

УДК 669.01

**Капцевич В.М.**, доктор технических наук, профессор;

**Корнеева В.К.**, старший преподаватель;

**Богданович Т.А.**, студент

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,  
г. Минск, Республика Беларусь*

## **ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ФИЛЬТРУЮЩИМ МАТЕРИАЛАМ ПРИ ИХ ПРОЕКТИРОВАНИИ, ИЗГОТОВЛЕНИИ И ПРАКТИЧЕСКОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ**

***Аннотация.** В статье на основании литературных данных сформулированы требования, предъявляемые к фильтрующим материалам, выполнение которых на стадии проектирования позволит спрогнозировать структурные и гидродинамические свойства с оптимальным их сочетанием.*

Фильтрующие материалы (ФМ) относятся к классу пористых сред, характеризующихся наличием взаимосвязанной системы поровых каналов (пор). Процесс эксплуатации ФМ характеризуется наличием избыточного давления, прикладываемого к газу или жидкости, в результате чего последние, проходя по поровым каналам, очищаются, гомогенизируются, разделяются, смешиваются, распределяются (фильтры, смесители, глушители шума, аэраторы, огнепреградители и т. д.).

Одним из преимуществ порошковой металлургии является возможность изготовления ФМ, которые в зависимости от типа структурообразующих элементов и строения твердого каркаса можно разделить на три класса: порошковые (ПФМ), волоконные (ВФМ) и высокопористые ячеистые материалы (ВПЯМ).

Анализ многочисленных литературных источников [1 – 8] показывает, что основные требования, предъявляемые к ФМ при их разработке, изготовлении и практическом использовании сводятся к следующим.

1. ФМ должны обладать высокой проницаемостью (низким гидравлическим сопротивлением) при заданном размере пор и высокой тонкостью фильтрования. Очевидно, что чем выше проницаемость, тем более эффективно и рационально осуществляется исполь-

зование ФМ. В этом случае, например, при меньшей разности давлений может быть осуществлено пропускание необходимого количества фильтрата, возможно уменьшение габаритов ФМ, а, следовательно, снижение расхода материала на их изготовление, при сохранении тех же габаритов возрастает срок службы ФМ. Для оценки оптимального сочетания коэффициента проницаемости  $k$  и размеров пор  $d_{\text{п}}$  используется параметр эффективности  $E_1$  [1, 4, 6]:

$$E_1 = \sqrt{k}/d_{\text{п}}.$$

В последнее время для оценки эффективности начали широко использовать коэффициент  $E_1^2$ , названный безразмерной проницаемостью [9]:

$$E_1^2 = k/d_{\text{п}}^2.$$

Чем больше  $E_1$  и  $E_1^2$  ФМ, тем большей проницаемостью при заданной тонкости фильтрования они обладают, обеспечивая при одних и тех же габаритах ФМ более высокую производительность.

Повышение проницаемости ФМ авторы [7] связывают со снижением энергозатрат  $\Theta$  на проведение процесса фильтрования. Эти энергозатраты они характеризуют функцией, обратно пропорциональной коэффициенту проницаемости  $k$ :

$$\Theta = f(1/k). \quad (1)$$

Из выражения (1) следует: чем больше значение коэффициента проницаемости  $k$ , тем ниже энергозатраты  $\Theta$ .

2. При создании ФМ необходимо стремиться обеспечить равномерное распределение пор по всей поверхности фильтрования. Выполнение этого требования обеспечивает и гарантирует эффективное улавливание всеми порами частиц загрязнений требуемого размера, что повышает срок службы и грязеемкость ФМ. Авторы работы [4] непосредственно связывают равномерность порораспределения ФМ с его к.п.д.: чем выше равномерность порораспределения, тем выше к.п.д. ФМ. В работе [4] для оценки равномерности порораспределения предложен параметр

$$A = d_{\text{п ср}}/d_{\text{п max}},$$

где  $d_{\text{п ср}}$ ,  $d_{\text{п max}}$  – соответственно средний и максимальный диаметр пор.

3. ФМ должны обладать высокой задерживающей способностью, т. е. обеспечивать задержание большего количества загрязне-

ний при сохранении высокой производительности и длительности эксплуатации. Авторы [7] предлагают характеризовать задерживающую способность ФМ параметром  $E$ :

$$E = \frac{C_n - C_k}{C_n} = 1 - \frac{C_k}{C_n}, \quad (2)$$

где  $C_n$  и  $C_k$  — содержание частиц загрязнений в очищаемой среде до и после прохождения через ФМ.

Осаждение частиц в пористом теле описывается экспериментально установленной зависимостью Ивасаки [10]:

$$\frac{\partial C}{\partial x} = -\lambda C, \quad (3)$$

где  $C$  — концентрация частиц загрязнений,  $x$  — направление движения очищаемой жидкости или газа,  $\lambda$  — коэффициент фильтрования,  $\text{м}^{-1}$ .

Используя зависимость (3) уравнение (2) может быть представлено в виде

$$E = 1 - \exp(-\lambda x_0), \quad (4)$$

где  $x_0$  — толщина ФМ,  $\text{м}$ .

Воспользовавшись данными приведенными в работе [11] для расчета коэффициента  $\lambda$  можно прогнозировать задерживающую способность ФМ и рассчитывать параметр  $E$ ; который изменяется от 1 до 0. Чем больше  $E$ , тем большей задерживающей способностью обладает ФМ.

