

ПОРОШКОВЫЕ ФИЛЬТРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ СМАЗОЧНЫХ МАСЕЛ

В.М. КАПЦЕВИЧ¹, Р.А. КУСИН², В.К. КОРНЕЕВА¹, Д.И. КРИВАЛЬЦЕВИЧ¹,
И.В. ЗАКРЕВСКИЙ¹, А.Р. КУСИН²

¹Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск, Республика Беларусь

²Институт порошковой металлургии, Минск, Республика Беларусь

Показана актуальность использования порошковых фильтрующих материалов для очистки смазочных масел. Представлены новые технологии получения порошковых фильтрующих материалов с анизотропной структурой пор. Приведены экспериментальные исследования, которые подтверждают эффективность их использования для очистки смазочных масел.

The urgency of use of powder filtering materials for clearing lubricant oils is shown. New technologies of reception of powder filtering materials with anisotropic structure of pores are presented. Experimental researches which confirm efficiency of their use for clearing lubricant oils are resulted.

Введение

Порошковые фильтрующие материалы (ПФМ) успешно применяются в сельском хозяйстве, машиностроении и медицине, электронной и химической промышленности, атомной энергетике и приборостроении. ПФМ по сравнению с существующими на органической (войлок, бумага, ткани, полимеры) и неорганической (керамика, асбест, стекло) основах характеризуются большой проницаемостью, устойчивостью к тепловым ударам, а самое главное, возможностью управления их свойствами в самых широких пределах. Они могут работать при высоких температурах, коррозионно-стойки и жаропрочны. Эти материалы выгодно отличаются простотой, экономичностью изготовления, возможностью многократного использования. В зависимости от характеристик исходного материала и технологии изготовления порошковые материалы, получаемые на основе порошков бронзы, меди, коррозионно-стойких сталей, никеля, титана, вольфрама, молибдена, обладают широким диапазоном свойств (пористость их составляет 20–60 %, размеры пор от 0,1 до 1000 мкм) [1].

Основная часть

Современный этап развития порошковой металлургии характеризуется процессом непрерывного обогащения ее новыми идеями получения ПФМ, удовлетворяющих требованиям, предъявляемым к ним. Однако решения этих задач методами порошковой металлургии ограничены, с одной стороны, технологическими возможностями известных приемов и методов получения ПФМ [2, 3, 4], а с другой — противоположной зависимостью ряда свойств от параметров изготовления [2, 5, 6].

Противоречивость предъявляемого к ПФМ требования иметь одновременно высокую проницаемость и тонкость фильтрования объясняется противоположной зависимостью этих характеристик от многих параметров, но в большей степени от размеров частиц порошка и пористости. Так, для получения ПФМ с высокой проницаемостью, их необходимо изготавливать из порошков с частицами большего размера, а это, в свою очередь, приводит к снижению других эксплуатационных характеристик, например, тонкости фильтрования. Поэтому в каждом конкретном случае останавливают выбор на таком способе, который позволяет получить требуемое сочетание этих свойств. В связи с этим целесообразно провести исследования потенциальных возможностей

различных методов получения ПФМ, удовлетворяющих этому требованию, в разрешении противоречия между рассматриваемыми свойствами высокой проницаемости и достижения высокой тонкости фильтрования.

Анализ известных способов получения ПФМ показывает, что имеется ряд технологических процессов и приемов, которые способствуют устранению в определенной степени указанного выше противоречия. В качестве примера приведем данные работы [7], согласно которым тонкость фильтрования 12 мкм может быть обеспечена, с одной стороны, ПФМ из порошка с размером частиц 280–360 мкм и пористостью 0,36, а с другой — из порошка 100–160 мкм с пористостью 0,55. Однако у последнего ПФМ проницаемость в 5 раз выше.

