

Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344
ISI (Dubai, UAE) = 0.829
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 0.234
ESJI (KZ) = 1.042
SJIF (Morocco) = 2.031

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260

SOI: 1.1/TAS DOI: [10.15863/TAS](https://doi.org/10.15863/TAS)

International Scientific Journal Theoretical & Applied Science

p-ISSN: 2308-4944 (print) e-ISSN: 2409-0085 (online)

Year: 2017 Issue: 03 Volume: 47

Published: 30.03.2017 <http://T-Science.org>

V.K. Sorokin

Doctor of Technical Sciences,
Professor of «Materials science,
technology of materials and heat treatment of
metals» Nizhny Novgorod State
Technical University n.a. R.E. Alekseev

S.V. Kostromin

Candidate of technical Sciences,
associate professor of «Materials science,
technology of materials and heat treatment of metals»
Nizhny Novgorod State
Technical University n.a. R.E. Alekseev

E.S. Belyaev

Candidate of technical Sciences,
associate professor of «Materials science,
technology of materials and heat treatment of metals»
Nizhny Novgorod State
Technical University n.a. R.E. Alekseev

SECTION 6. Metallurgy and energy.

TECHNOLOGY, STRUCTURE AND PROPERTIES OF METALLIC SHEET FILTER MATERIALS

Abstract: The paper considers generalized data on manufacturing processes, structure formation, filter properties of porous sheet materials obtained by the powder metallurgy method. Three varieties of porous materials with a thickness of 0,06 to 0,60 mm were studied: powder, mesh single-layer mesh of 80/720 mesh and three-layer mesh 004, mesh-powder two-layer and three-layer combined nickel materials from nets and carbonyl powder of nickel with sequence of alternating layers "mesh - powder - mesh" and "mesh - powder".

Key words: powder metallurgy, filter material, porosity, bulk density, hydraulic characteristics.

Language: Russian

Citation: Sorokin VK, Kostromin SV, Belyaev ES (2017) TECHNOLOGY, STRUCTURE AND PROPERTIES OF METALLIC SHEET FILTER MATERIALS. ISJ Theoretical & Applied Science, 03 (47): 85-92.

Soi: <http://s-o-i.org/1.1/TAS-03-47-18> **Doi:**  <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2017.03.47.18>

ТЕХНОЛОГИЯ, СТРУКТУРА И СВОЙСТВА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЛИСТОВЫХ ФИЛЬТРОМАТЕРИАЛОВ

Аннотация: В работе рассматриваются обобщенные данные о технологических процессах изготовления, структурообразовании, фильтровальных свойствах пористых тонколистовых материалов, полученных методом порошковой металлургии. Исследовали три разновидности пористых материалов толщиной от 0,06 до 0,60 мм: порошковые, сетчатые однослойные из сетки 80/720 и трехслойные из сетки 004, сетчатопорошковые двухслойные и трехслойные комбинированные никелевые материалы из сеток и карбонильного порошка никеля с последовательностью чередования слоев «сетка – порошок – сетка» и «сетка – порошок».

Ключевые слова: порошковая металлургия, фильтрматериал, пористость, насыпная плотность, гидравлические характеристики.

Введение

Пористые материалы со сквозными поровыми каналами используют для фильтрации рабочих сред в различных системах машин и аппаратов, суспензий в химической промышленности и других назначений [1]. В работе рассматриваются обобщенные данные о технологических процессах изготовления, структурообразовании, фильтровальных свойствах пористых

тонколистовых материалов. Материалы получали с использованием порошков ПХ18Н15 ГОСТ 13084-88 отдельных фракций от -20 до -315+200 мкм, карбонильного никеля ГОСТ 9722-79, тканых никелевых сеток 004 ГОСТ 6613-73 с квадратной ячейкой и 80/720 ТУ 16-538.982-75 саржевого переплетения. Исследовали три разновидности пористых материалов толщиной от 0,06 до 0,60 мм: порошковые, сетчатые однослойные из сетки



Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344
ISI (Dubai, UAE) = 0.829
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 0.234
ESJI (KZ) = 1.042
SJIF (Morocco) = 2.031

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260

80/720 и трехслойные из сетки 004, сетчато-порошковые двухслойные и трехслойные комбинированные никелевые материалы из сеток и карбонильного порошка никеля с последовательностью чередования слоев «сетка – порошок – сетка» и «сетка – порошок».

