

# Технология и технологические машины

УДК 621.79.01


DOI 10.18698/0536-1044-2018-2-42-49

## Механические свойства тканых металлических сеток, применяемых для изготовления пористых сетчатых материалов из стали 12Х18Н10Т

**А.Ф. Третьяков**

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

## Mechanical Properties of Woven Metal Mesh Used for Manufacturing Porous Net Materials from 12Kh18N10T Steel

**A.F. Tretyakov**BMSTU, 105005, Moscow, Russian Federation, 2<sup>nd</sup> Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1 e-mail: [tretyakov@bmstu.ru](mailto:tretyakov@bmstu.ru)

**i** Представлена номенклатура тканых металлических сеток с квадратными ячейками и фильтровых сеток, наиболее часто используемых в технике фильтрации и для изготовления пористых сетчатых материалов. Показано, что механические свойства сеток и пористых сетчатых материалов при растяжении зависят не только от их удлинения, но также от конструкции, взаимного расположения в материалах и относительного обжатия в процессе сварки давлением проволок сеток. Разработана расчетно-экспериментальная методика построения диаграмм растяжения, которая на основе подобия геометрических параметров сеток одного типа переплетения проволок позволяет определять прочность определенного типоразмера сеток с заданным значением относительного обжатия в процессе сварки давлением. Получены аналитические зависимости, описывающие влияние геометрических параметров сеток и относительного обжатия в процессе сварки давлением на прочность пористых сетчатых материалов из стали 12Х18Н10Т. Результаты теоретических и экспериментальных исследований могут быть использованы при проектировании и изготовлении изделий из пористых сетчатых материалов, а также для прочностных расчетов конструкций, работающих в условиях одноосного растяжения.

**Ключевые слова:** пористые сетчатые материалы, тканые металлические сетки, механические свойства, диаграмма растяжения, относительное обжатие, сварка давлением

**i** This work presents the nomenclature of woven square mesh and filter mesh that are most frequently used in filtering techniques as well as for manufacturing porous net materials. It is shown that mechanical properties of metal mesh and net porous materials under tension depend not only on their elongation but also on the design, relative position in the material and percent reduction in the process of pressure welding of the mesh wires. A method of

constructing stress-strain diagrams based on calculations and experiments is proposed. It uses the similarity of geometrical parameters of one type of wire weaving as a basis for determining the strength of a certain type-size mesh with a specified value of percent reduction in the process of pressure welding. Analytical dependencies are obtained that describe the influence of the mesh geometrical parameters and the percent reduction on the strength of the 12Kh18N10T steel porous net materials in the process of pressure welding. The results of the theoretical research and experiments can be used for designing and manufacturing products made of porous net materials as well as for strength calculations of constructions operating under uniaxial tension.

**Keywords:** porous net materials, woven metal mesh, mechanical properties, stress-strain diagram, percent reduction, pressure welding

Анализ конструкций, технологий изготовления и условий эксплуатации фильтроэлементов для очистки жидкостей и газов от механических загрязнений [1–3], систем теплозащиты ракетных двигателей [4], проницаемых оболочек лопаток высокотемпературных газовых турбин [5, 6], капиллярных заборных устройств [7] и другой техники фильтрования показал, что оптимальными свойствами для их производства обладают пористые сетчатые материалы (ПСМ), получаемые сваркой давлением тканых металлических сеток [8–10]. ПСМ имеют более высокие механические и технологические свойства по сравнению с порошковыми, волоковыми и другими металлическими пористыми материалами [11] при заданных гидравлических, теплофизических и фильтровальных характеристиках.

Теоретические и экспериментальные исследования позволили установить, что пористые материалы на основе металлических сеток отличает сложная совокупность механических характеристик, значения которых существенно зависят от свойств проволок, конструкции сеток, их количества и взаимного расположения, относительного обжатия в процессе сварки давлением и качества твердофазного соединения проволок [12].

