

**СЕЛЕКТИВНЫЕ СЛОИ ИЗ ОКСИДОВ ТУГОПЛАВКИХ  
МЕТАЛЛОВ НА ПОРИСТЫХ АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ  
ПОДЛОЖКАХ***БНТУ, ИОНХ НАН Беларуси, г. Минск*

Развитие и усовершенствование таких технологий как гетерогенный катализ в органическом синтезе, микро-, ультра- и нано-фильтрация, газоразделение, аэрация, обогащение сырья, очистка промышленных отходов приводят к необходимости совершенствования технологии пористых элементов, без которых невозможно проведение всех вышеперечисленных процессов. Такие пористые элементы могут быть получены из самого различного сырья. В последнее время наблюдается возрастающий интерес к пористым керамическим материалам с мембранными слоями на основе оксидов тугоплавких металлов. Их выбор в качестве материала для мембран основан на ряде их уникальных свойств. Пористость мембранных слоев может достигать 95%. По сравнению с другими материалами мембранные слои на основе оксидов тугоплавких металлов имеют высокую химическую и термическую стойкость. Эти факторы обуславливают возможность применения пористых керамических тел в условиях использования высоких температур при протекании химических реакций, например в качестве каталитических узлов в мембранных реакторах. Для регенерации таких мембранных материалов могут быть использованы регенерирующие кислотные и щелочные среды, а также термическая регенерация. Керамические материалы с мембранным слоем выдерживают больше рабочих циклов, чем их полимерные аналоги. В то же время, задача получения высокопрочного и одновременно высокопористого изделия тела весьма неоднозначна, так как поры являются как концентраторами напряжений в материале, снижающими его прочность, так и дефектами, препятствующими развитию микротрещин.

Учитывая что, в настоящее время, преобладает эмпирический метод подбора *состава* и разработки технологии изготовления керамических мембранных слоев, мы руководствовались некоторыми известными соображениями касающиеся подхода к проблеме формирования мембран:

1) Пористая подложка должна обладать минимально возможным гидравлическим сопротивлением, т.е. иметь минимальный размер пор не менее 15-20 мкм. В противном случае мембрана будет иметь заведомо низкую производительность по фильтрату.

2) Должно соблюдаться определенное соотношение размеров пор подложки и размеров частиц наносимого слоя.

3) Мембранный и промежуточные слои должны обладать минимальным гидравлическим сопротивлением, как и подложка. Для этого отношение толщины слоев к размеру их пор не должно превышать некоторой критической величины.

4) Одним из основных условий получения высококачественных мембранных слоев является использование высокостабильных суспензий керамических порошков. Такие суспензии могут рассматриваться как коллоидные системы. Свойства такой коллоидной системы будут зависеть от количества твердой фазы, распределения частиц и их агломератов по размеру, формы агрегатов, от типа взаимодействия между частицами.

Используя данные общие соображения авторами созданы экспериментальные образцы композиционных мембран в виде труб, содержащих изотропную крупнопористую алюмосиликатную керамику, выполняющую роль подложки, толщиной 5-10 мм с размерами пор 20-40 мкм. С наружной поверхности трубы нанесена мембрана из тугоплавких оксидов металла, поры которой сформированы в диапазоне 0,01-1,0 мкм, с отношением 1:10-1:100 среднего размера пор мембраны к среднему размеру пор подложки. Данная мембрана характеризуется тем, что селективный слой, нанесенный на подложку не имеет микротрещин и видимых питтинговых дефектов, с масштабом более

0,05 мкм. Уменьшение концентрации и масштаба дефектов в мембранном слое, на наш взгляд, объясняется тем, что объекты, формирующие мембранный слой имеют рентгеноаморфную структуру, без наличия кристаллических или кристаллоаморфных кластеров. При выборе температуры спекания учитывалось, что при температуре выше  $0,4-0,5 T_{\text{плавления}}$  объектов, формирующих мембранный слой возникают попытки различного рода фазовых превращений. А процесс фазового перехода приводит к существенному росту диаметра пор. При этом, мембранные слои приобретают повышенную хрупкость, растрескивается и теряют надежную фиксация с зернами подложки. Кроме того, увеличение температуры термообработки приводит и к увеличению дисперсии распределения пор по размерам. Керамическая композиция для мембранного слоя может быть составлена из смесей оксидов, а также их смесей с добавлением ультрадисперсных частиц таких металлов, как медь, никель, серебро и их сплавов. В последнем случае, обработка водным раствором 7,5 мас.%  $K_2Cr_2O_7$  и 2,5 мас.%  $Na_2MoO_4$  позволяет повысить абразивную стойкость и адгезию мембранного слоя к подложке. Это достигается тем, что пропитка раствором указанного состава позволяет сформировать на технологической операции спекания благоприятные условия для сохранения окислительной среды в порах керамики, которые формируются в результате термического разложения входящих в раствор веществ и выделения свободного кислорода при спекании.

Полученные фильтрующие материалы, обеспечивают высокие газодинамические характеристики при повышенной абразивной стойкости. Это позволит использовать материалы при разделении высокоабразивных сред, например, при фильтрации жидкостей, содержащих карбонат кальция, карбиды и нитриды тугоплавких металлов, алмазоподобные примеси и т.п. Регенерация фильтрующих материалов может производиться при помощи обратного потока, травления или термической обработки при температурах до  $400^{\circ}C$ . Прочность

этих материалов позволяет эксплуатировать их при давлениях до 1,5 МПа. Перечисленные характеристики перспективны для фильтров различного назначения, например, при фильтрации технологических жидкостей, концентрирования суспензий микроорганизмов, разделения органических растворов, осветления и др.

УДК 621.762.4.04

Афанасьева Н.А.<sup>1,2</sup>, Петюшик Е.Е.<sup>1,2</sup>, Романенков В.Е.<sup>1</sup>,  
Евтухова Т.Е.<sup>1</sup>, Пинчук Т.И.<sup>2</sup>

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ ИСПАРИТЕЛЯ КОНТУРНОЙ ТЕПЛОВОЙ ТРУБЫ ПРИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЯХ ПРОПАНА**

<sup>1</sup> БНТУ, <sup>2</sup> ГНПО ПМ, г. Минск

Пропан – один из наиболее перспективных хладагентов, используемых в настоящее время в различных теплопередающих устройствах [1]. Ранее [2] было установлено, что применение пористого композиционного материала, полученного методом гидратационного твердения дисперсного алюминия, существенно повышает интенсивность теплообмена. Результаты экспериментов [например, 3] также свидетельствуют о том, что повышение давления пропана способствует интенсификации теплообмена при кипении.

В настоящем сообщении приведены результаты испытания испарителя контурной тепловой трубы при давлении пропана 2,5-3 МПа. Корпус испарителя – многоканальный алюминиевый профиль АН014-01447/2 («АНКОР», Самара, РФ), предназначенный для изготовления радиаторов транспортных средств и полученный методом экструзии из сплава АД0 (рисунок 1а).

Внутри профиля сформирована капиллярная структура (КС) методом гидратационного твердения [4] промышленного порошка алюминия марки АСД-4 (ТУ-48-5-1-77) предприятий РФ СУАЛ-ПМ. КС содержит центральные паровые каналы