

**ПОЛУЧЕНИЕ ФИЛЬТРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ  
С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭКЗОТЕРМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ**  
Л.С. Богинский, д-р техн. наук, профессор; В.М. Капцевич, д-р  
техн. наук, профессор; Д.И. Божко, аспирант;  
В.В. Саранцев, аспирант

*ИПКиПК Минобразования РБ, УО «БГАТУ», УО «БНТУ»  
(г. Минск, Республика Беларусь)*

**Obtaining of filter packs with applying of heat generating reactions**

The processes of spontaneous distribution(propagation) of chemical heat generating reactions with formation of valuable condensed products are reviewed. The know-how of obtaining of filter packs with applying of heat generating reactions is designed.

В последнее время все более актуальными становятся проблемы охраны природы, вопросы очистки промышленных стоков, дымовых выбросов и утилизации твердых отходов коммунального хозяйства. Сотни миллионов кубометров промышленных отходов ежегодно поступают в реки, загрязняют почвы и грунтовые воды. Огромный урон растительному и животному миру причинен вследствие нерационального применения химических удобрений и ядохимикатов. Потребление продуктов и воды с повышенными концентрациями нитратов разрушающе действует на человеческий организм, вызывая ряд тяжелых болезней.

Особую роль в жизни людей занимает вода, от качества которой зависит здоровье населения. Централизованная водоподготовка во многих случаях не обеспечивает выполнение требований к качеству воды, так как водопроводы в виде стальных старых труб самостоятельно являются источником загрязнений. Создание централизованной системы водоподготовки питьевой воды требует огромных капиталовложений и длительного времени. Более рациональным представляется оснащение жилых домов, в том числе и индивидуальных, фильтрами для доочистки питьевой и технической воды, что и практикуется в развитых странах. Однако такие системы оцениваются в десятки тысяч долларов. К сожалению, большинство отечественных потребителей не в состоянии позволить себе такие затраты, что вынуждает к поиску более дешевых технологий и устройств.

Перспективным направлением в этом отношении является использование комбинированных процессов, когда загрязненная вода проходит через пористую среду и сорбент, что позволяет расширить спектр и повысить степень очистки воды от загрязнений. Известны различные конструкции фильтров, в которых используются пористые набивки из пенополиуретана, войлока, бумаги, сетки и т.д. Применение таких материалов усложняет конструкцию фильтра и процессы регенерации, определяет относительно малый срок работы и спектр очистки. Низкая прочность и коррозионная стойкость подобных материалов существенно снижает эффективность используемых устройств. Во многих случаях предпочтение следует отдавать порошковым проницаемым материалам (ППМ) на основе металлов и керамики. За счет своих структурных характеристик они обеспечивают более тонкую очистку воды, обладают высокой прочностью и стойкостью, относительно легко поддаются обработке, регенерации и, при условии использования энергосберегающих технологий их изготовления, гарантируют минимальные затраты труда [1, 2].

Наиболее оптимальной схемой прессования изделий в виде тел вращения является радиальная схема прессования, которая способна комплексно реализовать положительные признаки известных способов при отсутствии их основных недостатков, а также обеспечить равномерное распределение плотности по объему прессовки, снизить энергозатраты на процесс прессования, возможность усложнить формы прессовки и формировать специальные конструктивные элементы (центровые отверстия и т.п.). Радиальное уплотнение порошка через эластичный инструмент обеспечивает равномерное сжатие всего объема и, как следствие, устранение локальных плоскостей концентрации деформаций и условий образования нарушений сплошности (брака) на стадиях прессования и последующего спекания. Реализуется радиальная схема обычно способами гидро- или газостатического, гидродинамического и сухого изостатического прессования. Однако все способы прессования, предусматривающие воздействие на дискретную заготовку жидкого или газообразного тела, предполагают необходимость герметизации формы с заготовкой и предварительным вакуумированием такой формы. Применение способа сухого изостатического прессования (СИП) [3] позволяет отказаться от дегазации формы с порошком и, тем более, не требует ее герметизации.

СИП открывает широкие перспективы создания подобных материалов. Экономическая эффективность ППМ обеспечивается не только за счет эксплуатационных качеств, но и на стадии их производства за счет применения менее дорогостоящего сырья и энергосбережения на всех стадиях технологического процесса. Для определения себестоимости большое значение имеет классификация затрат, которые неразрывно связаны со структурой себестоимости. Так, наибольшую долю в себестоимости при производстве изделий методами порошковой металлургии занимают расходы на основные материалы и электроэнергию (80 – 90 %). Традиционные способы спекания ППМ требуют мощного печного оборудования с защитными средами. Затраты на спекание составляют 40 – 50 % от себестоимости продукции. Эти обстоятельства стали предпосылкой для развития новых способов консолидации и термической обработки ППМ.