В России и за рубежом создана большая номенклатура металлических сеток, изготавливаемых на металлорежущих станках путем переплетения параллельно натянутых продольных проволок (основ) поперечными (утками). Конструкция сеток определяется типом переплетения проволок, диаметрами основ  $d_{oc}$ , утков  $d_{yt}$  и расстоянием между основами  $l_{oc}$  [8]. По типу переплетения проволочные тканые сетки подразделяют на сетки с квадратными ячейками и фильтровые, которые могут быть полотняного, саржевого двустороннего и одностороннего переплетения.

Наиболее распространены тканые сетки с квадратными ячейками, где расстояния между утками равны расстояниям между основами. При этом диаметры проволок также одинаковы. У фильтровых сеток утки плотно (без щелей) прилегают один к другому, а отношение диаметра утка к диаметру основы всегда меньше единицы.

Размеры проволочных тканых сеток с квадратными ячейками из стали 12Х18Н10Т определяют ГОСТ 3826–82 и ТУ 14-4-507–99, согласно которым номер сетки обозначает размер ячейки в свету  $a$  (мм). Шаг сетки вычисляют по формуле  $l = a + d$ , где  $d$  — диаметр проволоки. Конструкция этого типа плетения сеток характеризуется безразмерным параметром

$$n_l = \frac{a + d}{d}.$$

Размерный ряд проволочных фильтровых сеток регламентирует ГОСТ 3187–76, в соответствии с которым их номер определяет  $m_{oc}$  — номинальное количество проволок основы на 100 мм длины. Тогда расстояние между основами

$$l_{oc} = \frac{100}{m_{oc}}.$$

Конструкция этих сеток характеризуется безразмерными параметрами

$$n_d = \frac{d_{yt}}{d_{oc}} \text{ и } n_l = \frac{l_{oc}}{d_{oc}}.$$

Условные обозначения отечественных тканых металлических сеток зависят от типа переплетения, количества проволок, вида и размера ячейки в свету, точности изготовления и марки материала проволок. Так, фильтровые сетки обозначают индексами, в которых буквами указан тип переплетения (П — полотняное, С — саржевое одностороннее, СД — саржевое дву-

стороннее), а цифрами — количество проволок основы на 100 мм длины сетки. Например, П60 — тканая металлическая сетка фильтрового полотняного переплетения, у которой 60 проволок основы на 100 мм длины, а сетка 04 — тканая металлическая сетка полотняного переплетения с квадратными ячейками размером в свету  $a = 0,4$  мм.

Механические характеристики сеток и ПСМ с параллельным и перпендикулярным расположением слоев могут быть определены в условиях одноосного растяжения в направлении проволок сеток, так как деформации и напряжения по ширине и толщине образца незначительны. При произвольном взаимном расположении слоев сеток прочность ПСМ в значительной степени зависит от ширины образца, поэтому наиболее достоверные данные могут быть получены в условиях двухосного растяжения.

Для определения расположения сеток в ПСМ введена система координат  $x_i y_i$ , при этом ось  $x_i$  совпадает с направлением основ, а ось  $y_i$  — с направлением утков в  $i$ -м слое сетки. Макроскопические осредненные напряжения в направлении осей  $x_i, y_i$  вычисляются следующим образом:

$$\sigma_{x,y} = \sum_{i=1}^n \sigma_{ix,y} \frac{h_i}{h_{\Pi}},$$

где  $n$  — количество слоев сеток;  $\sigma_{ix,y}$  — макроскопические осредненные напряжения в  $i$ -м слое сетки толщиной  $h_i$ ;  $h_{\Pi}$  — толщина ПСМ.

Таким образом, для расчета значений  $\sigma_{x,y}$  необходимо знать напряжение в каждом слое сетки в направлении растяжения с учетом расположения проволок по отношению к растягивающей силе. В основу определения этих напряжений положены диаграммы растяжения отдельных слоев сеток в направлении проволок, т. е. в направлении осей  $x_i, y_i$ .