В опытном порядке изготавливали трехслойный материал с чередованием слоев «порошок – сетка 004 – порошок» и пятислойный материал «сетка – порошок – сетка – порошок – сетка». Ленты с наружными порошковыми слоями при испытаниях на перегиб выдерживают до образования макротрещин меньшее число перегибов.

Технологические схемы изготовления материалов

При разработке пористых листовых материалов толщиной от 0,06 до 0,60 мм

использовали различные технологические схемы изготовления (рис. 1). Порошковые и сетчатые слоистые материалы формовали в пористые листы способом прокатки в валках с последующим спеканием. Сетчатые материалы дополнительно уплотняли холодной прокаткой с большими степенями обжатия по толщине для уменьшения размеров поровых каналов.

Сетчато-порошковые материалы формовали способом вибрационного насеивания на движущуюся сетку высокопористого слоя порошка карбонильного никеля с дальнейшим предварительным спеканием. Далее двухслойную ленту плакировали следующим слоем сетки со стороны порошкового слоя. Полученную трехслойную ленту калибровали прокаткой на заданную толщину и проводили окончательное спекание.

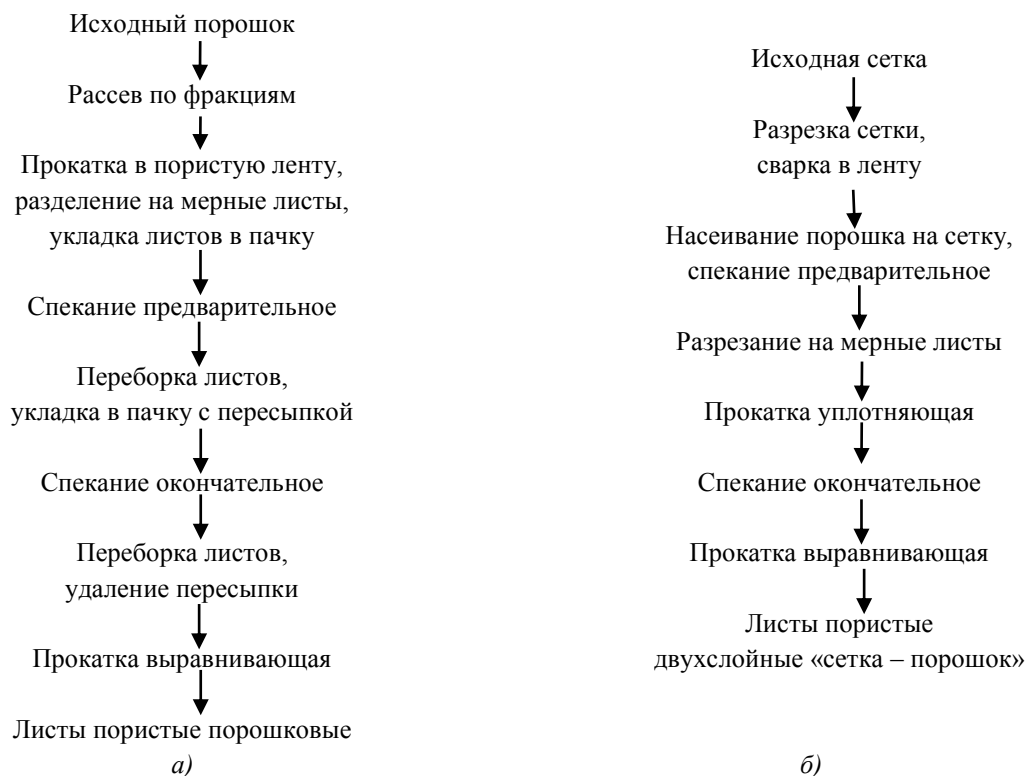


Рисунок 1 -. Технологические схемы изготовления пористых порошковых листов (а) и пористых двухслойных порошково-сетчатых листов (б).

