

УДК 677.023

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ
ПАРАМЕТРАМИ СТРУКТУРЫ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ НАМОТКИ
И ЕЕ МАКСИМАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТЬЮ**

Примаченко Б. М.

*(Санкт-Петербургский государственный
университет технологии и дизайна)*

Рассмотрим сомкнутую параллельную намотку на катушке (Рис. 1).

Выделим произвольное кольцо намотки со средним диаметром D_K имеющее квадратное поперечное сечение. Для упрощения расчетов возьмем квадрат с длиной стороны 10 сантиметров. Сомкнутая намотка может быть двух видов: витки нитей расположены один над другим без смещения и витки нитей расположены со смещением (в шахматном порядке).

Рассмотрим первый вид сомкнутой намотки (Рис. 2).

Дано:

1. $u = 10$ см; D_K - средний диаметр кольца намотки, см.
2. T - линейная плотность нитей, текс; например, для хлопчатобумажной пряжи расчетный диаметр определяется по формуле

$$d = 0,0394 \cdot \sqrt{T}, \text{ [мм]} \quad (1)$$

$l = \frac{100}{p}$, [мм], где p - число нитей на 10 см в одном горизонтальном ряду,

$l = d$; $h = \frac{100}{s}$, [мм], где s - число горизонтальных рядов на 10 см, $h = d$.

Определить плотность намотки нитей (γ) в г/см^3 .

Общее число нитей (N) в поперечном сечении кольца можно найти по следующим формулам

$$N = p \cdot s, \quad p = \frac{100}{d}, \quad s = \frac{100}{d}, \quad N = \frac{10^4}{d^2} \quad (2)$$

Масса одной нити по среднему диаметру (m) равняется

$$m = T \cdot \pi \cdot D_K \cdot 10^{-5}, \text{ [г]} \quad (3)$$

Масса всех нитей в кольце (M) равняется

$$M = m \cdot N = \frac{\pi \cdot D_K \cdot T}{10 \cdot d^2}, \text{ [г]} \quad (4)$$

Объем кольца (V) определяется по формуле

$$V = 100 \cdot \pi \cdot D_K, \text{ [см}^3\text{]} \quad (5)$$

Плотность намотки равняется

$$\gamma_1 = \frac{M}{V} = \frac{T}{1000 \cdot d^2} = \frac{1}{1000 \cdot (0,0394)^2} = 0,644 \text{ г/см}^3 \quad (6)$$

Полученный результат показывает, что плотность сомкнутой намотки без смещения для любой недеформированной хлопчатобумажной пряжи равняется $0,644 \text{ г/см}^3$.

Рассмотрим второй вид сомкнутой намотки (Рис. 3).

Дано:

Первые два пункта остаются такими же как в первом случае.

3. В этом пункте $h \neq d$. Из равностороннего треугольника $O_1O_2O_3$ (Рис.4) получаем

$$h = \frac{\sqrt{3}}{2} * d. \text{ Остальные величины остаются без изменения.}$$

Определить плотность намотки.

Общее число нитей в поперечном сечении кольца намотки в этом случае равняется

$$N = \frac{10^4 * 2}{\sqrt{3} * d^2} \quad (7)$$

Масса одной нити по среднему диаметру определяется по формуле (3).

Масса всех нитей в кольце равняется

$$M = m * N = \frac{T * \pi * D_k * 2}{10 * \sqrt{3} * d^2}, \text{ [г]} \quad (8)$$

Объем кольца определяется по формуле (5).

Плотность намотки равняется

$$\gamma_2 = \frac{M}{V} = \frac{T}{500 * \sqrt{3} * d^2} = \frac{1}{500 * \sqrt{3} * (0,0394)^2} = 0,744 \text{ г/см}^3 \quad (9)$$

Максимальные плотности намотки были получены по формулам (6) и (9), которые предполагали отсутствие смятия нитей в поперечном сечении. Более естественной будет модель параллельной намотки, в которой сечение нитей представлено в форме эллипса с длинами полуосей a и b .