Одним из путей повышения свойств ПФМ является создание материалов с анизотропной структурой пор, обеспечивающих не поверхностное, а глубинное фильтрование. По данным различных исследований [8], 70–80 % загрязнений, задерживаемых фильтрующими элементами (ФЭ) с изотропной поровой структурой, удерживаются лишь поверхностным слоем, толщина которого составляет 2–4 % от общей его толщины, что вызывает резкое возрастание его сопротивления, а следовательно, и всего ФЭ в целом. Это, в свою очередь, приводит к быстрому выходу его из строя. Выполнение ФЭ с переменным порораспределением, у которого размеры пор уменьшаются в направлении фильтрации, приводит к более равномерному распределению загрязнителя по его объему, что увеличивает грязеемкость и срок его службы. Тонкость фильтрования у такого ПФМ соответствует слою с минимальными размерами пор, в то время как проницаемость является величиной интегральной и определяется структурой всего материала [2].

Использование методов, основанных на пластическом деформировании спеченных заготовок, позволяет получать ПФМ, у которых размер пор и пористость изменяются в направлении фильтрации. Так, при изгибе пористой пластины по цилиндрической поверхности [9, 10] в ее сечении возникают плавно изменяющиеся растягивающие и сжимающие окружные напряжения, обуславливающие изменение пористости и размеров пор по толщине образца. Этот метод используется для получения ФЭ цилиндрической формы (рис. 1), в том числе и крупногабаритных (рис. 2). Дальнейшее развитие этот метод получил в предложенном способе [11] изгиба пористой пластины

ю поверхности двойной кривизны, в частности, по сферической поверхности. В этом случае, в отличие от описанного выше изгиба по цилиндрической поверхности, обеспечивается возможность регулирования торораспределения в более широких пределах.

