

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВОЛОКНИСТОГО СЛОЯ С ВАЛЬЦАМИ ПРИ ЕГО ПОДАЧЕ В ПРЕССОВОЧНУЮ КАМЕРУ

В.А. ДЬЯЧКОВ, И.А. СОБОЛЕВ

(Костромской государственной технологической университет)

Известен способ формирования паков волокнистых материалов, при котором пара валцов подает непрерывный слой прессуемого материала в ограниченный объем – прессовочную камеру [1]. Для определения таких параметров вальцового прессующего устройства, как крутящий момент M на вальце, усилие P прижима валцов, необходимо знать закономерности, описывающие взаимодействие прессуемого материала с вальцами при его входе в вальцовую пару и выходе из нее.

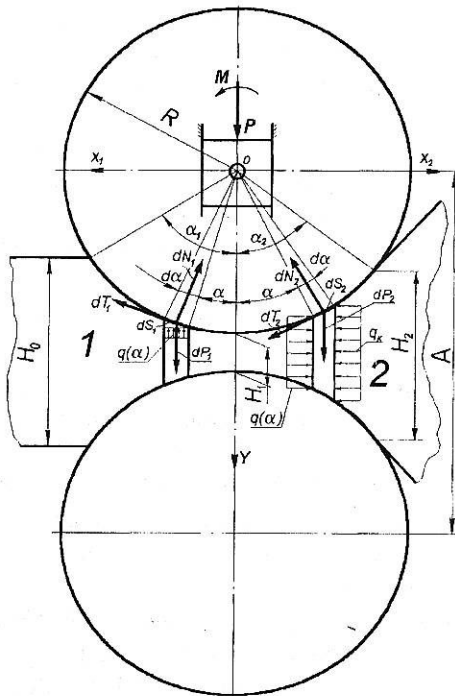


Рис. 1

Характер взаимодействия материала с вальцами при входе в мяльную пару (на рис.1, где представлена расчетная схема, эта зона обозначена позицией 1) и выходе (зона 2) будет существенно отличаться. В зоне 1 непрерывный упругий слой, равномерный по ширине a , толщине H_0 и объемной плотности ρ_0 , обжимается приводными жесткими вальцами с радиусом R до толщины H_1 и плотности ρ_1 . При этом возникают силы, обусловленные упругими свойствами обжимаемого материала.

В зоне 2 на слой, выходящий из вальцовой пары в щель прессовочной камеры размером H_2 , будет действовать сила со стороны материала, ранее размещенного в прессовочной камере, препятствующая перемещению внутрь камеры последующих объемов материала.

Крутящий момент на вальце и усилие прижима валцов представим как сумму двух компонент, обусловленных взаимодействием валцов с прессуемым материалом в зоне 1 и 2 соответственно:

$$M = M_1 + M_2,$$

$$P = P_1 + P_2.$$

Рассмотрим последовательно взаимодействие слоя волокна в зоне 1 и 2 с поверхностью валцов.

Как и в известных работах, например [2], выделим в зоне деформации слоя 1

(система координат X_1OY) элементарную площадь dS_1 соприкосновения с одним из вальцов. Размер этой площадки, измеренный вдоль оси вальца, примем равным ширине слоя – a . На этой площадке на валец действуют силы: нормального давления dN_1 и трения dT_1 .

Сила нормального давления dN_1 будет зависеть от силы упругого сжатия слоя dQ_1 :

$$dN_1 = dQ_1 \cos \alpha$$

и определяться условиями поперечного обжатия выделенного элемента.

