

Фильтровальные перегородки из спеченных металлических сеток для встроенных фильтров авиационных гидросистем

В.С. Спиридонов, доцент, канд. техн. наук

Ю.М. Новиков, заведующий отделом, канд. техн. наук

В.А. Большаков, заведующий лабораторией

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
Научно-исследовательский институт энергетического машиностроения МГТУ им. Н.Э.Баумана

e-mail: spir-vs0346@yandex.ru

Ключевые слова:

металлическая сетка,
пористый материал,
холодная деформация,
прочность, проницаемость, фильтр.

Приведены результаты теоретического и экспериментального исследования влияния степени холодной деформации при прокатке на прочностные и гидравлические характеристики металлических сеток, используемых для изготовления фильтровальных перегородок встроенных фильтров. На основе капиллярной модели идеального пористого тела получена аналитическая зависимость коэффициента проницаемости сетки от степени ее обжатия и относительного удлинения при прокатке. Результаты теоретического исследования сопоставлены с экспериментальными данными, полученными при фильтрации сжатого воздуха и минерального масла через образцы сеток с различной степенью холодной деформации. Представлены экспериментальные зависимости относительного удлинения и предела прочности сеток от степени их холодной деформации. Приведены результаты визуальных исследований состояния поверхности деформированных сеток. Получена зависимость площади пятен контакта на поверхности сеток от степени обжатия. Проведен анализ влияния пятен контакта на гидравлические характеристики многослойного сетчатого материала, используемого для изготовления фильтровальных перегородок. Результаты экспериментальных исследований гидравлических характеристик сеток обработаны в виде безразмерной зависимости коэффициента гидравлического сопротивления от числа Рейнольдса потока фильтруемой среды.

1. Введение в проблему

Безопасность полетов воздушных судов в значительной степени зависит от чистоты рабочих жидкостей авиационных гидросистем, поддерживаемой на требуемом уровне встроенными фильтрами [1, 2]. Условия эксплуатации этих фильтров характеризуются широким диапазоном рабочих температур (от -50°C до $+150^{\circ}\text{C}$), высокими уровнями давления и значительной вязкостью рабочих жидкостей, а также наличием ударных пусковых нагрузок на фильтровальные перегородки. Жесткие условия эксплуатации встроенных фильтров дополняются повышенными

требованиями к их надежности, обусловленными тяжелыми социально-экономическими последствиями аварий на авиационном транспорте [3].

В наибольшей степени сложным условиям эксплуатации отвечают фильтры, оснащенные фильтровальными перегородками из комбинированных пористых сетчатых металлов (КПСМ), получаемых горячей прокаткой в вакууме многослойных пакетов проволочных сеток [4, 5]. Эти материалы обладают высокой механической прочностью, технологичны при изготовлении фильтровальных перегородок сложной конфигурации, а использование в пакете различных комбинаций

проволочных сеток позволяет получать фильтровальные перегородки с разнообразными эксплуатационными характеристиками. Требуемая тонкость фильтрации КПСМ обеспечивается фильтровальным слоем, образованным сетками с мелкими ячейками, а высокая механическая прочность достигается за счет наличия в пакете опорного слоя, формируемого из сеток с крупными ячейками, изготавливаемых из более толстой проволоки.

Прочность соединения слоев сеток в КПСМ зависит от площади межслойного контакта, возникающего, как известно из [6], по вершинам выступов на поверхности сеток и имеющего поэтому точечный характер. Очевидно, что максимальное количество точек контакта лимитируется числом выступов на поверхности более крупной опорной сетки, определяемым количеством узлов пересечений ее проволоки основы и утка. Наличие технологических допусков на толщину проволоки в сетках ведет к разбросу высоты этих выступов, что уменьшает число точек контакта по сравнению с расчетным и тем самым снижает прочность соединения слоев в спеченном пакете сеток. Для устранения этого явления пакеты сеток подвергают обжатию в процессе горячей прокатки, компенсирующему разброс высоты выступов на поверхности опорной сетки. Однако такое обжатие неизбежно деформирует фильтровальный слой, образованный мелкой сеткой, что ведет к существенному росту гидравлического сопротивления получаемого материала.

