

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСА ДЕТАЛЕЙ ШНЕКОНАПОРНОГО МЕХАНИЗМА ПНЕВМОТРАНСПОРТИРУЮЩИХ МАШИН

Андрей Кольвашенко, Надежда Купа, Александр Морозов

Национальная академия природоохранного и курортного строительства

Аннотация. Приводятся результаты исследований износа шнеконапорных механизмов пневмотранспортирующих машин (пневмоподъемников, пневмонасосов и пневморазгрузчиков) для работы с пылевидными строительными грузами (цементом, песком, шлаками и т.д.)

Ключевые слова: абразивный груз, вкладыш, гильза, износ, пневмотранспорт, шнек, частица.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Внедрение абразивных частиц транспортируемого груза в поверхность броневых гильз (вкладышей) и шнека на первом транспортном участке шнеконапорного механизма сопровождается относительным скольжением при приложении нормальной распределенной нагрузки q_i в виде центробежной силы. Единичная абразивная частица под действием силы q_i будет углубляться в поверхность гильзы, пока напряжение в контакте не станет равным прочности материала:

$$q_i = 2\pi \cdot r h_i P_i,$$

где: $2\pi \cdot r h_i$ - площадь контакта; P_i - среднее напряжение в контакте; r - радиус абразивной частицы.

Из [3] известно, что глубину внедрения частицы в материал гильзы с учетом скольжения можно вычислить по формуле:

$$h = 2h_{cm} \sqrt{1 + f^2}, \quad (1)$$

где: $h_{cm} = \frac{q_i}{2\pi \cdot r P_i}$ - глубина внедрения частицы при статическом нагружении неподвижного контакта абразивного груза с гильзой; f - коэффициент трения скольжения.

Приравнявая $\sqrt{1 + f^2} = 1$ (в виду малости f^2), имеем $h = 2h_{cm} = \frac{q_i}{\pi \cdot r P_i}$.

В результате взаимного перемещения абразивной частицы и броневой гильзы, материал поверхности гильзы, находящийся впереди абразивной частицы, уплотняется (сжимается), а материал сзади частицы растягивается. Это приводит к изменению напряженного состояния поверхностного слоя материала гильзы за счет

действия тангенциальных усилий. Поэтому, в зависимости от материала гильзы, размера и абразивности частиц транспортируемого груза, в ряде случаев, удобно пользоваться формулой:

$$h = \frac{q_i}{\pi \cdot r C \sigma_T}, \quad (2),$$

так как из симметричной задачи теории пластичности [3]

$$P_i = C \sigma_T = (1 + \gamma + \kappa) \sigma_T \quad (3),$$

где: σ_T - предел текучести материала гильзы; C - коэффициент формы абразивной частицы груза, учитывающий повышение несущей способности контакта вследствие дополнительных напряжений в перпендикулярных направлениях; γ - угол между основанием конуса и образующей (считаем, что абразивная частица действует на гильзу как жесткий индентор, находящийся под действием нормальной силы распределенной инерционной нагрузки q_i и касательной силы F); κ - коэффициент асимметричности.

Пусть объем вовлеченного в контактную деформацию (деформируемого слоя гильзы) ΔV будет равен внедренному объему частиц, условно принятых в виде шаровых сегментов [3]. Определим внедренный объем, приняв его в виде шаровых сегментов:

$$V_e = \pi h^2 (r_{cp} - \frac{1}{3} h) n_3, \quad (4)$$

где: h - глубина внедрения частицы, $мкм$; r_{cp} - усредненный радиус абразивных частиц, $мкм$; n_3 - число частиц в зоне трения.

Удельная интенсивность изнашивания [3]

$$U_{y\partial} = \frac{\Delta V}{2 A_r a n_p}, \quad (5)$$

Интенсивность изнашивания:

$$U_h = \frac{4}{\pi} U_{y\partial} \frac{A_r}{A_n}, \quad (6)$$

где: A_r - фактическая площадь контакта, $мкм^2$; A_n - номинальная площадь контакта, $мкм^2$; a - радиус пятна контакта, $мкм$; n_p - число циклов, приводящих к разрушению расчетного деформируемого объема материала гильзы.

