

ВЫСОКОПОРИСТЫЕ ПРОНИЦАЕМЫЕ ЯЧЕЙСТЫЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ. ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

*В.Н. Анциферов, академик РАН, В.Д. Храмцов, к.т.н.
Пермский государственный технический университет, «НЦ ПМ»*

В сообщении [1] освещены основные способы получения, структура и свойства нового класса материалов: высокопористых проницаемых ячейстых металлов и сплавов (ВПЯМ). Сочетание в ВПЯМ самых разнообразных свойств — конструктивной прочности и высокой проницаемости, возможности получать их из самых разнообразных металлов и сплавов и изменять относительную плотность от 2 до 20%, размеры ячеек от 0.5 до 5,0 мм — определяют самые разнообразные, порой неожиданные, прямо противоположные области их применения.

Одним из первых произведенных в России ВПЯМ на основе никеля был фильтр для очистки воздуха, поступающего в отсек полезного груза космического корабля "Буран" [2]. Из всех известных фильтрующих материалов только ВПЯМ оказался способным обеспечить комплекс предъявляемых к нему противоречивых требований: он должен быть и сверхлегким, и достаточно прочным, иметь предельно низкое гидравлическое сопротивление и обеспечивать высокую степень очистки, обладать не только высокой коррозионной стойкостью, но и стойкостью к воздействию высоких температур.

Гидравлические и фильтрационные испытания проводились во ВНИИ транспортного машиностроения и на базе ФГУП Центрального аэрогидродинамического института им. профессора Н.Е. Жуковского (ЦАГИ). Проверка фильтров на сохраняемость, термоудар, термо-вакуум, вибропрочность, виброресурс и ударную прочность осуществлялась на базе НПО "Молния". Фильтроэлементы с размерами 560x80x30 мм, со средним размером ячеек 0.8 мм и с кажущейся плотностью 0,30 г/см³ в полном объеме выдержали все виды испытаний.

Фильтры обеспечивают требование по расходу: пропускная способность для воздуха составляет более 1 кг/с при перепаде давления 4,9-10³ Па. При этом они полностью удовлетворяют предъявляемым требованиям по фильтрации. Концентрация пыли за фильтром — не более 7 мг/м³ и размер полностью задерживаемых частиц — более 5-7 мкм.

Летные испытания фильтров, проведенные в составе орбитального корабля "Буран" во время космического полета, подтвердили их работоспособность.

Большую проблему в технике представляет выделение влаги в цепях сжатого воздуха. Происходит это при сжатии атмосферного воздуха с повышенной влажностью. В результате сжатия из-за превышения точки росы избыток влаги выделяется в капельножидком виде.

Разработан технический ряд фильтрационных установок влаго-маслоотделителей [3, 4]. Принцип работы фильтра основан на разделении газообразной и жидкой фаз при прохождении смеси через пористую перегородку. В качестве фильтра предварительной очистки и в качестве опорного слоя из пористой бронзы применен высокопористый ячейстый материал на основе медно-никелевого сплава, обеспечивающий необходимую прочность и жесткость с минимальными гидравлическими потерями. Рабочий слой из пористой бронзы припекается к опорному слою, причем операция припекания совмещена с операцией получения пористого бронзового листа. Для увеличения ресурса работы установок введена предварительная очистка, которую выполняют однослойные фильтроэлементы из ВПЯМ.

Однослойный фильтроэлемент представляет собой пластину из высокопористого ячейстого материала со следующими характеристиками: пористость открытая — 0,97; средний размер ячеек — 0,8-1,2 мм; прочность при сжатии — 0,4 МПа; проницаемость по ГОСТ 25283-82 — 1,7-10⁸ м²; матричный материал — медно-никелевый сплав; габаритные размеры — 120x120x20 мм.

Двухслойный фильтроэлемент представляет собой пластину размерами 120x120x20 мм, состоящую из опорного слоя из ВПЯМ и собственно фильтрующего слоя. Фильтрующий слой, припеченный к опорному, имеет следующие характеристики: пористость — 0,55-0,60; средний размер пор — 50-100 мкм; толщина — 1,0-1,5 мм.