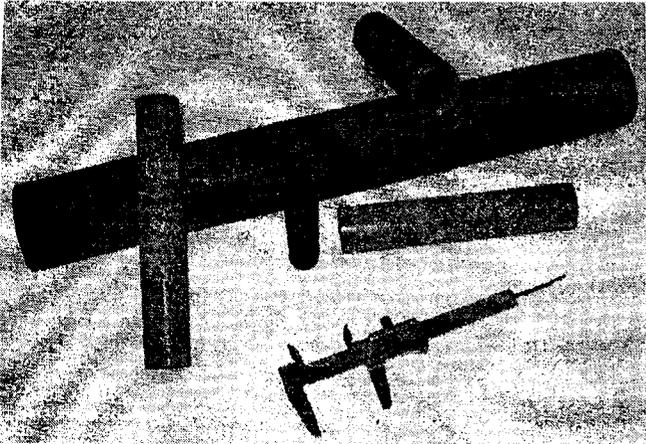


Рис. 1. Фильтрующие изделия цилиндрической формы

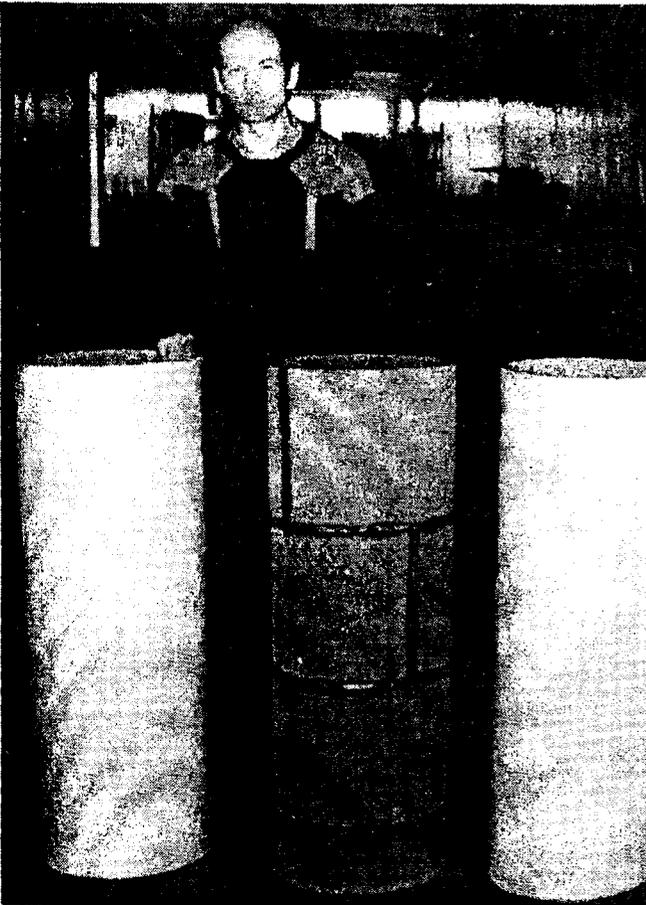


Рис. 2. Крупногабаритные фильтрующие элементы

Одним из наиболее распространенных ФЭ с неоднородной поровой структурой являются многослойные ПФМ, у которых каждый слой выполнен из порошков различного гранулометрического состава. Такие материалы имеют проницаемость, грязеемкость и срок службы намного выше по сравнению с однослойными [12]. Имеется много способов изготовления многослойных

материалов. Они различаются методом приложения давления, количеством прессуемых слоев, расположением слоев по отношению к оси прессования. Широко распространен способ послойной засыпки и последующего спекания. Двухслойная структура ПФМ, полученных этим методом, из сферического порошка оловянно-фосфористой бронзы представлена на рис. 3.

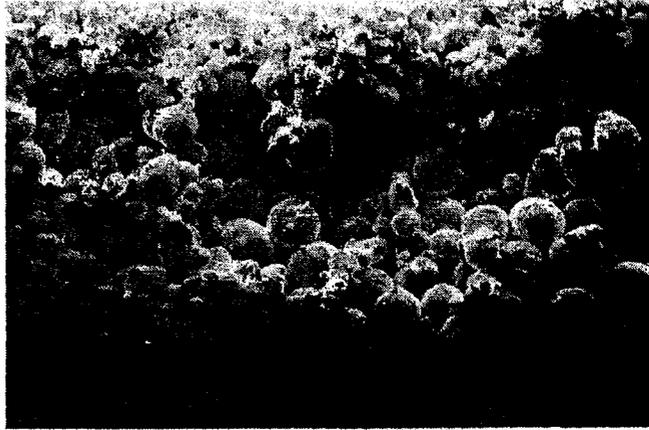


Рис. 3. Двухслойная структура ПФМ из сферического порошка оловянно-фосфористой бронзы

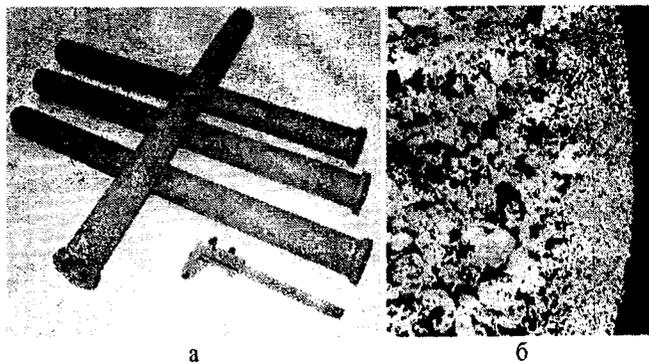


Рис. 4. Внешний вид (а) и микроструктура двухслойных титановых фильтрующих элементов (б), полученных методом сухого изостатического прессования

На рис. 4 приведены внешний вид и микроструктура двухслойных фильтрующих элементов, полученных методом сухого изостатического прессования. Данная технология позволяет получать многослойные ПФМ: прессование первого слоя порошка на оправку, затем напрессовка второго слоя на первый совместно с оправкой и т.д. Более тонкий слой из мелкого порошка, занимающий около 20 % общей толщины фильтра, гарантирует высокую тонкость фильтрования. При этом проницаемость фильтрующего элемента уменьшается примерно на 20 % по сравнению с проницаемостью фильтра с такой же толщиной стенки, но изготовленного из крупного порошка [13].

Одним из наиболее перспективных и легко управляемых способов получения ПФМ с плавно изменяющимися размерами пор в направлении фильтрации являются методы, основанные на достигаемом на этапе формования эффекте сегрегации частиц порошка по размерам в поле сил тяжести. Одним из эффективных и простых способов является способ вибрационного формования, основанный на создании эффекта сегрегации при наложении вибрационных колебаний с ускорением 9,8–19,6 м/с² и частот продольных колебаний 10–50 Гц [13]. Микроструктура ПФМ, полученных методом виброформования, представлена на рис. 5.

