

СВС-МАТЕРИАЛЫ С ГРАДИЕНТНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ПОРИСТОСТИ И ВЕЛИЧИН ПОР

И.П.БОРОВИНСКАЯ, д-р хим. наук;
 А.Г.МЕРЖАНОВ, д-р физ.-мат. наук, академик;
 В.В.КАРПОВ, канд.хим.наук; В.И.УВАРОВ, канд.техн.наук



**Институт структурной макрокинетики
 в Черноголовке РАН**



МЕРЖАНОВ Александр Тригорьевич

доктор физико-математических наук директор Института структурной макрокинетики в Черноголовке РАН. Избран действительным членом РАН.

Создатель тепловой теории процессов горения и взрыва конденсированных сред; автор научного открытия «Явление волновой локализации автотормозящихся твердофазных реакций»; создатель самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) и на его основе комплекса оригинальных технологических процессов.

Почетный профессор ряда отечественных и зарубежных университетов, член ряда иностранных академий. Награжден Золотой медалью Я.Б.Зельдовича Международного Института горения, Лауреат Государственной премии Российской Федерации.

Мембранные методы разделения и очистки жидкостей и газов от макро- и микропримесей являются наиболее эффективными и экономичными. Они нашли применение практически во всех отраслях народного хозяйства: в химической и нефтехимической промышленности, в биотехнологии и медицине, в пищевой промышленности, при очистке сточных вод и т.д. Широкое распространение получили мембраны с анизотропной структурой (градиентной пористостью), которая одновременно с очисткой жидкости или газа позволяет регенерировать мембраны обратным потоком уже очищенной жидкости или газа. Поверхностный тонкопористый слой таких мембран, называемый активным, составляет 1 – 100 мкм и представляет собой селективный барьер, разделяющий компоненты смеси. Роль подложки, повышающей механическую прочность мембраны, выполняет крупнопористый слой толщиной 100 – 1000 мкм, который находится под активным слоем. В зависимости от назначения мембраны различаются величиной пор селективного слоя (см.табл.1).

Лучшие фильтрационные характеристики имеют фильтры

из волокнистых полимерных материалов (перхлорвинила) с высокой пористостью (>60%). Несмотря на очевидные преимущества органических полимерных фильтров, им присущ ряд недостатков, таких, как низкая прочность, коррозионная и термостойкость. Большинство этих недостатков отсутствуют у пористых керамических материалов, что делает их перспективными для производства фильтров нового поколения. Использование этих материалов позволяет не только улучшить технические и эксплуатационные характеристики фильтров, но и осуществить их регенерацию путем термообработки (или промывки) кислотами и другими жидкостями.

В настоящее время находит широкое применение метод самораспространяющегося высоко-

Таблица 1
 Величина пор селективного слоя

Процесс	Диаметр пор активного слоя, мкм
Обратный осмос	0,0001 - 0,001
Ультра-фильтрация	0,001 - 0,02
Микро-фильтрация	0,02 - 10

Таблица 2

Технические характеристики высокопористых керамических материалов

Общая пористость, %	≤ 60
Открытая пористость, %	≥ 90
Величина пор селективного слоя, мкм	≥ 0,2
Величина пор подложки, мкм	до 20
Толщина селективного слоя, мкм	≥ 100
Толщина подложки, мкм	5 - 6
Производительность ультрафильтрации воды, л/см ² ·ч (при перепаде давления 0,1 МПа)	2 - 10
Производительность ультрафильтрации газов, л/см ² ·ч (при перепаде давления 2 кПа)	20 - 40
Температура эксплуатации, °С	до 1000
Многочкратная регенерация в газах и жидкостях, циклы	более 200

котемпературного синтеза (СВС) неорганических веществ, который успешно конкурирует с традиционными печными методами при создании прогрессивной, энергосберегающей и безотходной технологии получения керамики, в том числе пористой.

Для получения СВС-материалов с градиентным распределением пористости и величин пор разработаны технологические режимы и оптимизированы технологические схемы для опытно-промышленных реакторов СВС-20 и СВС-30, а также шахтных вакуумных электропечей сопротивления типа СШВЭ-1-2,5/25-42. На основе сиалонов получены пористые материалы SiAlON + SiC, SiO₂ + Mg + N₂, Fe₂O₃ + Al + оксиды или бориды металлов, SiC, MoO₃ + 2Al + Si с добавками оксидов и боридов металлов, обеспечено введение (при необходимости) в перечисленные материалы легколетучих, малозольных порообразующих добавок.

Структуру полученных образцов исследовали на изломах и металлографических шлифах с помощью растрового электронного микроскопа фирмы JOEL; химический состав образцов контролировали на приборе Superprobe-733; фазовый анализ проводился на дифрактометре ДРОН-3М. Механические свойства образцов определяли на универсальном динамометре фирмы «Инстрон», а характеристики пористости – методом гидроскопического взвешивания; грануляцию исходных порошков контролировали прибором «Analissette-2».

Связь между пористостью исходного образца Π_0 и пористостью образца, полученного после синтеза, выражается уравнением:

$$\Pi_k = \Pi_0 + (1 - \Pi_0)\Delta + \tau,$$

где: $\Delta = [\rho_{k(max)} - \rho_{0(max)}] / \rho_{k(max)}$ – изменение удельного объема при химической реакции, $\rho_{k(max)}$ – теоретическая плотность синтезированного продукта, $\rho_{0(max)}$ – максимальная плотность, до которой можно спрессовать исходную шихту;

$$\tau = [\rho_{0(эксп)} - \rho_{k(эксп)}] / \rho_{k(эксп)}$$

– изменение пористости за счет разрыхляющего действия примесных газов, спекания, термического расширения и т.д.; $\rho_{k(эксп)}$ – экспериментальное значение плотности конечного продукта; $\rho_{0(эксп)}$ – экспериментальное значение исходной шихты. Если величина Δ положительна, то изменение удельного объема при синтезе этих соединений приводит к увеличению пористости продукта по сравнению с пористостью исходной заготовки.

В результате исследований были получены высокопористые керамические материалы с техническими характеристиками, представленными в табл.2.

Из этих материалов изготовлены экспериментальные фильтроэлементы в виде дисков и плиток размером до 150 мм, толщиной до 10 мм, а также в виде труб диаметром 10 – 40 мм и длиной до 400 мм.

На основе фильтров, полученных по СВС-технологии, были изготовлены мембранные бытовые устройства, проведены сертификационные испытания по очистке водопроводной питьевой воды.

Масспектральный и атомно-эмиссионный методы анализа водных проб показали, что полученные керамические мембранные фильтры не только очищают водопроводную воду от взвешенных микропримесей, фторидов, соединений азота, железа, алюминия, цинка, марганца, бария, меди, ртути, свинца, урана, но и уменьшают ее жесткость на 30%.