Стендовые испытания фильтроэлементов показали, что водоотделение первой ступени составляет 60-70%, а второй ступени — 95-98%. Созданные фильтроэлементы эффективно отделяют капельножидкую влагу (воду, масла), механические загрязнения из потоков воздуха и других сжатых газов. Производство влагомаслоотделителей налажено на ООО "Комплексные фильтрующие систе-

мы", г. Екатеринбург. Области применения: металлургические, машиностроительные, строительные и другие отрасли промышленности, где требуется осушка компрессорного воздуха. Основные технические параметры разработанного ряда фильтров-влагомаслоотделителей: производительность — 1; 3; 6; 10; 30 м³/мин; рабочее давление — 4-10 атм.; перепад давления — 0.1 атм.; оптимальная температура — 0-25°С; высота — 103-870 мм; диаметр — 100-315 мм. Фильтры удаляют до 98% аэрозолей влаги, не требуют энергоподвода и системы автоматического контроля, не подлежат регистрации в Гостехнадзоре.

ВПЯМ, благодаря высокой и однородной проницаемости, с большой эффективностью используются в отечественных установках турбоабразивной обработки.

Пластины из высокопористого ячеистого материала с пористостью 0,97, средним размером ячеек 2.8-3.2 мм. с габаритными размерами 200x200x5 мм; 280x280x5 мм нашли эффективное применение в составе выпускаемых ООО НПФ «Поток Интер» (г.Москва) малогабаритных установок для очистки и стерилизации воздуха в медшницких учреждениях, в помещениях электронной, микробиологической, фармацевтической промышленности и других отраслях, где предъявляются повышенные требования к стерильности и чистоте воздуха. Установки с габаритами монитора для компьютера могут использоваться для создания чистых рабочих мест и доочистки чистых производственных помещений класса 100 и более до класса 1 (0,1) по стандарту США 209D.

Как показали акустические испытания [5], ВПЯМ с пористостью 0,90-0.85 и средним размером ячеек 0,6-0.8 мм по звукоизолирующим свойствам не уступают традиционным звукопоглотителям (стекловолокно, пенополиуретан).

Структура ВПЯМ при прохождении через нее потока жидкости или газа даже при малых числах Рейнольдса обеспечивает его турбулизацию, интенсивное перемешивание и контактирование с поверхностью, что может быть использовано в различных процессах тепло- и массообмена: не только для разделения тумана и газа, но и для быстрого взрывобезопасного смешивания горючих газов, в качестве пламяпреградителей, в компактных высокоэффективных теплообменниках, в аэраторах, испарителях.

Перспективы применения ВПЯМ в различных каталитических процессах. При этом катализатором может являться материал самого ВПЯМ или, что чаще всего бывает, катализатор наносят на его поверхность. Для каталитического процесса конверсии метана разработан ВПЯМ на основе

никеля с добавлением 5% хрома. Активность катализатора при температуре 950°С и степени конверсии 99,8% характеризуется объемной скоростью 10⁵ ч⁻¹. Известный блочный катализатор на основе 13% оксида никеля, нанесенного на блок нитрида кремния, при тех же условиях позволяет достичь максимальной объемной скорости 2,9·10⁴ ч⁻¹. В качестве блочного носителя катализаторов второго типа обычно используют разработанные жаростойкие ВПЯМ суспензионно-электрохимического формования. Для многих высокотемпературных процессов носителями могут быть керамические ВПЯМ на основе карбида кремния, кордиерита и другие. По сравнению с гранулированными носителями прочность ВПЯМ и каталитическая активность увеличена в десятки раз, газовая проницаемость — в 3-5 раз. Ресурс эксплуатации катализаторов на основе ВПЯМ соответствует лучшим отечественным и зарубежным аналогам.

На производство катализаторов, предназначенных для решения экологических проблем, сейчас в мире затрачивается больше средств, чем на получение катализаторов для химической промышленности или нефтепереработки.

В 1994 году НЦ ПМ выполнил экспортную поставку катализаторов австрийской фирме «Хемилинц» и получил сертификат соответствия на каталитический нейтрализатор выхлопных газов автотранспорта.

В 1995 году получен патент на каталитический нейтрализатор отработавших газов двигателя внутреннего сгорания, была поставлена опытная партия нейтрализаторов выхлопа автомобилей ЗИЛ-130 для муниципального транспорта г. Москвы и были завершены ресурсные испытания в 150 тыс. км пробега нейтрализатора выхлопа дизельного двигателя автомобиля Камаз-5511 в г. Перми.

В 1996 году НЦ ПМ поставил опытные образцы нейтрализаторов выхлопных газов карбюраторных двигателей для японской фирмы "Хонда", в рамках совместных работ поставил фильтры-дожигатели сажи и углеводородов в выхлопе дизельных двигателей для Индийского национального института исследований в области охраны окружающей среды и Харьковского НПО им. Малышева — основного производителя дизельных двигателей Украины.