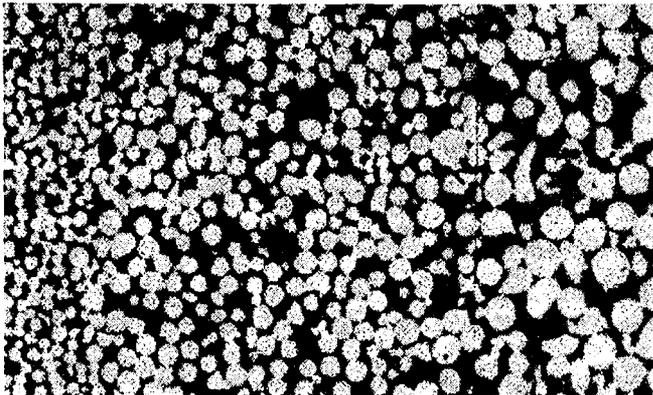


Рис. 5. Микроструктура ПФМ, полученных из полидисперсного порошка методом вибрационного формования

Особый интерес представляет применение ПФМ из порошков оловянно-фосфористой бронзы с анизотропной поровой структурой, выполненных методом вибрационного формования, в качестве фильтрующих элементов для очистки масла [14]. Известно, что до 60 % отказов в работе гидросистем вызвано наличием загрязнений в масляной системе. Испытания показали, что при уменьшении размеров частиц загрязнителя от 25 до 3 мкм долговечность гидросистем возрастает в 8 раз. Нерастворимые продукты загрязнения масла вызывают повышенный износ и задиры деталей, засоряют масляные каналы, ухудшают температурный режим и т.п. Поэтому качественная очистка рабочих жидкостей позволяет не только увеличить ресурс работы оборудования, но и его производительность. Характеристики такого фильтра для очистки масла приведены в табл. 1 [14].

Таблица 1. Технические характеристики фильтров для очистки масла

Тип фильтра	ФМ-1.20	ФМ-1.10
Тонкость очистки, мкм	20	10
Производительность, м ³ /ч	до 20	10
Перепад давления, МПа	0,6	
Поверхность фильтрации, м ²	1,24	1,24
Ресурс до регенерации (при тонкости очистки 20 мкм), ч	900	100
Материал фильтроэлементов	Порошок бронзы БрОФ 10-1	
Материал корпуса	Листовая сталь	
Габариты, мм:	диаметр	300
	высота	600

Преимущества перед аналогами: по сравнению с бумажными и картонными, тканями и войлоками – больший рабочий перепад и производительность, функция влагоотделения, многократная регенерируемость; по сравнению с сетками – лучшая тонкость очистки и полнота отсева.

Фильтры для очистки масла из ПФМ с анизотропной поровой структурой внедрены и широко используются на многих предприятиях Республики Беларусь: мотороремонтный завод (г. Береза, 1996 г.); ЗАО «Энергоспецтехника» (г. Минск, 1995–1997 гг.); ПО «Белтрансгаз» (г. Минск, 1997 г.); ОАО «Керамин» (г. Минск, 2001–2003 гг.); Мозырская ТЭЦ, Новолукомльская ГРЭС и др.

Выбор порошка бронзы связан с тем, что распыленные сферические порошки по сравнению с несферическими обеспечивают получение ПФМ с более высокими эксплуатационными свойствами.

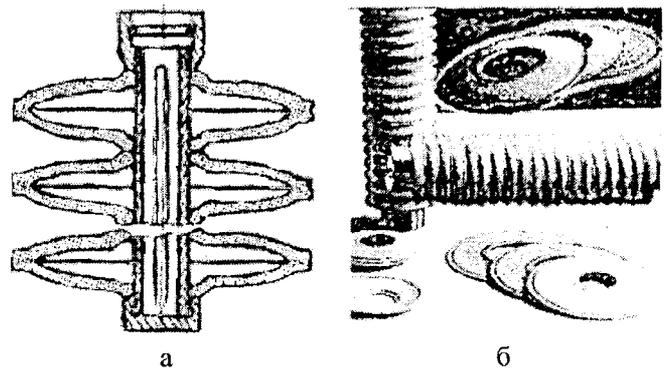


Рис. 6. Схема сборки (а) и внешний вид (б) тарельчатого фильтрующего элемента в сборе

