УДК 621.762

Е.Е. Петюшик, А.Ч. Якубовский, В.В. Гармаза

СИЛОВОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В СЛОЕ ПРИ ПРЕССОВАНИИ ПРОВОЛОЧНЫХ ТЕЛ НАМОТКИ

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Беларусь

Потребность в проницаемых изделиях с высокой и строго регулируемой пористостью постоянно возрастает. Область их использования обширна: устройства распределенной подачи жидкостей или газов; капиллярные структуры тепловых труб; звуко-, вибро- и ударопоглощающие элементы; огнепреградители; фильтры; носители катализаторов и др.

Традиционно такие изделия представлены порошковыми и сетчатыми материалами. Сетчатые материалы имеют ряд существенных преимуществ по сравнению с порошковыми: широкий диапазон пористости и регулярный размер пор, повторяемость структурных характеристик, более высокая пластичность и прочность. Однако технология их получения весьма трудоемка и дорога. Существует возможность получать пористые изделия, используя в качестве исходного материала непосредственно проволоку. Технологический процесс изготовления пористых проволочных материалов (ППрМ) включает намотку проволоки на оправку, изостатическое прессование, при необходимости, спекание прессовки.

Настоящая работа посвящена исследованию силового взаимодействия в слое намотанной проволоки круглого сечения при ее прессовании.

Проволока в ППрМ может рассматриваться как многопролетная неразрезная балка (рис. 1). Здесь: P_i – нагрузка, приходящаяся на i-ый контакт (частное от деления общего усилия уплотнения проволочного материала P на число контактов n); M_1, M_2 и M_3 – величины опорных моментов, подлежащие определению; l – расстояние между опорами.

При нагружении материал проволоки вначале деформируется в упругой области, затем при увеличении усилия деформация его переходит в пластическую область.

Рассмотрим упругую область нагружения. Для определения величин опорных моментов воспользуемся известным в механике [1] уравнением трех моментов (см. рис. 1):

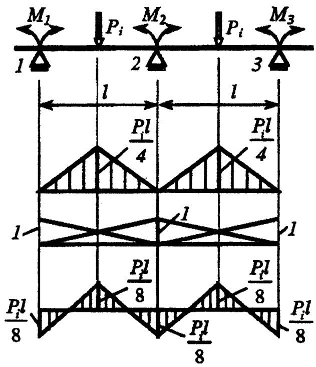

Рис. 1. Схема нагружения многопролетной балки.

$$M_1 \cdot l + 2 \cdot M_2 \cdot (l + l) + M_3 \cdot l + 6 \cdot (\omega_{12} \cdot y_{12}^c + \omega_{23} \cdot y_{23}^c) = 0, \qquad (1)$$

где ω_{12} и ω_{23} – площади эпюр изгибающих моментов в пролетах балки от действия сосредоточенных сил P_i; y_{12}^c и y_{23}^c – ординаты эпюр единичных опорных моментов, находящиеся под центрами тяжести грузовых эпюр).

В силу симметрии нагружения максимальная величина изгибающего момента имеет место посредине пролета $P_i \cdot l/4$, где, соответственно, величины ординат единичных опорных моментов $y_{12}^c = y_{23}^c = 1/2$. С учетом этих соотношений, предположения о том, что для достаточно большого числа опор n будет иметь место равенство: $M_1 = M_2 = M_3 = M$, решая выражение (1) относительно величины опорного момента, получим (см. рис. 1):

$$M = -\frac{P_i \cdot l}{8}. \qquad (2)$$

В упругой области нагружения величина изгибающего момента (по абсолютному значению) может быть записана таким образом [1]:

$$M = \sigma_{max} \cdot W_x = \frac{P_i \cdot l}{8}. \qquad (3)$$

где $W_x = \dfrac{\pi \cdot d^3}{32}$ – момент сопротивления для круглого сечения [2]; d – диаметр сечения проволоки.

Соотношение (3) предполагает, что максимальные нормальные напряжения при изгибе в периферийных слоях сечения проволоки достигают величины предела текучести материала проволоки, т.е. $\sigma_{max} = \sigma_T$. Тогда выражение (3), решенное относительно величины силы P_i, принимает вид:

$$P_i = \sigma_T \cdot \frac{\pi \cdot d^3}{4 \cdot l}. \tag{4}$$

Для тела намотки с числом контактов проволок n общая сила максимальной упругой деформации выражается следующим образом:

$$P_i = \frac{\pi \cdot d^3}{4 \cdot l} \cdot \sigma_T \cdot n. \tag{5}$$

В пластической области нагружения в предположении, что пластическая деформация охватывает все круглое сечение проволоки, величина изгибающего момента M, может быть определена следующим образом [1]:

$$M = \int_F \sigma \cdot y \cdot dF, \tag{6}$$

где σ – нормальное напряжение в рассматриваемом слое; F – площадь поперечного сечения проволоки; y – ордината рассматриваемого слоя.

При отсутствии упрочнения, которым можно пренебречь, величина нормального напряжения может быть принята постоянной и равной $\sigma = \sigma_T = const$. В этом случае выражение (6) запишется в виде:

$$M = \sigma_T \cdot \int_F y \cdot dF. \tag{7}$$

Дифференциал площади для круга (рис. 2) равен:

$$dF = b_y \cdot dy. \tag{8}$$

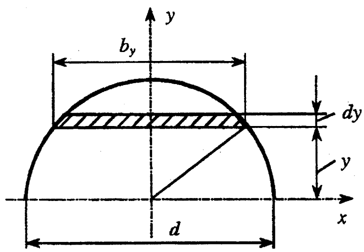

Рис. 2. Расчетная схема поперечного сечения

Из рис. 2 следует, что:

$$b_y = 2 \cdot \sqrt{\frac{d^2}{4} - y^2}\,. \tag{9}$$

С учетом соотношений (8) и (9) выражение (7) для круглого сечения может быть записано в следующем виде:

$$M = 2 \cdot 2 \cdot \sigma_T \cdot \int_0^{d/2} \sqrt{\frac{d^2}{2} - y^2} \cdot y \cdot dy\,. \tag{10}$$

Вычислив интеграл (10) в указанных пределах, находим:

$$M = \frac{1}{6} \cdot d^3 \cdot \sigma_T\,. \tag{11}$$

Величина единичной силы P_i из выражений (2) и (11) запишется:

$$P_i = \frac{4}{3} \cdot \frac{d^3}{l} \cdot \sigma_T\,. \tag{12}$$

Общая величина усилия пластической деформации P при уплотнении проволочного тела будет равна:

$$P = n \cdot P_i = \frac{4}{3} \cdot \frac{d^3}{l} \cdot \sigma_T \cdot n\,. \tag{13}$$

Последнее выражение можно использовать при определении необходимого давления прессования.

Силы P в упругой и пластической области нагружения определяют уровень сопротивления деформации системы проволок. Соотношение K сил P в пластической и упругой областях нагружения составляет 1,6985.

ЛИТЕРАТУРА

1. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов: Учебник для втузов. – М.: Наука, 1967. – 552 с. 2. Любошиц М.И., Ицкович Г.М. Справочник по сопротивлению материалов. – Мн.: Высшая школа, 1965.– 344 с.