Порошки ПХ18Н15 прокатывали в пористую ленту на дуо-стане с горизонтальным расположением валков, имевших бочку диаметром 75 мм и длиной 110 мм. Пачки листов помещали в контейнер и спекали в камерной электрической печи в два этапа: предварительно при температуре 850...950°C, 3 ч. и окончательно при температуре 1000...1150°C, 3 ч. Сетчатый материал из сетки 004

изготавливали по двух стадийной технологии прокатки: холодная прокатка в брикет толщиной 0,09 мм из трех слоев сетки, уплотняющая и калибрующая прокатка пакета из трех брикетов до толщины листов 0,06...0,08 мм, спекание при температуре 1100°C, 2 ч. Никелевую сетку 80/720 прокатывали до получения толщины 0,07...0,09 мм

Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344
ISI (Dubai, UAE) = 0.829
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 0.234
ESJI (KZ) = 1.042
SJIF (Morocco) = 2.031

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260

с промежуточными отжигами при температуре 1100°C, 3 ч.

Пористые сетчато-порошковые листовые материалы изготавливали двух разновидностей с использованием сеток 004 или 80/720 и порошков карбонильного никеля, имевших насыпную плотность от 1,36 до 2,79 г/см³. Для получения двухслойной ленты-заготовки «сетка – порошковый слой» применяли лабораторную установку непрерывного вибрационного насаивания порошка на движущуюся сетку и предварительного спекания с припеканием порошкового слоя к сетке-подложке. В состав установки входят устройство, имеющее набор вращающихся и вибрирующих сит-сеток, расположенных в заполненной аргоном закрытой камере, проходная печь с муфелем прямоугольного сечения и водородной атмосферой, моталка для сматывания пористой спеченной ленты-заготовки в рулон.

После предварительного спекания при температуре 850°C в течение 0,5 ч. ленту разрезали на листы, которые подвергали холодной уплотняющей и калибрующей прокатке со степенью обжатия по толщине 60...80%. Окончательное спекание-отжиг вели при температуре 1100°C, 4 ч. в среде осушенного водорода. Так изготавливали двухслойный пористый материал с сеткой 80/720. В случае использования сетки 004 после получения спеченной ленты-заготовки проводили плакирование следующим слоем сетки 004 со стороны порошкообразного слоя способом совместной прокатки в валках диаметром 180 мм. Затем выполняли окончательную уплотняющую и калибрующую прокатку с заключительным спеканием. По этой технологической схеме получали трехслойный пористый материал «сетка 004 – порошок – сетка 004». Размеры листов 250 × 1000 мм.

У материалов исследовали структуру сквозных поровых каналов (пористость, размеры пор, извилистость каналов), фильтровальные свойства (скорость и тонкость фильтрации).

Строение и свойства пористых листовых материалов

Для описания структуры применяют различные модели пористых сред. Модели поровой структуры тел из порошкообразных веществ оперируют или с частицами скелета тела, или рассматривают размеры и форму пор. Анализ показал, что для рассматриваемых материалов адекватна экспериментальным данным капиллярная модель пористой среды. Ее основными параметрами являются пористость, как интегральная характеристика, размеры пор, извилистость поровых каналов.

Установлено, что у порошковых материалов средний и максимальный размеры поровых каналов с увеличением пористости в диапазоне от 16 до 47% изменяются по степенным зависимостям. Показатель степени возрастает с увеличением размера частиц исходных фракций порошка ПХ18Н15. Численное значение среднего и максимального размеров поровых каналов в зависимости от фракции порошка и пористости листов находится соответственно в пределах 3...29 и 4...56 мкм. У сетчатых пористых материалов из сетки 004 в зависимости от числа слоев и степени обжатия при холодной прокатке средний и максимальный размеры пор соответственно равны 10...35 и 14...41 мкм (для двухслойного сетчато-порошкового: 2...20 и 7...26 мкм).

