

Технология и технологические машины

УДК 621.79.01


DOI 10.18698/0536-1044-2017-12-30-36

Исследование влияния конструктивных и технологических параметров на удельную прочность пористых сетчатых материалов

А.Ф. Третьяков

МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

Research into the Influence of Design and Technological Parameters on the Strength-to-Weight Ratio of Porous Net Materials

A.F. TretyakovBMSTU, 105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1 e-mail: tretyakov@bmstu.ru

i Получены расчетные зависимости для оценки влияния на удельную прочность пористых сетчатых материалов механических свойств и плотности проволок сеток, их геометрических размеров, взаимного расположения и технологических параметров сварки давлением при изготовлении пористых изделий. Показано, что пористость таких материалов определяется конструкцией брикета и относительным обжатием в процессе сварки давлением проволок сеток. Установлено, что вытяжка сеток оказывает влияние на свойства материалов с пористостью менее 0,1. Анализ полученных зависимостей и результатов расчета позволил выявить, что более высоким значением удельной прочности обладают пористые сетчатые материалы с параллельным расположением фильтровых сеток в направлении утков (оси y), а минимальной — вдоль основ (оси x). Удельная прочность материалов на основе сеток с квадратными ячейками не зависит от обжатия брикета сеток при получении пористых сетчатых материалов, а определяется только свойствами материала проволок и геометрическими параметрами сеток. Показано, что повышение удельной прочности таких материалов при пористости менее 0,2 происходит в результате образования сварных соединений утков между собой в плоскости, перпендикулярной направлению растягивающей силы.

Ключевые слова: пористый сетчатый материал, металлические сетки, сварка давлением, удельная прочность, пористость, плотность

i The article presents calculated dependencies to evaluate the influence of mechanical properties and density of mesh wires, their geometry, relative positions and technological parameters of welding on the strength-to-weight ratio when manufacturing porous net materials. It is shown

that the porosity of such materials is determined by the design of the briquette and its reduction rate in the process of pressure welding of mesh wires. It is established that mesh lengthening has an influence on the properties of materials with porosity of less than 0.1. The analysis of the obtained dependencies and calculation results has shown that porous net materials with parallel layout of filter mesh along the fillers (y -axis) have a higher strength-to-weight ratio, while those along the base (x -axis) have the minimum value. The strength-to-weight ratio of the materials with square mesh does not depend on the reduction rate of the briquettes but is determined only by the properties of the wire material and the geometrical parameters of the mesh. It is shown that an increase in the strength-to-weight of such materials with porosity of less than 0.2 occurs due to the formation of inter-filler welded joints in the plane perpendicular to the direction of the stretching force.

Keywords: porous net materials, metal mesh, pressure welding, strength-to-weight ratio, porosity, density

Пористые сетчатые материалы (ПСМ) на основе тканых металлических сеток [1] применяют в качестве фильтрующих элементов для очистки жидкостей и газов от механических загрязнений [2–4], систем теплозащиты ракетных двигателей [5], оболочек лопаток газотурбинных двигателей [6, 7], капиллярных заборных устройств [8] и др. Теоретические и экспериментальные исследования показали, что ПСМ представляют собой сварные конструкции, механические характеристики которых существенно зависят от конструктивных и технологических параметров их изготовления, а также свойств проволок сеток [9, 10].

Важной характеристикой конструкционных материалов, используемых для производства изделий авиационной и космической техники, является удельная прочность, определяемая как отношение предела прочности к плотности. Для ПСМ удельную прочность можно вычислить как отношение максимальных макроскопических осредненных напряжений при одноосном растяжении в направлении проволок сеток $\sigma_{в,x,y}$ к плотности пористого материала $\rho_{п}$.

Цель работы — получить расчетные зависимости для оценки влияния на удельную прочность ПСМ механических свойств и плотности проволок сеток, их геометрических размеров, взаимного расположения и технологических параметров сварки давлением при изготовлении пористых листовых изделий.