Для того, чтобы наиболее полно охарактеризовать величину износа гильзы или вкладышей и шнека необходимо знать форму изнашиваемой поверхности, т.е. дать распределение износа по поверхности трения. I_{1-2} - величина относительного сближения изношенных деталей 1-2 в направлении, перпендикулярном оси вала шнека.

$$I_{\lambda 1} + I_{\lambda 2} = I_{1-2} = \text{const} \quad (7)$$

Для любой точки поверхности при условии касания:

$$I_{1-2} = \frac{I_1 + I_2}{\cos \alpha} \text{ или } \lambda_{1-2} = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{\cos \alpha}, \quad (8)$$

где: I_1 и I_2 – линейный износ деталей в данной точке, измеренный в направлении нормали к поверхности трения; α – угол между нормалью к поверхности трения и направлением возможного сближения деталей; λ_{1-2} – скорость изнашивания сопряжения; λ_1 и λ_2 – скорость изнашивания деталей в данной точке.

Для того чтобы охарактеризовать форму изношенной поверхности регулируемых вкладышей рассмотрим два взаимно перпендикулярных сечения. В сечении перпендикулярном продольной оси цилиндра, направление абразивного износа может быть определено заранее – радиальное.

Регулируемые вкладыши перемещаются в направляющих, которые предотвращают их смещение от сил трения в сторону от главной плоскости инерции (в пределах допускаемого зазора). Допустим, с дальнейшей коррекцией, что цилиндрическая поверхность, образуемая вкладышами, имеет равномерный износ по поверхности трения.

Условно считаем постоянными следующие параметры:

$\lambda_{1-2} = \text{const}$ – износ сопряжения; $\lambda_1 = \text{const}$ – износ вращающейся «гайки», т.е. шнека по наружному диаметру. Кроме того, постоянная окружная скорость на поверхности трения:

$$v = 2\pi R_n = \text{const}. \quad (9)$$

Определим характер эпюры давления: $\lambda_2 = \lambda_{1-2} \cos \alpha - \lambda_1$ (рис. 1). В общем случае скорость изнашивания выражается следующей зависимостью:

$$\lambda = R_p^m v^n, \quad (10)$$

где: $m=0.5-3$, $n=1$ для большинства пар трения, k – коэффициент износа, характеризующий условия изнашивания.

Для абразивного износа: $m=n=1$

Согласно законам изнашивания: $\lambda_2 = R_2 p v$

$$\lambda_1 = k_1 \cdot p^m \cdot v; \lambda_2 = k_2 \cdot p^m \cdot v. \quad (11)$$

Для абразивного износа зависимость скорости изнашивания от давления носит линейный характер, поэтому далее можно определить давление:

$$p = \frac{\lambda_{1-2} \cos \alpha - \lambda_1}{k_2 v}. \quad (12)$$

При этом α может увеличиваться и уменьшаться, остальные параметры постоянны.

Определим величину радиального усилия через удельное давление. Это усилие считаем как равнодействующую, приложенную в центре вкладыша:

$$P = P \cos \alpha dS; \quad dS = \ell_o R d\ell \quad (13)$$

где: S - поверхность трения, ℓ_o - длина регулируемой планки.

После интегрирования:

$$P = \frac{R\ell_o}{k_2 v} [\lambda_{1-2} (0.5 \sin d\alpha_o) - \lambda_1 2 \sin \alpha_o].$$

Рассмотрим износ тела при повороте сформировавшегося сыпучего тела («гайки») на элементарный угол $d\alpha$.

$$v_{и1} = \lambda_1 3v_{веж} \quad v_{е} = e \frac{d\alpha}{2\pi} \quad \text{ж} \quad v_{и1} = \lambda_1 3v_e \frac{d\alpha}{2\pi} \quad (14)$$

Т.к. на участке время изнашивания меньше общего времени изнашивания t :

$$\lambda_1 = \frac{и_1}{t}; \quad \frac{dи_1}{t} = d\lambda. \text{ Подставляя, получим:}$$

$$dk_1 = \frac{k_1 P_{иd\alpha}}{2\pi + \alpha_o}, \quad (15)$$

$$\lambda = \frac{k_1 и}{2\pi} \int_{-\alpha_o}^{+\alpha_o} P d\alpha. \text{ Подставим и проинтегрируем,}$$

$$\lambda = \frac{k_1 и}{2\pi} \int_{-\alpha_o}^{+\alpha_o} \frac{\lambda_{1-2} \cos \alpha - \lambda_1}{k_2 и} d\alpha = \lambda_{1-2} \frac{k_1 \sin \alpha_o}{\pi k_1 + \alpha_o k_2}. \quad (16)$$

Отсюда видно, что износ равномерно распределен по цилиндрической поверхности регулируемого вкладыша, т.к. видно из формулы (11), что λ не зависит от угла α .

