

СТРУКТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕФОРМИРОВАННЫХ ТЕЛ НАМОТКИ

Петюшик Е.Е., Якубовский А.Ч., Божко Д.И.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Перспективным направлением в области создания новых пористых материалов (ПМ), в частности на волокнутой основе, является разработка ПМ, обладающих регулярной структурой и сложным комплексом эксплуатационных свойств (подобно сетчатым материалам), но более технологичных и менее дорогостоящих. Установлена возможность получения таких материалов с это ПМ на основе проволоки. Процесс их изготовления включает в себя формирование проволочной заготовки в виде тела намотки (ТН) путем сплошной крестовой намотки проволоки на цилиндрическую оправку и последующее деформирование ТН в условиях радиального нагружения [1].

Создание новых ПМ предполагает изучение их структурных характеристик, управление которыми для ПМ на основе проволоки в наибольшей мере осуществляется в процессе намотки проволоки. Однако окончательная структура ПМ формируется на стадии деформационной обработки ТН (рис.1), в результате которой происходит радиальное уплотнение проволочной заготовки за счет прогиба витков проволоки в межконтактных зонах и сближения витков в местах их взаимного контакта [2]. При этом перемещение наружного слоя ТН в радиальном направлении равно:

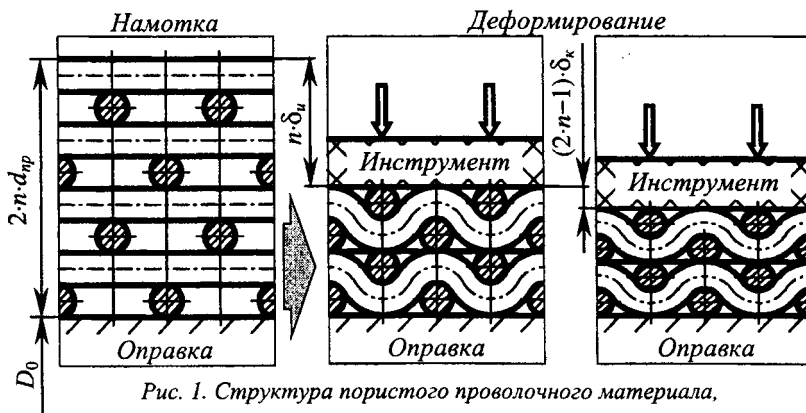


Рис. 1. Структура пористого проволочного материала, изменяющаяся в процессе изготовления

$$\Delta = n \cdot \delta_u + (2 \cdot n - 1) \cdot \delta_x, \quad (1)$$

где n — количество слоев намотки; $\delta_u = f(P_u)$ — прогиб витков проволоки в межконтактных зонах (пролетах); P_u — изгибающее усилие в единичном пролете; $\delta_x = f(P_x)$ — сближение витков в местах их взаимного контакта; P_x — усилие сжатия в единичном контакте.

Регулярная структура ТН с учетом деформационных процессов, происходящих при радиальном уплотнении проволочной заготовки, позволяет рассчитать структурные характеристики прессовки.

Пористость проволочного ПМ определяется выражением [3]:

$$\Pi = \frac{V - V_{np}}{V} = 1 - \frac{V_{np}}{V}, \quad (2)$$

где V — общий объем пористой прессовки; V_{np} — объем прессовки, занимаемый проволокой.

Общий объем прессовки равен:

$$V = \pi \cdot \frac{(D^2 - D_0^2)}{4} \cdot L_p, \quad (3)$$

где $D = D_0 + 2 \cdot (2 \cdot n \cdot d_{np} - \Delta)$ — наружный диаметр проволочного ПМ; D_0 — внутренний диаметр ПМ (диаметр оправки); d_{np} — диаметр проволоки; L_p — длина прессовки.

Для определения объема проволоки в прессовке, исходя из геометрии проволоки и ТН в целом и режимов намотки с учетом регулярности структуры проволочной заготовки, получено следующее выражение:

$$V_{np} = \pi \cdot \frac{d_{np}^2}{4} \cdot l_{np} = \pi \cdot \frac{d_{np}^2}{4} \cdot \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot (D_0 + 2 \cdot n \cdot d_{np})}{d_{np} + s} \cdot L_p \right), \quad (4)$$

где l_{np} — длина проволоки, требуемая для изготовления ПМ; s — межвитковый зазор в слое ТН, выдерживаемый при намотке проволоки.

