

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ И ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЫСОКОПОРИСТЫХ ФИЛЬТРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ИХ ДЕФОРМИРОВАНИИ

В. В. Самкевич

Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск

Научные руководители: В. М. Капцевич, Д. И. Кривальцевич

Выполнение одного из требований, предъявляемых к фильтрующим материалам (ФМ), а именно их высокая проницаемость при заданной тонкости фильтрации, может быть достигнуто за счет увеличения их пористости. К материалам, обладающим высокой пористостью, относятся эластичные и пластичные высокопористые ячеистые материалы (ВПЯМ), которые обладают трехмерной структурой с множеством взаимосвязанных ячеек. Каждая ячейка состоит из соединенных друг с другом ребер, образующих многогранный каркас. К таким материалам относятся пористые фторопласты, пенополиуретаны, пеноникель и др. Они обладают, как правило, следующими структурными и гидродинамическими свойствами: пористостью 94–98 %, размером пор 0,2–5 мм, коэффициентом проницаемости 10^{-6} – 10^{-10} м². Причем эти свойства одинаковы во всех направлениях, как в перпендикулярном направлении течения фильтруемой среды, так и в параллельном.

Однако специфические свойства некоторых ВПЯМ (эластичность и пластичность) можно использовать в качестве эффективного инструмента для целенаправленного воздействия на структурные и гидродинамические свойства. При деформировании ВПЯМ (упругом либо пластичном) происходит не только изменения формы и размеров, но и изменение структуры порового пространства. Деформирование позволяет создавать структуры, которые по сравнению с исходными обладают более широким спектром свойств, что расширяет возможности конструирования из них ФМ. Деформированный ВПЯМ становится анизотропным, т. е. его свойства, прежде всего размеры пор и коэффициент проницаемости, будут различными в разных направлениях.

Целью исследований является моделирование структурных и гидродинамических свойств ВПЯМ при их деформировании. Для этого рассматривались три возможные схемы деформирования ВПЯМ:

1. *Одноосное равномерное сжатие.* При такой схеме деформирования ВПЯМ следует ожидать существенного уменьшения размеров пор и коэффициента проницаемости в направлении перпендикулярном усилию сжатия и в меньшей степени уменьшение этих параметров в направлении параллельном усилию сжатия.

2. *Одноосное неравномерное сжатие.* При такой схеме деформирования как и в предыдущем способе будут существенно изменяться (уменьшаться) размеры пор и коэффициент проницаемости в направлении перпендикулярном усилию сжатия. Одновременно их значения можно плавно и целенаправленно уменьшать в этом направлении, изменяя степень сжатия в направлении перпендикулярном усилию сжатия.

3. *Одноосное равномерное растяжение.* В этом случае следует ожидать вытягивание ребер каркаса в направлении действия растягивающих сил, приводящих к изменению формы пор и уменьшению их размеров в направлении перпендикулярном направлению действия сил растяжения. Однозначного ответа на вопрос: как будет вести себя коэффициент проницаемости в данном случае – нет, так как с одной стороны площадь пор может возрастать, а их размер, характеризуемый минимальным диаметром вписанной во внутренний контур пор окружности, будет уменьшаться.

В направлении, совпадающем с направлением действия растягивающих сил размеры пор и коэффициент проницаемости будут изменяться незначительно.

Моделирование структуры реального пористого материала связано с выбором элементарных ячеек, симметричная упаковка которых позволяет заполнить все его пространство [1]. На практике для придания правдоподобия в гипотетическую модель стремятся ввести как можно больше геометрических элементов, имитирующих структуру реального пористого материала. Опыт моделирования таких материалов показал, что адекватные результаты могут быть получены при использовании достаточно простых моделей, определяемых небольшим числом структурных факторов [1].

Рассмотрим моделирование структуры и свойств ВПЯМ на примере эластичного пенополиуретана. В качестве модели для такого ВПЯМ была выбрана призматическая модель, представленная на рис. 1. Призматическая модель, на первый взгляд, мало похожа на реальную структуру, основным элементом которой является пентагондодекаэдр. Однако эта модель достаточно точно отражает основные закономерности, свойственные структуре ВПЯМ. К достоинствам данной модели относятся наглядность, простота инженерных расчетов и возможность определения на ее основе структурных и гидродинамических свойств при деформировании ВПЯМ, что позволяет учитывать возникающую при этом анизотропную структуру пор.