Имеем также два вида сомкнутой намотки: намотка без смещения и намотка со смещением.

Рассмотрим намотку без смещения (Рис.5).

Дано:

Первый пункт остается таким же как в предыдущих случаях.

2. Расчетный диаметр определяется по формуле (1). Предположим, что площадь сечения эллипса равна площади сечения круга, тогда

$$\frac{\pi * d^2}{4} = \pi * a * b, \quad d^2 = 4 * a * b \quad (10)$$

$$3. \quad l = \frac{100}{p}, \text{ [мм]}, \quad l = 2 * a, \quad h = \frac{100}{s}, \text{ [мм]}, \quad h = 2 * b$$

Определить плотность намотки.

Общее число нитей в кольце равняется

$$N = p * s = \frac{100}{2 * a} * \frac{100}{2 * b} = \frac{10^4}{4 * a * b} = \frac{10^4}{d^2}$$

Отсюда масса всех нитей в кольце выражается формулой (4) и,

учитывая сохранение объема кольца, формула (5), плотность намотки будет определяться формулой (6)

$$\gamma_3 = 0,644 \text{ г/см}^3 \quad (11)$$

Рассмотрим намотку со смещением (Рис.6).

Дано:

Первые два пункта остаются такими же как в предыдущем случае.

$$3. l = \frac{100}{p}, l = 2 \cdot a; h = \frac{100}{s}.$$

Для нахождения h рассмотрим систему из трех уравнений (Рис.7).

$$y = \frac{h}{a} \cdot x$$

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (12)$$

$$\frac{(x-a)^2}{a^2} + \frac{(y-h)^2}{b^2} = 1$$

Из решения системы получаем $h = \sqrt{3} \cdot b$.

Определить плотность намотки.

Общее число нитей в кольце равняется

$$N = p \cdot s = \frac{100}{2 \cdot a} \cdot \frac{100}{\sqrt{3} \cdot b} = \frac{10^4}{\sqrt{3} \cdot 2 \cdot a \cdot b} = \frac{10^4 \cdot 2}{\sqrt{3} \cdot d^2} \quad (13)$$

В этом случае масса всех нитей в кольце намотки выражается формулой

(8) и учитывая сохранение объема кольца, формула (5), плотность намотки будет определяться формулой (9)

$$\gamma_4 = 0,744 \text{ г/см}^3 \quad (14)$$

Анализ полученных результатов показывает:

1. Максимальная плотность намотки зависит от размера (размеров) поперечного сечения нитей и от расположения нитей по слоям (упаковки нитей).
2. Если площадь поперечного сечения нитей одинакова, то максимальная плотность намотки не зависит от формы поперечного сечения.

Полученную максимальную плотность можно увеличить путем укатывания намотки. Суть процесса укатывания заключается в уменьшении поперечного сечения нитей и воздушного пространства внутри структуры намотки. Механизм процесса укатывания состоит из двух частей: растяжения нитей в зоне укатывания и выдавливания воздуха из нитей и структуры намотки.

Из экспериментальных данных следует, что при увеличении натяжения диаметр нитей существенно уменьшается. Например, расчетный диаметр хлопчатобумажной пряжи можно определить по следующей аппроксимационной формуле построенной на основе экспериментальных исследований

$$d = \frac{A}{2633 + 10.61 \cdot G - 0.047 \cdot G^2}, \quad 0 \leq G \leq 110 \text{ сН},$$

где G - сила растяжения пряжи, сН.

Для гребенной и кардной пряжи

$$A = 104 \cdot \sqrt{T},$$

Для пряжи пневмомеханического прядения

$$A = 123 \cdot \sqrt{T}$$

Для хлопчатобумажной пряжи линейной плотности 25 текс кардного прядения диаметр пряжи уменьшается от 0,20 до 0,16 мм при увеличении силы растяжения пряжи от 0 до 110 сН.