Значения макроскопических осредненных напряжений, возникающих в сетках при растяжении, зависят не только от их удлинения, но также от конструкции сеток и относительного обжатия  $\varepsilon_{\Pi}$  в процессе сварки давлением. Поэтому для каждого конкретного случая требуется определить диаграммы растяжения сеток заданной конструкции и технологии изготовления ПСМ. Количество экспериментов, необходимых для определения механических характеристик, можно сократить путем установления зависимостей, описывающих влияние диаметра проволок, конструкции сеток и относительного обжатия  $\varepsilon_{\Pi}$  на свойства.

Цель работы — разработка расчетно-экспериментальной методики определения диаграмм растяжения сеток, используемых для изготовления ПСМ с заданными механическими свойствами.

Экспериментальные исследования влияния прочности проволок, конструктивных параметров сеток и их относительного обжатия в условиях сварки прокаткой в вакуумированных конвертах на механические свойства сеток и ПСМ выполнены в работе [8]. Диаграммы растяжения получены путем одноосного растяжения образцов в виде пластинок длиной 200 мм и шириной 15 мм, вырезанных вдоль проволок из фильтровых сеток полотняного переплетения и сеток с квадратными ячейками из стали 12Х18Н10Т. Макроскопические осредненные напряжения в образцах при растяжении определяются по формуле

$$\sigma_{x,y} = \frac{P_{x,y}}{bh_0},$$

где  $P_{x,y}$  — растягивающая сила при испытании образцов соответственно в направлении основ и утков;  $b$  — ширина образца;  $h_0$  — толщина сетки в исходном состоянии.

Толщина сетки в зависимости от ее типоразмера и относительного обжатия в условиях сварки прокаткой имеет вид [8]

$$h = h_0(1 - \varepsilon_{\Pi}).$$

Анализ диаграмм растяжения позволил установить более высокую анизотропию фильтровых сеток по сравнению с сетками, имеющими квадратные ячейки, а увеличение относительного обжатия в процессе сварки сеток всех типоразмеров приводит к снижению их пластичности в результате образования концентраторов напряжений в местах сварки проволок. На максимальные макроскопические осредненные напряжения  $\sigma_{вx,y}$  существенное влияние оказывает конструкция сеток, а возрастание  $\sigma_{вx,y}$  с повышением относительного обжатия происходит в результате уменьшения толщины. Поэтому значения макроскопических осредненных напряжений в каждом конкретном случае целесообразно определять экспериментально.

Сокращение количества экспериментов может быть достигнуто в результате исследования влияния площади поперечного сечения проволок, особенностей конструкции сеток и относительного обжатия на условные напряжения

в воспринимающих растягивающую силу проволочках, вычисляемые по формуле

$$\sigma_{x,y}^{pp} = \frac{P_{x,y}}{K_{pp} F_{pp}},$$

где  $K_{pp}$  — количество проволок в сечении, перпендикулярном направлению растяжения образца;  $F_{pp}$  — площадь поперечного сечения одной проволоки в исходном состоянии.

Количество проволок в сечении, перпендикулярном направлению растяжения образца, определяется следующим образом:

- для сеток с квадратными ячейками

$$K_{pp} = \frac{b}{a+d};$$

- для фильтровых сеток

$$K_{pp} = \frac{bm}{100},$$

где  $m$  — количество проволок на 100 мм длины сетки (задаваемое государственным стандартом или техническими условиями на соответствующий тип и номер сетки).

Тогда макроскопические осредненные напряжения в образцах можно представить как

$$\sigma_{x,y} = \frac{\eta \sigma_{x,y}^{pp}}{1 - \epsilon_n},$$

где  $\eta = F_{pp} m / 100 h_0$ .

Если величины  $F_{pp}$ ,  $h_0$  выразить через безразмерные параметры  $n_l$ ,  $n_d$ , то коэффициент, описывающий конструкцию сетки, приобретает вид:

- для сеток с квадратными ячейками

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

- для фильтровой сетки вдоль основ

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

- для фильтровой сетки вдоль утков

$$\eta_y = \frac{\pi m_{yt} d_{oc} n_d^2}{400(1+2n_d)},$$

где  $m_{yt}$  — количество утков сетки на 100 мм длины.