Показателем однородности по размеру пор принято отношение максимального D к среднему d размеру поровых каналов. У пористых листов из порошка ПХ18Н15 при толщине 0,13...0,53 мм этот показатель равен 1,35...1,45 и остается постоянным в диапазоне пористости 20...43%. В случае применения более крупных фракций повышение пористости приводит к изменению показателя однородности по размеру пор с 1,9 до 1,5 (у титановых листов 1,2...1,3). Для сетчатых материалов из одного слоя сетки 80/720, трех слоев сетки 004, порошково-сетчатых «сетка 80/720 – порошок» и сетка «004 – порошок – сетка 004» отношение максимального к среднему размеру поровых каналов составляет соответственно 1,18...1,19, 1,25...1,50, 1,16...1,40, 1,40...1,60.

Одной из структурных характеристик пористых материалов является коэффициент извилистости a поровых каналов, характеризующий возрастание их длины по сравнению с толщиной. Анализ литературных данных показывает, что по вопросу о роли коэффициента извилистости сквозных поровых каналов у исследователей нет однозначного подхода. В ряде работ [2, 3] вопрос об извилистости пор не рассматривается или эти данные носят отрывочный характер. Необходимость учета коэффициента извилистости пор преимущественно на примерах волокнистых пористых материалов рассмотрена в работе [4].

Исследования тонколистовых материалов показали, что коэффициент извилистости поровых каналов порошковых материалов равен 1,7...2,5 при пористости 20...35%, возрастая до 2,8...3,8 при большей пористости и использовании крупных фракций порошка. Наибольшую величину, равную 4,1...6,9, имеет этот показатель у сетчатых тонколистовых материалов, подвергаемых холодной прокатке с большими обжатиями.

Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344
 ISI (Dubai, UAE) = 0.829
 GIF (Australia) = 0.564
 JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
 РИНЦ (Russia) = 0.234
 ESJI (KZ) = 1.042
 SJIF (Morocco) = 2.031

ICV (Poland) = 6.630
 PIF (India) = 1.940
 IBI (India) = 4.260

Установлено, что численное значение коэффициента извилистости поровых каналов одновременно характеризует однородность пористых материалов по ориентации пор в объеме физического тела. Этот коэффициент для однородных материалов равен двум. Предложена классификация пористых материалов по двум показателям однородности поровой структуры: по размерам пор и по объемной ориентации поровых каналов [5].

Рассмотрено для данных материалов влияние размерного фактора, представляющего собой отношение толщины листов к среднему размеру частиц порошка, на однородность по величине пор

и на коэффициент извилистости (рис. 2). При величине этого фактора более восьми показатель однородности по размеру пор имеет постоянное значение, а при уменьшении менее восьми его численное значение возрастает. С увеличением толщины листов и снижением пористости с 38...40 до 25...34% коэффициент извилистости уменьшается. Так, при размерном факторе, равном 39, коэффициент извилистости поровых каналов достигает величины 1,11 и приближается к расчетному значению 1,065, получаемому по глобулярной модели пористой фиктивной среды при величине пористости 25,9%.