Экспериментальные данные показывают, что диаметр вискозной пряжи линейной плотности 20x2 текс уменьшается от 0,32 до 0,21 мм при увеличении силы

растяжения пряжи от 0 до 200 сН, а диаметры полиэфирных нитей линейной плотности 28 и 111 текс уменьшаются, соответственно, от 0,21 до 0,18 мм и от 0,43 до 0,38 мм при увеличении силы растяжения нитей от 0 до 400 сН.

Растяжение нитей в зоне укатывания может достигать до 2-3 %, в этом случае диаметр нитей может уменьшаться на 10-15 %. Предположим, что в результате укатывания намотки диаметр нитей уменьшается на 10 %, тогда расчетный диаметр для хлопчатобумажной пряжи будет определяться по формуле

$$d = 0,0355 \cdot \sqrt{T} \quad (15)$$

Подставив формулу (15) в формулы (2) - (14) получим значения плотности для первого (γ_5) и второго (γ_6) вида сомкнутой намотки после уплотнения механизмом укатывания

$$\gamma_5 = 0,794 \text{ г/см}^3, \quad \gamma_6 = 0,916 \text{ г/см}^3 \quad (16)$$

Анализ полученных результатов показывает, что при оптимизации параметров структуры параллельной намотки и процесса укатывания для хлопчатобумажной пряжи, например, можно получить плотность намотки равной 1 г/см³.

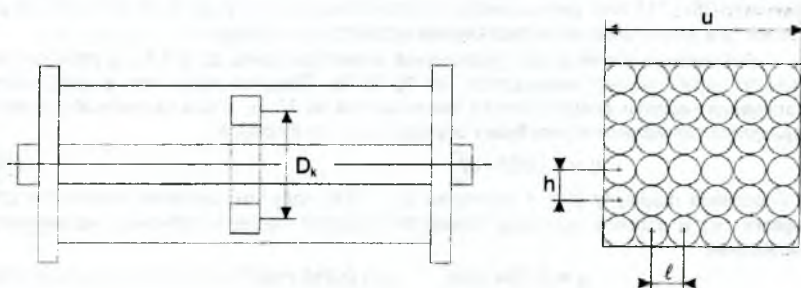


Рис. 1, 2

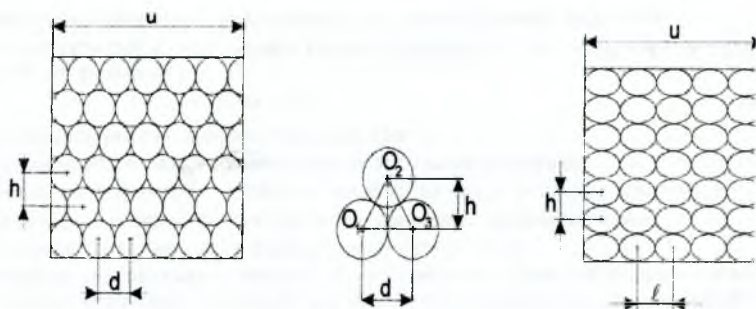


Рис. 3, 4, 5

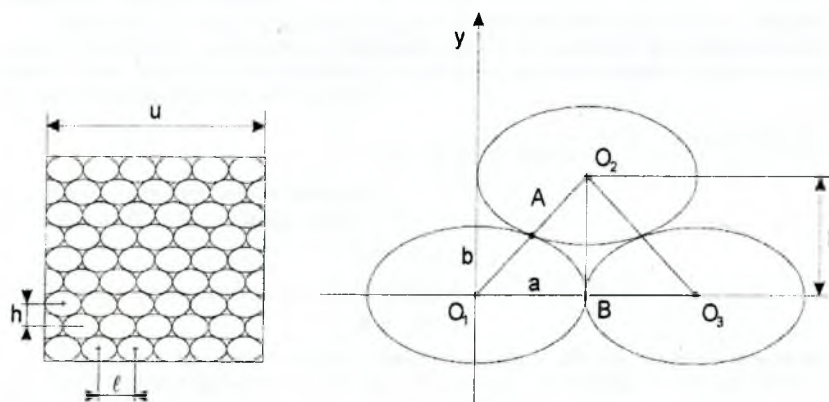


Рис. 6, 7