

Выводы. На примере сетчатого пакета из трех сеток, повернутых на заданные углы, показана возможность оценки изменения сквозного порораспределения многослойных сетчатых материалов, что позволило прогнозировать изменение производительности фильтрования и тонкости очистки фильтров из таких материалов.

Список использованной литературы

1. Капцевич, В.М. Очистка и регенерация смазочных материалов в условиях сельскохозяйственного производства: монография / В.М. Капцевич [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2007. – 232 с.
2. Капцевич, В.М. Искрогасители для сельскохозяйственной техники / В. М. Капцевич [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2017. – 153 с.
3. Синельников, Ю.И. Пористые сетчатые материалы / Ю.И. Синельников [и др.]. – М.: Металлургия, 1983. – 64 с.
4. Брай, И.В. Фильтры тонкой очистки дизельного топлива / И.В. Брай, Ю.А. Кудинов, И.Ю. Белявский. – М.: Машгиз, 1963. – 128 с.
5. Hutten, I.M. Handbook of Nonwoven Filter Media / I.M. Hutten. – Elsevier Science, 2007. – 496 p.
6. Wakeman, R.J. Filtration: Equipment Selection, Modeling and Process Simulation / R.J. Wakeman, E.S. Tarleton. – Elsevier Science, 1999. – 446 p.

Abstract. On the basis of computer simulation, it is shown that it is possible to estimate the change in the through pores distribution of multilayer mesh materials for various types of laying of grids.

УДК 621.899

Корнеева В.К., старший преподаватель;

Рыхлик А.Н., студент

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

**ОЦЕНКА ФИЛЬТРУЮЩИХ СВОЙСТВ ДВУХСЛОЙНЫХ
ФИЛЬТРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ
МЕДНЫХ КАБЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ МЕТОДОМ СУХОГО
ИЗОСТАТИЧЕСКОГО ПРЕССОВАНИЯ**

Аннотация. В работе представлены результаты расчетов степени очистки смазочных материалов при требуемой тонкости

фильтрация для двухслойных фильтрующих материалов, получаемых из медных кабельных отходов методом сухого изостатического прессования.

Актуальной проблемой повышения надежности и долговечности сельскохозяйственной техники является своевременная и качественная очистка смазочных материалов, т.к. наличие частиц загрязнений приводит к отказам, доля которых составляет от 60 % до 90 % [1-4].

Наиболее опасными частицами загрязнений, попадающими в смазочные материалы, являются частицы кварцевого песка – оксида кремния (SiO_2) с размерами до 100 мкм и более. Эти частицы имеют твердость 10000...13500 МПа, значительно превышающую твердость других частиц загрязнений и твердость деталей сельскохозяйственной техники [5]. С увеличением содержания оксидов кремния, попадающих в смазочные материалы из почвы, возрастает износ деталей. Так, например, при содержании в почве SiO_2 в количестве 95, 70 и 60 % средний износ гильз цилиндров двигателей через 256 ч работы составил соответственно 152, 93 и 72 мкм [5].

Установлено [3, 5, 6], что при одном и том же массовом количестве частиц загрязнений разных размеров, максимальный износ вызывают частицы размером от 15 до 40 мкм. Мелкие частицы размером 2 – 3 мкм находятся в смазочном материале во взвешенном состоянии, частично заполняют микровпадины на поверхностях трения, препятствуют непосредственному контакту сопрягаемых деталей и уменьшают износ их поверхностей. При увеличении размеров частиц от 3 – 5 до 15 – 40 мкм изнашивание, например, поршневых колец увеличивается в 2 – 4 раза. В то же время при увеличении размеров частиц свыше 40 мкм их изнашивание уменьшается, что объясняется фильтрующей способностью самого зазора, в который не попадают частицы, имеющие размер, превосходящий его величину.

Удаление частиц загрязнений из смазочных материалов можно осуществить фильтрованием с использованием фильтрующих материалов (ФМ), изготовленных методом порошковой металлургии.

В БГАТУ разработана технология изготовления многослойных ФМ из медных кабельных отходов (МКО) различных фракций ме-

тодом сухого изостатического прессования (СИП). Такие ФМ обладают повышенной проницаемостью, способностью работать в режиме глубинного фильтрования, обеспечивая при этом высокую грязеемкость и длительный срок службы, и могут быть использованы для очистки смазочных материалов.

