УДК 674.053:621.93

КОНТАКТНІ НАПРУЖЕННЯ НА ДІЛЯНЦІ ОХОПЛЕННЯ ПОЛОТНОМ СТРІЧКОВОЇ ПИЛКИ ПИЛКОВОГО ШКІВА

Дзюба Л.Ф., канд. техн. наук; Ольховий І.М., канд. техн. наук;
Ребезнюк І.Т., доктор техн. наук
(Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Національний лісотехнічний університет України)

Визначено нормальні та дотичні контактні напруження на ділянці охоплення полотном стрічкової пилки пилкового шківа.

Напруження, які виникають у розтягнутій стрічковій пилці, є одним з чинників, що визначають її довговічність. Найбільшими за величиною напруженнями у стрічковій пилці є нормальні напруження розтягу від сили натягу полотна та напруження від згину полотна пилки на пилкових шківах. Однак автори робіт [1, 2, 3] стверджують про вплив на міцність полотна стрічкової пилки не лише цих нормальних, а також і дотичних напружень. Як вважають автори, пружно-в'язке тертя між полотном пилки та шківом через тонкий шар спресованої суміші пилу й трачиння зумовлює появу дотичних напружень у полотні стрічкової пилки. Тому для визначення дотичних контактних напружень прийнято модель «третього тіла» [3, 4], яке формується між поверхнями тертя. Проте під час експлуатування стрічкопилкових верстатів у зоні тертя між пилкою та шківами не утворюється такий значний шар пружно-в'язкої суміші, щоб істотно змінити умови тертя в парі пилка-шків (сухе тертя сталь по сталі). Окрім того, в роботах [2, 3] не наведено жодних числових значень дотичних напружень, обчислених за запропонованими формулами. Тому доцільно дослідити розподіл контактних напружень на поверхні контакту полотна стрічкової пилки з пилковим шківом та визначити,

чи не позначатимуться ці напруження на міцності стрічкової пилки.

Безумовно, що на ділянках контакту стрічкової пилки з пилковими шківами, де діють сили тертя, будуть виникати контактні напруження, як нормальні, так і дотичні. Щоб оцінити ці напруження, скористаємось дослідженнями з теорії контакту пружних тіл, які обмежені циліндричними поверхнями з урахуванням тертя на поверхнях [5]. Розподіл контактного тиску в циліндричному з'єднанні з натягом, яким змоделюємо ділянку охоплення полотном пилки тягового шківа (рис. 1, а), визначають за [5] залежністю:

$$p(\theta) = \frac{4\gamma_4 \Delta G}{(\gamma_1 + \gamma_3)R} + \frac{P_0}{\pi(1+f^2)R}(\cos\theta - f\sin\theta) \qquad ,(1)$$

де $R = D/2$ – радіус пилкового шківа, G – модуль зсуву матеріалу пилки; θ – полярний кут, $(-\theta_0 \le \theta \le \theta_0,\ \theta_0 = \frac{\pi}{2}$ – граничний кут ділянки контакту), $\gamma_1, \gamma_3, \gamma_4$ – коефіцієнти, які залежать від пружних сталих для матеріалів стрічкової пилки та шківів; f – коефіцієнт тертя зчеплення між полотном пилки та пилковим шківом, Δ – натяг в контакті, P_0 – величина сили на одиницю ширини полотна пилки. Нехтуючи впливом відцентрової сили, яка незначно відтискає полотно пилки від шківів, значення P_0 визначимо так:

$$P_0 = \frac{2F_0}{B_1}, \qquad (2)$$

де F_0 - сила попереднього натягу, B_1 - ширина полотна пилки.

