

## РАСЧЕТ ДВУХСЛОЙНЫХ ПРОНИЦАЕМЫХ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ С УЧЕТОМ ЗОНЫ ПЕРЕКРЫТИЯ

*Студент – Пыленок А.В., 17 рпт, 2 курс, ФТС  
Научный*

*руководитель – Кусин Р.А., к.т.н., доцент  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», г. Минск, Республика Беларусь*

Проницаемые порошковые материалы (ППМ) успешно применяются в агропромышленном комплексе для решения различных задач [1, 2]. Разработка ППМ с повышенными свойствами увеличивает эффективность их применения. В свою очередь прогнозирование свойств ППМ облегчает процесс разработки новых материалов.

Наиболее распространенными и эффективными способами повышения свойств проницаемых материалов на основе металлических порошков являются способы, направленные на создание градиентных структур, у которых размеры пор изменяются в направлении фильтрации [3]. Характерным представителем таких материалов являются двухслойные материалы, один слой у которых образован мелкодисперсными частицами и обеспечивает необходимую тонкость очистки, второй – крупнодисперсными частицами и обеспечивает достаточную прочность и повышенную проницаемость ППМ.

Однако, при получении двухслойных материалов путем совместного формования порошков разных фракций в области границы слоев более мелкие частицы порошка частично заполняют поровое пространство, образованное более крупными частицами, создавая, таким образом, промежуточный слой (зону перекрытия). Определим влияние зоны перекрытия на проницаемость двухслойных ППМ.

Для расчета проницаемости с учетом зоны перекрытия рассмотрим случай, когда пористый материал состоит из двух слоев и зоны перекрытия. Первый и второй слои образованы соответственно из частиц порошка с размерами  $D_1$  и  $D_2$ , причем  $D_1 > D_2$ . Зона перекрытия (условно ее можно считать третьим слоем), расположенная между первым и вторым слоями, состоит из частиц этих двух размеров, причем мелкие частицы с размерами  $D_2$  расположены в промежутках между крупными частицами с размером  $D_1$ . Обозначим через  $h_1$ ,  $h_{12}$  и  $h_2$  толщины первого слоя (подложки), переходного слоя (зоны перекрытия) и второго слоя (из

мелкодисперсного порошка), а через  $Q$  – расход фильтруемой среды через ППМ в единицу времени.

Рассматривая течение газа или жидкости через весь материал, на основании закона Дарси [4] можно записать:

$$Q = \frac{k\Delta p}{\mu h} S, \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент проницаемости;  $\Delta p$  – перепад давления на ППМ;  $S$  – площадь фильтрации;  $\mu$  – вязкость фильтруемой среды;  $h$  – толщина ППМ.

Для каждого слоя в отдельности выражение (1) можно записать следующим образом:

$$Q_1 = \frac{k_1\Delta p_1}{\mu h_1} S; \quad Q_{12} = \frac{k_{12}\Delta p_{12}}{\mu h_{12}} S; \quad Q_2 = \frac{k_2\Delta p_2}{\mu h_2} S \quad (2)$$

где  $\Delta p_1$ ,  $\Delta p_{12}$ ,  $\Delta p_2$ , – соответственно перепады давления на каждом из слоев с толщинами  $h_1$ ,  $h_{12}$ ,  $h_2$ ;  $S$  – площадь фильтрации всех слоев (первого слоя – подложки; промежуточного слоя – зоны перекрытия и второго слоя – из мелкодисперсного порошка).

Очевидно, потоки фильтруемой среды, проходящие через весь материал  $Q$  и через каждый слой в отдельности  $Q_1$ ,  $Q_{12}$ ,  $Q_2$ , равны между собой:

$$Q = Q_1 = Q_{12} = Q_2, \quad (3)$$

а перепад давления на ППМ и его толщина составляют:

$$\Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_{12} + \Delta p_2, \quad (4)$$

$$h = h_1 + h_{12} + h_2. \quad (5)$$

На основании (1, 2) с учетом (3–5) можно получить следующие уравнения:

$$\frac{\Delta p_1}{\Delta p} = \frac{kh_1}{k_1h}; \quad \frac{\Delta p_{12}}{\Delta p} = \frac{kh_{12}}{k_{12}h}; \quad \frac{\Delta p_2}{\Delta p} = \frac{kh_2}{k_2h}. \quad (6)$$

Суммируя левые и правые части уравнений (6), получаем выражение для расчета  $k$ :

$$1 = \frac{kh_1}{k_1h} + \frac{kh_{12}}{k_{12}h} + \frac{kh_2}{k_2h}, \quad (7)$$

откуда:

$$k = \frac{h}{\frac{h_1}{k_1} + \frac{h_{12}}{k_{12}} + \frac{h_2}{k_2}} \quad (8)$$

Для определения коэффициента проницаемости в зоне перекрытия воспользуемся следующими соображениями. Из процесса фильтрации этого слоя исключены участки поверхности, блокированные крупными частицами с размерами  $D_1$ , в связи с чем его пропускная способность определяется областями порового пространства подложки, заполненного мелкодисперсным порошком, с площадью  $S_{12} < S$ . Соответственно, коэффициент проницаемости этих областей можно принять равным  $k_2$ .