Процесс получения многослойных ФМ методом СИП основан на засыпке МКО заданного гранулометрического состава в кольцевой зазор между формообразующим металлическим стержнем диаметром D_0 и эластичной матрицей с внутренним диаметром D_m , прессовании под давлением, обеспечивающим получение прессовки требуемой плотности ρ_1 (пористости $1 - \rho_1$) диаметром D_1 , повторной засыпки МКО другого гранулометрического состава в кольцевой зазор между прессовкой диаметром D_1 и матрицей с внутренним диаметром D_m и повторного прессования с получением двухслойной прессовки с плотностью второго слоя ρ_2 (пористостью $1 - \rho_2$) (рисунок 1). Процесс дальнейшей засыпки МКО требуемого гранулометрического состава и последующего прессования может осуществляться многократно.

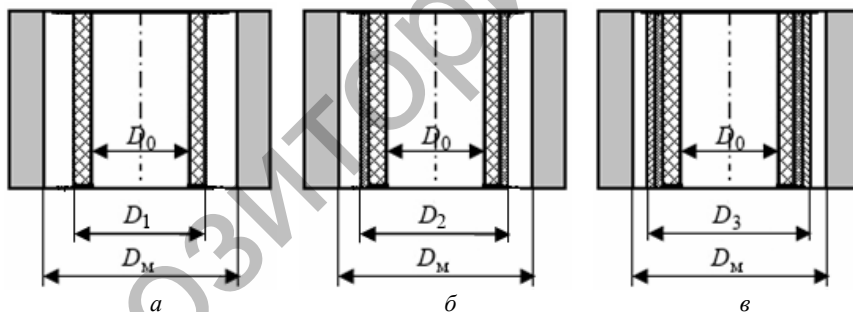


Рисунок 1 – Схема получения трехслойного ФМ: а – формирование первого слоя; б – формирование второго слоя; в – формирование третьего слоя

В процессе засыпки каждого слоя следует учитывать плотность укладки в кольцевой зазор, которая, как было установлено экспериментально [7], зависит как от размера зазора, так и от гранулометрического состава волокон. Плотность напрессованного слоя может быть определена из полученных ранее уравнений прессования [8].

Рассмотрим процесс изготовления многослойного ФМ. Пусть при прессовании первого слоя плотность укладки составляла $\rho_{\text{укл } 1}$, второго – $\rho_{\text{укл } 2}$, ..., n -го – $\rho_{\text{укл } n}$. Очевидно, что масса засыпанных МКО в кольцевой зазор равна массе прессовки. Тогда после прессования первого, второго, ..., n -го слоев равенство масс можно записать, соответственно:

$$\rho_{\text{укл } 1} V_{\text{укл } 1} = \rho_1 V_1, \rho_{\text{укл } 2} V_{\text{укл } 2} = \rho_2 V_2, \dots, \rho_{\text{укл } n} V_{\text{укл } n} = \rho_n V_n. \quad (1)$$

где $V_{\text{укл } 1}$, $V_{\text{укл } 2}$, ..., $V_{\text{укл } n}$ – объемы кольцевых зазоров первого, второго, ..., n -го слоев, соответственно; V_1 , V_2 , ..., V_n – объемы прессовок при прессовании первого, второго, ..., n -го слоев, соответственно.

Из равенства масс засыпки МКО и масс прессовки каждого слоя – выражение (1), рассчитав объемы кольцевых зазоров и объемы прессовок, можно определить наружные диаметры однослойных и многослойных ФМ:

для однослойного ФМ

$$D_1 = \sqrt{D_0^2 + \frac{\rho_{\text{укл } 1}}{\rho_1} (D_M^2 - D_0^2)}, \quad (2)$$

для двухслойного

$$D_2 = \sqrt{D_1^2 + \frac{\rho_{\text{укл } 2}}{\rho_2} (D_M^2 - D_1^2)}, \quad (3)$$

для n -слойного

$$D_n = \sqrt{D_{(n-1)}^2 + \frac{\rho_{\text{укл } n}}{\rho_n} (D_M^2 - D_{(n-1)}^2)}. \quad (4)$$

Полученные выражения (2) – (4) позволяют рассчитать наружные диаметры каждого напрессованного слоя.

