

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПОРОВОЙ СТРУКТУРЫ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПРОНИЦАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

<sup>1</sup>Капцевич В.М., д.т.н., профессор; <sup>1</sup>Леонов А.Н., д.т.н., профессор;

<sup>1</sup>Корнеева В.К., ст. преподаватель; <sup>2</sup>Лисай Н.К., к.т.н., доцент;

<sup>1</sup>Дечко М.М., к.т.н., доцент; <sup>1</sup>Чугаев П.С., ассистент;

<sup>1</sup>Самкевич В.В., магистрант

<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск

<sup>2</sup>ДП «Мостовская сельхозтехника», г. Минск

Долговечность и надежность работы автотракторной и сельскохозяйственной техники во многом определяется качеством работы систем фильтрации, обеспечивающих функционирование силовых агрегатов в оптимальных режимах. Эффективность фильтрующих технологий зависит от оптимального выбора структурных параметров фильтрующих материалов (ФМ) и их распределения. За счет правильного выбора можно в несколько раз повысить производительность, грязеемкость и срок службы фильтров, что в конечном итоге приводит к снижению материальных и энергетических затрат.

Оптимизация поровой структуры композиционного пористого материала направлена на создание фильтрующего материала, удовлетворяющего следующим основным требованиям:

1. Фильтрующие материалы должны обладать высокой проницаемостью и при этом обеспечивать требуемую тонкость фильтрации. Очевидно, что чем выше проницаемость, тем более эффективно и рационально осуществляется использование ФМ. В этом случае, например, при меньшей разности давлений может быть осуществлено пропускание необходимого количества фильтрата, возможно уменьшение габаритов фильтрующих элементов (ФЭ), а, следовательно, снижение расхода материала на его изготовление, при сохранении тех же габаритов возрастает срок службы ФМ. Для оценки оптимального сочетания коэффициента проницаемости  $k$  и тонкости фильтрации  $a$  воспользуемся известным параметром эффективности  $E_1$  [1], изменив его следующим образом: вместо значения размера пор, входящего в выражение, будем подставлять значение тонкости фильтрации:

$$E_1 = \sqrt{k/a}.$$

2. ФМ кроме обеспечения требуемой тонкости фильтрации в течение всего процесса эксплуатации, должны обеспечивать требуемую полноту фильтрации. Полноту фильтрации многие авторы оценивают параметром  $E$ :

$$E = \frac{C_0 - C_k}{C_n},$$

где  $C_0$  и  $C_k$  — концентрация твердых частиц в пробах жидкости до и после прохождения через ФМ.

3. ФМ должны обладать высокой задерживающей способностью и грязеемкостью, т.е. обеспечивать задержание большого количества загрязнений при сохранении высокой производительности и длительности эксплуатации.

В полной мере удовлетворять этим требованиям могут материалы с анизотропной структурой пор, в частности, многослойные пористые композиты, в которых каждый слой выполнен из порошкового, волокнистого, сетчатого или ячеистого материала с отличающимися друг от друга структурными, а, следовательно, и гидродинамическими свойствами.

Рассмотрим технологию создания фильтрующего материала, удовлетворяющего выше перечисленным требованиям, на примере двухслойного порошкового материала, каждый слой которого выполнен из сферических частиц диаметром соответственно, причем  $D_1 > D_2$ . Общая толщина такого ФМ равна  $l$ , толщина первого слоя —  $x_0$ , и, соответственно второго —  $l - x_0$  (рис. 1).

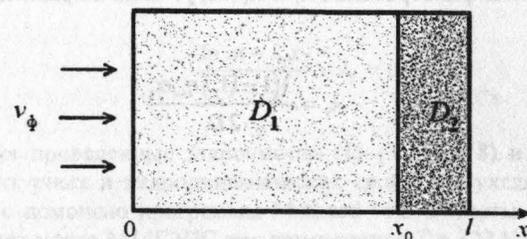


Рис. 1. Схема фильтрации в двухслойном композиционном ФМ

Коэффициент проницаемости такого двухслойного порошкового ФМ  $k_{\text{эф}}$  выражается через коэффициенты проницаемости первого  $k_1$  и второго  $k_2$  слоев следующим образом:

$$\frac{l}{k_{\text{эф}}} = \frac{x_0}{k_1} + \frac{l - x_0}{k_2}. \quad (1)$$

Для оценки коэффициентов проницаемости  $k_1$  и  $k_2$  воспользуемся известным выражением Козени, согласно которому:

$$k_1 = \frac{\Pi_1^3 D_1^2}{72 \xi_1 (1 - \Pi_1)}; \quad (2)$$

$$k_2 = \frac{\Pi_2^3 D_2^2}{72 \xi_2 (1 - \Pi_2)}, \quad (3)$$

где  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$  - пористость первого и второго слоя, соответственно;

$\xi_1$  и  $\xi_2$  — коэффициент извилистости пор первого и второго слоя, соответственно.