Альтернативным методом увеличения прочности межслойного контакта в КПСМ является использование опорной сетки с предварительно выровненной поверхностью. Такая подготовительная операция, осуществляемая методом холодной прокатки, позволяет не только устранить разброс высоты выступов на поверхности опорной сетки, но и сформировать на ней плоские площадки — «пятна контакта», обеспечивающие образование дополнительного количества точек межслойного контакта в пакете сеток. Однако рост степени холодной деформации опорной сетки, с одной стороны, ведет к выравниванию ее поверхности и улучшению межслойного контакта, а с другой — вызывает уплотнение внутренней структуры сетки с соответствующим повышением ее гидравлического сопротивления и изменением механических характеристик. Кроме того, пятна контакта блокируют часть поверхности фильтровального слоя, уменьшая тем самым фактическую площадь рабочей поверхности перегородки S .

2. Теоретический анализ

Влияние деформации сетки при холодной прокатке на ее гидравлическое сопротивление может быть проанализировано с использованием коэффициента

проницаемости K , вычисляемого по экспериментальным данным с помощью соотношения из [7, 8]

$$K = \frac{w\mu h}{\Delta p}, \quad (1)$$

где w — скорость фильтрации потока, отнесенная к площади внешней поверхности пористой перегородки S ; μ — динамическая вязкость фильтруемой среды; h — толщина перегородки; Δp — перепад давления на перегородке.

Для теоретического определения коэффициента проницаемости обычно используют канальную модель из [9, 10] пористого тела, позволяющую рассчитывать величину коэффициента K через параметры пористой структуры по формуле:

$$K = \frac{2\Pi d_{\Pi}^2}{A}, \quad (2)$$

где Π — пористость материала; d_{Π} — диаметр каналов модели, принимаемый равным среднему размеру пор материала; A — постоянный коэффициент в формуле Пуазейля.

Диаметр каналов модели, как правило, вычисляют по формуле Козени [8], полученной из условия равенства удельных поверхностей $S_{уд}$ внутренних каналов пористого материала и капиллярной модели идеального пористого тела. Для проволочных сеток величину $S_{уд}$ определяют по суммарной площади поверхности $S_{пр}$ проволоки в сетке, которую вычисляют [11] на основе данных о типе переплетения и толщине проволоки в сетке. Исследования внутренней структуры деформированных сеток показали, что в результате взаимного внедрения проволок основы и утка происходит уменьшение величины $S_{уд}$ сетки, поэтому формулу Козени в данном случае необходимо записывать в виде

$$d_{\Pi} = d_3 \frac{\Pi}{(1-\Pi)\psi}, \quad (3)$$

где d_3 — эквивалентный диаметр проволоки, вычисляемый по суммарной площади и объему проволок основы и утка в сетке [11]; $\psi \leq 1$ — поправочный коэффициент, учитывающий уменьшение площади поверхности проволоки в деформированных сетках.

Совместное решение уравнений (2) и (3) позволяет получить соотношение, описывающее характер изменения коэффициента проницаемости сетки в процессе ее холодной деформации

$$K = K_0 \left(\frac{\Pi}{\Pi_0} \right)^3 \left[\frac{1-\Pi_0}{(1-\Pi)\psi} \right]^2, \quad (4)$$

где K_0 и Π_0 — параметры исходной сетки; K и Π — параметры деформированной сетки.

Как известно из [4], изменение величины пористости сетки в процессе холодной подкатки описывается теоретической зависимостью

$$\Pi = 1 - \frac{1 - \Pi_0}{(1 - \lambda)(1 - \varepsilon)}, \quad (5)$$

где $\lambda = \Delta L / L_0$ — коэффициент относительного удлинения сетки в процессе ее холодной подкатки; L_0 — исходная длина образца сетки; ΔL — удлинение образца сетки в процессе подкатки; $\varepsilon = 1 - h/h_0$ — коэффициент относительной деформации (обжатия) сетки; h и h_0 — соответственно конечная и исходная толщина образца сетки.