Определим скорость изнашивания сопряжения:

$$P = \frac{R\ell_o}{k_2 и} \left[\lambda_{1-2} (0.5 \sin d\alpha_o) - \left(\lambda_{1-2} \frac{k_1 \sin \alpha_o}{\pi k_2 + \alpha_o k_1} \right) 2 \sin \alpha_o \right], \quad (17)$$

$$v = 2\pi P_n; \quad \lambda_{1-2} = \frac{2\pi k_2 P_n}{\ell_o \left(0.5 \sin 2\alpha_o + \alpha_o - \frac{k_1 \sin \alpha_o}{\pi k_2 + \alpha_o k_1} \right)}, \quad (18)$$

т.е. скорость изнашивания зависит от режима работы (P, n); размеров (ℓ_o, α_o) и материала (k_1, k_2).

Отсутствие зависимости скорости изнашивания сопряженных поверхностей от радиуса, видимо, связано с тем, что с его увеличением возрастает и скорость скольжения, а среднее давление уменьшается $\left(P_{cp} = \frac{P}{2\ell_o k} \right)$, однако скорость изнашивания не меняется.

Из формул (11) и (12) следует, что:

$$и_1 = \lambda_{1-2} \frac{k_1 \sin \alpha_o}{\alpha_o k_1 + \pi k_2}, \quad (19)$$

$$и_2 = \lambda_{1-2} \left(\cos \alpha - \frac{k_1 \sin \alpha_o}{\alpha_o k_1 + \pi k_2} \right) t, \quad (20)$$

где: $и_1$ – «износ» уплотненного сыпучего тела, т.е. шнека по наружному диаметру; $и_2$ – износ регулируемого вкладыша.

Из данных выражений можно заключить, что износ регулируемого вкладыша зависит от угла α . При $\alpha=0$ он достигает максимума.

Определим величину износа через центрально приложенную силу и число оборотов шнека, подставив в (19) и (20) выражение (18):

$$и_1 = \frac{k_1 \sin \alpha_o t}{\ell_o (\alpha_o k_1 + \pi k_2)} \left(\frac{2\pi k_2 P_n}{0.5 \sin 2\alpha_o + \alpha_o - \frac{k_1 \sin \alpha_o}{\alpha_o k_1 + \pi k_2}} \right), \quad (21)$$

$$\dot{e}_2 = \frac{t \cdot 2\pi k_2 P_n \left(\cos \alpha - \frac{k_1 \sin \alpha_o}{\alpha_o k_1 + \pi k_2} \right)}{\ell_o \left(0.5 \sin 2\alpha_o + \alpha_o - \frac{k_1 \sin \alpha_o}{\alpha_o k_1 + \pi k_2} \right)}.$$

ВЫВОДЫ

Полученные выражения позволяют усредненно определить величину износа (6), (21) и (22) вкладышей и шнека. Для более точного определения величины износа в сопряжении «шнек-вкладыш» необходимо определить i_1 и i_2 в различных сечениях вдоль оси цилиндра, подставляя в выражения (21) и (22) различные значения P с учетом конструкции шнеконапорного механизма и реальной эпюры распределения давления по длине канала шнека [1], [2]. Фактически кривая износа будет подобна эпюре давлений, так как поверхность вкладыша изнашивается по всему пути трения S неравномерно, $i(\ell) = k_2 S f(\ell)$, на элементе длиной «df» $P d\ell = f(\ell) d\ell$

ЛИТЕРАТУРА

1. Морозов А.Д. Научные основы создания пневмомеханических разгрузочно-транспортных машин. Учебное пособие для ВУЗов. Рекомендовано МОН Украины от 27.03.02г. №14/18.2. – 651, г. Симферополь, РИО КАПКС, 2002. – 256с.
2. Морозов А.Д., Баладинский В.Л., Чередниченко И.А. Транспорт и пути сообщения. Учебное пособие для ВУЗов, (2-е издание, гриф МОН), г. Симферополь, РИО КАПКС, 2005г. – 318с.
3. Крагельский И.В. Трение и износ. М.: Машиностроение. 1968. 480 с.

мало

RESEARCH OF WEAR DETAILS OF PRESSURE SHNEK MECHANISM IN PNEVMOTRANSPORTAL MACHINES

Andrey Kol'vashenko, Nadezhda Kupa, Alexander Morozov

Summary. Results over of researches of wear of pressure shnek mechanisms of pnevmatransportal machines (pnevmolifts, pnevmopumps and pnevmoloaders) are brought for work with pulverulent build loads (by cement, sand, by slags etc.)

Key words: abrasive load, bearing hob, shell, wear, pnevmotransport, shnek, particle.