Металлические ВПЯМ, применяемые в качестве носителей катализаторов, по сравнению с керамическими аналогичной структуры обладают рядом преимуществ. Благодаря низкой теплоемкости они обеспечивают быстрый разогрев каталитической системы, что позволяет оперативно изменять рабочий режим процесса, а их высокая теплопро-

Таблица

Области применения ВПЯМ			
Область применения	Материал	Изделие, устройство, процесс	Используемые свойства
Легкие структуры	Металлы, сплавы	Сверхлегкие и термостойкие конструкционные элементы	Большое отношение модуля и прочности к плотности
Элемент композиционных структур	Тоже	Трех- и двухслойные панели, композиционные материалы	Жесткость, малая плотность, совместимость с материалами оболочек и запалнителей
Фильтрация	Металлы, сплавы, керамика	Различные фильтрующие элементы (газы, жидкости, расплавы металла)	Низкое гидросопротивление, развитая поверхность, термо- и стойкость в активных средах
Конденсация побочных продуктов	Тоже	Устройства для разделения газовых и конденсированных фаз	Высокая проницаемость, химическая стойкость, смачиваемость
Теплообменные и теплоотводящие устройства	Металлы, сплавы	Компактные теплообменники. Теплоотводящие элементы, разделительные перегородки	Структура порового пространства, теплопроводность основы, низкое гидросопротивление
Электролиз	Металлы, сплавы, углерод	Электролиз воды, растворов, электрополировка, извлечение ионов металлов	Высокая удельная поверхность, проницаемость
Аккумуляторные и топливные элементы	Никель, серебро	Электрические аккумуляторы повышенной емкости	Высокая открытая пористость, электропроводность
Катализ	Металлы, сплавы, керамика	Блочные элементы носителей катализаторов, катализаторы	Высокая удельная поверхность, проницаемость, термостойкость, прочность
Отопительные устройства	Жаростойкие металлы, сплавы	Нагревательные элементы, нагреватели газов, жидкостей, испарители, газовые форсунки, дожиг топлива	Высокая газопроницаемость, электропроводность, термостойкость, сообщающаяся пористость
Огне- и взрывопреградители	Металлы, сплавы	Перегородки газопроводов, смесителей, выхлопные трубы	Газопроницаемость, высокая сообщающаяся пористость
Акустика	Металлы, сплавы, керамика	Звукопоглощающие панели, цементы акустических систем, шумогасители при сбросе высокого давления	Структура порового пространства, термо- и вибростойкость
Экранирование, поглощение электромагнитных волн	Тоже	Экранирующие элементы в импульсных источниках электромагнитных палей, в технологии «стелс»	Малая плотность, структура порового пространства
Демпфирование механических и акустических импульсов	Тоже	Кумулятивные заряды, демпфер волны у надводных кораблей, поглотитель энергии в системе безопасности автомобилей, защита от разрушения оборудования	Поровая структура, жесткость, пористость, способность деформироваться при постоянном низком напряжении с поглощением энергии
Биотехнологии	Тоже	Платформы для выращивания биологически активных систем	Высокая пористость, удельная поверхность, химическая стойкость
Выравнивание газовых и жидкостных потоков	Тоже	Аэродинамические трубы, испытательные стенды, датчики давления	Низкое гидросопротивление, равномерность поровой структуры
Силовая и высокоточная оптика	Медь, инвар, карбид кремния	В системах облегчения, теплоотвода зеркал. Оптические платформы.	Проницаемость, теплопроводность, низкая теплоемкость и КЛТР

водность исключает местные перегревы, что предотвращает дезактивацию каталитического слоя. Высокая прочность и обрабатываемость металлов расширяют технологические возможности и, что особенно важно на транспортных средствах, обеспечивают стойкость к вибрации и ударам.

Весьма эффективны и разнообразны уже известные ВПЯМ в самых различных отраслях электрохимии: электролизе, электросинтезе, гальванотехнике, химических источниках тока, электрохимических генераторах и т.д.

В химических источниках тока высокопористые

ячеистые металлы находят применение в качестве основы, несущей на себе активную массу электродов.

Положительный никелевый электрод щелочных аккумуляторов (никелево-кадмиевых, никелево-цинковых, никелево-железных и др.) изготавливается путем запрессовывания в никелевый ВПЯМ пасты активной массы. При толщине ВПЯМ-пластины 2.5 мм удельная емкость составляет 46 мА/см².