Подставив соотношение (5) в формулу (4), после ряда преобразований можно получить зависимость относительной проницаемости деформированной сетки $\omega = K/K_0$ от степени ее обжатия ε в виде

$$\omega = \frac{[\lambda(1 - \varepsilon) + (\Pi_0 - \varepsilon)]^3}{\Pi_0^3(1 + \lambda)(1 - \varepsilon)\psi^2}. \quad (6)$$

Значения коэффициента λ обычно определяют экспериментально, а величина коэффициента ψ в первом приближении может быть найдена из анализа баланса поперечных сил, действующих на сетку в процессе прокатки, с помощью соотношения

$$\psi = 1 - \frac{4S_{\text{п}}}{S_{\text{пр}}}, \quad (7)$$

где $S_{\text{п}}$ и $S_{\text{пр}}$ — соответственно площадь пятен контакта и площадь поверхности проволоки в образце сетки.

Величина $S_{\text{п}}$ определяется только экспериментально, а площадь поверхности проволоки в образце фильтровальной сетки полотняного переплетения размером $S_{06} = l^2$ может быть вычислена по формуле из [11]

$$S_{\text{пр}} = \pi \left(\cos \varphi + \frac{d_1 + d_2}{l} n_1 \varphi + \frac{d_1}{l} n_1 \right) S_{06}, \quad (8)$$

где d_1 и d_2 — соответственно толщина проволок основы и утка; n_1 — количество проволок основы на линейном отрезке длиной l ; $\varphi = \arcsin[(d_1 + d_2)n_1/l]$ — угол охвата основы утком.

Применять формулу (6) для практических расчетов затруднительно из-за наличия в ней эмпирических коэффициентов λ и ψ . Однако, полагая в первом

приближении $\lambda \approx 0$ и $\psi \approx 1$, эту формулу можно упростить и записать в виде

$$\omega = \frac{(\Pi_0 - \varepsilon)^3}{\Pi_0^3(1 - \varepsilon)}. \quad (9)$$

Как уже отмечалось выше, опорный слой пакета сеток предназначен для восприятия механических нагрузок, действующих на фильтровальную перегородку в процессе движения фильтруемой среды. Поэтому в качестве опорного слоя обычно используют грубые фильтровальные тканые сетки полотняного переплетения П56, П48, П28, П24, изготавливаемые по ГОСТ 3187-86. Значения предела прочности на разрыв этих сеток в направлении основы и утка при условии равномерного нагружения проволоки рассчитывают соответственно по формулам из [4]:

$$[\sigma_{c1}] = \frac{\pi d_1^2 n_1}{4(d_1 + 2d_2)l} [\sigma_1], \quad (10)$$

$$[\sigma_{c2}] = \frac{\pi d_2^2 n_2 \cos \varphi}{4(d_1 + 2d_2)l} [\sigma_2], \quad (11)$$

где $[\sigma_1]$ и $[\sigma_2]$ — соответственно значения предела прочности на разрыв материала проволок основы и утка; n_2 — количество проволоки утка на линейном отрезке длиной l .

Согласно формулам (10) и (11), фильтровальные тканые сетки характеризуются значительной анизотропией механических свойств в направлении проволок основы и утка. Так, расчеты, проведенные по формулам (10) и (11), показывают, что у сетки П56 предел прочности в направлении утка почти в 3 раза выше, чем в направлении основы. Эту особенность проволочных сеток учитывают при использовании их для изготовления фильтровальных перегородок.

Обжатие проволочных сеток ведет к уплотнению их внутренней структуры с соответствующим повышением предела их прочности. При постоянстве площади поперечного сечения проволок зависимость величины отношения предела прочности деформированной сетки к пределу прочности исходной сетки $\vartheta = [\sigma_c] / [\sigma_{c0}]$ от степени ее обжатия может быть описана соотношением

$$\vartheta = (1 - \varepsilon)^{-1}. \quad (12)$$

3. Методика проведения экспериментальных исследований

Для подтверждения результатов теоретического анализа, изложенного выше, проведен комплекс экспериментальных исследований влияния величины