При определении механических свойств ПСМ принимали допущение о том, что силу в процессе растяжения воспринимают слои сеток пропорционально их площади поперечного сечения и прочности проволок, которые работают только в условиях одноосного растяжения. В качестве расчетной модели выбрана система перекрещивающихся цилиндрических

элементов, обладающих геометрическим подобием с сетками исследуемых типоразмеров. Кроме того, принимали равенство послойной деформации в процессе сварки давлением проволок, а также пренебрегали уширением сеток. С учетом указанных допущений и на основе принципа равенства сил, передаваемых совокупностью сварных структурообразующих элементов (проволок сеток) и фиктивным компактным телом, имеющим те же геометрические размеры, что и ПСМ, в работе [10] получены аналитические зависимости для расчета максимальных макроскопических осредненных напряжений при растяжении.

Значительный практический интерес при проектировании технологических процессов производства изделий из ПСМ с заданными механическими свойствами представляют зависимости для приближенного расчета прочности в условиях одноосного растяжения. При изготовлении ПСМ на основе фильтровых сеток слои, как правило, располагают под углом 90° для уменьшения анизотропии свойств в плоскости листа. При условии равенства пластичности сеток в направлениях основ и утков в соответствии с зависимостями, приведенными в работе [10], максимальные макроскопические осредненные напряжения в направлении проволок можно вычислить по формуле

$$\sigma_{в,x,y} = \frac{n_{ос}\eta_x(\sigma_{в} + \Delta\sigma) + n_{ут}\eta_y\sigma_{в}}{n(1-\varepsilon)},$$

где $n_{ос}$ и $n_{ут}$ — количество слоев сеток, в которых растягивающие силы направлены вдоль основ и утков; η_x и η_y — безразмерные коэффициенты, описывающие конструкцию сеток вдоль основ и утков; $\sigma_{в}$ — предел прочности проволок сеток; $\Delta\sigma$ — увеличение прочности фильтровых сеток в направлении основ; n — суммар-

ное количество сеток в ПСМ; ε — относительное обжатие брикета сеток в процессе сварки прокаткой в вакуумированных конвертах.

При параллельном расположении сеток с квадратными ячейками прочность ПСМ определяли как

$$\sigma_{в.х,y} = \frac{\sigma_{в} m \eta_{х,y}}{(1-\varepsilon)[\bar{\psi}(n-1)+1]},$$

где $\eta_{х,y}$ — безразмерный коэффициент, описывающий конструкцию сетки с квадратными ячейками вдоль проволок; $\bar{\psi}$ — математическое ожидание коэффициента плотности упаковки слоев сетки в брикете [9].

Коэффициенты $\eta_x, \eta_y, \eta_{x,y}$ вычисляли следующим образом:

$$\eta_x = \frac{\pi}{4n_l(1+2n_d)};$$

$$\eta_y = \frac{\pi m_{ут} d_{ос} n_d^2}{400(1+2n_d)};$$

$$\eta_{x,y} = \frac{\pi}{8n_l},$$

где $n_l = l_{ос}/d_{ос}$ ($l_{ос}$ — расстояние между основами сетки; $d_{ос}$ — диаметр проволоки основы); $n_d = d_{ут}/d_{ос}$ ($d_{ут}$ — диаметр проволоки утка); $m_{ут}$ — количество утков сетки на 100 мм длины.

Плотность ПСМ $\rho_{п}$ зависит от плотности материала проволок ρ_k конструкции брикета сеток (типоразмера и взаимного расположения) и возрастает с увеличением относительного обжатия брикета сеток в процессе сварки давлением. Одной из основных характеристик тканых сеток является пористость Π_c , которая представляет собой отношение объема пор в образце к его объему. Пористость определяется диаметром проволок, расстоянием между ними и типом переплетения, численные значения которых приведены в работах [4, 11].

Плотность сетки можно вычислить через ее пористость следующим образом:

$$\rho_c = \rho_k (1 - \Pi_c).$$

Толщина сеток зависит от диаметра проволоки, типа их переплетения и определяется для фильтровых как

$$h_c = d_{ос} + 2d_{ут},$$

а для сеток с квадратными ячейками, образованных проволоками диаметром d ,

$$h_c = 2d.$$

Взаимное расположение сеток в брикете можно описать двумя параметрами: углом β , под которым проволоки соседних сеток перекрещиваются, и коэффициентом плотности упаковки слоев ψ . Величина ψ для двух слоев сеток представляет собой отношение [12]

$$\psi = \frac{2t_c}{h_{c1} + h_{c2}},$$

где t_c — расстояние между осями симметрии сеток; h_{c1} и h_{c2} — толщина сетки первого и второго слоя.