Зная наружные диаметры D_1 , D_2 , ..., D_n можно рассчитать толщины напрессованных слоев h_1 , h_2 , ..., h_n и определить закономерности осаждения частиц загрязнений в многослойном ФМ и оценить степень очистки при заданной тонкости фильтрования.

Осаждение частиц в пористой среде описывается экспериментально установленной зависимостью Ивасаки [9]:

$$\frac{\partial C}{\partial x} = -\lambda C, \quad (5)$$

где C – объемная концентрация частиц загрязнений (C_0 – начальная концентрация, C_n – концентрация на выходе из ФМ); x – направление движения очищаемой жидкости, м; λ – коэффициент фильтрования, m^{-1} .

Коэффициент фильтрования λ для волоконных ФМ равен

$$\lambda_B = \frac{4(1-\Pi)\eta_0\alpha}{\pi D_B}, \quad (6)$$

где Π – пористость, η_0 – вероятность столкновения частиц загрязнений с пористым каркасом; α – вероятность осаждения, D_B – диаметр волокна.

При проведении теоретических расчетов авторы [10] принимают $\alpha = 1$, а при определении значений η_0 учитывают роль механизмов осаждения [10 – 14]:

$$\eta_0 = \eta_{\text{пр ст}} + \eta_{\text{ин}} + \eta_{\text{сед}} + \eta_{\text{диф}}, \quad (7)$$

где $\eta_{\text{пр ст}}$, $\eta_{\text{ин}}$, $\eta_{\text{сед}}$, $\eta_{\text{диф}}$ – соответственно, вероятности столкновения под действиями механизмов прямого столкновения, инерции, седиментации и диффузии.

Для многослойного ФМ уравнение Ивасаки (5) имеет вид [15]

$$C = C(x) = \begin{cases} C_0 e^{-\lambda_1(x-x_0)}, & x_0 \leq x \leq x_1; \\ C_1 e^{-\lambda_2(x-x_1)}, & x_1 \leq x \leq x_2; \\ \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \\ C_{n-1} e^{-\lambda_n(x-x_{n-1})}, & x_{n-1} \leq x \leq x_n. \end{cases}, \quad (8)$$

где C_1, \dots, C_{n-1} – концентрация частиц загрязнений на выходе из первого, ..., $(n-1)$ -го слоев, соответственно; $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k, \dots, \lambda_n$ – коэффициент фильтрования первого, второго, ..., n -го слоев, соответственно.

Степень очистки ψ определяются выражением

$$\psi = 1 - C_n / C_0. \quad (9)$$

Рассмотрим процесс осаждения частиц загрязнений SiO_2 ($\rho_r = 2650 \text{ кг/м}^3$) размерами $d = 10, 20$ и 30 мкм в двухслойных ФМ, полученных методом СИП при давлении прессования P , равном 80 МПа , на примере очистки моторного масла М-10Г₂ ($\rho_{\text{ж}} = 850,82 \text{ кг/м}^3$, $\mu = 0,0119 \text{ Па}\cdot\text{с}$ при температуре $T = 373 \text{ К}$), скорость фильтрования $v_{\text{ф}} = 0,01 \text{ м/с}$. При проведении расчетов предполагали, что технологическая оснастка для прессования состоит из металлического формообразующего стержня диаметром $D_0 = 32 \text{ мм}$ и эластичной матрицы внутренним диаметром $D_{\text{м}} = 50 \text{ мм}$, а двухслойные ФМ изготовлены из МКО фракций $(-0,2\dots+0,1)$, $(-0,315\dots+0,2)$, $(-0,4\dots+0,315)$ и $(-0,63\dots+0,4) \text{ мм}$ с размерами волокон D , равными $100, 200, 300$ и 400 мкм соответственно.

Для проведения расчетов использовались ранее полученные экспериментальные данные для всех рассматриваемых фракций: плотность укладки $\rho_{\text{укл}}$ [7], плотность прессовки ρ [16].