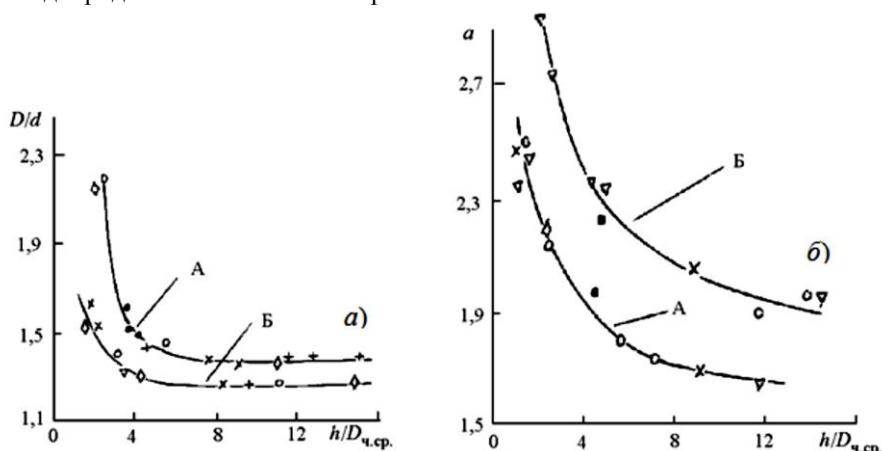


Рисунок 2 - Зависимости показателя D/d (a) и коэффициента извилистости a поровых каналов (б) пористых листов от размерного фактора $h/D_{ср}$. Фракции порошка ПХ18Н15 (мкм): + –20; • –40+20; ▽ –63+40; × –100+63; ◇ –160+100; ○ –200+160. Пористость, %: А – 32...34; Б – 38...40.

Установлено, что у пористых тонколистовых материалов из порошков стали и титана гидриднокальциевого восстановления при изменении количества более крупных фракций в порошке, толщины и пористости листов в некоторых пределах одновременно меняются в одном и том же направлении размеры поровых каналов и их коэффициент извилистости. Это обеспечивает своеобразное саморегулирование задерживающей способности таких пористых материалов по отношению к частицам загрязнителя при фильтровании жидких и газообразных сред, то есть высокую стабильность заданной тонкости фильтрации.

Экспериментальные исследования показали, что коэффициент проницаемости K в зависимости от пористости тонколистовых материалов изменяется по степенной зависимости. Для порошковых материалов показатель степени составляет от 2,8 до 4,35, возрастая при переходе к более крупным фракциям исходных порошков. Оценочные расчеты коэффициента проницаемости могут быть выполнены по известным значениям параметров структуры поровых каналов. Основными регулируемыми факторами являются пористость Π , средний размер пор d и коэффициент извилистости поровых каналов a :

$$K = \Pi d^2 / (32a^2)$$

Показано, что на коэффициент проницаемости материалов, изготовленных из одной и той же фракции порошков, при близких

величинах пористости листов, оказывает влияние относительная насыпная плотность (рис. 3).

Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	РИИЦ (Russia) = 0.234	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 1.042	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

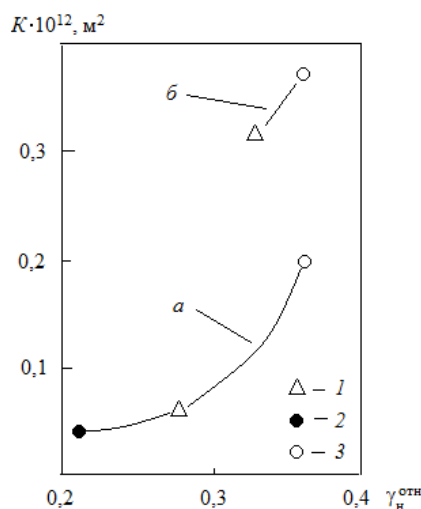


Рисунок 3 - Влияние относительной насыпной плотности порошков фракции –63+40 мкм на коэффициент проницаемости пористых листов: 1 – ПХ18Н15; 2 – титан гидридно-кальциевый; 3 – титан электролитический. Пористость листов, %: а – 28...29; б – 35...36.

Наблюдаемая закономерность обусловлена изменением степени разветвленности поверхности частиц и, соответственно, поровых каналов материалов. Численные значения относительной насыпной плотности порошков можно рассматривать как косвенный показатель разветвленности (шероховатости) поверхности поровых каналов пористых порошковых материалов. Снижение насыпной плотности характеризует большую разветвленность поверхности пор. Большой коэффициент проницаемости при равных значениях пористости

имеют пористые сетчатые материалы с малошероховатой поверхностью.