Значение коэффициента плотности упаковки слоев определяется геометрическими размерами сеток, их расположением, а также случайным взаимным смещением в процессе сборки и деформации брикета сеток. Поэтому расстояние между соседними слоями сеток — случайная величина, значение которой находится в интервале

$$\frac{h_{c1} + h_{c2}}{2} \geq t_c \geq t_{\min},$$

t_{\min} — минимальное расстояние между осями симметрии сеток.

После принятия допущения, что изменение коэффициента ψ при смещении сеток друг относительно друга описывается линейной зависимостью, в работе [12] получено следующее выражение для оценки математического ожидания параметра ψ :

$$\bar{\psi} = \frac{3 + \psi_{\min}}{8}.$$

Значение ψ_{\min} при заданном взаимном расположении сеток определяется их геометрическими параметрами. Так, для фильтровых сеток минимальное значение коэффициента ψ , достигаемое при параллельном расположении сеток ($\beta = 0$) полотняного переплетения, имеет вид [12]

$$\psi_{\min} = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{n_d}{(1+2n_d)} \left(\frac{n_l}{\sqrt{n_l^2 - (1+n_d)^2}} - 0,3 \right) \right].$$

При расположении фильтровых сеток полотняного переплетения под углом $\beta \neq 0$ и для сеток саржевого переплетения при любом взаимном расположении $\psi_{\min} = 1,0$. Для сеток с квадратными ячейками ψ_{\min} зависит от параметра n_l и взаимного расположения перекрытий проволок, координаты которых можно

выразить через следующие безразмерные величины:

$$S_x = \frac{2l_x}{a+d}; \quad S_y = \frac{2l_y}{a+d},$$

где l_x и l_y — расстояние между перекрестиями проволок по оси x и y ; a — размер ячейки в свету [12].

Исследования, выполненные совместно с Г.П. Полушкиным, показали, что наиболее плотная упаковка сеток с квадратными ячейками достигается, когда перекрытия проволок одного слоя расположены в центре ячеек второго, т. е. $S_x = S_y = 1,0$. Такая конструкция брикета сеток может быть получена только при $\beta = 0$. Тогда изменения параметра Ψ_{\min} можно выразить следующим образом:

$$\Psi_{\min} = \frac{(\Psi''_{\min} - 1)(S_x + S_y)}{2} + 1,$$

где Ψ''_{\min} — минимальное значение коэффициента плотности упаковки при параллельном расположении, определяемое как [1]

$$\Psi''_{\min} = \frac{1,5n_l}{\sqrt{n_l^2 - 1}} - 1.$$

Расчеты позволили установить, что Ψ_{\min} при параллельном расположении сеток уменьшается с увеличением n_l , а при $0 \leq \beta \leq 45^\circ$ с погрешностью 5...7% можно принять $\Psi_{\min} = 1,0$. Кроме того, для брикета, образованного сетками различного типоразмера, $\Psi_{\min} = 1,0$.

Таким образом, выполненные исследования влияния геометрических параметров сеток и их взаимного расположения на коэффициент плотности упаковки позволили получить следующее выражение для расчета толщины брикета, состоящего из n слоев:

$$h_{\text{бр}} = \frac{h_{c1} + h_{cn}}{2} + \sum_{i=1}^{n-1} \bar{\Psi}_i \frac{h_{ci} + h_{ci+1}}{2},$$

где h_{c1}, h_{ci}, h_{ci+1} и h_{cn} — толщина сеток соответственно 1-го, i -го, $(i + 1)$ -го и последнего слоя.

Пористость брикета $\Pi_{\text{бр}}$ определяется геометрическими параметрами сеток, их количеством и взаимным расположением. Пористость брикета, образованного сетками одного типоразмера, имеет вид

$$\Pi_{\text{бр}} = 1 - \frac{n(1 - \Pi_c)}{\bar{\Psi}(n-1) + 1}. \quad (1)$$

Процесс пластической деформации брикета сеток при сварке давлением приводит к изменению его размеров, консолидации проволок и снижению пористости. Уменьшение толщины брикета сеток оценивали относительным обжатием, значение которого рассчитывали по формуле

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_{\text{бр}}},$$

где Δh — абсолютная величина уменьшения высоты брикета.