При допущении, что упругие свойства материала создают давление $q(\alpha)$, направленное вдоль оси Y , на площади сечения выделенного элемента слоя, равной – $a(Rd\alpha)\cos\alpha$ (дуга $d\alpha$ принимается за прямую), можно записать:

$$dQ_1 = q(\alpha)aRd\alpha\cos\alpha, \text{ Н.}$$

Предположим, что для короткого льяного волокна величина давления описывается зависимостью, полученной в [3]:

$$dN_1 = 1,59 \cdot 10^{-3} \left(\frac{\rho_0 H_0}{A - 2R \cos \alpha} \right)^4 \cos^2 \alpha a R d\alpha, \text{ Н.} \quad (3)$$

Интегрируя по α в пределах от 0 до $\alpha_1 = \arccos\left(\frac{A - H_0}{2R}\right)$, получим выражение

$$N_1 = \int_0^{\alpha_1} 1,59 \cdot 10^{-5} \left(\frac{\rho_0 H_0}{A - 2R \cos \alpha} \right)^4 \cos^2 \alpha a R d\alpha, \quad (4)$$

$$dT_1 = f dN_1, \text{ Н,}$$

где f – коэффициент трения волокна по поверхности вальца;

$$T_1 = \int_0^{\alpha_1} 1,59 \cdot 10^{-5} \left(\frac{\rho_0 H_0}{A - 2R \cos \alpha} \right)^4 f \cos^2 \alpha a R d\alpha. \quad (5)$$

$$q(\alpha) = 98100 \left(\frac{\rho(\alpha)}{283} \right)^4, \quad (1)$$

где $\rho(\alpha)$ – объемная плотность слоя по дуге деформации α_1 :

$$\rho(\alpha) = \rho_0 \frac{H_0}{H(\alpha)}, \text{ кг/м}^3,$$

где $H(\alpha)$ – высота слоя при угле α , м:

$$H(\alpha) = A - 2R \cos(\alpha). \quad (2)$$

При $\alpha = 0$ $H(\alpha) = H_1$, $A = 2R + H_1$, $\rho(\alpha) = \rho_1$ есть максимально допустимая плотность слоя, при которой прессуемый материал не будет повреждаться при поперечном обжатии в вальцах. Из [3] $\rho_1 = 635 \text{ кг/м}^3$.

Тогда

$$dN_1 = q(\alpha)H\cos^2\alpha a R d\alpha.$$

Или с учетом (1) и (2):

Сумма проекций сил на ось Y даст составляющую силы нагружения вальца:

$$dP_1 = dN H \cos \alpha - dT_1 \sin \alpha,$$

или после преобразований:

$$P_1 = \int_0^{\alpha_1} 1,59 \cdot 10^{-5} (\cos \alpha + f \sin \alpha) \left(\frac{\rho_0 H_0}{A - 2R \cos \alpha} \right)^4 \cos^2 \alpha a R d\alpha. \quad (6)$$

Момент сопротивления вращению вальца определится из выражения

$$M_1 = T_1 R, \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (7)$$

Процесс прессования, происходящий в зоне 2 (система координат X_2OY), будет характеризоваться преодолением за счет ригидности (твердости, неподатливости) слоя R_g , выходящего из вальцов, сил сопротивления со стороны ранее размещенного в прессовочной камере материала Q_k . Будем также считать, что на участке 2 на поверхность вальца действуют сила нормального давления со стороны материала dN_2 и сила трения dT_2 .

Предположим, что ригидность слоя будет связана функционально с угловой координатой α зависимостью:

$$R_g = q(\alpha) H(\alpha) a,$$

(где $q(\alpha)$, $H(\alpha)$ – величины, определяемые соответственно из (1) и (2)), а величина сил сопротивления входу слоя в прессовочную камеру Q_k описывается выражением:

$$Q_k = q_k H(\alpha) a,$$

где q_k – давление материала, размещенного ранее в прессовочной камере:

$$dN_2 = \frac{0,785 \cdot 10^{-5} a (A - 2R \cos \alpha) \left[\rho_k^4 - \left(\frac{\rho_0 H_0}{A - 2R \cos \alpha} \right)^4 \right]}{f \cos \alpha + \sin \alpha}.$$

$$dP_1 = 1,59 \cdot 10^{-5} (\cos \alpha + f \sin \alpha) \left(\frac{\rho_0 H_0}{A - 2R \cos \alpha} \right)^4 \cos^2 \alpha a R d\alpha.$$

После интегрирования по α в пределах от 0 до α_1 :

$$q_k = 98100 \left(\frac{\rho_k}{283} \right)^4.$$

Здесь ρ_k – конечная плотность кипы:

$$\rho_k = \frac{m_k}{abc}; \quad m_k - \text{конечная масса кипы; } a, b, c$$

– размеры прессовочной камеры.

