

УДК 621.762

## РАЗРАБОТКА МНОГОСЛОЙНЫХ РЕГЕНЕРИРУЕМЫХ ФИЛЬТРОЭЛЕМЕНТОВ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

Петюшик Е.Е., Азаров С.М., Макарчук Д.В.

*Белорусский национальный технический университет*

*Минск, Беларусь*

Проблема очистки жидкостей и газов от механических примесей актуальна в различных областях техники и жизнедеятельности человека. Особую задачу представляет вызванная ухудшением экологической обстановки необходимость очистки питьевой воды. Различные системы очистки воды жилых домов, коттеджей, детских и здравоохранительных учреждений, пунктов питания, пищевых предприятий используют соответственно различные по конструкции фильтроэлементы из широкого круга материалов, в том числе порошковых (от керамики и металла до различного рода полимеров и других органических материалов).

Однако разнообразие применяемых устройств и материалов не в состоянии удовлетворить все требования потребителей по ряду параметров, особенно при необходимости очистки большого количества воды. Так, практически отсутствуют приемлемые решения по очистке воды от примесей растворенного железа до уровня ПДК, бактериологических загрязнений, солей тяжелых металлов и т.д. на производительность свыше  $2 \text{ м}^3/\text{час}$  и ресурсом работы  $1000\text{--}1500 \text{ м}^3$ . Это определяет потребность в разработке как новых фильтрующих устройств, так и эффективных фильтрующих элементов и технологии их производства.

Как следствие требований, предъявляемых к эксплуатационным свойствам фильтроэлементов, при разработке их конструкций ставятся задачи совмещения в одном изделии взаимно противоположных свойств: высокой производительности и минимальных размеров, высокой проницаемости и малого размера пор, высокой пористости и высокой прочности, достаточной грязеемкости и возможности регенерации.

Производительность фильтрующего элемента лимитируется площадью его рабочей поверхности и проницаемостью. Площадь рабочей поверхности может быть увеличена за счет ее усложнения при сохранении габаритных размеров элемента [1]. Повышение проницаемости достигается либо увеличением открытой пористости и размера пор, либо снижением гидравлического сопротивления материала за счет уменьшения извилистости пор и шероховатости их поверхности [2], а также толщины стенки фильтроэлемента.

Увеличение размера пор приводит к снижению тонкости очистки, что часто неприемлемо. Извилистость пор уменьшают упорядочением структуры материала, что для порошковых материалов весьма проблематично. Уменьшение толщины стенки снижает прочность и грязеемкость фильтроэлемента. Уменьшение шероховатости поверхности пор возможно при использовании порошков с формой частиц, приближающейся к сферической, что не всегда целесообразно из соображений минимизации стоимости самого материала порошка и технологии изготовления фильтрующего элемента. Прочностные свойства фильтрующего элемента определяются каркасными характеристиками, главным образом – плотностью, качеством межчастичных контактов, физико-механическими свойствами материала порошка, размерами элемента. Уменьшение плотности, как и утонение стенки, приводит к снижению прочностных свойств элемента. Кроме того, предельная пористость порошковых изделий в значительной степени определяется технологической операцией прессования и, обычно, не превышает 50–55% из условия прочности прессовки после процесса прессования. Грязеемкость фильтрующего элемента зависит от объема материала элемента. Для обеспечения высокой грязеемкости требуется использовать относительно массивные изделия, что увеличивает их материалоемкость и затрудняет процесс регенерации.

Анализ указанных противоречий позволил сформулировать основные требования к вновь проектируемым фильтрующим элементам и определить возможные пути их конструктивной реализации.

1. Увеличение рабочей поверхности за счет ее усложнения. Для ряда материалов технические решения такого усложнения известны (гофрирование, сборные конструкции порошковых изделий и т.п.). Более технологичным представляется изготовление цельных элементов сложной формы из порошковых материалов [3].