холодной деформации ϵ на механические и гидравлические характеристики фильтровальных тканых сеток П28 и П56, изготовленных из аустенитной стали Х18Н9Т по ГОСТ 3187-76. Исследования проведены на образцах сеток размером $L \times B = 180 \times 30$ мм при изменении величины относительной деформации ϵ в диапазоне от 0 до 0,6. Деформация образцов осуществлялась в процессе их прокатки в направлении проволоки утка на двухвалковом прокатном стане с диаметром валков $D = 400$ мм и шириной $H = 700$ мм. Для снятия напряжений, возникающих в процессе холодной прокатки, образцы деформированных сеток подвергались отжигу при температуре 1200°C в нейтральной среде. Исследования формы и размеров площадок, образующихся на поверхности деформированных сеток, проведены с использованием оптического микроскопа ENAVAL при увеличении $\times 300$. Предел прочности на растяжение образцов деформированных сеток определялся на разрывной машине УХЛ-4.2 (модель Р-5). Проницаемость образцов деформированных сеток определялась при фильтрации сжатого воздуха и смеси минеральных масел вязкостью $\nu = 60 \dots 65$ сСт.

4. Обсуждение полученных результатов

Результаты экспериментального исследования предела прочности на разрыв образцов деформированных сеток, обработанные в виде зависимости $\vartheta = f(\epsilon)$, представлены на рис. 1. Согласно экспериментальным данным, при холодной деформации сеток соотношение (12) справедливо лишь в области обжатия $\epsilon \leq 0,1$. При большем обжатии сеток наблюдается заметное нарушение этого соотношения, вызванное локальной вытяжкой проволоки утка в узлах их пересечения с проволокой основы и соответствующего уменьшения площади их поперечного сечения. Установлено, что наиболее интенсивное снижение относительного предела прочности деформированных сеток наблюдается при $\epsilon > 0,3$.

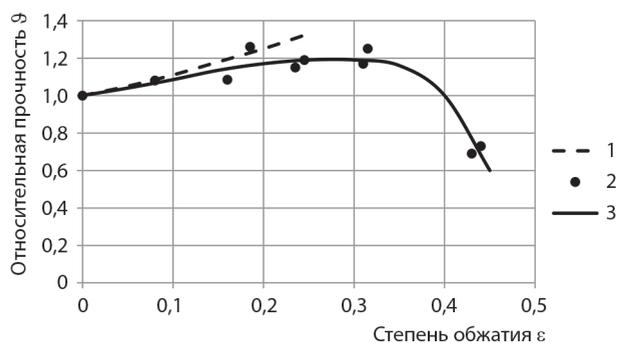


Рис. 1. Зависимость относительного предела прочности ϑ от степени холодного обжатия ϵ сетки П56: 1 – расчет по формуле (12); 2 – экспериментальные данные; 3 – аппроксимирующая кривая

Для оценки характера деформации проволоки утка получена экспериментальная зависимость коэффициента относительного удлинения λ сетки от степени ее обжатия ϵ при холодной прокатке (рис. 2), которая может быть аппроксимирована формулой

$$\lambda = 0,3 \frac{\epsilon^2}{1 - \epsilon}. \quad (13)$$

Согласно полученным данным (рис. 2), заметное удлинение проволоки наблюдается в области деформаций $\epsilon > 0,1$, что полностью согласуется с характером изменения относительного предела прочности ϑ деформированных сеток (см. рис. 1).

Визуальное исследование поверхности деформированных сеток П56 показало, что в области деформаций $\epsilon < 0,3$ пятна контакта формируются только на поверхности проволоки утка и имеют форму, близкую к эллиптической, а в области $\epsilon > 0,3$ пятна контакта образуются и на поверхности проволоки основы с соответствующей трансформацией формы.