Согласно выражениям, полученным в работах [1, 12], пористость и плотность ПСМ на основе сеток одного типоразмера определяются из следующих выражений:

$$\Pi = 1 - \frac{n(1 - \Pi_c)}{\lambda[\bar{\Psi}(n-1) + 1](1 - \varepsilon)}; \quad (2)$$

$$\rho_{\text{п}} = \frac{\rho_{\text{к}} n (1 - \Pi_c)}{\lambda[\bar{\Psi}(n-1) + 1](1 - \varepsilon)},$$

где λ — вытяжка брикета сеток при относительном обжатии ε .

Исследование процесса обжатия брикета сеток позволило установить, что на вытяжку наибольшее влияние оказывают геометрические параметры сеток, их взаимное расположение в брикете и значение относительного обжатия в процессе сварки прокаткой. При допущении, что удлинение проволок происходит в результате их сплющивания, совместно с А.Г. Колесниковым получена зависимость для расчета вытяжки [12]

$$\lambda = 1 + \frac{(\varepsilon - \varepsilon_{\text{н}})\varepsilon(1 - \Pi_{\text{бр}})}{[1 - (\varepsilon - \varepsilon_{\text{н}})](1 - \varepsilon)n_l},$$

где $\varepsilon_{\text{н}}$ — обжатие брикета сеток, при котором начинается сварка их проволок,

$$\varepsilon_{\text{н}} = 1 - \frac{\Psi''_{\min}(n-1) + 1}{\bar{\Psi}(n-1) + 1}.$$

Экспериментальные значения пористости и результаты расчета по формуле (2) приведены на рис. 1. Анализ зависимостей (1), (2) показал, что $\Pi_{\text{бр}}$ и ε оказывают существенное влияние на пористость, а воздействие вытяжки на Π значимо для ПСМ с пористостью менее 0,1. Проверка показала адекватность предложенной модели расчета пористости по критерию Фишера при уровне значимости 5%. Кроме того, высокие значения обжатия брикета сеток в направлении прокатки формируют анизотро-

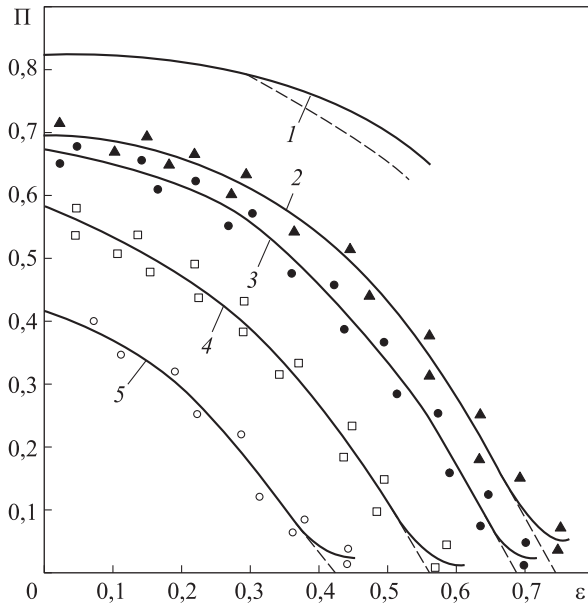


Рис. 1. Влияние относительного обжатия брикета сеток на пористость ПСМ с учетом (—) и без учета (---) вытяжки сеток в процессе прокатки:

- 1 — один слой сетки с квадратными ячейками размером $a = 2$ мм;
 2 — сетки с квадратными ячейками размером $a = 0,071$ мм, расположенные под углом $\beta = 45^\circ$;
 3 и 4 — сетки фильтровые плотняного переплетения П60, расположенные под углом $\beta = 90^\circ$ и $\beta = 0^\circ$;
 5 — сетки односторонние фильтровые саржевого переплетения С80, расположенные под углом $\beta = 90^\circ$;
 ▲, ●, □, ○ — экспериментальные данные

пию свойств ПСМ, которая снижает значения коэффициентов формоизменения в процессе листовой штамповки при получении изделий заданной конфигурации.