На рис. 1 приведены диаграммы растяжения сетки с квадратными ячейками размером 1 мм. Анализ диаграммы в координатах  $\sigma_{x,y}^{pp} - e_{x,y}$  (рис. 1, б), где  $e_{x,y}$  — относительное удлинение образца в направлении осей  $x, y$ , позволил установить, что максимальные условные напряжения в проволоках сеток с квадратными ячейками  $\sigma_{в,x,y}^{pp}$  практически не зависят от относительного обжатия в процессе сварки. Кроме того, многочисленные испытания образцов фильтровых сеток в направлении утков показали, что  $\epsilon_n$  также не оказывает влияния на их прочность. Поэтому было принято допущение о равенстве напряжений  $\sigma_{в,x,y}^{pp}$  и предела прочности проволок сеток  $\sigma_{в}$  после термомеханической обработки по режиму сварки [12].

При растяжении образцов фильтровых сеток в направлении основ  $\sigma_{в,x,y}^{pp}$  повышается с ростом  $\epsilon_n$  в результате образования сварных соединений утков между собой, что приводит к увеличению площади поперечного сечения, воспринимающей растягивающую силу. Прочность фильтровых сеток в направлении основ имеет вид

$$\sigma_{в,x,y}^{pp} = \sigma_{в} + \Delta\sigma. \tag{1}$$

Повышение прочности фильтровых сеток в направлении основ с достаточной точностью

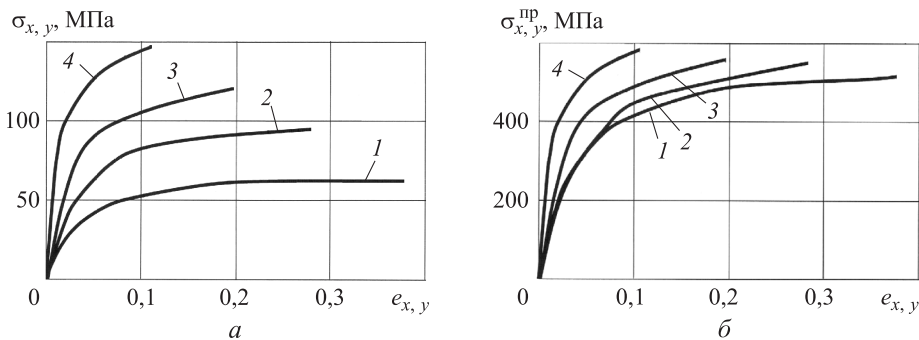


Рис. 1. Экспериментальные диаграммы растяжения сетки с квадратными ячейками размером 1 мм при относительном обжатии  $\epsilon_n = 0$  (1), 0,26 (2), 0,38 (3), 0,48 (4):

а — зависимости макроскопических осредненных напряжений в сетке  $\sigma_{x,y}$  от относительного удлинения образца  $e_{x,y}$ ;  
 б — зависимости условных напряжений в проволоках  $\sigma_{x,y}^{pp}$  от относительного удлинения образца  $e_{x,y}$

для инженерных расчетов описывается экспоненциальной зависимостью [8]

$$\Delta\sigma = Ae^{C\epsilon_{\text{п}}}, \quad (2)$$

где  $A, C$  — эмпирические коэффициенты.

Значения коэффициентов  $A, C$  зависят от типа переплетения проволок сетки (полотняное, саржевое), марки материала проволок и параметров режима сварки давлением. Так, для фильтровых сеток полотняного переплетения из стали 12X18H10T, подвергнутых сварке прокаткой в вакуумированных конвертах:  $A = 4,5$  МПа,  $C = 8,0$ . Прочность фильтровых сеток полотняного переплетения в направлении основ определяется подстановкой выражения (2) и соответствующих значений  $\sigma_{\text{в}}$ ,  $A, C, \epsilon_{\text{п}}$  в уравнение (1).