Результаты визуальных исследований поверхности образцов деформированных сеток, обработанные в виде зависимости безразмерной величины $\delta = S_{\text{п}}/S_{06}$ от степени обжатия ϵ образца сетки, представлены на рис. 2. Согласно полученным данным (рис. 2), в диапазоне значений $\epsilon \leq 0,6$ увеличение обжатия сетки ведет к монотонному возрастанию величины δ , а экспериментальная зависимость $\delta = f(\epsilon)$ с погрешностью менее 1% может быть аппроксимирована формулой

$$\delta = 0,3\epsilon^{1-\epsilon^2}. \quad (14)$$

В области относительного обжатия $\epsilon \leq 0,35$ с погрешностью не выше 3% соотношение (14) может быть заменено более простым выражением

$$\delta = 0,5\epsilon. \quad (15)$$

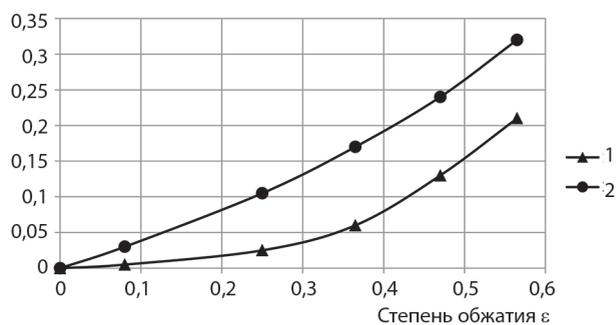


Рис. 2. Зависимость относительного удлинения λ и относительной площади пятен контакта δ от степени холодного обжатия ϵ сетки П56: 1 – коэффициент относительного удлинения λ ; 2 – относительная площадь пятен контакта

Анализ геометрической структуры фильтровальных сеток полотняного переплетения показал, что уравнения (14) и (15) могут быть использованы и для определения величины δ любой сетки данного типа. Установлено, что для любых фильтровальных сеток полотняного плетения выполняется соотношение

$$\delta = 0,5\varepsilon$$

где χ — безразмерный расчетный комплекс, определяемый для каждой сетки по формуле

$$\chi = 1 + \left(1 - \frac{d_1}{d_2} \cos \varphi\right) \frac{n_1 d_2}{l \sin \varphi}$$

С учетом полученных экспериментальных зависимостей (13) и (15) формула (6) может быть преобразована к виду

$$\omega = \frac{(\Pi_0 - \varepsilon + 0,3\varepsilon^2)^3}{\Pi_0^3 (1 - \varepsilon + 0,3\varepsilon^2)(1 - 4\beta\delta)^2}, \quad (16)$$

где $\beta = S_{об}/S_{пр}$ — отношение площади образца к суммарной площади поверхности проволок в этом образце.

Результаты расчетов, проведенных по формулам (6) и (16) в предположении $\beta \approx \text{const}$, представлены на рис. 3. Там же для сравнения приведены результаты экспериментальных исследований проницаемости деформированных опорных сеток, полученные при фильтрации сжатого воздуха и смеси минеральных масел вязкостью $\nu = 60 \dots 65$ сСт. Как видно из рис. 3, в области относительных деформаций $\varepsilon < 0,35$ зависимость $\omega = f(\varepsilon)$ более точно описывается формулой (16), а в области $\varepsilon > 0,35$ — формулой (6).

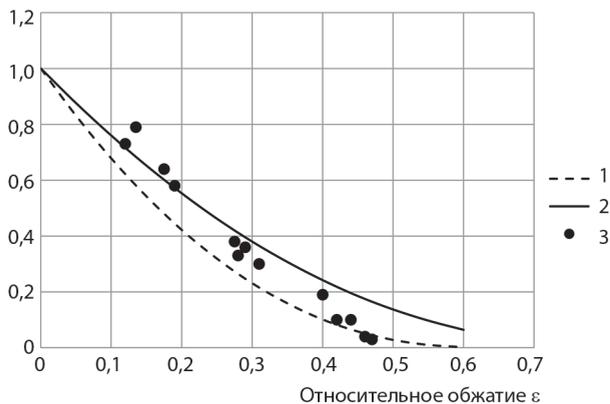


Рис. 3. Влияние степени обжатия ε на относительную проницаемость ω сетки П56:
1 — расчет по формуле (6); 2 — расчет по формуле (16); 3 — эксперимент

Характеристики опорного слоя оказывают влияние на общее гидравлическое сопротивление КПСМ. Согласно результатам экспериментальных исследований при ламинарном режиме фильтрации гидравлическое сопротивление пакета фильтровальных сеток определяется как арифметическая сумма сопротивлений его отдельных слоев. Поэтому суммарный перепад давления Δp_{Σ} на двухслойном пакете, образованном фильтровальным и опорным слоями, с учетом формулы (1) можно представить в виде

$$\Delta p_{\Sigma} = \frac{h_{\phi} w \mu}{K_{\phi}} \left(1 + \frac{h_c K_{\phi}}{h_{\phi} K_c} \right), \quad (17)$$

где K_{ϕ} , h_{ϕ} — параметры фильтровального слоя; K_c , h_c — параметры опорного слоя.