Удельная прочность пористых материалов на основе фильтровых сеток одного типоразмера при параллельном взаимном расположении можно определить из следующих выражений:

- в направлении основ

$$\frac{\sigma_{вх}}{\rho_{п}} = \frac{(\sigma_{в} + \Delta\sigma)\eta_x}{\rho_k(1 - \Pi_c)}; \quad (3)$$

- в направлении утков

$$\frac{\sigma_{вy}}{\rho_{п}} = \frac{\sigma_{в}\eta_y}{\rho_k(1 - \Pi_c)}. \quad (4)$$

Удельная прочность ПСМ при перпендикулярном расположении фильтровых сеток ($\beta = 90^\circ$) в направлении проволок сеток

$$\frac{\sigma_{вх,y}}{\rho_{п}} = \frac{n_{oc}\eta_x(\sigma_{в} + \Delta\sigma) + \sigma_{вyT}\eta_y}{\rho_k n(1 - \Pi_c)}. \quad (5)$$

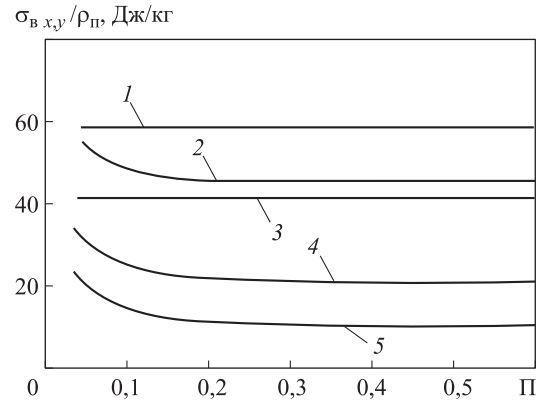


Рис. 2. Влияние пористости на удельную прочность ПСМ:

- 1 и 4 — на основе фильтровой сетки плотняного переплетения П60 из стали 12Х18Н10Т при параллельном расположении ($\beta = 0^\circ$) в направлении утков и основ;
 2 и 5 — на основе фильтровой сетки плотняного переплетения П60 из стали 12Х18Н10Т и латуни Л80 при перпендикулярном расположении ($\beta = 90^\circ$) в направлении проволок сеток (т. е. вдоль осей x, y);
 3 — на основе сетки с квадратными ячейками размером $a = 0,08$ мм из стали 12Х18Н10Т при параллельном расположении ($\beta = 0^\circ$) в направлении проволок сеток

Удельная прочность ПСМ на основе сеток с квадратными ячейками при их параллельном расположении имеет вид

$$\frac{\sigma_{вх,y}}{\rho_{п}} = \frac{\sigma_{в}\eta_{х,y}}{\rho_k(1 - \Pi_c)}. \quad (6)$$

Анализ выражений (3)–(6) и результатов расчета, приведенных на рис. 2, позволил установить, что удельная прочность ПСМ зависит от удельной прочности проволок, пористости сеток, используемых для изготовления ПСМ, и их взаимного расположения. Повышение удельной прочности ПСМ с параллельным расположением ($\beta = 0^\circ$) фильтровых сеток при снижении пористости материала объясняется увеличением площади сварных соединений утков, расположенных в плоскости, перпендикулярной растягивающей силе [12].

Изучение влияния конструкции брикета сеток из стали 12Х18Н10Т на удельную прочность показало, что самым высоким значением обладают ПСМ с параллельным расположением фильтровых сеток в направлении утков, а минимальной — вдоль основ. Удельная прочность ПСМ на основе сеток с квадратными сетками не зависит от обжатия брикета сеток в процессе сварки.

Выводы

1. Пористость ПСМ определяется конструкцией брикета и относительным обжатием в процессе сварки давлением проволок сеток. Вытяжка сеток оказывает значимое влияние на свойства материалов при $\Pi < 0,1$.

2. Удельная прочность пористых материалов на основе сеток с квадратными ячейками не

зависит от обжатия брикета сеток при получении ПСМ, а определяется только свойствами материала проволок (σ_v, ρ_k), а также геометрическими параметрами сеток.