Процесс глубинного фильтрования, который должен обеспечить требуемую полноту фильтрования, т.е. уменьшение концентрации частиц загрязнителя с начального значения  $C_0$  на входе до значения  $C_x$  на выходе, описывается уравнением Ивасаки [2], решение которого для рассматриваемого нами двухслойного порошкового ФМ имеет вид:

$$C(x) = \begin{cases} C_0 e^{-\lambda_1 x}, & 0 \leq x \leq x_0; \\ C_1 e^{-\lambda_1 x_0 - \lambda_2 (x - x_0)}, & x_0 \leq x \leq l \end{cases}, \quad (4)$$

где  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  — соответственно коэффициенты фильтрования первого и второго слоя.

Коэффициенты фильтрования  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  могут быть выражены для первого слоя

$$\lambda_1 = \frac{3(1 - \Pi_1) \eta_{01} \alpha_1}{2D_1}, \quad (5)$$

и для второго —

$$\lambda_2 = \frac{3(1 - \Pi_2) \eta_{02} \alpha_2}{2D_2}, \quad (6)$$

где  $\eta_{01}$  и  $\eta_{02}$  — вероятность столкновения с частицами  $D_1$  и  $D_2$  первого и второго слоя соответственно;  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  — вероятность осаждения на частицах первого и второго слоя соответственно.

Если учесть, что основными механизмами осаждения при глубинном фильтровании являются диффузия, прямое столкновение, седиментация и инерция [3], то выражения для  $\eta_{01}$  и  $\eta_{02}$ , входящие в (5) и (6) можно записать в виде:

$$\eta_{01} = 0,9 \left( \frac{k_6 T}{\mu d D_1 v_\phi} \right)^{\frac{2}{3}} + \frac{3}{2} \left( \frac{d}{D_1} \right)^2 + \frac{(\rho_\tau - \rho_\kappa) d^2 g}{18 \mu v_\phi} + \frac{\rho_\tau d^2 v_\phi}{18 \mu D_1}; \quad (7)$$

$$\eta_{02} = 0,9 \left( \frac{k_6 T}{\mu d D_2 v_\phi} \right)^{\frac{2}{3}} + \frac{3}{2} \left( \frac{d}{D_2} \right)^2 + \frac{(\rho_\tau - \rho_\kappa) d^2 g}{18 \mu v_\phi} + \frac{\rho_\tau d^2 v_\phi}{18 \mu D_2}, \quad (8)$$

где  $k_6$  - постоянная Больцмана, равная  $1,3804 \cdot 10^{-23}$ , Дж/К;  $T$  - абсолютная температура, К;  $\mu$  - динамическая вязкость очищаемой жидкости, Па·с;  $v_\phi$  - скорость фильтрования, м/с;  $\rho_\tau$  и  $\rho_\kappa$  - соответственно плотность частиц загрязнений и очищаемой жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $d$  - размер частиц загрязнений, м.

Проинтегрируем уравнение (4), полагая, что при  $x = l$ ,  $C(x) = C_x$ . Тогда

$$\ln \frac{C_0}{C_x} = \lambda_1 x_0 - \lambda_2 (l - x_0). \quad (9)$$

Введя обозначение  $C_0/C_x = m$ , характеризующее степень очистки, запишем уравнение (9) в виде:

$$\frac{\ln m - \lambda_1 x_0}{l - x_0} - \lambda_2 = 0. \quad (10)$$

Используя приведенные зависимости (1)–(3), (5)–(8) и (10) проведем расчет структурных и гидродинамических свойств двухслойного порошкового ФМ с помощью программы Mathcad 14.0. Расчеты производились для моторного масла М14Г2ЦС при температуре  $T = 323$  К ( $\rho_\kappa = 882$  кг/м<sup>3</sup>,  $\mu = 0,075$  Па·с). Диаметр частиц порошка первого слоя  $D_1 = n \cdot d$  (где  $n = 5$ ); скорость фильтрования  $v_\phi = 0,01$  м/с; размеры частиц загрязнений  $\text{SiO}_2$  ( $\rho_\tau = 2650$  кг/м<sup>3</sup>)  $d = 3 \cdot 10^{-5}$  м, а их начальная концентрация —  $C_0 = 10^{-2}$ , степень очистки  $m = 50$ ; пористость  $\Pi_1 = \Pi_2 = 0,4$ ; вероятность осаждения  $\alpha_1 = \alpha_2 = 0,75$ ; коэффициент извилистости пор  $\xi = 1,6$ .