В работе [6] показано, что насыпная плотность порошков γ_n зависит от удельной поверхности частиц порошка S . Рост удельной поверхности приводит к снижению насыпной плотности, например, порошков меди, полученных электролизом. Некоторые данные о соотношении между S и $\gamma_n^{отн}$ представлены на рис. 4 (по работам Аксенова Г.И. и Ревякина В.П.).

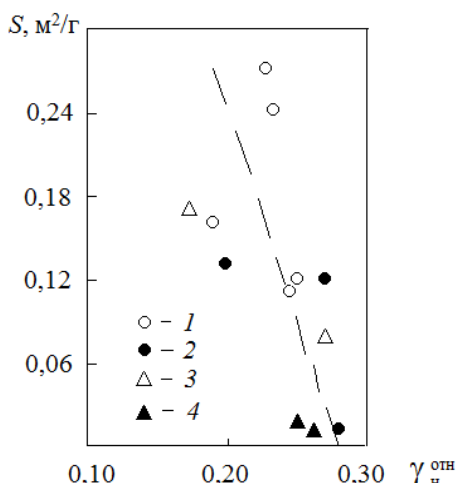


Рисунок 4 - Соотношение между удельной поверхностью и относительной насыпной плотностью металлических порошков: 1 – железо; 2 – никель; 3 – медь; 4 – АПС

В работах [1, 7, 8] исследованы гидравлические характеристики в критериальной

форме пористых проницаемых материалов типа ФНС из порошков ПХ18Н15 в сравнении с

Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344
ISI (Dubai, UAE) = 0.829
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 0.234
ESJI (KZ) = 1.042
SJIF (Morocco) = 2.031

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260

материалами из пористой бронзы и стали 50X из порошков с сферическими частицами. На рисунке 5 приведены данные для листового материала

марки ФНС-10 промышленного производства (ТУ 14-1-2819-79).

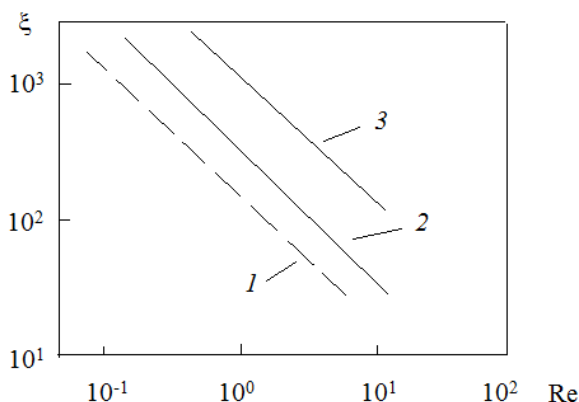


Рисунок 5 - Зависимость коэффициента гидравлического сопротивления ξ пористой бронзы, изготовленной из сферических частиц (1), и материала ФНС-10 из порошка ПХ18Н15 фракции $-100+63$ мкм, по данным [7] (2) и [8] (3) от числа Рейнольдса Re

Как видно, имеют место расхождения в значениях ξ при одинаковых величинах числа Рейнольдса Re для материала разных партий одной марки ФНС-10. Сравнимые партии материала исследованы в 1974 г. и 1984 г., т.е. изготовлены в разные годы. Предположительно, они получены из порошков ПХ18Н15 с различной насыпной плотностью. Данные о насыпной плотности в рассматриваемых работах [7, 8] не приведены. Эти сведения необходимы при анализе закономерностей проницаемости пористых материалов.

При исследованиях задерживающей способности пористых тонколистовых материалов по отношению к частицам загрязнителя при фильтровании жидких сред изучали их дисперсный состав обычно в интервалах размеров 0...3, 3...5, 5...10, более 10 мкм. С возрастанием пористости листов и, соответственно, размера поровых каналов выше некоторого значения обычно увеличивается количество частиц загрязнителя более крупных фракций.