3. Повышение удельной прочности ПСМ на основе фильтровых сеток при $\Pi < 0,2$ происходит в результате образования сварных соединений утков между собой в плоскости, перпендикулярной направлению растягивающей силы.

Литература

- [1] Синельников Ю.И., Третьяков А.Ф., Матурин Н.И., Колесников А.Г., Панов А.Д., Макарошкин В.И. *Пористые сетчатые материалы*. Москва, Металлургия, 1983. 64 с.
- [2] Спиридонов В.С., Новиков Ю.М., Большаков В.А. Фильтровальные перегородки из спеченных металлических сеток для встроенных фильтров авиационных гидросистем. *Безопасность в техносфере*, 2015, № 4, с. 39–45.
- [3] Sparks T., Chase G. *Filters and Filtration. Handbook*. Elsevier, 2013. 444 p.
- [4] Девисилов В.А., Спиридонов В.С. Металлические проволочные сетки для фильтрации жидкостей и газов. Ч. 1. Структурные характеристики и их расчет. *Безопасность в техносфере*, 2009, № 3, с. 46–55.
- [5] Пелевин Ф.В., Аврамов Н.И., Орлин С.А., Синцов А.Л. Эффективность теплообмена в пористых элементах конструкций жидкостных ракетных двигателей. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2013, вып. 4. URL: <http://engjournal.ru/articles/698/698.pdf> (дата обращения 15 июня 2017).
- [6] Зейгарник Ю.А., Поляков А.Ф., Стратьев В.К., Третьяков А.Ф., Шехтер Ю.Л. *Испытания пористого сетчатого материала в качестве оболочки лопаток высокотемпературных газовых турбин*. Москва, Препринт ОИВТ РАН, 2010, № 2-502. 64 с.
- [7] Bunker R.S. Gas turbine cooling. Moving from macro to micro cooling. *Proceedings of the ASME Turbo Expo*, 2013. 3 p.
- [8] Новиков Ю.М., Большаков В.А. Инженерная школа МГТУ им. Н.Э. Баумана: комбинированные пористые сетчатые материалы. Эффективные, безопасные и экологичные изделия на их основе. *Безопасность жизнедеятельности*, 2015, № 11, с. 53–56.
- [9] Третьяков А.Ф. Исследование механических и технологических свойств листовых пористых сетчатых материалов из стали 12Х18Н10Т. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2016, вып. 6. URL: <http://engjournal.ru/articles/1498/1498.pdf> (дата обращения 15 июня 2017).
- [10] Третьяков А.Ф. Влияние конструктивных и технологических параметров на анизотропию механических свойств пористых материалов. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2016, № 12, с. 87–96.
- [11] Белов С.В., ред. *Пористые проницаемые материалы: справочник*. Москва, Металлургия, 1987. 335 с.
- [12] Третьяков А.Ф. Технологическая наследственность в процессе изготовления изделий из пористых сетчатых материалов с заданными свойствами. Сообщение 1. Влияние конструкции брикета сеток и относительного обжатия структурообразующих элементов на пористость листовых заготовок. *Производство проката*, 2013, № 5, с. 32–42.

References

- [1] Sinel'nikov Iu.I., Tret'iakov A.F., Maturin N.I., Kolesnikov A.G., Panov A.D., Makarochkin V.I. *Poristye setchatye materialy* [The porous mesh material]. Moscow, Metallurgiya publ., 1983. 64 p.
- [2] Spiridonov V.S., Novikov Iu.M., Bol'shakov V.A. Fil'troval'nye peregorodki iz spechennykh metallicheskih setok dlia vstroennykh fil'trov aviatsionnykh gidrosistem [Filtering Walls