Используя выражения (6) – (8) были определены закономерности осаждения частиц загрязнений в двухслойных ФМ следующих фракций МКО: при тонкости очистки $d = 10, 20$ и 30 мкм – $(-0,63\dots+0,4)$ и $(-0,4\dots+0,315)$, $(-0,63\dots+0,4)$ и $(-0,315\dots+0,2)$, $(-0,4\dots+0,315)$ и $(-0,315\dots+0,2) \text{ мм}$ (рисунок 2), а также при тонкости очистки $d = 10 \text{ мкм}$ – $(-0,4\dots+0,315)$ и $(-0,2\dots+0,1)$, $(-0,315\dots+0,2)$ и $(-0,2\dots+0,1) \text{ мм}$ (рисунок 3).

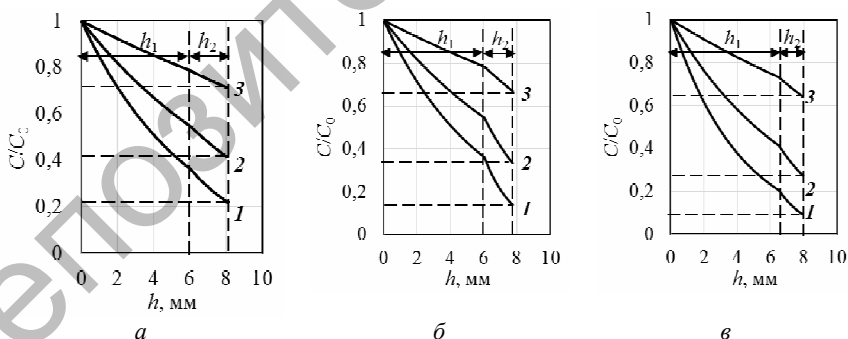


Рисунок 2 – Закономерности осаждения частиц загрязнений в двухслойных ФМ, получаемых методом СИП из МКО фракций: а – $(-0,63\dots+0,4)$ и $(-0,4\dots+0,315)$; б – $(-0,63\dots+0,4)$ и $(-0,315\dots+0,2)$; в – $(-0,4\dots+0,315)$ и $(-0,315\dots+0,2) \text{ мм}$ (при тонкости фильтрования d : 1 – 30 мкм ; 2 – 20 мкм ; 3 – 10 мкм)

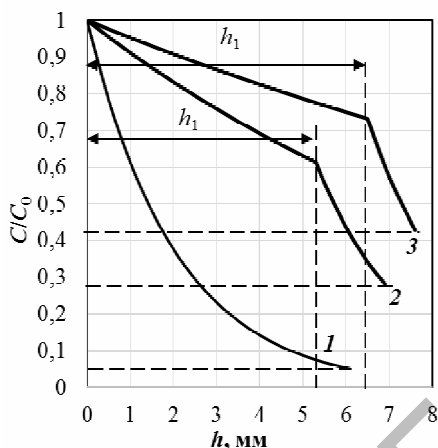


Рисунок 3 – Закономерности осаждения частиц загрязнений в однослойном ФМ фракции $(-0,2...+0,1)$ мм (1) и двухслойных ФМ фракций $(-0,4...+0,315)$ и $(-0,2...+0,1)$ мм (2), и $(-0,315...+0,2)$ и $(-0,2...+0,1)$ мм (3) при тонкости фильтрования $d = 10$ мкм

В таблице представлены результаты расчетов степени очистки ψ (9), концентрации загрязнений на выходе из ФМ C_n при требуемой тонкости фильтрования d для ФМ, получаемых из МКО методом СИП, различного фракционного состава с рассчитанными толщинами слоев h_1 и h_2 .