2. Обеспечение требуемой тонкости очистки посредством управления размером пор при изготовлении. Реализуется использованием порошков различных фракций с узким диапазоном разброса размеров частиц.

3. Увеличение проницаемости за счет минимизации толщины фильтрующего слоя. Требование очевидно, но предполагает существование каких-либо дополнительных конструктивных элементов для обеспечения прочности и жесткости.

4. Обеспечение требуемой прочности элемента. Возможно при изготовлении его многослойным, когда функции фильтрования выполняет один или несколько фильтрующих слоев, а прочность обеспечивается специальным слоем – каркасным, не снижающим проницаемость фильтрующего элемента в целом за счет большего размера пор.

5. Увеличение жесткости элемента выбором оптимальной геометрической формы поверхности, которая лимитируется и технологическими ограничениями в процессе его формообразования (прессования). Осевая жесткость может быть обеспечена наличием продольных ребер, а радиальная — цилиндрической поверхностью.

6. Обеспечение значительной грязеемкости фильтрующего элемента. Возможно за счет массивного крупнопористого слоя подложки.

7. Создание благоприятных предпосылок для регенерации элемента. В однородных пористых материалах сквозная пора схематично может быть представлена в виде извилистого канала относительно постоянного сечения. В многослойных материалах при закономерном уменьшении размера пор от слоя к слою сечение канала соответственно уменьшается. При направлении регенерирующего потока жидкости (газа) в сторону увеличения сечения пор процесс регенерации облегчается.

На основе изложенных выше представлений разработана конструкция эффективного многослойного фильтрующего элемента (рис. 1), технология его изготовления из порошков титана и фарфора и оригинальный деформирующий инструмент [4].

Фильтрующий элемент содержит внутренний (каркасный) слой 1, имеющий наибольший средний размер пор, причем внутренняя поверхность А этого слоя выполнена цилиндрической, а наружная В — ребристой с произвольной формой профиля ребра,  $m$  промежуточных фильтрующих слоев 2, 3, и мембранный слой 4, имеющих постоянную толщину, уменьшающуюся от слоя к слою. Средний размер пор и толщина каждого последующего слоя, начиная от каркасного, на порядок меньше среднего размера пор и толщины предыдущего слоя.

В качестве лимитирующего сечения каркасного слоя 1 принимается сумма площадей  $F_k$ . Если количество ребер каркасного слоя  $n$ , то площадь  $\sum_n F_k$  при толщине слоя  $h_1$  должна обеспечивать расход фильтрата не меньший, чем расход, обеспечиваемый наименее проницаемым из остальных слоев (наружным) через площадь  $\sum_n F$ . Для минимизации потерь давления фильтруемой среды, проходящей через фильтрующий элемент и рационального использования порошковых материалов при изготовлении фильтрующего элемента целесообразно выбирать толщину слоев  $h_1 > h_2 > h_3 > \dots > h_m$  таким образом, чтобы все слои, кроме каркасного слоя 1, обеспечивали приблизительно одинаковый расход.

Многослойные фильтроэлементы имеют в 3–5 раз большую производительность по сравнению с однородными при том же рабочем давлении и в 1,4–2,5 раза большую грязеемкость. В зависимости от требуемой тонкости

очистки число слоев может изменяться. Минимальное количество слоев — 2. С возрастанием требований к тонкости очистки количество слоев увеличивается и строго не регламентировано.