- Made of Sintered Metal Gauzes for Built-in Filters of Aviation Hydraulic Systems]. *Bezopasnost' v tekhnosfere* [Safety in technosphere]. 2015, no. 4, pp. 39–45.
- [3] Sparks T., Chase G. *Filters and Filtration. Handbook*. Elsevier, 2013. 444 p.
- [4] Devisilov V.A., Spiridonov V.S. Metallicheskie provolochnye setki dlia fil'trovaniia zhidkostei i gazov. Chast' 1. Strukturnye kharakteristiki i ikh raschet [Metal wire grids for filtering liquids and gases. Part 1. Structural characteristics and their calculation]. *Bezopasnost' v tekhnosfere* [Safety in technosphere]. 2009, no. 3, pp. 46–55.
- [5] Pelevin F.V., Avramov N.I., Orlin S.A., Sintsov A.L. Effektivnost' teploobmena v poristykh elementakh konstruksii zhidkostnykh raketnykh dvigatelei [Heat exchange efficiency in porous structural elements of liquid-propellant rocket engines]. *Inzhenernyi zhurnal: nauka i innovatsii* [Engineering Journal: Science and Innovation]. 2013, is. 4. Available at: <http://engjournal.ru/articles/698/698.pdf> (accessed 15 June 2017).
- [6] Zeigarnik Iu.A., Poliakov A.F., Strat'ev V.K., Tret'iakov A.F., Shekhter Iu.L. *Ispytaniia poristogo setchatogo materiala v kachestve obolochki lopatok vysokotemperaturnykh gazovykh turbin* [Tests porous mesh material as the sheath gas turbine blade of high]. Moscow, Preprint OIVT RAN, 2010, no. 2-502. 64 p.
- [7] Bunker R.S. Gas turbine cooling. Moving from macro to micro cooling. *Proceedings of the ASME Turbo Expo*, 2013. 3 p.
- [8] Novikov Iu.M., Bol'shakov V.A. Inzhenernaia shkola MG TU im. N.E. Baumana: kombinirovannye poristye setchatye materialy. Effektivnye, bezopasnye i ekologichnye izdeliia na ikh osnove [School of engineering Bauman Moscow State Technical University: combined porous mesh materials. Efficient, safe and environmentally friendly products on their basis]. *Bezopasnost' zhiznediel'nosti* [Life safety]. 2015, no. 11, pp. 53–56.
- [9] Tret'iakov A.F. Issledovanie mekhanicheskikh i tekhnologicheskikh svoystv listovykh poristykh setchatykh materialov iz stali 12Kh18N10T [Investigation of mechanical and technological properties of porous meshed material sheets of steel 12X18H10T]. *Inzhenernyi zhurnal: nauka i innovatsii* [Engineering Journal: Science and Innovation]. 2016, is. 6. Available at: <http://engjournal.ru/articles/1498/1498.pdf> (accessed 15 June 2017).
- [10] Tret'iakov A.F. Vliianie konstruktivnykh i tekhnologicheskikh parametrov na anizotropiiu mekhanicheskikh svoystv poristykh materialov [The Influence of Structural, Technological Parameters and Strain State on Anisotropy of Mechanical Properties of Sheet Porous Net Materials]. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Mashinostroenie* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building]. 2016, no. 12, pp. 87–96.
- [11] *Poristye pronitsaemye materialy: spravochnik* [Porous permeable materials: Handbook]. Ed. Belov S.V. Moscow, Metallurgiiia publ., 1987. 335 p.
- [12] Tret'iakov A.F. Tekhnologicheskaiia nasledstvennost' v protsesse izgotovleniia izdelii iz poristykh setchatykh materialov s zadannymi svoystvami. Soobshchenie 1. Vliianie konstruksii briketa setok i otnositel'nogo obzhatiia strukturoobrazuiushchikh elementov na poristost' listovykh zagotovok [Technological heredity in the process of manufacture of porous mesh materials with desired properties. Message 1. The effect of the structure of the briquette grids and the relative compression-forming elements on the porosity of sheet materials]. *Proizvodstvo prokata* [Rolled Products Manufacturing]. 2013, no. 5, pp. 32–42.

Статья поступила в редакцию 19.09.2017

Информация об авторе

ТРЕТЬЯКОВ Анатолий Федорович (Москва) — доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки материалов». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: tretiyakov@bmstu.ru).

Information about the author

TRETYAKOV Anatoliy Fyodorovich (Moscow) — Doctor of Science (Eng.), Professor, Department of Technologies of Materials Processing, Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: tretiyakov@bmstu.ru).