ПФМ из порошков бронзы, полученные методом пластического деформирования со сферической поверхностью, были испытаны на Южном машиностроительном заводе (г. Днепропетровск), где определялась их работоспособность по сравнению с серийными сетчатыми и бумажными ФЭ, применяемыми для очистки рабочих жидкостей в гидросистемах тракторов марки ЮМЗ-6. Порошковые ФЭ (рис. 6) имели тонкость фильтрования соответственно 25, 40, 50 и 70 мкм и состояли из набора колец (40 шт.) тарельчатой формы толщиной 2,5 мм, наружным диаметром 61 мм, диаметром отверстия 24 мм и высотой 5 мм. Бумажные фильтрующие элементы (2 шт.) типа «Реготмас» с гофрированной фильтрующей поверхностью (ТУ 112-04-86) имели тонкость фильтрования 25–30 и 40 мкм. Сетчатые фильтрующие элементы (ГОСТ 12242-78) состояли из 18 колец тарельчатой формы и имели тонкость фильтрования 80 мкм.

Проведенные сравнительные испытания показали следующее. Все типы фильтрующих элементов имеют удовлетворительную работоспособность в гидросистеме тракторов ЮМЗ-6 при различной тонкости фильтрования. Наибольшей грязеемкостью обладают бумажные фильтрующие элементы. В табл. 2 приведены результаты исследований интенсивности забивания (грязеемкости) различных типов ФЭ до срабатывания предохранительного клапана (0,28 МПа) в зависимости от количества загрязнителя (кварцевая пыль), вносимого в гидросистему. Загрязнение проводилось путем введения через каждые 3 мин в отверстие крышки корпуса гидробака порций кварцевой пыли массой 20 и 40 г, тщательно перемешанной с маслом М10-В₂ (ГОСТ 8581-78).

Анализ приведенных в табл. 2 данных показывает, что количество кварцевой пыли, необходимой для полного загрязнения, составляет: для бумажных фильтрующих элементов с тонкостью фильтрования 40 мкм – 600 г, с тонкостью фильтрования 25–30 мкм – 440 г; для сетчатых при тонкости фильтрования 80 мкм – 160 г и для порошковых при тонкости фильтрования 25, 40, 50 и 70 мкм соответственно 280 г, 180, 240 и 200 г. Таким образом, бумажные фильтрующие элементы обладают в 2–3 раза большей грязеемкостью по сравнению с порошковыми и сетчатыми, что объясняется более развитой (за счет гофра) поверхностью фильтрования. В свою очередь, порошковые ФЭ имеют в 1,1–1,75 раза большую грязеемкость по сравнению с сетчатыми за счет установки большего количества (в 2 раза) порошковых элементов в корпус фильтра. Однако, несмотря на то, что бумажные ФЭ имеют наибольшую грязеемкость, они являются изделиями одноразового использования, в то время как сетчатые и порошковые можно регенерировать. В табл. 3 приведены данные по восстановлению работоспособности (регенерации) различных типов ФЭ после их разового загрязнения до момента

Таблица 2. Зависимость перепада давления на фильтрующем элементе от количества введенного загрязнителя

№ п/п	Кол-во загрязнителя в масле, г	Тип ФЭ						
		сетчатый	порошковый				бумажный	
			Перепад давления на ФЭ (МПа) при тонкости фильтрования, мкм					
		80	70	50	40	25	25-30	40
1	0	0,02	0,060	0,060	0,080	0,12	0,10	0,060
2	20			0,063	0,080			
3	20	0,022	0,070	0,072	0,090	0,13	0,105	0,060
4	20			0,080	0,10			
5	20	0,024	0,085	0,085	0,12	0,14	0,11	0,065
6	20			0,085	0,14			
7	20	0,030	0,11	0,105	0,17	0,155	0,11	0,070
8	20			0,12	0,19			
9	20	0,28	0,16	0,14	0,23	0,175	0,115	0,072
10	20			0,16	0,28			
11	20		0,28	0,19		0,20	0,115	0,075
12	20			0,25				
13	20			0,28		0,23	0,117	0,080
14	40					0,28	0,15	0,085
15	40						0,175	0,087
16	40						0,21	0,10
17	40						0,24	0,115
18	40						0,28	0,13
19	40							0,155
20	40							0,185
21	40							0,25
22	40							0,28