С помощью программы Mathcad 14.0 из уравнения (10) для различных значений  $D_1$  и  $x_0$  определяли соответствующие им значения  $D_2$ , а затем, зная значения  $D_1$  и  $D_2$ , по формулам (1)–(3) рассчитывали значения коэф-

фициента проницаемости  $k_{\phi}$  двухслойного порошкового ФМ. Полученные расчетные значения  $D_2$  и  $k_{\phi}$  графически представлены в виде изолиний в координатах  $D_1, x_0$  на рисунках 2 и 3 соответственно.

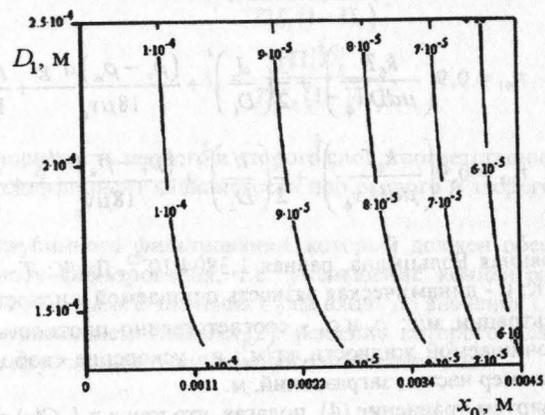


Рис. 2. Зависимость диаметра частиц второго слоя  $D_2$  двухслойного порошкового ФМ от диаметра частиц  $D_1$  и толщины  $x_0$  первого слоя

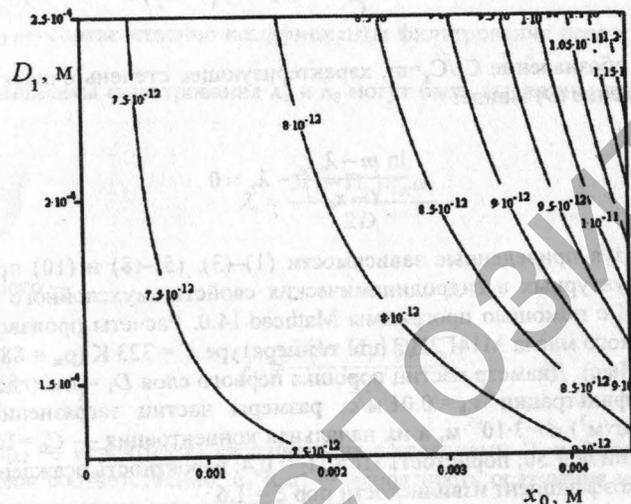


Рис. 3. Зависимость коэффициента проницаемости  $k_{\phi}$  двухслойного порошкового ФМ от диаметра частиц  $D_1$  и толщины  $x_0$  первого слоя

Проведенные расчеты и представленные графические зависимости позволяют прогнозировать структурные характеристики двухслойного порошкового ФМ, обеспечивающего требуемую полноту фильтрации и обладающего высокой проницаемостью.

1. 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.
2. Iwasaki, T. Some notes on sand filtration / T. Iwasaki // Jour. AWWA. – 1937. – № 29. – P. 1591–1602.
3. Yao, K. Water and Waste Water Filtration: Concepts and Application / K. Yao [et al.]. // Environmental Science and Technology. – 1971. – Vol. 5. – № 12. – P. 1105–1112.

УДК 621.793

## УПРОЧНЕНИЕ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ

*Акулович Л.М., д.т.н., профессор; Миранович А.В., инженер;  
Внучко М.М., студент*

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

Для повышения износостойкости посадочных поверхностей деталей автотракторной техники и рабочих органов сельскохозяйственных машин применяют методы упрочнения, использующие высокоинтенсивные источники энергии (плазменная, индукционная, лазерная наплавки и др.). К ним относится и наплавка в электрическом и магнитном полях [1].

Известно несколько технологических схем нанесения ферропорошка в электромагнитном поле на плоские поверхности деталей машин [2]. При осуществлении наплавки по первой схеме (рис. 1, а) в рабочей зазор вводится ферропорошок в составе смазочно-охлаждающей жидкости, а по второй (рис. 1, б) – в составе пасты (смесь эпоксидной смолы и жидкого стекла). Оба варианта имеют свои преимущества и недостатки. Так, применение первой схемы приводит к уменьшению коэффициента использования ферропорошка (0,65 – 0,80), так как зерна порошка при нанесении покрытий выбрасываются из рабочей зоны в результате действия гидродинамических сил при электрических разрядах. При этом значительно уменьшается тепловая нагрузка на полюсный наконечник, благодаря чему облегчаются условия (устойчивость, стабильность процесса наплавки) и ресурс работы. В случае использования второй схемы требуется строго дозированная подача ферропорошка и пасты, что усложняет процесс нане-