Тогда из совместного решения уравнений (2)–(4) находим:

$$\Pi = 1 - \frac{\pi \cdot d_{np}}{4 \cdot (d_{np} + s)} \cdot \frac{2 \cdot n \cdot d_{np} \cdot (D_0 + 2 \cdot n \cdot d_{np})}{(2 \cdot n \cdot d_{np} - \Delta) \cdot (D_0 + 2 \cdot n \cdot d_{np} - \Delta)} \quad \text{или}$$

$$\Pi = 1 - \frac{\pi}{4} \cdot \left(1 + \frac{s}{d_{np}} \right)^{-1} \cdot \frac{1}{\Omega}, \quad (5)$$

$$\text{где } \Omega = \Omega_1 \cdot \Omega_2 = \left(1 - \frac{\Delta}{2 \cdot n \cdot d_{np}} \right) \cdot \left(1 - \frac{\Delta}{D_0 + 2 \cdot n \cdot d_{np}} \right).$$

Средний размер пор проволочного ПМ определяем по формуле [3]:

$$d_n^{cp} = \frac{\Pi}{1 - \Pi} \cdot d_{np}, \quad (6)$$

С учетом равенства (5) формула (6) примет вид:

$$d_n^{cp} = d_{np} \cdot \left[\frac{4}{\pi} \cdot \left(1 + \frac{s}{d_{np}} \right) \cdot \Omega - 1 \right], \quad (7)$$

Коэффициент извилистости пор проволочного ПМ определяется отношением [3]:

$$\xi = \frac{l_n}{h}, \quad (8)$$

где l_n — длина поры прессовки; h — толщина стенки прессовки.

Для определения длины поры, исходя из режимов намотки проволоки и ее геометрии с учетом регулярности структуры и величины перемещения наружного слоя ТН, получено следующее выражение:

$$l_n = 2 \cdot d_{np} + (n-1) \cdot \sqrt{\left(2 \cdot d_{np} - \Delta \right)^2 + \left(\frac{d_{np} + s}{2 \cdot \cos \beta} \right)^2}, \quad (9)$$

где β — угол намотки.

Толщина стенки проволочной прессовки равна:

$$h = \frac{D - D_0}{2} = 2 \cdot n \cdot d_{np} - \Delta, \quad (10)$$

Тогда из совместного решения уравнений (8)–(10) находим:

$$\xi = \frac{\frac{1}{n} + \frac{n-1}{n} \cdot \sqrt{\left(1 - \frac{\Delta}{2 \cdot d_{np}} \right)^2 + \left(\frac{d_{np} + s}{4 \cdot d_{np} \cdot \cos \beta} \right)^2}}{1 - \frac{\Delta}{2 \cdot n \cdot d_{np}}} \quad \text{или}$$

$$\xi = \frac{1}{n \cdot \Omega_1} \cdot \left[1 + (n-1) \cdot \sqrt{\left(1 - \frac{\Delta}{2 \cdot d_{np}} \right)^2 + \left[\left(1 + \frac{s}{d_{np}} \right) \cdot \frac{1}{4 \cdot \cos \beta} \right]^2} \right], \quad (11)$$

Удельная поверхность пор проволочного ПМ с учетом того, что заготовка в виде ТН формируется путем намотки на оправку проволоки (одной непрерывной нити), площадью торцевой поверхности (сечения) которой можно пренебречь, определяется выражением [3]:

$$S_v = \frac{S_{np} - 2 \cdot n_{\kappa} \cdot S_{\kappa}}{V}, \quad (12)$$

где S_{np} — площадь боковой поверхности проволоки; S_{κ} — площадь межвиткового контакта; n_{κ} — количество межвитковых контактов в прессовке.

Площадь боковой поверхности проволоки равна:

$$S_{np} = \pi \cdot d_{np} \cdot l_{np}, \quad (13)$$

Площадь межвиткового контакта (в общем случае с эллипса) равна:

$$S_{\kappa} = \pi \cdot a \cdot b, \quad (14)$$

где a и b — размеры эллиптической площадки контакта (соответственно большая и малая полуоси эллипса).