Значения  $\sigma_{\text{в}x}, \sigma_{\text{в}y}$  для конкретных сеток находят из диаграмм растяжения, которые можно получить путем обработки экспериментальных диаграмм растяжения образцов сеток, претерпевших необходимое относительное обжатие в процессе сварки давлением. В целях сокращения количества экспериментов, требуемых для определения механических свойств сеток и ПСМ на их основе, предложен расчетно-экспериментальный метод построения диаграмм растяжения искомых сеток после сварки давлением при заданной степени обжатия.

В качестве примера рассмотрим последовательность построения диаграммы растяжения образцов сетки с квадратными ячейками размером 0,04 мм (сетки 004, ТУ 14-4-507-99) из

стали 12X18H10T, претерпевшей относительное обжатие  $\epsilon_{\text{п}}^* = 0,2$  в процессе сварки прокаткой в вакуумированных конвертах. С этой целью использованы приведенные на рис. 2 экспериментальные диаграммы растяжения образцов сетки с квадратными ячейками размером 0,2 мм (сетки 02) после термообработки без последующей прокатки, т. е. при  $\epsilon_{\text{п}} = 0$ , и после сварки прокаткой при  $\epsilon_{\text{п}} = 0,25; 0,52$ .

Для построения диаграммы растяжения образцов сетки 02 после сварки прокаткой при  $\epsilon_{\text{п}}^* = 0,2$  экспериментальные зависимости  $\sigma_{x,y}(e_{x,y})$  перестраивали в координатах  $\sigma_{x,y} - \epsilon_{\text{п}}$  для получения зависимостей  $\sigma_{x,y}(\epsilon_{\text{п}})$  при  $e_{x,y} = 0,02; 0,04; 0,05$  и  $0,10$ . Затем рассчитывали диаграмму растяжения сетки 02 при  $\epsilon_{\text{п}}^* = 0,2$  (кривая 4) путем перестроения графиков 6–9 в координатах  $\sigma_{x,y} - e_{x,y}$  из условия подобия сеток одного типа переплетения проволок, претерпевших равное относительное обжатие в процессе сварки прокаткой  $\epsilon_{\text{п}}^*$ . Искомую диаграмму растяжения сетки 004 определяли путем пересчета напряжений  $\sigma_{x,y}$ , возникающих в образцах при одинаковых растягивающих относительных деформациях  $e_{x,y}$ , по формуле

$$\sigma_{1x,y} = \frac{\eta_{1x,y}\sigma_{2x,y}}{\eta_{2x,y}}, \quad (3)$$

где  $\sigma_{1x,y}$  и  $\sigma_{2x,y}$  — макроскопические осредненные напряжения в образцах сеток 004 и 02;  $\eta_{1x,y}$  и  $\eta_{2x,y}$  — коэффициенты, описывающие геометрические параметры сеток 004 и 02.