В случаях использования для изготовления тонколистовых пористых материалов дисперсных порошков гидридно-кальциевого титана, карбонильного никеля и мелких фракций порошка ПХ18Н15 задерживается 90% и более частиц загрязнителя размером менее 2 мкм. У листов из порошка ПХ18Н15 крупных фракций количество частиц загрязнителя размером менее 3 мкм сохраняется на уровне 60...75%. Лучшую задерживающую способность имеют пористые материалы из порошков ПХ18Н15, полученных с использованием исходного мелкодисперсного

порошка карбонильного железа и имеющих пониженную насыпную плотность.

На дисперсный состав частиц загрязнителя, проходящих через поровые каналы, оказывает влияние насыпная плотность порошков ПХ18Н15, характеризующая разветвленность поверхности пор. Для листов толщиной 0,15...0,19 мм при пористости 36...38% из порошка фракции $-63+40$ мкм увеличение насыпной плотности от 1,35 до 2,63 г/см³ привело к снижению числа частиц загрязнителя размером менее 3 мкм от 94 до 62% (рис. 6, а). Номинальная тонкость фильтрации при этом сохранилась на уровне 5 мкм.

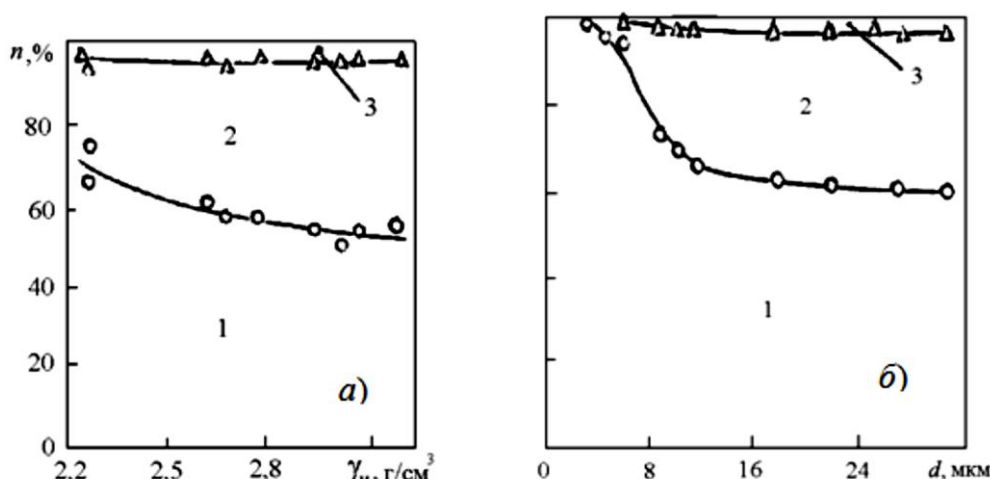


Рисунок 6 - Диаграммы зависимости дисперсного состава n частиц загрязнителя от насыпной плотности порошка ПХ18Н15 фракции $-63+40$ мкм (а) и среднего размера пор (б). Размерные интервалы частиц загрязнителя, мкм: 1 – менее 3; 2 – 3...5; 3 – 5...8.

Анализ экспериментальных данных показал, что пористые листы из порошков разных фракций, имевшие одинаковую величину поровых каналов при близких значениях коэффициента извилистости, обеспечивают получение практически одинакового дисперсного состава частиц загрязнителя, проходящих через поры листов.

Изучена зависимость дисперсного состава частиц загрязнителя, проходящих через поры, от среднего размера поровых каналов листов из отдельных фракций порошка ПХ18Н15 в диапазоне 4...30 мкм. С увеличением величины пор от 7 до 11 мкм число задерживаемых частиц загрязнителя размером менее 3 мкм снижается от 96...98% до 65%, а далее изменяется незначительно (рис. 6, б).

Анализ взаимосвязи между абсолютной тонкостью фильтрации A_a и максимальным размером D поровых каналов в интервале от 4 до

36 мкм для пористых листов из порошка ПХ18Н15 показал наличие степенной зависимости $A_a = 0,26D^{1,21}$. Такой характер имеет и функциональная связь между номинальной тонкостью фильтрации (фракционный коэффициент отфильтровывания 0,97) и средним размером поровых каналов у материалов ФЭП из фторлона-4 [9] и фильтровальных бумаг марок АФБ-5 и БФДТ [10].

