемого по уравнению Дарси, решенному относительно коэффициента фильтрации.

Для изготовления фильтрующих элементов использовалась оснастка (рис. 4 и 5). Для определения коэффициента проницаемости жидкости использовалась экспериментальная установка (рис. 6).

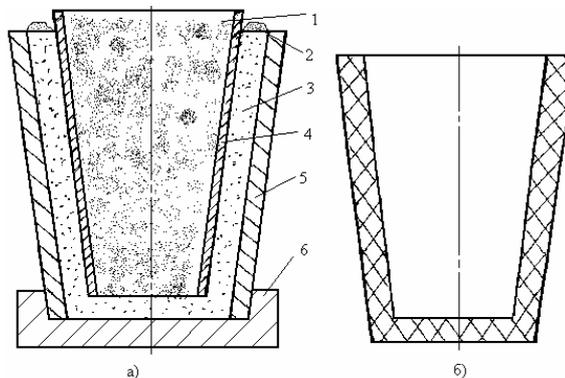


Рис. 4. Коническая конфигурация пресс-формы: а) форма в сборе; б) фильтрующий элемент; 1) термит; 2) порошкообразная шихта; 3) внутренняя вставка; 4) металлическая форма; 5) засыпка внутренней полости; 6) дно

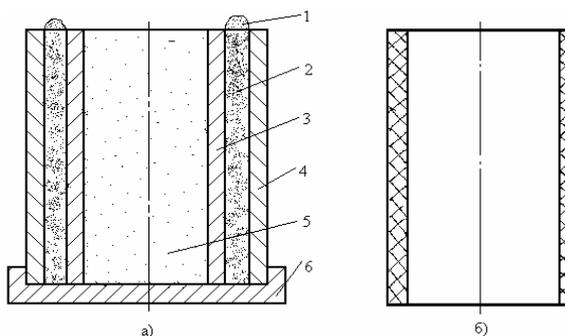


Рис. 5. Цилиндрическая конфигурация пресс-формы: а) форма в сборе; б) фильтрующий элемент; 1) термит; 2) порошкообразная шихта; 3) внутренняя вставка; 4) металлическая форма; 5) засыпка внутренней полости; 6) дно

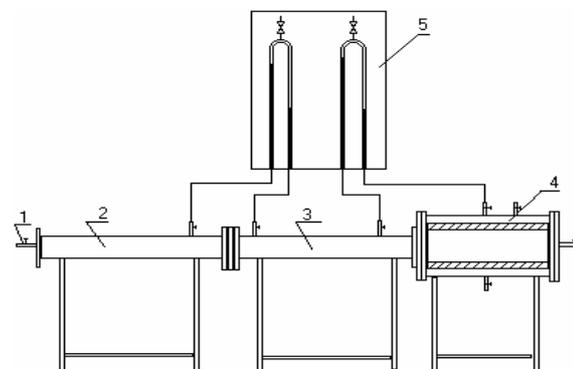


Рис. 6. Схема экспериментальной установки для определения коэффициента проницаемости: 1-3) трубы канала пропускания; 4) измерительная ячейка с фильтрующим материалом; 5) манометры с датчиками

Тонкость и полноту фильтрования определяли для образцов с различной пористостью, изготовленных из

порошков с разным диаметром частиц. Результаты измерения представлены в табл. 2 и на рис. 7, 8.