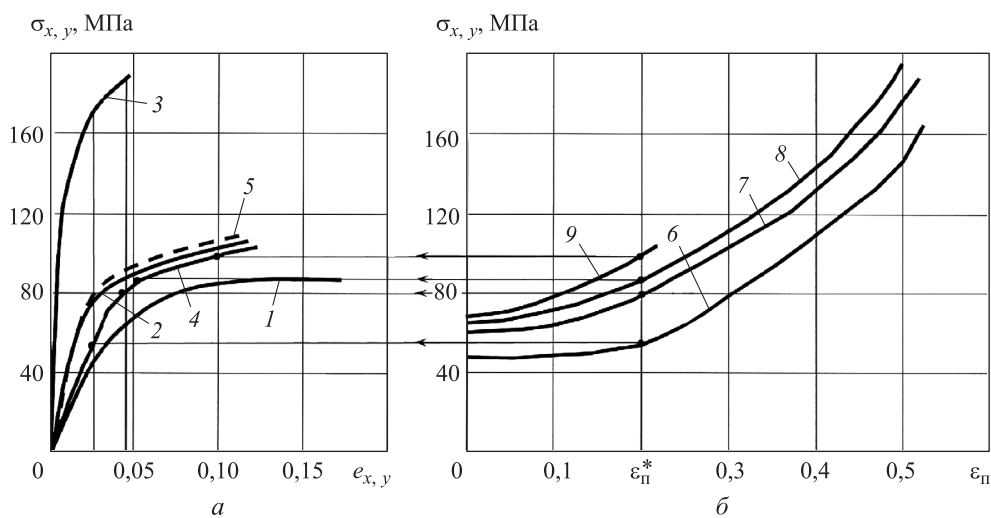


Рис. 2. Пример построения диаграммы растяжения образцов сетки 004 при  $\epsilon_{\text{п}}^* = 0,2$ :

- $a$  — экспериментальные (—) и расчетные (---) диаграммы растяжения сетки 02 при  $\epsilon_{\text{п}} = 0$  (1); 0,25 (2); 0,52 (3) и  $\epsilon_{\text{п}}^* = 0,2$  (4) и сетки 004 при  $\epsilon_{\text{п}}^* = 0,2$  (5);  
 $b$  — экспериментальные зависимости макроскопических осредненных напряжений  $\sigma_{x,y}$  в сетках 02 от относительного обжатия  $\epsilon_{\text{п}}$  при  $e_{x,y} = 0,02$  (6); 0,04 (7); 0,05 (8); 0,10 (9)

Подставляя в уравнения (3) значения  $\eta_{1x,y}$ ,  $\eta_{2x,y}$  и  $\sigma_{2x,y}$ , соответствующие определенным относительным деформациям  $e_{x,y}$  на диаграмме растяжения образцов сетки 02, рассчитывали напряжения  $\sigma_{1x,y}$ , возникающие в образцах сетки 004 после сварки прокаткой при  $\epsilon_n^* = 0,2$ . Результаты расчета диаграмм растяжения образцов сеток 02 (кривая 4) и 004 (кривая 5) приведены на рис. 2, а.

Значительный практический интерес при проектировании технологических процессов изготовления 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 максимальные макроскопические осредненные напряжения имеют вид

$$\sigma_{в.х,y} = \frac{n_{ос}\eta_x(\sigma_{в} + \Delta\sigma) + n_{ут}\eta_y\sigma_{в}}{n(1-\epsilon)}, \quad (4)$$

где  $n_{ос}$  и  $n_{ут}$  — количество слоев сеток, в которых растягивающие силы направлены вдоль основ и утков;  $\epsilon$  — относительное обжатие брикета сеток в процессе сварки прокаткой;  $\sigma_{в} = 600$  МПа — предел прочности проволок сеток из стали 12Х18Н10Т.

При параллельном расположении сеток с квадратными ячейками прочность материала определяется как

$$\sigma_{в.х,y} = \frac{\sigma_{в}n\eta_{x,y}}{(1-\epsilon)[\bar{\Psi}(n-1)+1]}, \quad (5)$$

где  $\bar{\Psi}$  — математическое ожидание коэффициента плотности упаковки слоев сеток в брикете [12].

Анализ зависимостей (4), (5) показал, что для пористых материалов с перпендикулярным расположением фильтровых сеток при  $n_{ос} = n_{ут}$  параметры  $\sigma_{в.х}$ ,  $\sigma_{в.y}$  не зависят от количества слоев сеток. Для ПСМ с параллельным расположением сеток с квадратными ячейками при увеличении количества сеток их влияние на прочность уменьшается и при  $n > 8$  с погрешностью 5 % можно принять, что  $\sigma_{в.х}$ ,  $\sigma_{в.y}$  не зависят от  $n$ .