Заключение

Примененные технологические схемы позволяют получать различные виды порошковых, сетчатых и сетчато-порошковых пористых листовых материалов. Рассмотрены структурные характеристики поровых каналов и фильтрующие свойства. Материалы применены при изготовлении фильтровальных устройств для тонкой очистки от частиц механических примесей [11–13].

References:

- (1987) Poristyye pronitsayemye materialy: Sprav. izd. / Pod red. S.V. Belova – M.: Metallurgiya, 1987. – 335 p.
- Shibryayev BF (1982) Poristyye pronitsayemye spechennyye materialy / B.F. Shibryayev – M.: Me-tallurgiya, 1982. – 168 p.
- Vityaz' NA (1987) Poristyye poroshkovyye materialy i izdeliya iz nikh / N.A. Vityaz', V.M. Kaptse-vich, V.K. Sheleg – Minsk: Vyssh. shk., 1987. – 167 p.
- Kostornov AG (1983) Pronitsayemye metallische-skiy volokonnyye materialy / A.G. Kostornov – Kiyev: Tekhnika, 1983. – 128 p.
- (2002) Proizvodstvo poroshkovogo prokata / Pod red. V.K. Sorokina. – M.: ZAO «Metallurgizdat», 2002. – 296 p.
- Andriyevskiy RA (1991) Poroshkovoye materialo-vedeniye / R.A. Andriyevskiy. – M.: Metallurgiya, 1991. – 205 p.

Impact Factor:

ISRA (India)	= 1.344	SIS (USA)	= 0.912	ICV (Poland)	= 6.630
ISI (Dubai, UAE)	= 0.829	PIHII (Russia)	= 0.234	PIF (India)	= 1.940
GIF (Australia)	= 0.564	ESJI (KZ)	= 1.042	IBI (India)	= 4.260
JIF	= 1.500	SJIF (Morocco)	= 2.031		

- Lozhkin VA (1977) Eksploatatsionnyye kharakte-ristiki poristyxh fil'troval'nykh lent tipa FNS / V.A. Lozhkin, S.V. Belov, V.P. Kovalenko i [dr.] // Poroshkovaya metallurgiya. – 1977. – № 2. – p. 84–87.
- Belov SV (1986) Strukturnyye, gidravlicheskiye i fil'troval'nyye kharakteristiki poristyxh lent tipa ΦHC / S.V. Belov, L.S. Shmelev, V.S. Spiri-donov i [dr.] // Poroshkovaya metallurgiya. – 1986. – № 3. – p. 76–82.
- Kuvarzin IN (1976) Fiziko-mekhanicheskiye svoystva fil'troval'nykh materialov iz ftorlonov / I.N. Kuvarzin, K.YA. Lesnoy, V.A.Lozhkin i dr. // Plasticheskiye massy. – 1976. – № 6. – p. 49–51.
- Nevolin VF (1985) Novyye fil'troval'nyye vi-dy bumagi dlya ochistki masla, topliva i vozdukha in internal combustion engines/ V.F. Nevolin, V.V. Khovanskiy // Dvigatele-stroyeniye. – 1985. – № 7. – p. 31–33.
- Belyanin PN (1982) Promyshlennaya chistota mashin / P.N. Belyanin, V.M. Danilov – M.: Mashi-nostroyeniye, 1982. – 221 p.
- Rybakov KV (1982) Aviatsionnyye fil'try dlya topliv, masel, gidravlicheskiykh zhidkostey i vozdukha / K.V. Rybakov, YU.I. Dmitriyev, A.S. Polyakov – M.: Mashinostroyeniye, 1982. – 103 p.
- Timirkeyev RG (1986) Promyshlennaya chistota i tonkaya fil'tratsiya rabochikh zhidkostey letatel'-nykh apparatov / R.G. Timirkeyev, V.M. Sapozhnikov – M.: Mashinostroyeniye, 1986. – 152 p.