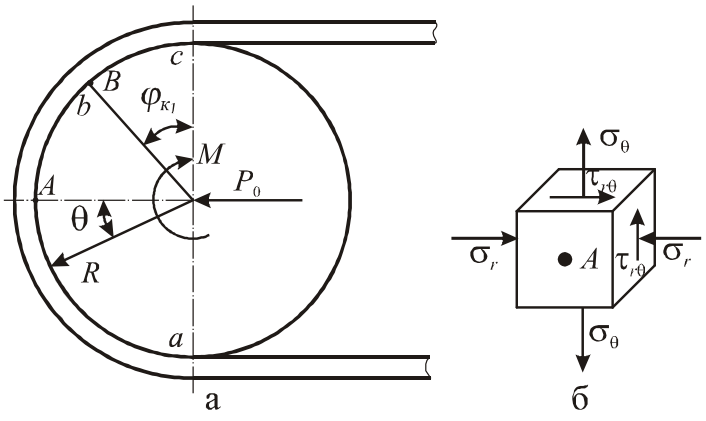

Рис. 1. Контакт полотна стрічкової пилки з тяговим пилковим шківом: а – загальний вигляд; б – напружений стан в околі точки A

Коефіцієнти $\gamma_1,\ \gamma_3,\ \gamma_4$, згідно з [5], мають вигляд:

$$\gamma_1 = \frac{(1-\chi_1)G_2 - (1-\chi_2)G_1}{(1+\chi_1)G_2 + (1-\chi_2)G_1};$$

$$\gamma_3 = \frac{(1+\chi_1)G_2}{(1+\chi_1)G_2 + (1+\chi_2)G_1}; \gamma_4 = \frac{G_2}{(1+\chi_1)G_2 + (1+\chi_2)G_1}. \qquad (3)$$

де G_1, G_2, μ_1, μ_2 – модулі зсуву та коефіцієнти Пуассона матеріалів тіл, які перебувають у контакті; χ_1, χ_2 – коефіцієнти, що в разі плоскої деформації дорівнюють:

$$\chi_1 = 3 - 4\mu_1, \quad \chi_2 = 3 - 4\mu_2.$$

Для сталевого полотна стрічкової пилки та сталевого пилкового шківа $G_1 = G_2 = G = 8 \cdot 10^{10}$ Па; $\mu_1 = \mu_2 = \mu = 0{,}3$, $\chi_1 = \chi_2 = \chi = 1{,}8$. З урахуванням цього в (3), отримаємо:

$$\gamma_1 = 0;\ \gamma_3 = 0{,}5,\ \gamma_4 = 0{,}178 \qquad (4)$$

З урахуванням (2)–(4) та $f = 0{,}105$, вираз (1) набуде вигляду:

$$p(\theta) = \frac{1{,}4286\Delta G}{R} + \frac{0{,}315P_0}{R}(\cos\theta - 0{,}105\sin\theta) \qquad (5)$$

Для обчислення контактного тиску на поверхні контакту між пилкою та шківом потрібно встановити величину контактного натягу Δ. За [5], граничний кут поверхні контакту та натяг у контакті Δ пов'язує залежність

$$\frac{2a^4 + \ln(a^2+1) - 2}{a^4 + a^2} = \frac{4\pi\Delta E}{(1+\chi)(1+\mu)P_0}, \qquad (6)$$

де $a = tg\frac{\theta_0}{2}$, E – модуль пружності матеріалу стрічкової пилки. Ураховуючи в (6) $\mu = 0{,}3$, $\chi = 1{,}8$ і те, що для ділянки контакту полотна пилки зі шківом граничний кут контакту $\theta_0 = \frac{\pi}{2}$, отримаємо вираз для Δ:

$$\Delta = \frac{1{,}26P_0}{4\pi E}. \qquad (7)$$

Нормальні напруження в радіальному $\sigma_r(\theta)$ та коловому $\sigma_\theta(\theta)$ напрямах у точках на поверхні дуги ac контакту (рис. 1, а) визначають згідно з [5] за такими залежностями:

$$\sigma_r(\theta) = -p(\theta), \tag{8}$$

$$\sigma_\theta(\theta) = \frac{4\gamma_4 \Delta G}{(\gamma_1 + \gamma_3)R} + \frac{2P_0}{\pi R}\left\{\frac{\chi}{1+\chi}\cos\theta - \frac{1}{2(1+f^2)}\left[f\sin\theta + (1+2f^2)\cos\theta\right]\right\}.$$