срабатывания предохранительного клапана. Восстановление работоспособности ФЭ проводилось путем очистки от грязи в дизельном топливе при помощи капровой щетки с последующей их обратной продувкой воздухом.

Как видно из табл. 3, и сетчатые, и порошковые ФЭ практически полностью восстанавливают свою полную работоспособность после их разового засорения кварцевой пылью. Причем, чем выше их тонкость фильтрования, тем необходимее становится дополнительная операция обратной продувки воздухом.

Аналогичные данные были получены на Борисовском заводе «Автогидроусилитель» при проведении сравнительных испытаний, аналогичных ФЭ с тонкостью фильтрования 50 мкм, набранных из десяти тарельчатых колец и серийных сетчатых ФЭ, применяемых для очистки масла марки «Р» (замениТЕЛЬ турбинного 22 и промышленного М20А) в системе насоса гидроусилителя руля автомобиля КамАЗ. В результате испытаний было установлено, что, во-первых, порошковые ФЭ обеспечивают качественную очистку масла; во-вторых, грязеемкость порошковых ФЭ практически соизмерима с грязеемкостью серийного ФЭ и составила соответственно 65,8 г и 62,8 г; в-третьих, гидравлическое сопротивление порошковых

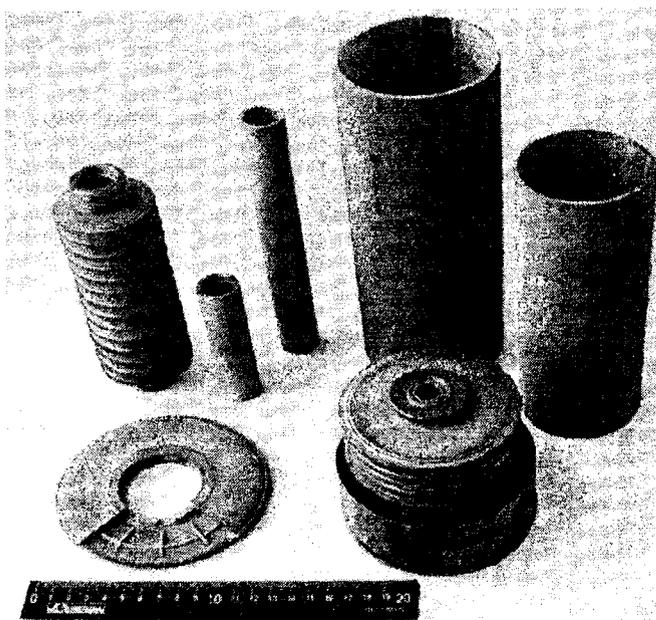


Рис. 7. Фильтрующие элементы для очистки масла

Таблица 3. Значения перепада давления на чистых, загрязненных и регенерированных фильтрующих элементах

Состояние ФЭ	Тип ФЭ				
	ПФМ				сетчатый
	Перепад давления на ФЭ (МПа) при тонкости фильтрования, мкм				
	70	50	40	25	80
Чистый ФЭ	0,06	0,08	0,08	0,12	0,02
После загрязнения	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
После промывки в дизельном топливе	0,06				0,02
После промывки в дизельном топливе и продувки воздухом		0,08	0,08	0,12	

Таблица 4. Зависимость расходной характеристики ПФМ из порошково-оловянно-фосфористой бронзы от температуры масла (тонкость фильтрования 20 мкм, перепад давления на образце 0,01 МПа, фильтруемая среда — масло моторное М-10Г₂)

Средняя температура масла, °С	88±2	58±2	44±1	37±1	31±1	26±1	20±1
Удельный расход масла, л/мин·см ²	0,030	0,018	0,012	0,008	0,006	0,005	0,004

ФЭ в 2–2,5 раза выше по сравнению с серийным.