Для определения количества контактов между витками проволоки в прессовке, исходя из геометрии проволоки и режимов намотки с учетом регулярности структуры ТН, получено следующее выражение:

$$n_{\kappa} = \frac{(n-1) \cdot l_{np}}{d_{np} + s} \cdot \sin 2\beta, \quad (15)$$

Объем пористой прессовки из выражений (2) и (4) равен:

$$V = \frac{\pi \cdot d_{np}^2 \cdot l_{np}}{4 \cdot (1 - \Pi)}, \quad (16)$$

Из совместного решения уравнений (12)–(16) находим:

$$S_V = 4 \cdot (1 - \Pi) \cdot \left(\frac{1}{d_{np}} - \frac{a \cdot b \cdot (n-1) \cdot \sin 2\beta}{d_{np}^2 \cdot (d_{np} + s)} \right), \quad (17)$$

Для определения размеров площадки контакта получены следующие выражения [4]:

$$a = 2,39 \cdot \frac{n_a}{n_p} \cdot d_{np} \cdot \frac{1 - \mu^2}{E} \cdot \sigma_T \quad \text{и} \quad b = 2,39 \cdot \frac{n_b}{n_p} \cdot d_{np} \cdot \frac{1 - \mu^2}{E} \cdot \sigma_T, \quad (18)$$

где n_a, n_b, n_p — коэффициенты, зависящие от угла намотки проволоки; μ, E, σ_T — соответственно коэффициент Пуассона, модуль упругости, предел текучести материала проволоки.

Тогда, с учетом равенства (5) окончательно получим:

$$S_V = \frac{\pi \cdot (d_{np} + s) - d_{np} \cdot (n-1) \cdot \sin 2\beta}{(d_{np} + s)^2} \cdot \left(\frac{1 - \mu^2}{E} \cdot \sigma_T \right)^2 \cdot \frac{18 \cdot n_a \cdot n_b}{n_p^2} \cdot \frac{1}{\Omega}, \quad (19)$$

Таким образом, из выражений (5), (7), (11), (19), описывающих структурные характеристики деформированных ТН, следует, что структура провололочной прессовки зависит от следующих факторов:

— размера (диаметра) и материала (механических свойств) наматываемой проволоки;

- режимов намотки проволоки при формировании заготовки в виде ТН (угла намотки, межвиткового зазора);
- геометрии получаемой заготовки (внутреннего диаметра ТН, числа слоев намотки, толщины стенки);
- режимов деформационной обработки ТН (силовых параметров процесса прессования).

Литература

1. Якубовский А., Петюшик Е. Технология получения пористых проволочных изделий // Материалы 22-го Международного научного симпозиума молодых научных работников и студентов. Зелена Гура, Польша. — 2001. — Т. Механика. — С. 247–252.
2. Main Aspects of the Theory and Technology of Producing Permeable Materials with the Organized Porous Structure Through Deformation Processing / Y. Piatsiushyk, O. Reut, A. Yakubouski, L. Boginsky // 15 International Plansee Seminar. Reutte, Austria. 2001. — V. 3. — P. 285–299.
3. Пористые проницаемые материалы: Справочник / Под ред. С.В. Белова. — М.: Metallurgia, 1987. — 335 с.
4. Напряженно-деформированное состояние в единичном контакте при упругом деформировании проницаемых материалов на основе проволоки в виде тел намотки / Е.Е. Петюшик, А.Ч. Якубовский, Ч.А. Якубовский, О.П. Реут // Весці Акад. навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. — 2002. — № 2. — С. 10–15.

УДК 621.777

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТРУБОК МАЛОГО ДИАМЕТРА ИЗ ЛЕНТЫ

Логачев М.В., Исаевич Л.А., Карпицкий В.С.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

В настоящее время в Республике Беларусь сложилась ситуация острого дефицита трубок малого диаметра ($d_{нар} = 1-2$ мм) из латуни, нержавеющей стали и др. металлов толщиной 0,15–0,2 мм для изготовления многообразных трубчатых изделий, деталей приборостроения, в производстве механических и электронных часов, в медицине. Затраты на приобретение трубчатых изделий малого диаметра за рубежом составляют от 200 до 300 тысяч долларов США в год и с каждым годом возрастают.