Отрицательный кадмиевый электрод щелочных аккумуляторов изготавливается также заполнением никелевого ВПЯМ активной массой. Полученные таким образом электроды могут быть заполнены активной массой на 90-96% своего объема в отличие от традиционных, которые имеют начальную пористость 45-60%.

Электролизеры, предложенные для очистки растворов (например, промывных вод гальванического производства) от тяжелых металлов (Cu, Zn, Cd, Ni) в промышленном масштабе, имеют некоторое сходство конструкции. Они относятся к электролизерам с параллельной ориентацией электрического поля и потока электролита и имеют несколько чередующихся ВПЯМ-катодов и анодов. Расход электроэнергии — не более 5,3 (кВт·ч)/кг меди. В серийно выпускаемом электролизере RETEC располагается от 6 до 50 ВПЯМ-катодов размерами 400x400x12 мм. Материал ВПЯМ-катодов: медь, никель, стеклоуглерод. Компактные электролизеры Augoclaim 20 (фирма Heraeus), предназначенные для рекуперации благородных металлов, содержат пластины из никелевого или медного ВПЯМ толщиной 5 мм. В электролизере находится до 7 пористых катодов и 8 анодов.

С использованием ВПЯМ решают ряд задач, связанных с электросинтезом органических веществ или удалением органических соединений из водных растворов.

Электроокисление первичных спиртов на никеле осуществляется в результате взаимодействия молекул спирта с электрохимически генерированным NiOOH.

Показано, что применение никелевого ВПЯМ в реакторе FM01-LS эффективно при окислении спиртов до карбоновых кислот на вращающихся цилиндрических электродах из никелевых ВПЯМ. Анодное окисление бензилового спирта на никелевом ВПЯМ в реакторе ЕЗР с пульсирующим потоком может протекать селективно, с образованием бензальдегида. Выход бензальдегида увеличивается при увеличении амплитуды и частоты пульсаций потока.

Активированные ВПЯМ-аноды из никеля (аноды со слоем NiOOH) применимы для электролиза диацетон-2-кето-Л-гулоновой кислоты

(ДКГ), (промежуточного продукта в производстве витамина С) из диацетон-Л-сорбозы (ДАС). Результаты, полученные для проточного ВПЯМ-электрода, показывают, что можно получить высокие степени превращения ДАС.

Таким образом, ВПЯМ-электроды, обладая развитой поверхностью и хорошей проводимостью, пригодны для осуществления многих электрохимических реакций с участием органических соединений.

В начале 90-х годов с использованием ВПЯМ, разработанных в НЦ ПМ была доказана перспективность их использования в лазерной и силовой оптике.

Перспективными направлениями применения, в которых ВПЯМ уже приносят ощутимую пользу, являются: разделение парогазовых сред (осушка технологического компрессорного воздуха от капельно-жидкой фазы, отделение жидкой фазы углеводородов из попутного газа и т.п.); очистка промышленных газов от твердых примесей; смешивание; газораспределение и выравнивание газовых потоков; катализ, где ВПЯМ может применяться как в качестве носителя катализатора, так и непосредственно в качестве катализатора; электрохимия; теплообмен, связанный с передачей тепла от одной среды к другой; экранирование радиоволн и других высокочастотных колебаний; создание композиционных материалов с использованием ВПЯМ. Все возможные области применения ВПЯМ как нового и мало известного широкому кругу исследователей класса материалов далеко не исчерпаны.

Наш и зарубежный опыт применения ВПЯМ обобщен в таблице.

Литература

1. Анциферов В.Н., Храмцов В.Д.. Способы получения и свойства высокопористых проницаемых ячеистых металлов и сплавов. Перспективные материалы. 2000, №5, с.56-60.
2. Беклемышев А.М. Структурные и гидравлические свойства высокопористых ячеистых материалов на металлической основе. Изд-во Пермского гос. техн. ун-та. Пермь, 1997. 237 с.
3. Анциферов В.Н., Данченко Ю.В., Тарасов А.В., Смирнов И.А. Двухслойные фильтры для установок очистки сжатого воздуха. Химическая промышленность. 1994, №3, с.21-30.
4. Патент РФ № 2086294. Данченко Ю.В., Анциферов В.Н., Тарасов А.В. Сепаратор-осушитель сжатого воздуха. Бюл.изобр.. 1997, №22.
5. Анциферов В.Н., Белов С.В., Терехин А.С., Баланцев С.К., Беклемышев А.М., Куневич А.П. Акустические характеристики высокопористых проницаемых ячеистых Материалов. Порошковая металлургия. 1986. №11, с. 33-36.

Ж «Перспективные материалы», № 2, 2002 г.