При использовании деформированного опорного слоя пятна контакта, образующиеся на его поверхности, будут перекрывать часть поверхности фильтровального слоя, уменьшая его полезную площадь. Используя зависимости (9) и (15) и выражая толщину деформированного опорного слоя как $h_d = h_o(1 - \varepsilon)$, формулу (17) преобразуем к виду

$$\Delta p_{\Sigma} = \frac{h_{\phi} w \mu}{K_{\phi}} \left(\frac{1}{1 - 0,5\varepsilon} + \alpha \frac{\Pi_0^3}{(\Pi_0 - \varepsilon)^3} \right), \quad (18)$$

где $\alpha = h_c K_{\phi} / (h_{\phi} K_c)$ — параметр пакета сеток с недеформированным опорным слоем.

Расчеты, проведенные по формуле (18) для двух вариантов двухслойных пакетов сеток С685/П56 и С450/П56, показали, что при недеформированном опорном слое его вклад в общее гидравлическое сопротивление пакета составляет 2,15% в первом случае и 3,75% — во втором. При степени деформации опорного слоя $\varepsilon = 0,4$ суммарное сопротивление этих пакетов будет превышать сопротивление фильтровального слоя соответственно на 33,4% и 39,8%. При этом вклад экранирования поверхности фильтровального слоя пятнами контакта в рост сопротивления всего пакета составит 25%, а вклад деформации опорного слоя соответственно 8,35% и 14,85%. Результаты экспериментального исследования гидравлического сопротивления не спеченного пакета сеток С450/П56 при степени деформации опорного слоя $\varepsilon = 0,466$ показали, что влияние пятен контакта на сопротивление пакета практически не наблюдается и общий перепад давления Δp на пакете представляется в виде арифметической суммы перепадов давления на его отдельных слоях. Полученный результат объясняется неплотным прилеганием фильтровального слоя к опорному в не спеченном пакете сеток, что создает условия для пе-

ретенания фильтруемой среды в межслойном пространстве.

Формула (18) справедлива для расчета гидравлического сопротивления многослойных материалов лишь при ламинарном режиме течения фильтруемой среды во всех слоях материала, что выполняется только при фильтрации вязких жидкостей. При равных значениях скорости фильтрации w значения числа Рейнольдса Re для опорного Re_c и фильтровального Re_ϕ слоев связаны между собой очевидным соотношением

$$Re_c = Re_\phi \frac{\Pi_\phi d_{\Pi c}}{\Pi_c d_{\Pi \phi}},$$

где $d_{\Pi c}$ и $d_{\Pi \phi}$ — соответственно размеры ячеек опорного и фильтровального слоев.

Расчеты показывают, что при общепринятых значениях скорости фильтрования $w = 0,01 \dots 0,05$ м/с маловязких сред, например керосина ТС-1, через рассмотренные выше двухслойные пакеты сеток в фильтровальном слое реализуется ламинарный режим течения керосина ($Re_\phi = 0,4 \dots 2,0$), а в опорном — переходный ($Re_c = 2,8 \dots 13,5$), что естественно повышает долю опорного слоя в общем сопротивлении пакета. Для учета этой особенности многослойных пакетов сеток проведены экспериментальные исследования влияние степени холодной деформации ϵ опорной сетки П56 на ее гидравлическое сопротивление при различных режимах фильтрации воздуха. Результаты экспериментов обработаны в виде безразмерной зависимости [12] коэффициента гидравлического сопротивления ζ деформированной сетки от числа Рейнольдса Re потока фильтруемой среды в объеме сетки