На базе расчетных и экспериментальных диаграмм растяжения исследуемых типоразмеров сеток и аналитических зависимостей для

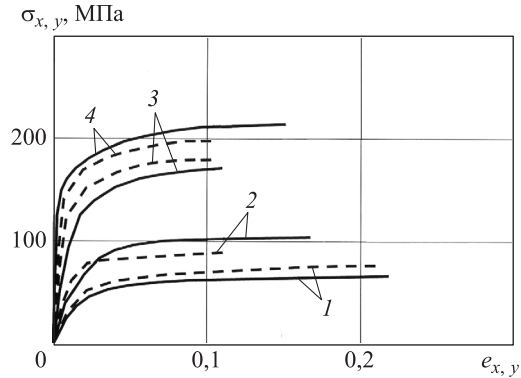


Рис. 3. Расчетные (—) и экспериментальные (---) диаграммы растяжения ПСМ на основе: 1 — сетки П24 с параллельной укладкой при  $\epsilon = 0,49$  в направлении основ (оси  $x$ ); 2 — сетки с ячейками размером 0,5 мм с параллельной укладкой при  $\epsilon = 0,55$ ; 3 — сетки П24 с перпендикулярной укладкой при  $\epsilon = 0,63$ ; 4 — сетки П24 с параллельной укладкой при  $\epsilon = 0,56$  в направлении утков (оси  $y$ )

определения макроскопических осредненных напряжений и деформаций ПСМ построены диаграммы растяжения образцов на основе шести слоев сеток с квадратными ячейками размером 0,5 мм и фильтровых сеток полотняного переплетения проволок П24 при параллельном и перпендикулярном расположении (рис. 3).

В целях подтверждения полученных зависимостей для расчета прочности ПСМ в условиях одноосного растяжения проведены эксперименты. Исследования механических свойств ПСМ на основе фильтровых сеток П24 и сеток с квадратными ячейками размером соответственно 0,5 и 0,08 мм из стали 12Х18Н10Т выполняли на образцах длиной 200 мм и шириной рабочей части 10...15 мм. Испытания проводили на универсальной машине марки «Шоппер». В процессе нагружения образцов со скоростью 0,07...0,17 мм/мин снимали машинную диаграмму растяжения, которую перестраивали в диаграмму деформирования в координатах  $\sigma_{x,y} - e_{x,y}$ .

Анализ диаграмм, приведенных на рис. 3, позволил установить, что отклонение экспериментальных данных от расчетных не превышает 15 %. Диаграммы растяжения не имеют площадок текучести, поэтому за предел текучести принято напряжение, соответствующее 0,2 % остаточной деформации. Замеры ширины и толщины образцов после разрушения показали, что площадь поперечного сечения практически не изменяется. Поэтому относительная деформация при разрушении равна пластической деформации, соответствующей  $\sigma_{в.х,y}$ , и может

быть определена непосредственно по диаграмме растяжения. Кроме того, анализ результатов расчета и эксперимента показал, что ПСМ на основе фильтровых сеток при параллельном расположении обладают значительной анизотропией прочности, что затрудняет процесс листовой штамповки при изготовлении изделий из этих материалов.

## Выводы

1. Предложенная методика построения диаграмм одноосного растяжения в направлении проволок тканых металлических сеток и ПСМ с параллельным и перпендикулярным взаимным расположением позволяет существенно сократить объем экспериментальных исследований для определения механических свойств. Анализ диаграмм растяжения ПСМ показал, что от-

клонение экспериментальных данных от расчетных не превышает 15 %.

2. Установлено, что при увеличении относительного обжатия фильтровых сеток в процессе сварки давлением их прочность в направлении осев возрастает благодаря консолидации утков между собой. При этом растягивающую силу воспринимают не только основы, но и сварные соединения утков, расположенных в плоскости, перпендикулярной направлению растяжения.

3. Результаты экспериментальных и теоретических исследований могут быть использованы при проектировании и изготовлении изделий из металлических сеток и ПСМ, а также для прочностных расчетов конструкций, работающих в условиях одноосного растяжения, например, тонкостенных проницаемых труб большой длины под внутренним давлением.