Таблица – Значения степени очистки при заданной тонкости фильтрования двухслойных ФМ, получаемых из МКО методом СИП

Фракционный состав ФМ, мм	h_1 , мм	h_2 , мм	d , мкм	C_n	ψ
$(-0,63...+0,4)$ $(-0,4...+0,315)$	6,1	2,0	30	0,220	0,78
			20	0,413	0,587
			10	0,711	0,289
$(-0,63...+0,4)$ $(-0,315...+0,2)$	6,1	1,7	30	0,140	0,86
			20	0,335	0,665
			10	0,671	0,329
$(-0,4...+0,315)$ $(-0,315...+0,2)$	6,5	1,4	30	0,091	0,909
			20	0,273	0,727
			10	0,641	0,359
$(-0,4...+0,315)$ $(-0,2...+0,1)$	6,5	1,1	10	0,428	0,572
$(-0,315...+0,2)$ $(-0,2...+0,1)$	5,3	1,6	10	0,281	0,719

Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что метод СИП позволяет изготавливать двухслойные ФМ из МКО различного фракционного состава. Однако использование таких ФМ, полученных методом СИП с применением традиционной оснастки, не позволяет достичь номинальной тонкости очистки $\psi_{\text{ном}} = 0,95$ моторного масла М-10Г₂: при тонкости фильтрования 30 мкм тонкость очистки ψ составляет 0,780–0,909; при тонкости фильтрования 20 мкм – 0,587–0,727; а при тонкости фильтрования 10 мкм – 0,289–0,719.

Список использованной литературы

1. Коваленко, В.П. Основы техники очистки жидкости от механических загрязнений / В.П. Коваленко, А.А. Ильинский. – Москва: Химия, 1982. – 277 с.
2. Григорьев, М.А. Очистка топлива в двигателях внутреннего сгорания / М.А. Григорьев, Г.В. Борисова. – Москва: Машиностроение, 1991. – 208 с.
3. Бродский, Г.С. Фильтры и системы фильтрации для мобильных машин / Г.С. Бродский. – Москва: «Журнал «Горная промышленность» Издатель НПК «ГЕМОС Лтд.», 2003. – 360 с.
4. Барышев, В.И. Повышение технического уровня и надежности гидропривода тракторов и сельхозмашин в эксплуатации: автореферат дисс. докт. техн. наук. / В.И. Барышев, МИИСП. – Москва, 1991. – 39 с.
5. Большаков, Г.Ф. Восстановление и контроль качества нефтепродуктов / Г.Ф. Большаков. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ленинград: Недра, 1982. – 350 с.
6. Коваленко, В.П. Загрязнения и очистка нефтяных масел / В.П. Коваленко. – Москва: Химия, 1978. – 304 с.
7. Капцевич, В.М. Особенности укладки медных волоконных отходов при засыпке в кольцевые зазоры при получении длинномерных фильтроэлементов методом СИП / В.М. Капцевич, В.К. Корнеева // Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка: матер. 12-й Междунар. науч.-техн. конф. (Минск, Беларусь, 25–27 мая 2016 г.). – Минск: Беларуская навука, 2016. – С. 81–84.

8. Ильющенко, А.Ф. Проницаемые материалы из медных кабельных отходов. Сообщение 2. Закономерности уплотнения медных волоконных отходов / А.Ф. Ильющенко, В.М. Капцевич, В.К. Корнеева // Порошковая металлургия: респ. межвед. сб. науч. тр. – Минск, 2013. – Вып. 36. – С. 250–256.

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

10. 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.

11. Huang, Ch. Mechanism of Particle Impaction and Filtration by the Dry Porous Metal Substrates of an Inertial Impactor / Ch.-Hs. Huang, Ch.-J. Tsai. // Aerosol Science and Technology. – 2003. – № 37. – P. 486–493.

12. 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.

13. Левич, В.Г. Физико-химическая гидродинамика / В.Г. Левич. – Москва: Государственное издательство физико-химической литературы, 1959. – 700 с.

14. Bliss, T. Suspended Solids Washing Overview / T. Bliss, M. Ostoja-Starzewski. // IPST Technical Paper Series Number 679. – 1997. – 13 p.

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

16. Ильющенко, А.Ф. Проницаемые материалы из медных кабельных отходов. Сообщение 3. Взаимосвязь структурных и гидродинамических свойств проницаемых материалов из медных волоконных отходов, полученных методом сухого изостатического пресования / А.Ф. Ильющенко, В.М. Капцевич, В.К. Корнеева // Порошковая металлургия: респ. межвед. сб. науч. тр. – Минск, 2014. – Вып. 37. – С. 121–126.

Abstract. The paper presents the results of calculations of the degree of cleaning of the lubricants at the required filtering fineness for the double-layer filter materials.