Помимо требований обладать высокой задерживающей способностью ФМ должны обладать высокой производительностью или низким гидравлическим сопротивлением.

Для оценки оптимального сочетания этих двух требований, которые находятся в противоположной зависимости друг от друга, авторы [12] предлагают использовать коэффициент  $EF$ , названный ими эффективностью фильтра:

$$EF = -\ln \frac{C_k}{C_n} / \frac{\Delta P}{v_{\text{ф}} \mu}, \quad (5)$$

где  $v_{\text{ф}}$  — скорость фильтрации,  $\mu$  — динамическая вязкость очищаемой жидкости.

Если воспользоваться законом Дарси, согласно которому

$$v_{\phi} = \frac{k \Delta P}{\mu x_0},$$

то

$$\frac{\Delta P}{v_{\phi} \mu} = \frac{x_0}{k}. \quad (6)$$

Если воспользоваться выражениями (4) и (6), то коэффициент  $EF$  можно представить в виде:

$$EF = \lambda k. \quad (7)$$

4. ФМ должны обладать большим ресурсом работы и высокой грязеемкостью, и при этом обеспечивать требуемую тонкость и полноту фильтрования в течение всего процесса эксплуатации.

5. ФМ после выработки ресурса работы должны обладать способностью к многократной регенерации, восстанавливая при этом свои структурные, гидродинамические и фильтрующие свойства, а в случае однократного использования — к полной утилизации.

6. ФМ должны обладать необходимой механической прочностью, в т. ч. при воздействии знакопеременных и вибрационных нагрузок и не снижать их во всем рабочем диапазоне температур и давлений.

7. ФМ должны обладать высокой химической стабильностью по отношению к очищаемой среде, исключаящей разрушающее воздействие жидкости или газа на ФМ и изменение свойств очищаемой среды при контактировании с ФМ.

8. ФМ должны обладать требуемыми технологическими свойствами, обеспечивающими способность к механической обработке, сварке, обработке давлением, герметизации и другим операциям, необходимым при изготовлении изделий из них.

9. ФМ должны иметь невысокую стоимость и изготавливаться из недефицитного сырья. Авторы [7] оценивают ФМ по их относительной стоимости. Для ее оценки ими использовалась балльная система от 1 до 10. За 1 балл относительной стоимости принята стоимость бумаги, а за 10 баллов — стоимость керамических пористых сред. К последним могут быть отнесены ФМ, получаемые методами порошковой металлургии.

#### Список использованных источников

1. Витязь, П.А. Пористые порошковые материалы и изделия из них / П.А. Витязь, В.М. Капцевич, В.К. Шелег. — Минск: Вышэй-

шая школа, 1987. – 164 с.

2. Белов, С.В. Пористые проницаемые материалы: справочник / С.В. Белов [и др.]. – Москва: Металлургия, 1987. – 333 с.

3. Витязь, П.А. Формирование структуры и свойств пористых порошковых материалов / П.А. Витязь [и др.]. – Москва: Металлургия, 1993. – 240 с.

4. Витязь, П.А. Фильтрующие материалы: свойства, области применения, технология изготовления / П.А. Витязь, В.М. Капцевич, Р.А. Кусин. – Минск: НИИ ПМ с ОП, 1999. – 304 с.

5. Hoffman, G. Eigenschaften und Anwendung Gesinterten, Korrosionsstandiger Filterwerkstoffe / G. Hoffman, L. Kapoor // Chemie-Ingenieur-Technic. – 1976. – №5. – P. 410-416.

6. Витязь, П.А. Эффективность спеченных проницаемых материалов различного назначения / П.А. Витязь, В.К. Шелег, В.М. Капцевич, В.М. Мазюк // Порошковая металлургия. – 1984. – Вып. 8. – С. 66-70.

7. Вегера, А.И. Сравнительный анализ отечественных и зарубежных фильтроматериалов / А.И. Вегера [и др.]. // Вести ПГУ, В – Прикладные науки. – Новополоцк: ПГУ, 2000. – С. 69-74.

8. Gregor, E.G. Filtration and Separation considerations in the selection of media for process application / E.G. Gregor // Advances in Filtration and Separation Technology. – Vol. 6. – 1992 – P. 29-33.

9. Stylianopoulos, T. Permeability calculations in three-dimensional isotropic and oriented fiber networks / T. Stylianopoulos T. [et al.]. // Physics of fluids. – 20. – 2008. – P. 123601-1-123601-10.

10. Iwasaki, T. Some notes on sand filtration / T. Iwasaki // Jour. AWWA. – 1937. – № 29. – P. 1591-1602.

11. Капцевич, В.М. Проницаемые материалы из металлических волокон: свойства, технологии изготовления, перспективы применения / В.М. Капцевич, А.Г. Косторнов, В.К. Корнеева, Р.А. Кусин. – Минск: БГАТУ, 2013. – 380 с.

12. Wang, Q. An Investigation of Aerosol Filtration via Fibrous Filters: diss. ... Doctor of Philosophy / Q. Wang. – Raleigh, North Carolina, 2007. – 181 p.

**Abstract.** In the article, based on the literature data, the requirements for filtering materials are designed, predictable, the structural and hydrodynamic properties with their optimal combination.