## Литература

- [1] 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.
- [2] Новиков Ю.М., Большаков В.А. Новые материалы для систем очистки газов и жидкостей от механических примесей. *Экология и промышленность России*, 1999, февраль, с. 4–7.
- [3] Sparks T., Chase G. *Filters and Filtration. Handbook*. Elsevier, 2013. 444 p.
- [4] 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/catalog/machin/rocket/698.html> (дата обращения 15 мая 2017).
- [5] 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.
- [6] Bunker R.S. Gas turbine cooling. Moving from macro to micro cooling. *Proceedings of the ASME Turbo Expo*, 3–7 June 2013, San Antonio, Tx, United States, 2013, code 101331. 3 p.
- [7] 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.
- [8] Синельников Ю.И., Третьяков А.Ф., Матурин Н.И., Колесников А.Г., Панов А.Д., Макарович В.И. *Пористые сетчатые материалы*. Москва, Металлургия, 1983. 64 с.
- [9] Пелевин Ф.В. Технология изготовления пористых материалов. *Вестник ассоциации туризма и сервиса*, 2007, № 3, с. 46–51.
- [10] Liu P., He G., Wu L.H. Fabrication of sintered steel wire mesh and its compressive properties. *Materials Science and Engineering*, 2008, vol. 489, no. 1–2, pp. 21–28.
- [11] Белов С.В., ред. *Пористые проницаемые материалы: справочник*. Москва, Металлургия, 1987. 335 с.
- [12] Третьяков А.Ф. Исследование механических и технологических свойств листовых пористых сетчатых материалов из стали 12X18H10T. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2016, вып. 6. URL: <http://engjournal.ru/catalog/msm/smme/1498.html> (дата обращения 15 мая 2017).



## References

- [1] Spiridonov V.S., Novikov Iu.M., Bol'shakov V.A. Fil'troval'nye peregorodki iz spechennykh metallicheskikh 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.
- [2] Novikov Iu.M., Bol'shakov V.A. Novye materialy dlia sistem ochistki gazov i zhidkostei ot mekhanicheskikh primesei [New materials for purification of gases and liquids from mechanical impurities]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and industry of Russia]. 1999, February, pp. 4–7.
- [3] Sparks T., Chase G. *Filters and Filtration. Handbook*. Elsevier, 2013. 444 p.
- [4] 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/catalog/machin/rocket/698.html> (accessed 15 May 2017).
- [5] 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 publ., 2010, no. 2–502, 64 p.
- [6] Bunker R.S. Gas turbine cooling. Moving from macro to micro cooling. *Proceedings of the ASME Turbo Expo*, 3–7 June 2013, San Antonio, Tx, United States, 2013, code 101331. 3 p.
- [7] Novikov Iu.M., Bol'shakov V.A. Inzhenernaia shkola MGTU 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.
- [8] Sinel'nikov Iu.I., Tret'iakov A.F., Maturin N.I., Kolesnikov A.G., Panov A.D., Makarochkin V.I. *Poristye setchatye materialy* [Porous mesh materials]. Moscow, Metallurgiya publ., 1983. 64 p.
- [9] Pelevin F.V. Tekhnologiya izgotovleniia poristykh materialov [Manufacturing technology of porous materials]. *Vestnik assotsiatsii vuzov turizma i servisa* [Universities for Tourism and Service Association Bulletin]. 2007, no. 3, pp. 46–51.
- [10] Liu P., He G., Wu L.H. Fabrication of sintered steel wire mesh and its compressive properties. *Materials Science and Engineering*, 2008, vol. 489, no. 1–2, pp. 21–28.
- [11] *Poristye pronitsaemye materialy: spravochnik* [Porous permeable materials: Handbook]. Ed. Belov S.V. Moscow, Metallurgiya publ., 1987. 335 p.
- [12] Tret'iakov A.F. Issledovanie mekhanicheskikh i tekhnologicheskikh svoistv 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/catalog/msm/smme/1498.html> (accessed 15 May 2017).

Статья поступила в редакцию 28.08.2017

## 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: tret'yakov@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, 2<sup>nd</sup> Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: tret'yakov@bmstu.ru).