Как и для первой зоны, выделим площадку dS_2 соприкосновения волокна с одним из вальцов. Запишем равновесие выделенного элемента слоя в виде равенства нулю суммы проекций на ось X всех сил, действующих на него:

$$-2fdN_2 \cos \alpha - 2dN_2 \sin \alpha + q(\alpha) H(\alpha) a - q_k H(\alpha) a = 0.$$

Выразим силу

$$dN_2 = a \frac{H(\alpha) [q_k - q(\alpha)]}{2(f \cos \alpha + \sin \alpha)}.$$

После преобразований, с учетом выражений (1), (2) и того, что

$$\rho(\alpha) = \rho_1 \frac{H_1}{H(\alpha)} = \rho_0 \frac{H_0}{H(\alpha)},$$

получим зависимость:

Интегрируя по α в пределах от 0 до $\alpha_2 = \arccos\left(\frac{A-H_2}{2R}\right)$, получим:

$$N_2 = \int_0^{\alpha_2} \frac{0,785 \cdot 10^{-5} a (A - 2R \cos \alpha) \left[\rho_k^4 - \left(\frac{\rho_0 H_0}{A - 2R \cos \alpha} \right)^4 \right]}{f \cos \alpha + \sin \alpha} d\alpha. \quad (8)$$

Тогда сила трения

$$T_2 = f N_2. \quad (9)$$

Вертикальная составляющая силы нагружения вальца:

$$P_2 = \int_0^{\alpha_2} \frac{0,785 \cdot 10^{-5} (\cos \alpha - f \sin \alpha) (A - 2R \cos \alpha) \left[\rho_k^4 - \left(\frac{\rho_0 H_0}{A - 2R \cos \alpha} \right)^4 \right]}{f \cos \alpha + \sin \alpha} d\alpha. \quad (10)$$

Момент сопротивления вращению вальца определится из выражения:

$$M_2 = T_2 R. \quad (11)$$

Решение уравнений (4)...(11) с помощью программы Mathcad 2000 при значениях $R = 0,06$ м; $f = 0,24$; $\rho_0 = 10$ кг/м³; $\rho_1 = 500$ кг/м³; $\rho_k = 254$ кг/м³; $m_k = 60$ кг; $H_0 = 0,044$ м; $H_2 = 0,04$ м дает значения $N_1 = 2381$ Н; $T_1 = 571$ Н; $P_1 = 2400$ Н; $M_1 = 34,28$ кг·м; $N_2 = 296$ Н; $T_2 = 71$ Н; $P_2 = 39$ Н; $M_2 = 4,27$ кг·м; $P = 2439$ Н; $M = 38,55$ кг·м.

$$dP_2 = dN_2 \cos \alpha - dT_2 \sin \alpha.$$

После преобразований и интегрирования по α в пределах от 0 до α_2 получим выражение:

ВЫВОДЫ

Установленные закономерности, описывающие взаимодействие прессуемого материала с вальцами, позволяют вести расчет устройства для подачи волокна в прессующую камеру.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.с. СССР SU751358A, 30.07.1980, A01 F15/00.
2. Кузнецов Г.К., Фомин Ю.Г. Механика валковых механизмов текстильных машин: Учебное пособие. – Иваново: ИХТИ, 1989.
3. Комаров Б.П. Влияние сжатия льняных волокон в массе на их структуру и механические свойства: Дис. канд. техн. наук. – Кострома. КТИ. 1965.

Рекомендована кафедрой технологии производства льняного волокна. Поступила 22.12.04.