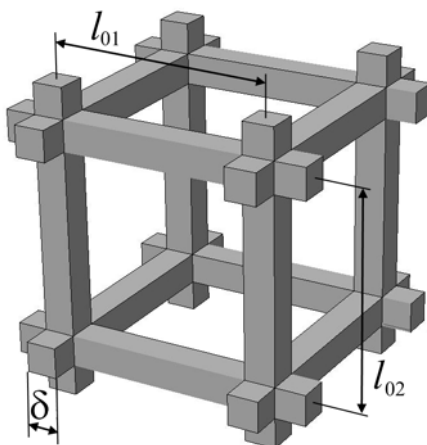


Рис. 2. Кубическая модель ячейки ВПЯМ

В качестве параметров модели выбран размер ячейки, который характеризуется шириной l_{01} , высотой l_{02} и шириной ребра δ . Принято, что в исходном состоянии $l_{02} = l_{01}$, а при деформировании (сжатии) длина ячейки l_{01} остается неизменной, ее высота l_{02} уменьшается пропорционально степени деформации ε :

$$l_{02} = (1 - \varepsilon)l_{01}. \quad (1)$$

Также для простоты дальнейших расчетов было введено следующее обозначение:

$$\beta_0 = \frac{\delta}{l_{01}}. \quad (2)$$

В выражении (2) величина β_0 является структурной характеристикой деформируемого ВПЯМ, которая, как показали экспериментальные исследования, для ВПЯМ пористостью 98 % равна 0,084 [1].

Размеры пор d_{Π} определяются минимальными диаметрами окружности, вписанными в сечения пор. Полагаем, что при сжатии размеры пор будут изменяться только в направлении, совпадающем с направлением сжатия.

Тогда размеры пор d_{Π} в направлении, перпендикулярном усилию сжатия

$$d_{\Pi} = l_{01}(1 - \varepsilon - \beta_0). \quad (3)$$

Также были получены формулы для определения пористости и вязкостного и инерционного коэффициентов проницаемости:

$$\Pi = 1 - \frac{\beta_0^2(3 - 2\beta_0)}{1 - \varepsilon}; \quad (4)$$

$$\frac{1}{k_{\mu}} = \frac{128\beta_0(1 - \varepsilon)}{l_{01}^2} \left[\frac{(2 - \varepsilon - 2\beta_0)^2}{4(1 - \beta_0)^3(1 - \varepsilon - \beta_0)^3} + \frac{4\beta_0(1 - \beta_0)}{(1 - \varepsilon - \beta_0^2)^3} \right]; \quad (5)$$

$$\frac{1}{k_p} = \frac{w}{2l_{01}} \frac{\beta_0^2}{(1 - \beta_0)^2} \left[(2 - \varepsilon - \beta_0)^2 + \frac{(1 - \varepsilon)^2(2 - \varepsilon - 2\beta_0)^2(1 - \beta_0)^2}{(1 - \varepsilon - \beta_0)^4(1 + \beta_0)^2} \right]. \quad (6)$$

Используя полученные зависимости структурных и гидродинамических свойств: пористости (4), размеров пор (3) и вязкостного коэффициента проницаемости (5), от параметров модели: ширины l_{01} , высоты l_{02} и размера тяжи δ произведены соответствующие расчеты и определены закономерности изменения этих свойств от степени деформации ε .

Полученные зависимости свидетельствуют, что сжатый с большей степенью материал с ячейками большего размера обладает при одних и тех же значениях размеров пор большей проницаемостью. Также установлено, что максимальная эффективность фильтрации достигается при степени деформации $\varepsilon=0,8$. При дальнейшем сжатии эффективность фильтрации через материал падает и его использование становится нецелесообразным.

Заключение. Оценка деформации значительно расширяет диапазон изменения структурных свойств (размер пор, пористость) ВПЯМ, а также гидродинамических параметров (коэффициент проницаемости). Показано, что такие материалы обладают высокой степенью анизотропии, что создает принципиально новые возможности при разработке конструкций фильтров для решения прикладных задач по очистке жидкостей и газов.

Литература

6. Леонов, А. Н. Пористые проницаемые материалы: теория проектирования изделий и технологий / А. Н. Леонов, М. М. Дечко, В. К. Шелег. – Минск : Тонпик, 2003. – 220 с.
7. Капцевич, В. М. Моделирование структуры и свойств анизотропного ячеистого фильтрующего материала / В. М. Капцевич [и др.] // Журнал «Инженерный Вестник». – 2007г. – № 1. – С. 22–26.