

рые даже при незначительных размерах могут сильно ухудшать свойства реакционно-связанных материалов.

Введение водорода в количестве 1-10 об.% позволяет полностью нейтрализовать вредное влияние условий потока. Прочность, одинаковая и в статических и в динамических условиях, достигается уже при использовании атмосферы состава 99 об.%N₂ + 1 об.%H₂. Добавление водорода сверх 1 об.% оказывается менее эффективным и к дальнейшему улучшению свойств материала практически не приводит. Динамическим условиям соответствуют меньшие скорости реакции, чем статическим условиям. Сравнение скоростей реакции, протекающей в двух разных атмосферах, для динамических и статических условий показывает несомненное преимущество небольших добавок водорода. В динамических условиях при наличии водорода не наблюдается падение модуля Юнга, размеры критического дефекта при любой заданной плотности подобны размерам, наблюдаемым в статическом азоте, и значительно меньше, чем в потоке чистого азота. Подобно водороду действует и водяной пар. Введение его в азотирующий газ подавляет вредное влияние динамических условий азотирования на прочность и модуль упругости РСНК.

УДК 621.793

Металлические мембраны для микрофльтрации: классификация, свойства, применение

Студенты: гр. 10406112 Жук В.А., гр. 10405114 Жук К.А.
Научный руководитель – Жук А.Е.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Микрофльтрация – это процесс отделения из фильтруемой среды крупных коллоидных частиц или взвешенных микрочастиц размером 0,02–25 мкм. Мембраны для микрофльтрации обычно имеют изотропную структуру. Они обладают высокой производительностью, особенно в начальный период эксплуатации. Микрофльтрацию, как правило, осуществляют при небольших перепадах давлениях (до 0,2 МПа) на мембране во избежание значительных деформаций, которым подвержены мембраны при приложении на них нагрузки извне.

Мембраны для микрофльтрации чаще всего выпускают в виде дисков различных диаметров, а также пластин различных размеров и могут использоваться в дисковых держателях и фильтр-прессах.

Для увеличения площади фльтрации в последнее время на основе микрофльтрационных мембран изготавливают патронные фильтры. Эти фильтры обладают непрерывной однородной структурой, не способной к выделению (отщеплению) каких-либо компонентов в фильтруемую среду. Структура фильтра должна быть достаточно устойчива к воздействию давления чтобы исключить возможность продавливания собранных частиц или бактерий через фильтр при резких пульсациях давления. Области применения фильтрующих перегородок весьма разнообразны.

Типичные примеры их использования в зависимости от размеров пор приведены ниже: *при диаметре пор 5 мкм и более* – предварительная фльтрация взвесей в воде, высокоэффективная очистка газов от взвешенных частиц, очистка высоковязких жидкостей и фотохимикатов, гравиметрический анализ гидравлических масел, анализ пыли, цитофизиологические исследования; *при диаметре пор 3 мкм* – микрофльтрация масел и других вязких жидкостей, фльтрация тонких взвесей, цитофизиологические исследования; *при диаметре пор 0,65 мкм* – тонкая фльтрация химических, фармацевтических препаратов, микробиологическое исследование молочных продуктов; *при диаметре пор 0,2 мкм* – получение оптически чистых продуктов, концентрирование некоторых бактериофагов, стерилизация жидкостей и

газов, в том числе фармацевтических и медицинских препаратов, а также питательных сред, стерилизационный контроль фармацевтических препаратов. С целью наиболее полного использования специфических свойств микрофильтров разделяемые дисперсии рекомендуется подвергать предварительной фильтрации на специальных фильтрах. Большинство мембран в сухом виде имеет большой отрицательный электростатический заряд.

Одним из распространенных фильтрующих материалов являются проволочные сетки, изготовленные из низкоуглеродистых или высоколегированных сталей, меди, латуни, бронзы, никеля и др. Фильтрующие элементы, выполненные из сеток, могут работать в широком диапазоне температур от 0 до 1000 °С в агрессивных и неагрессивных средах. Тонкость очистки определяется размером ячейки сетки. Сетки бывают тканного и саржевого плетений.

Абсолютная тонкость очистки современными сетчатыми фильтрующими перегородками достигают пределов 5 – 20 мкм, однако при значительных перепадах давления на фильтре полотно сетки начинает деформироваться, ячейки теряют свою форму, что приводит к местному увеличению размеров проходных отверстий. Для устранения эффекта увеличения размеров проходных сечений применяют спекание узлов сетки после переплетения. Применение синтерированных сеток исключают деформацию проходных отверстий, однако значительно усложняет технологию изготовления сеток. Неметаллические сетки вырабатывают, главным образом, из различных синтетических полимерных материалов - капрона, лавсана, полипропилена, фторлона и т. п.