Останній вираз із урахуванням (4), (7) запишемо так:

$$\sigma_\theta(\theta) = \frac{1{,}4286\Delta G}{R} + \frac{0{,}6369P_0}{R}(0{,}3982\cos\theta - 0{,}0519\sin\theta). \tag{9}$$

Значення $\sigma_r(\theta)$ та $\sigma_\theta(\theta)$ в т. A, коли $\theta = 0$ (див. рис. 1, а) дорівнюють $\sigma_r(\theta) = -522\cdot10^3$ Па, $\sigma_\theta(\theta) = 200\cdot10^3$ Па; в т. B, коли $\theta = -34{,}22^0$, що відповідає куту відносного ковзання $\varphi_{\hat{e}1} = 55{,}78^0$ [6], дорівнюють $\sigma_r(\theta) = -471\cdot10^3$ Па, $\sigma_\theta(\theta) = 205\cdot10^3$ Па. Незначні напруження в радіальному напрямі стискають внутрішні шари розтягнутого полотна пилки. Розподіл радіальних напружень $\sigma_r(\theta)$ вздовж дуги $a\tilde{n}$ контакту показано на рис. 2, а.

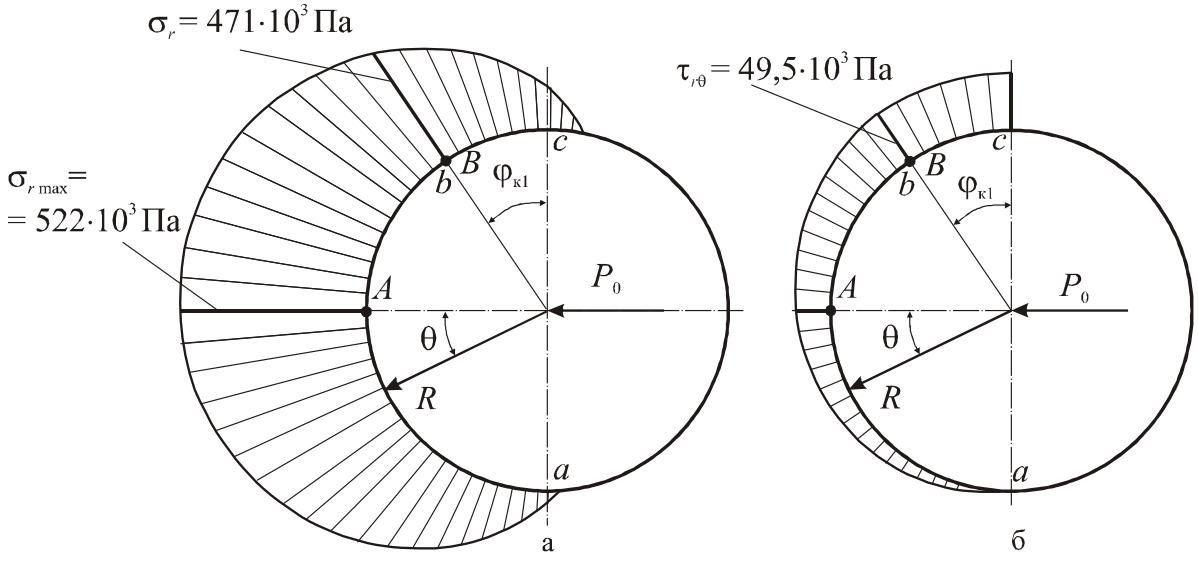

Рис. 2. Розподіл напружень вздовж дуги контакту полотна стрічкової пилки з тяговим пилковим шківом: а – радіальних $\sigma_r(\theta)$; б – дотичних $\tau_{r\theta}(\theta)$