$$\zeta = \frac{A}{Re} + B. \quad (19)$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Косточкин В.В. Надежность двигателей и силовых установок. М.: Машиностроение, 1988.
2. Сырицын Т.А. Эксплуатация и надежность гидро- и пневмоприводов. М.: Машиностроение, 1990.
3. Шумилов И.С. Системы управления рулями самолета. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2009.
4. Синельников Ю.И., Третьяков А.Ф., Матурин Н.И., Колесников А.Г. Пористые сетчатые материалы. М.: Металлургия, 1983.
5. Новиков Ю.М., Большаков В.А. Высоконадежные регенерируемые фильтры и фильтроэлементы из комбинированного пористого сетчатого металла (КПСМ) для сложных технических объектов // Безопасность жизнедеятельности (БЖД). 2001. № 7. С. 13–18.
6. Белов С.В., Новиков Ю.М., Колесников А.Г., Большаков В.А. Многослойные комбинированные фильтрующие материалы // Вестник машиностроения. 1991. № 6. С. 31–33.
7. Collins K.E. Flow of fluids through porous materials. New York, 1961.
8. Кирсанов Ю.А., Назимов Р.А., Башкирцев Г.В. Геометрические и теплофизические характеристики высокопористой структуры // Известия вузов. Авиационная техника. 2010. № 2. С. 49–52.
9. Пористые проницаемые материалы / Под общ. ред. С.В. Белова. М.: Металлургия, 1987.
10. Зейгарник Ю.А., Поляков А.Ф., Сухорученко С.Ю., Шехте Ю.П. Гидравлические характеристики оболочек из пористых сетчатых материалов // ТВТ. 1996. Т. 34, вып. 6. С. 924–928.

Значения числа Re и коэффициента ζ , используемых в формуле (19), рассчитывались с помощью соотношений

$$Re = \frac{wd_{c\phi}}{\nu\Pi}, \quad \zeta = \frac{2\Delta p d_{c\phi} \Pi^2}{h\rho w^2},$$

где ρ и ν — соответственно плотность и кинематическая вязкость фильтруемой среды; $d_{c\phi}$ — диаметр сферы, вписанной в ячейку сетки, вычисляемый по формуле [11]

$$d_{c\phi} = \frac{\sqrt{(d_2 + D \sin^2 \varphi)^2 + D^2 (1 - \sin^2 \varphi) \sin^2 \varphi}}{1 - \sin^2 \varphi} - \frac{(d_2 + D \sin^2 \varphi)}{1 - \sin^2 \varphi},$$

где $D = l/n_1 - d_1$ — расчетный комплекс.

Согласно результатам экспериментов (см. таблицу), величины коэффициентов A и B существенно зависят от степени деформации ϵ опорного слоя при холодной прокатке. Это необходимо учитывать при расчете гидравлического сопротивления многослойных пакетов сеток, применяемых для фильтрования маловязких жидкостей.

Значения коэффициентов A и B для деформированной сетки П56

Степень обжатия сетки ϵ	Значение коэффициентов	
	A	B
0	54	0,63
0,135	54	0,66
0,284	56	1,48
0,420	66	3,2
0,466	118	6,8

11. Девисилов В.А., Спиридонов В.С. Металлические проволочные сетки для фильтрации жидкостей и газов // Безопасность в техносфере. 2009. № 3. С. 36–45.

12. Белов С.В., Девисилов В.А., Жданов В.Н. Гидравлическое сопротивление тканых металлических сеток // Химическое и нефтяное машиностроение. 1989. № 8. С. 26–28.