В последние годы бурно развивается новое направление технологического горения – самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС), позволяющий синтезировать порошковые материалы на основе карбидов, боридов, нитридов, силицидов и др. без затрат энергии на спекание [4]. Сущность процесса заключается в самопроизвольном распространении химических экзотермических реакций с образованием ценных конденсированных продуктов. Процесс начинается при локальном воздействии на систему коротким тепловым импульсом и в дальнейшем, что очень важно, протекает в виде волны горения без подвода энергии извне за счет собственного тепловыделения и без использования защитных атмосфер. Температура СВС - спекания 1000 – 3000 °С, развивается за счет тепла экзотермической реакции, что позволяет обеспечить режим послынного фильтрационного горения и требуемую пористость материала. Пористость может варьировать в широких пределах: 10 - 50%.

К настоящему времени реализован способ изготовления пористых изделий простой и сложной формы из следующих тугоплавких соединений: TiC, TiB<sub>2</sub>, MoB, MoSi<sub>2</sub>, TaC. Образцы в виде трубы из TiC и TiB<sub>2</sub> имели пористость ~50%, высоту 20 – 30 мм, диаметр наружный 15 мм, внутренний – 10 мм. Преимущества разрабатываемой технологии позволяют непосредственно в процессе горения получать изделия, размеры которых с точностью до долей процента повторяют форму исходных заготовок; доля открытой пористости

составляет 99,5 – 99,7%; изделия, имеющие общую пористость ~50%, во много раз прочнее изделий такой же пористости, полученных с помощью традиционной технологии (спеканием); при введении в исходную шихту небольших (до 10 %) добавок различных элементов (Ni, Co, Fe) можно управлять инфильтрующими свойствами пористых заготовок (рис. 1, а). Карбидотитановые каркасы, полученные методом спекания, имеют предел прочности на сжатие <math>< 1 \text{ кгс/мм}^2</math>. Карбидотитановые СВС - каркасы (при одинаковой пористости) могут иметь прочность на порядок выше.

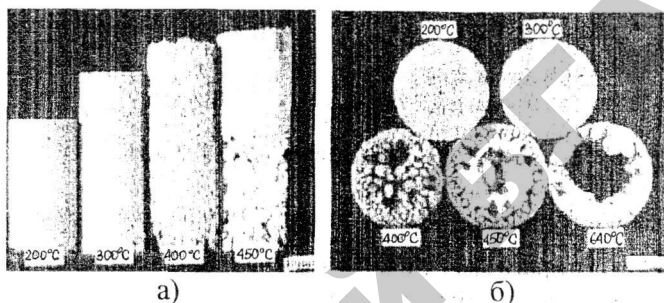


Рис. 1. Пористые системы с различными температурами преднагрева: (а) образцы TiC, полученные СВС - спеканием; (б) срезы карбидотитановых образцов

Сущность процесса: один из исходных компонентов плавится в волне горения, и взаимодействие происходит через жидкую фазу –  $(\text{Ti} + \text{C})$ ,  $(\text{Ti} + 2\text{B})$ ,  $(\text{Mo} + \text{Si})$ . Экспериментально установлено:

а) пористость в конечном продукте всегда больше, чем в исходном образце;

б) поровое пространство для плавящихся систем имеет двойную структуру: имеются большие поры, равномерно перемежающиеся с матрицей, и малые поры, заключенные внутри матрицы. Размер первых пор сильно зависит от температуры горения, вторых - слабо;

в) в тех случаях, когда сгоревшие образцы не имели трещин и искажений первоначальной формы, их пористость почти не зависит от основных параметров горения: скорости (температуры) горения, начальной плотности образцов, величины исходного вакуума.

Изучение двойной структуры порового пространства на примере реакции  $\text{Ti} + \text{C} \rightarrow \text{TiC}$  для плавящихся СВС - систем показало,

что она всецело определяется теми конкретными процессами, которые протекают в волне горения. В общих чертах последовательность формирования первого пространства сводится к следующему. В зоне прогрева волны горения частицы титана плавятся, образуют изотропную «жидкую» пористую структуру, пустоты перемешиваются с жидкими «каплями» титана, внутри которых заключены частицы углерода. Сформировавшаяся первичная поровая структура входит в зону распространения волны горения. Здесь начинается реакция между титаном и углеродом. По окончании реакции на месте частиц углерода образуются пустоты – возникает вторичное поровое пространство (точнее, вторичное поровое пространство формируется в результате уменьшения объема при протекании химической реакции  $Ti + C \rightarrow TiC$ ). Наличие в зоне химической реакции примесного газовыделения непрерывно деформирует поровое пространство – окончательное формирование его структуры происходит в зоне охлаждения волны горения. В зоне охлаждения происходит коагуляция пор. Степень коагуляции зависит от времени пребывания в зоне охлаждения, а это время тем больше, чем выше температура горения. Этим объясняется обнаруженный экспериментально факт увеличения размера пор с увеличением температуры преднагрева (рис. 1, б).