Дотичні напруження $\tau_{r\theta}(\theta)$ (див. рис. 1, б) на поверхні контакту розподілені за лінійною залежністю на дузі ab відносного спокою так, що $0 < \tau_{r\theta}(\theta) \le f \cdot \sigma_r(\theta)$, коли $\frac{\pi}{2} < \theta < -\left(\frac{\pi}{2} - \varphi_{\hat{e}1}\right)$, та на дузі bc відносного ковзання $\tau_{r\theta}(\theta) = f \cdot \sigma_r(\theta)$, коли $-(\pi - \varphi_{\hat{e}1}) \le \theta \le -\frac{\pi}{2}$ [5, 7]. На межі дуги відносного спокою та відносного ковзання в т. B напруження $\tau_{r\theta}(\theta)$ набуває максимального значення $\tau_{r\theta}(\theta) = 49{,}5 \cdot 10^3$ Па (рис. 2, б).

Висновки

1. Проаналізовано напружений стан полотна пилки в місцях виникнення контактних напружень з урахуванням сил тертя на поверхні контакту полотна пилки з тяговим пилковим шківом.

2. Визначено значення нормальних напружень в радіальному та коловому напрямах та дотичних напружень на поверхні полотна стрічкової пилки вздовж дуги контакту з пилковим шківом.

3. Ураховуючи, що в перерізі полотна стрічкової пилки на межі дуги відносного спокою та відносного ковзання виникають, окрім найбільших напружень від розтягування та згинання полотна пилки на шківах, ще й максимальні контактні дотичні напруження, то можна вважати цей переріз найбільш навантаженим. Однак невеликі значення контактних напружень істотно не позначатимуться на міцності полотна стрічкової пилки. Тому достатньо оцінювати запас міцності стрічкової пилки лише за нормальними напруженнями.

Список літератури

1. Кондратюк А. А. Оценка напруженного состояния ленточных пил / А. А. Кондратюк, В. К. Шилько // Известия Томского политехнического университета. – 2004. – Т. 307. – №2. – С. 138–142.

2. Кондратюк А. А. Особенности формирования касательных напряжений при передаче рабочего движения в механизмах резания ленточнопильных

станков / А. А. Кондратюк, В. К. Шилько // Известия Томского политехнического университета. – 2004. – Т. 307. – №1. – С. 134–136.

3. Кондратюк А. А. Определение ресурса работы ленточных пил по циклической долговечности / А. А. Кондратюк, В. К. Шилько // Известия Томского политехнического университета. – 2004. – Т. 307. – №3. – С. 105–108.

4. Крагельский И. В. Основы расчета на трение и износ / Крагельский И. В., Добычин М. Н., Комбалов В. С. – М.: Машиностроение, 1977. – 526 с.

5. Теплый М. И. Контактные задачи для областей с круговыми границами / Теплый М. И. – Львов: Вища школа. Изд-во при Львов. ун-те, 1983. – 176 с.

6. Дзюба Л.Ф. Сила натягу у вітках стрічкової пилки під час різання деревини. / Дзюба Л.Ф., Меньшикова О.В., Ребезнюк І. Т. // Науковий вісник НЛТУУ: зб. наук.-техн. праць. – Львів: НЛТУУ, 2011. – Вип. №21.7 – С. 159-166.

7. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия / Джонсон К. : [пер. с анг.] – М.: Мир, 1989. – 510 с.

Аннотация

КОНТАКТНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ НА УЧАСТКЕ ОХВАТА ПОЛОТНОМ ЛЕНТОЧНОЙ ПИЛЫ ПИЛЬНОГО ШКИВА

Дзюба Л.Ф, Ольховый И.М, Ребезнюк И.Т.

Определены нормальные и касательные напряжения на участке охвата полотном ленточной пилы пильного шкива.

Abstract

Contact stresses on the section, covered by saw band of band wheel

Dzyuba L.; Olkhovy I., Rebeznyuk I.

The normal and tangent contact stresses on the section, covered by saw band of band wheel, are determined.