Их можно изготавливать из моноволокон тканями. Сетки можно изготавливать также сварными, тогда моноволокна, составляющие уток и основу, соединяют в местах пересечения термопластичной сваркой (горячее штампование).

Обычно тонкость фильтрования пластмассовых сеток составляет около 10 мкм, но можно изготовить сетку с ячейками размером в десятые доли микрометра. Достоинством таких сеток является их высокая коррозионная стойкость. Наибольшее распространение сетчатые материалы получили для грубой очистки воды от механических примесей, водорослей, песка, волокон и пр.

Основным предназначением фильтров, у которых в качестве фильтрующей перегородки используются сетки, является защиты системы водоподготовки от крупных посторонних механических включений. Сетчатые фильтрующие элементы часто изготавливают многослойными, что несколько увеличивает тонкость и эффективность очистки, но приводит к росту гидравлического сопротивления фильтрующего элемента пропорционально количеству слоев сеток. По сравнению с полимерными, неорганические мембраны обладают как достоинствами, так и недостатками.

К первым можно отнести следующие: высокая термостойкость (возможность стерилизации паром); высокая химическая стойкость (возможность разделения агрессивных сред); высокая механическая стойкость; микробиологическая невосприимчивость; длительный срок службы (до 10 лет и более); разнообразие геометрических форм. Возможно, также выделить следующие недостатки: ограничение по пористости (либо крупнопористые, либо непористые); высокая стоимость; хрупкость (низкая ударопрочность); низкая производительность (из-за большей толщины); невозможность использования в традиционных аппаратах.

Все металлические мембраны следует разделить на две группы: непористые, которые используются в диффузионных мембранных процессах; пористые, используемые для ультра- и микрофильтрации. Кроме того, необходимо упомянуть композиционные мембраны с селективным слоем из металла (часто палладия), полученного плазменным напылением. Непористые металлические мембраны обычно изготавливают в виде плоских пластин и капилляров литьем, прокаткой и вытяжкой и используют в основном в мембранном разделении газов. Такие мембраны производят из палладия и палладиевых сплавов (Pd–Ag–Ni–Nb). Пористые металлические мембраны получают спеканием металлических порошков (сталь, титан и титановые сплавы), а также выщелачиванием какой-либо части сплава (на-

пример, нержавеющей стали). На такие пористые подложки часто производят напыления Ni, Zn, Cu, Co и других металлов для формирования селективных слоев.

УДК 621.793

Методы определения характеристик мембран

Студенты гр. 10406112 Жук В.А., Мухля А.Д.
Научный руководитель – Григорьев С.В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Для определения характеристик микрофильтрационных мембран используются следующие методы: сканирующая электронная микроскопия; метод точки пузырька; ртутная (интрузионная) порометрия; измерения проницаемости. Три первых метода состоят в определении морфологических или структурных параметров, последний является способом определения характеристик массопереноса.

В методе пузырька измеряется давление, необходимое для проскока воздуха через мембрану, заполненную водой. Верхняя часть фильтра находится в контакте с водой, нижняя часть контактирует с воздухом и при постепенном увеличении давления воздух проскакивает через мембрану. Соотношение между давлением и радиусом пор задается уравнением Лапласа:

$$P_{\text{кап}} = (2 \cdot \sigma \cdot \cos\theta) / r, \quad (1)$$

где $P_{\text{кап}}$ – капиллярное давление;
 r – радиус поры, имеющей форму капилляра;
 σ – поверхностное натяжение;
 θ – краевой угол смачивания.

Пузырек воздуха будет проникать через пору при выполнении условия равенства радиуса пузырька радиусу поры. Этот метод можно использовать для измерения радиуса самых больших активных пор. Недостатком этого метода является несовпадение результатов измерения при использовании различных жидкостей. Скорость увеличения давления и длина пор также могут влиять на результаты измерения. Метод ртутной порометрии и метод проницаемости являются разновидностями метода пузырька. В первом случае ртуть продавливают в сухую мембрану, причем объем ртути определяется величиной приложенного давления. Здесь связь между давлением и размером поры выражается уравнением Лапласа. Вследствие несмачиваемости мембраны ртутью ($>90^\circ$ и \cos принимает отрицательное значение), формула (1) принимает вид:

$$P = - (2 \cdot \sigma \cdot \cos\theta) / r \quad (2)$$

Контактный угол ртути на полимерных материалах обычно равен $141,3^\circ$, поверхностное натяжение 480 мН/м и тогда (2) будет:

$$P = 4792 / r, \quad (3)$$

где r – выражается в нм, а P – в барах.

С помощью ртутной порометрии можно определить как размер пор, так и распределение пор по размерам. Недостатком метода является высокая стоимость оборудования. Дру-