Тогда на основании условия неразрывности потока (3) величину  $Q_{12}$  можно представить в виде:

$$Q_{12} = \frac{k_2 \Delta p_{12}}{\mu h_{12}} S_{12}. \quad (9)$$

Приравняв правые части выражения для зоны перекрытия (2) и выражения (9) друг к другу, получим:

$$k_{12} = k_2 \frac{S_{12}}{S}. \quad (10)$$

Для расчета величины  $S/S_{12}$  воспользуемся моделью элементарной ячейки рассмотренной в [4]. Тогда величина  $S_{12}$  в пределах такой ячейки изменяется от минимального значения равного:

$$S_{12 \min} = D_1^2 - \frac{\pi}{4} D_1^2, \quad (11)$$

до максимального значения:

$$S_{12 \max} = D_1^2. \quad (12)$$

Для расчета  $S_{12}$  возьмем среднее значение этой величины:

$$S_{12 \text{cp}} = D_1^2 - \frac{\pi}{8} D_1^2. \quad (13)$$

Если учесть, что:

$$S = D_1^2, \quad (14)$$

то:

$$\frac{S}{S_{12}} = \frac{1}{1 - \frac{\pi}{8}}. \quad (15)$$

Полученные выражения (7), (10) и (11) позволяют рассчитать коэффициент проницаемости двухслойного ППМ с учетом зоны перекрытия между слоями, зная значения коэффициентов проницаемости подложки и мелкодисперсного слоя.

#### Список использованных источников

1. Кусин, Р.А. Применение пористых порошковых материалов в качестве распределителей газовых потоков на предприятиях АПК / Р.А. Кусин [и др.] //

Материалы Международной научно-практической конференции: Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в АПК, 7–8 июня 2017 г., Минск. – Минск, БГАТУ, 2017. – С. 91–96.

2. Ильюшенко, А.Ф. Современные материалы в сельскохозяйственном машиностроении / А.Ф. Ильюшенко [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2009. – 256 с.

3. Витязь, П.А. Пористые порошковые материалы: история создания, современное состояние и перспективные разработки / П.А. Витязь // 50 лет порошковой металлургии Беларуси. История, достижения, перспективы: ред. кол.: А.Ф. Ильюшенко [и др.]. – Минск: ГНПО ПМ, 2010. – с. 251–320.

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.

УДК 621.762

## **ПОВЫШЕНИЕ МЕЖРЕГЕНЕРАЦИОННОГО ЦИКЛА ФИЛЬТРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ФИЛЬТРАЦИИ СУСПЕНЗИЙ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ АПК**

*Студент – Сапотько А.С., 16 рпт, 3 курс, ФТС  
Научный*

*руководитель – Кусин Р.А., к.т.н., доцент  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», г. Минск, Республика Беларусь*

Порошковые фильтрующие материалы (ПФМ) в процессе эксплуатации загрязняются оседающими на поверхности и в порах частицами, что с течением времени приводит к уменьшению их фильтрующей способности. Выбор способа регенерации определяется условиями работы фильтра, а также химической природой фильтрующего материала и осаждаемого загрязнителя. Наиболее распространенными методами являются механические методы, осуществляемые с целью повышения межрегенерационного цикла фильтрующих элементов при фильтрации суспензий без разборки фильтров. В таких случаях эффективно механическое удаление (снятие) образовавшегося на поверхности слоя либо регенерация противодавлением.

В большинстве случаев механическое удаление слоя задержанных частиц, которые в ряде случаев могут быть целевым продуктом для дальнейшего использования (как, например, при отделении белка от сыворотки), с поверхности фильтроэлементов обеспечивается с помощью скребков различной конструкции [1-3]. Так, в фильтре для использования при переработке пищевых продуктов [2] расположена, по крайней мере, одна скребковая пластинка, которая скребет внутреннюю поверхность фильтрующей стенки. В фильтре [3] скребки установлены между всеми фильтрующими дисками. Однако приве-