Таблица 2. Зависимость тонкости и полноты фильтрования жидкости от свойств исходных порошков

Средний размер частиц, мм	Пористость материала, %	Диаметр пор, мкм	Тонкость фильтрации, мкм
0,050...0,100	29,0	24	7...9
0,100...0,160	31,0	32	15...18
0,160...0,200	34,5	54	20...25
0,200...0,250	36,6	75	35...45
0,250...0,315	38,4	128	50...65
0,315...0,500	40,1	160	75...85
0,500...0,800	44,0	220	100...110

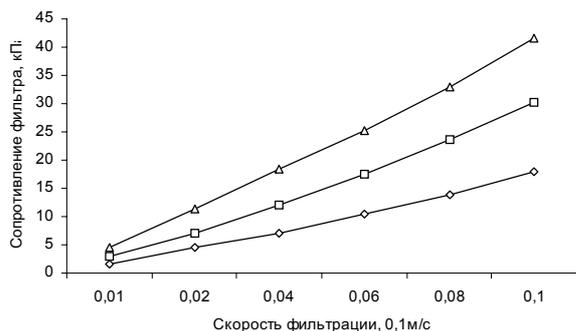


Рис. 7. Зависимость гидравлического сопротивления фильтра от скорости фильтрации при степени загрязненности фильтра на 30 %. Толщина стенок фильтра: Δ – 10 мм; \square – 7 мм; \diamond – 5 мм

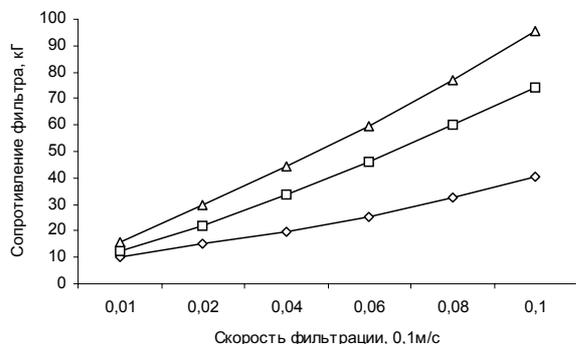


Рис. 8. Зависимость сопротивления фильтра от скорости фильтрации при степени загрязненности фильтра на 50 %. Толщина стенок фильтра: Δ – 10 мм; \square – 7 мм; \diamond – 5 мм

Промышленные образцы фильтров представлены на рис. 9, 10.

Выводы

1. Созданные металлокерамические фильтры на основе СВС-материалов для очистки отработавших газов двигателей внутреннего сгорания обеспечивают эффективность очистки от твердых частиц на 75, 80 и 90 % при одно-, двух- и трехступенчатой очистке соответственно, что позволяет выполнять требования стандарта ЕВРО-3 для дизеля.
2. В целях унификации цилиндрических фильтров рекомендуется их производство с толщиной

стенки 10...12 мм и, в зависимости от расхода отработавших газов, вести комплектацию различных фильтров как в химической промышленности, так и на транспорте из одних типоразмеров фильтрующих металлокерамических каталитических блоков.



Рис. 9. Фильтрующий элемент масляного фильтра дизеля



Рис. 10. Масляный фильтр в сборе (слева) и фильтрующий элемент (справа)

3. Цилиндрические фильтрующие элементы, изготовленные из СВС-материалов, обладают достаточными фильтрующими свойствами. Проведенный анализ позволил отобрать образцы пористых материалов, которые задерживают твердые частицы размером от 5 мкм и более, обладающие при этом удельной пропускной способностью равной $10^{-3} \text{ м}^3/(\text{м}^2\cdot\text{с})$. Эти образцы могут быть использованы для тонкой очистки как водных, так и масляных жидкостей от твердых примесей. Изменение толщины стенок фильтроэлемента от 4 до 7 мм приводит к повышению гидравлического сопротивления пористых образцов с 8 до 14,2 кПа при удельном расходе жидкости $4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/(\text{м}^2\cdot\text{с})$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Евстигнеев В.В., Исаева Ж.М., Пролубников В.И., Тубалов Н.П. Оценка эффективности использования металлокерамических фильтров для очистки технических жидкостей // Ползуновский вестник. – 2005. – № 1. – С. 322.
2. Евстигнеев В.В., Новоселов А.А., Пролубников В.И., Тубалов Н.П. Моделирование процессов очистки отработавших газов химических производств и дизельных агрегатов от твердых частиц СВС-фильтрами // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 308. – № 1. – С. 138.
3. Евстигнеев В.В., Колесников Д.В., Пролубников В.И., Тубалов Н.П., Шетинкина Н.Ю. Методика определения гидравлического сопротивления пористых СВС-материалов // Ползуновский вестник 2005. – № 2. – С.277.
4. Тубалов Н.П., Лебедева О.А., Верещагин В.И. Пористые композиционные керамические материалы, полученные самораспространяющимся высокотемпературным синтезом в системе $Fe_2O_3-Al_2O_3-Al$ // Новые огнеупоры. – 2003. – № 9. – С. 40.