Полученные данные по результатам исследований на ОАО «Березовский моторремонтный завод» (табл. 4) свидетельствуют о хорошей пропускной способности ПФМ из порошков бронзы при различных температурах масла.

На рис. 7 представлено несколько вариантов исполнения ФЭ для очистки масла, обеспечивающих тонкость фильтрования от 10 до 70 мкм.

Заключение

Наиболее предпочтительным представляется использование изделий из ПФМ на основе порошков

оловянно-фосфористой бронзы для очистки моторного масла при капитальном ремонте дизельных двигателей, а также на стационарных установках для очистки моторного масла перед его заливкой в соответствующие системы сельскохозяйственной техники. Принципиально возможно использование порошковых ФЭ для очистки моторного масла путем непосредственной установки в объекты сельскохозяйственной техники. Однако при этом возникают дополнительные трудности, связанные с необходимостью регенерации фильтрующих элементов. В противном случае использование относительно дорогостоящего материала становится нецелесообразным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Формирование структуры и свойств пористых порошковых материалов / П.А. Витязь [и др.]; под ред. П.А. Витязя. — Москва: Металлургия, 1993. — 240 с.
2. Капцевич, В.М. Создание эффективных методов регулирования порораспределения порошковых материалов для фильтрации жидкостей и газов / В.М. Капцевич. — Минск: БелНИИТИ, 1989. — 68 с.
3. Витязь, П.А. Равномерность свойств спеченных проницаемых материалов и методы ее оценки / П.А. Витязь, В.К. Шелег, В.М. Капцевич, С.В. Попко // Порошковая металлургия. — 1978. — Вып. 2. — С. 108–113.
4. Витязь, П.А. Влияние структурных свойств пористых порошковых материалов на равномерность локальной проницаемости / П.А. Витязь, В.М. Капцевич, В.К. Шелег и др. // Порошковая металлургия (Киев). — 1988. — № 9. — С. 44–45.
5. Порошковая металлургия. Спеченные и композиционные материалы: [пер. с нем.] / Под ред. В. Шатта. — Москва: Металлургия, 1983. — 520 с.
6. Шибряев, Б.Ф. Пористые проницаемые спеченные материалы / Б.Ф. Шибряев. — Москва: Металлургия, 1982. — 168 с.
7. Гатушкин, А.А. Исследование фильтрующих свойств пористых материалов из несферических порошков / А.А. Гатушкин // Порошковая металлургия (Киев). — 1988. — № 9. — С. 49–54.
8. Башта, Г.М. Машиностроительная гидравлика: справочное пособие / Г.М. Башта. — Москва: Машгиз, 1963. — 696 с.
9. Капцевич, В.М. Создание эффективных пористых порошковых материалов методом пластического деформирования: обзорная информация / В.М. Капцевич, Р.А. Кусин, А.А. Гуревич. — Минск: БЕЛНИИТИ и ТЭИ Госплана БССР, 1985. — 32 с.
10. Витязь, П.А. Изменение порораспределения пористой пластины при пластическом изгибе / П.А. Витязь, В.К. Шелег, В.М. Капцевич и др. // Порошковая металлургия. — Минск: Вышэйшая школа, 1982. — Вып. 6. — С. 44–46.
11. Витязь, П.А. Изменение свойств фильтрующих материалов в результате деформации изгибом спеченных заготовок / П.А. Витязь, В.М. Капцевич, В.К. Шелег и др. // Порошковая металлургия (Киев). — 1989. — № 4. — С. 54–57.
12. Клячко, В.А. Очистка природных вод / В.А. Клячко, И.Э. Апельцин. — Москва: Стройиздат, 1971. — 550 с.
13. Оделевский, В.И. Расчет обобщенной проводимости гетерогенных систем / В.И. Оделевский // ЖТФ. — 1951. — Т. 21. — № 6. — С. 666–685.
14. Пористые порошковые материалы с анизотропной структурой пор / Л.П. Пилиневич [и др.]; под ред. П.А. Витязя. — Минск: Тонпик, 2005. — 252 с.