В процессе СВС - горения эффективно происходит самоочистка от примесей при синтезе из элементов тугоплавких соединений. Примесный кислород и другие вещества удаляются путем испарения в волне горения; глубина самоочистки определяется соотношением характерных времен испарения окисной пленки и пребывания в зоне прогрева.

Рассмотренные системы принадлежат к классу СВС - систем с малой растворимостью кислорода в компонентах исходной шихты - примесный кислород в основном содержится в виде окисных пленок. Для СВС - систем с большой растворимостью кислорода в исходной шихте (система  $(Ti + C)$ ,  $(Ti + 2B)$ ) самоочистка от примесного кислорода осуществляется по диффузионному механизму. Вследствие этого, для достижения больших глубин самоочистки необходимо резко увеличивать температуру горения. Например, для системы  $(Ti + C)$  температура горения  $>3200$  °С. Реализовать столь высокую температуру горения в обычных условиях не удается. Поэтому снижение концентрации примесного кислорода в  $TiC$  незначительно (от 2 до 5 раз). На порядок и выше снизить концентрацию

примесного кислорода можно лишь в режиме сталкивающихся волн горения.

Перспективным направлением при создании фильтрующих материалов является создание ППМ на основе карбида титана, так как такие изделия обладают достаточными прочностными свойствами; имеют открытую пористость; не разрушаются при пропитке; поверхность пор становится смачиваемой по отношению к пропитываемому материалу. На рисунке 2 показан процесс СВС - спекания на воздухе системы  $(Ti + C)$  без предварительного преднагрева.



Рис. 2. СВС - процесс системы  $(Ti + C)$  в окислительной среде

Основным назначением фильтров является очистка жидкостей или газов от посторонних примесей: жидкостей от твердых частиц, газовых пузырьков и включений другой нерастворимой жидкости; газов от твердых или жидких частиц. Применение таких ППМ позволяет повысить качество выпускаемой продукции, надежность и долговечность пневмо- и гидросистем различного назначения, обеспечить защиту окружающей среды и т. д. Фильтры используют для очистки воды, щелочных, кислотных и солевых растворов, горючесмазочных материалов, молока, смол, основ для лаков, расплавов солей и полимеров, фильтрации газов при их производстве и практическом применении, отходящих газов химического, металлургического, цементного производств.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Реут О.П., Богинский Л.С., Петюшик Е.Е. и др. Разработка эффективных устройств для водоподготовки // Инженерно-экологические проблемы курортов Беларуси: Тез. докл. семинара /Под ред. акад. Г.М. Шутова. – Мн., 1995.
2. Богинский Л.С., Петюшик Е.Е., Реут О.П. и др. Разработка эффективных фильтрующих устройств для доочистки питьевой во-

ды с использованием порошковых проницаемых материалов // Тез. докл. Международной научн. конф. «Проблемы промышленной экологии и комплексная утилизация отходов производства.» 3–4 октября 1995 г. - Витебск.

3. Реут О.П., Богинский Л.С., Петюшик Е.Е. Сухое изостатическое прессование уплотняемых материалов. – Мн.: Дзббор, 1998.

4. Левашов Е.А., Рогачев А.С., Юхвид В.И. Физико-химические и технологические основы самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. - М.: Бином, 1999.

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
ПРОНИЦАЕМЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ ПРОВОЛОКИ**  
Е.Е. Петюшик, канд. техн. наук, доцент; А.Ч. Якубовский

*ИПК и ПК при Министерстве образования  
(г. Минск, Республика Беларусь)*

**Research of mechanical characteristics of permeable articles  
on the base of wire**

Two load schemes of wire permeable article presented as porous tube (by internal and external working environment pressure) are inspected. The maximum internal pressure brings about breach of the wire tube structure is determined. Variation character of dependence of internal pressure similar to variation character of external pressure is showed.

Долговечность и эффективность в эксплуатации передвижных машин и стационарных установок, конструкция которых предусматривает использование устройств фильтрации горюче-смазочных материалов или шумопоглощения, обусловлены надежностью проницаемых изделий (ПИ), работающих в качестве фильтров или глушителей соответственно. В современной технике широко применяются ПИ на основе дискретных материалов: порошков, войлока, металлических сеток. Наиболее эффективны среди них сетчатые изделия. Поэтому на основании установленной возможности получения ПИ на основе непрерывного металлического волокна (проволоки) со структурой, подобной сетчатой, целесообразно проведение исследования свойств новых проволочных проницаемых изделий (ПрПИ), изготавливаемых путем послонной крестовой намотки проволоки на