Поступила 14.11.2006 г.

УДК 54.058:553.611.6

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ СОРБЕНТОВ ВОСТОЧНОГО КАЗАХСТАНА В ОЧИСТКЕ ВОДЫ ОТ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ (Cu^{2+})

С.С. Оразова*, В.М. Белов, В.В. Евстигнеев

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

E-mail: sim_64@mail.ru

*Восточно-Казахстанский государственный университет им. С. Аманжолова, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

Изучены сорбционные свойства бентонитовых глин Восточного Казахстана на примере модельных растворов содержащих ионы меди (Cu^{2+}). Установлен механизм обмена и степень извлечения ионов из растворов.

Известно, что эффективным сорбентом для ионов тяжелых металлов являются синтетические ионные смолы (катиониты), обладающие высокой обменной емкостью сорбции. Однако промышленного производства ионитов в Республике Казахстан нет, а их импорт из зарубежных стран экономически не выгоден. Альтернативой могут быть природные материалы, обладающие значительно меньшей, по сравнению с катионитами, обменной емкостью, но намного дешевле ионитов. Именно в Восточном Казахстане имеются богатые залежи бентонитовых глин (Таганское месторождение), которые пригодны для извлечения ионов тяжелых металлов и добыча которых не требует больших материальных затрат, т. к. немаловажным фактором является их доступность и сравнительно низкая стоимость (местный материал).

Бентонитовые глины состоят из минералов монтмориллонитовой группы, разделяющиеся на щелочные и щелочно-земельные разновидности. Минералы группы монтмориллонита образуют бентонитоносные формации, характеризующихся наличием монтмориллонитовых и близких к ним по кристаллической структуре минералов, таких как бейделлит, для него характерна высокая дисперсность минеральных частичек, обменный комплекс и высокие коллоидные свойства. Образовались бентониты в результате разложения вулканических пеплов, при изменениях слюды, хлоритов и породообразующих минералов, в процессах, протекающих в гидротермальных условиях. В зависимости от со-

става обменного комплекса различают щелочные (натриевые и кальций-натриевые) и щелочно-земельные (кальциевые, магний-кальциевые, кальций-магниевого) бентониты. Это различие обусловлено особенностями кристаллического строения смектитов, благодаря которым бентониты обладают многими специфическими свойствами, наиболее ценное из которых ионообменная способность [1].

Бентонит относится к глинистым природным минералам, обладающим высокой сорбционной способностью по отношению к катионам металлов, и может быть использован для создания изолирующих барьеров в местах захоронения токсичных, в том числе радиоактивных, отходов, а также для очистки питьевых и сточных вод. Ключевым параметром, определяющим возможность использовать бентонит в качестве фильтрующего материала, является концентрация тяжелых металлов в воде после фильтра и диффузионные свойства бентонита. По литературным данным, эти характеристики зависят как от растворимости тяжелых металлов, так и от сорбционных свойств бентонита. Литературные данные о механизмах сорбции катионов, роли различных центров связывания, константах равновесия соответствующих реакций имеются. Цель данной работы заключалась в изучении сорбции ионов металла $Cu(II)$ бентонитом.

Всесторонние исследования показали, что глины отвечают всем требованиям, и являются уникальными по высокому содержанию обменных ионов Na , тонкодисперсности и набухаемости в воде.