REFERENCES

1. Kostochkin V.V. *Nadezhnost dvigatelei i silovykh ustanovok* [Reliability of engines and power plants]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1988.
2. Siritsin T.A. *Ekspluatatsiya i nadezhnost gidro-i pnevmoprivodov* [Operation and reliability of hydraulic and pneumatic drives]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1990. 248 p.
3. Shumilov I.S. *Sistemy upravleniya ruliami samoletov* [The rudder control system aircraft]. Moscow, MSTU named after N.E. Bauman Publ., 2009.
4. Sinel'nikov J.I., Tret'yakov A.F., Maturin N.I., Kolesnikov A.G. *Poristye setchatye materialy* [The porous mesh materials]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1983.
5. Novikov J.M., Bol'shakov V.A. *Vysakonadezhnye regeneriruemye filtry i fil'troelementy is kombinirovannogo poristogo setchatogo metalla (KPSM) dlij slozhnysh teshnicheskikh ob'ektov* [Highly regenerable filters and filter elements of combined porous metal mesh for complex technical systems]. *Bezopasnost zhiznedeyatel'nosti* (BGD) [Life Safety], 2001, I. 7, pp.13–18.
6. Belov S.V., Novikov J.M., Kolesnikov A.G., Bol'shakov V.A. *Mnogosloynnye kombinirovannye fil'truishchie materialy* [Multilayer composite filter media] *Vestnik mashinostroeniia* [Engineering Herald]. 1991, I. 6. pp. 31–33.
7. Collins K.E. *Flow through porous materials*. New York, 1961.
8. Kirsanov J.A., Nazimov P.A., Bashkirtsev G.V. *Geometriicheskie i termofizicheskie sharakteristiki vysokoporistysh struktur* [Geometric and thermophysical characteristics of higher-porous structure]. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Aviation equipment*. 2010, I. 2, pp. 49–52. (in Russian)
9. Belov S.V. *Poristye pronitsaemye materialy* [Porous permeable materials]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1987.
10. Zeigarnik J.A., Poliakov A.F., Sushoruchenko S.J., Shekhter J.P. *Gidravlicheskie kharakteristiki obolochek is poristykh setchatykh materialov* [The hydraulic performance of the membranes made of porous mesh materials]. *Teplofizika vysokikh temperatur* [High temperatures physics]. 1996, V. 34, I. 6. pp. 924–928.
11. Devisilov V.A., Spiridonov V.S. *Metallicheskie provolochnye setki dlia filtrovaniia zhidkosti i gazov* [Metal wire mesh for filtering liquid and gas]. *Bezopasnost v Teshnosfere* [Safety in the technosphere], 2009, I. 3, pp. 36–45.
12. Belov S.V., Devisilov V.A., Zhdanov V.N. *Gidravlichesкое soprotivlenie provolochnykh metallicheskiikh setok* [Hydraulic resistance of woven metal mesh]. *Khimicheskoe i nef'tianoe mashinostroenie* [Chemical and petroleum engineering]. 1989, I. 8, pp. 26–28.

Filtering Walls Made of Sintered Metal Gauzes for Built-in Filters of Aviation Hydraulic Systems

V.S. Spiridonov, Ph.D. of Engineering, Associate Professor, Bauman Moscow State Technical University, Research and Design Institute for Power Mechanical Engineering of Bauman Moscow State Technical University

Yu.M. Novikov, Ph.D. of Engineering, Head of Department, Bauman Moscow State Technical University, Research and Design Institute for Power Mechanical Engineering of Bauman Moscow State Technical University

V.A. Bolshakov, Head of Laboratory, Bauman Moscow State Technical University, Research and Design Institute for Power Mechanical Engineering of Bauman Moscow State Technical University

Results of theoretical and experimental researches related to cold deformation degree influence when rolling on strength and hydraulic characteristics of metal gauzes used for production of built-in filters' filtering walls have been presented. An analytical dependence of gauze's permeation coefficient on the gauze's reduction ratio and relative lengthening when rolling has been received based on ideal porous body's capillary model. Theoretical research results have been compared with the experimental data obtained at filtration of compressed air and mineral oil through samples of gauzes with various degree of cold deformation. Experimental dependences of gauzes' relative lengthening and strength limit on their cold deformation degree have been presented. Results of visual researches of deformed gauzes' surface condition have been presented. A dependence of contact spots' square at gauzes' surfaces on reduction ratio has been received. The analysis of contact spots' influence on hydraulic characteristics of the multilayered mesh material used for filtering walls production has been carried out. Results of experimental studies of gauzes' hydraulic characteristics have been processed in the form of dimensionless dependence of hydraulic resistance coefficient on filtered environment stream's Reynolds number.

Keywords: metal gauze, porous material, cold deformation, durability, permeability, filter.