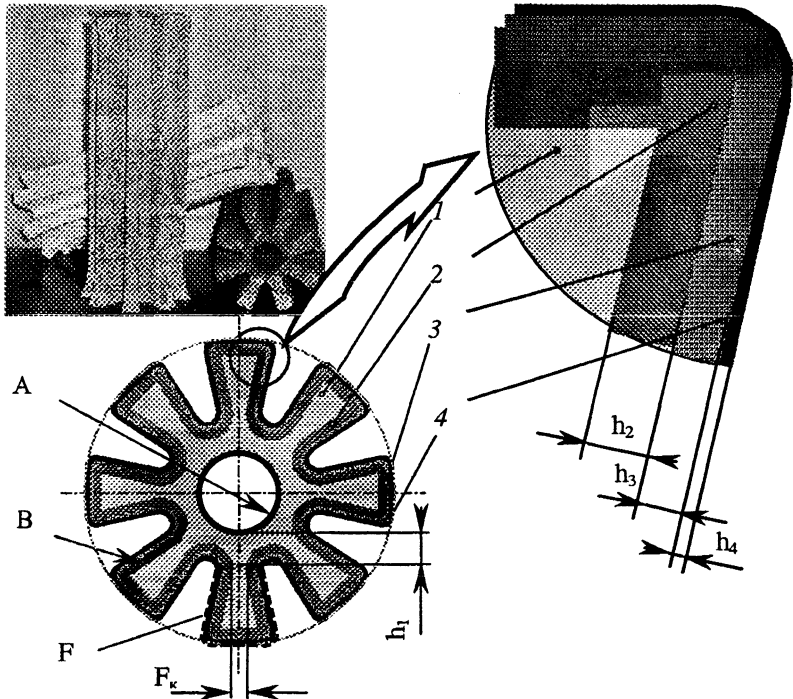


Рис. 1. Вид фильтрующих элементов и схема поперечного сечения

На рис. 2 представлена структура двухслойного фильтроэлемента, изготовленного из порошка фарфора. Каркасный слой имеет размер пор 100–150 мкм, фильтрующий слой — 3–10 мкм.

Каркасный слой, изготовленный способом сухого изостатического пресования, выполняет функцию накопителя загрязнений, несет основные монтажные и эксплуатационные нагрузки фильтрующего элемента, а также является подложкой для второго слоя. Большой размер пор каркасного слоя обеспечивает его высокую проницаемость при значительной толщине стенки. Значительный объем материала каркасного слоя способствует достаточ-

но высокой прочности всего фильтрующего элемента, что обеспечивает его работу при более высоких перепадах давления фильтруемой среды с соответствующим повышением производительности. Фильтрующий слой наносится на спеченный каркасный слой с использованием методов коллоидной химии с последующим спеканием. Он обеспечивает лишь требуемую тонкость очистки и не является несущим.

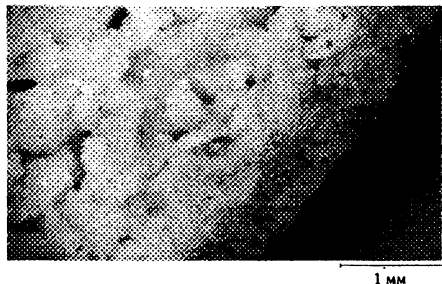


Рис. 2. Пористая структура 2-слойного фильтроэлемента

Использование таких фильтроэлементов позволяет приблизиться к решению проблемы сочетания качества очистки с достаточной производительностью и эффективной регенерацией.

#### Литература:

1. Оптимизация формы и размеров порошковых пористых изделий / Богинский Л.С., Петюшик Е.Е., Реут О.П., Куличенков В.П. // Порошковая металлургия, Киев, 1996, № 11-12, - С. 80-84.
2. Агте К., Оцетек К. Металлокерамические фильтры, их изготовление, свойства и применение. —Л.: Судпромгиз, 1959. — 136 с.
3. Theoretical and Technological Fundamentals of Pressing Porous Powder Articles of the Complex Shape / O. Reut, Y. Piatsiushyk, D. Makarchuk, A. Yakubouski. // 15 International Plansee Seminar, Austria, Reutte, 2001, V 3, P. 271–284.
4. Пат. 1 С1 ВУ, МПК<sup>6</sup> В 22F 3/02. Прессформа для прессования изделий из порошков / Петюшик Е.Е., Макаρχук Д.В. №4364; Заявл. 18.03.1999; Опубл. 30.06.2002 // Афіцыйны бюлетэнь / Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь.— 2002.— № 2 (33).— С. 46.