

УДК 674.053:621.935

© Л.Ф. Дзюба, к. т. н.; І.М. Ольховий, к. т. н.
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності,
І.Т. Ребезнюк, д. т. н.
Національний лісотехнічний університет України

ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ КОНТАКТНИХ НАПРУЖЕНЬ У ЗОНІ КОНТАКТУ ПОЛОТНА СТРІЧКОВОЇ ПИЛКИ З НАПРЯМНИМ РОЛИКОМ

Визначено контактні напруження в зонах дотику полотна стрічкової пилки до напрямних роликів без урахування сили тертя на площинці контакту. Проаналізовано розподіл цих напружень за глибиною контакту стрічкової пилки з напрямним роликом. Установлено залежності величини контактних напружень від місця розміщення напрямних роликів, їх діаметрів та напруження попереднього натягу полотна пилки.

КОНТАКТНІ НАПРУЖЕННЯ, СТРІЧКОВІ ПИЛКИ, НАПРЯМНІ РОЛИКИ

Постановка проблеми. Для підвищення стійкості стрічкових пилок під час роботи в механізмах різання горизонтальних стрічкопилкових верстатів використовують переважно напрямні ролики [1]. Такі напрямні ролики здебільшого відтискають полотно пилки від початкового горизонтального положення. У місцях дотику напрямних роликів до розтягнутого полотна пилки, в ньому виникають контактні напруження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботі [2] контактні напруження в полотні стрічкової пилки вважають додатними та сумують їх з напруженнями розтягу полотна, не враховуючи особливо характеру контактних напружень. У межах допущень, прийнятих у теорії контактних задач [3, 4, 5], контактні напруження в тілах, які дотикаються, концентруються біля зони контакту та швидко згасають за її межами. Однак ці напруження можуть істотно позначитися на довговічності інструменту.

Мета дослідження. Дослідити контактні напруження в зоні контакту полотна стрічкової пилки з напрямним роликом та виявити чинники, які спричиняють їх змінення.

Результати досліджень. Контактні напруження визначають незалежно від загального розподілу напружень в об'ємі тіл. Для розрахування сили контактної взаємодії між полотном стрічкової та

напрямними роликками використаємо схему відтискання полотна пилки двома роликками 1, 2 (рис. 1). На схемі прийнято такі позначення: l_1, l_2 – відстані в горизонтальній площині між осями пилкових шківів та напрямних роликків; h_1, h_2 – відстані, на які відтиснуто від горизонтальної лінії cd полотно пилки; α_1, α_2 – кути нахилу ділянок полотна пилки до горизонталі; d_p – діаметр напрямних роликків; V – швидкість руху пилки.

Рис. 1. Схема відтискання полотна стрічкової пилки напрямними роликками

Сили контактної взаємодії між поверхнем пилки та роликками дорівнюють: для ролика 1 – $F_{\epsilon_1} = F_1 \sin \alpha_1$, для ролика 2 – $F_{\epsilon_2} = F_1' \sin \alpha_2$, де F_1 та F_1' – сили натягу в полотні пилки під час різання деревини. З рис. 1 видно, що $\text{tg } \alpha_1 = h_1/l_1$, $\text{tg } \alpha_2 = h_2/l_2$.

Ураховуючи, що кути малі, тому можна припустити $\sin \alpha_1 \approx \text{tg } \alpha_1$, $\sin \alpha_2 \approx \text{tg } \alpha_2$. Нормальні сили P на одиницю довжини осі роликків

дорівнюють: для ролика 1 $P_1 = \frac{F_{\epsilon_1}}{B_1} = \frac{F_1 h_1}{B_1 l_1}$, для ролика 2 – $P_2 = \frac{F_{\epsilon_2}}{B_1} = \frac{F_1' h_2}{B_1 l_2}$, де B_1 – ширина полотна пилки.

Далі розглянемо контакт напрямного ролика з полотном стрічкової пилки за наявності нормальної сили P та за відсутності сили тертя на площинці контакту (рис. 2а).

Рис. 2. Контакт напрямного ролика з полотном стрічкової пилки: а – загальний вигляд; б – головні напруження в точці А внутрішньої поверхні полотна стрічкової пилки, в – головні напруження в точці A_1 на глибині $z = 0,78a$ в полотні стрічкової пилки

Унаслідок взаємного стиску напрямного ролика та полотна пилки нормальною силою P утворюється площинка контакту,

розміри якої визначають за теорією Герца. У разі плоскої деформації півширина площинки контакту, за [3], дорівнює

$$a = \sqrt{\frac{4 \cdot P \cdot R_p}{\pi \cdot E^*}}, \quad (1)$$

де $R_p = d_p / 2$ – радіус ролика, E^* – зведений модуль пружності, який

визначають за залежністю $\frac{1}{E^*} = \frac{1 - \mu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \mu_2^2}{E_2}$, де μ_1, μ_2 –

коефіцієнти Пуассона матеріалів тіл, які перебувають у контакті,

E_1, E_2 – модулі пружності першого роду для матеріалів цих тіл. У

разі контакту сталевих роликів та полотна пилки пружні сталі

матеріалів однакові: $\mu_1 = \mu_2 = \mu = 0,3$; $E_1 = E_2 = E = 2,1 \cdot 10^{11}$

МПа, тоді $E^* = \frac{E}{2(1 - \mu^2)} = 1,15 \cdot 10^{11}$ МПа. Контактний тиск на

площинці контакту розподіляється, згідно з [3], за залежністю

$$p(x) = \frac{2P}{\pi \cdot a^2} \sqrt{a^2 - x^2}, \quad (2)$$

відповідно до якої тиск за межами площинки контакту дорівнює нулеві. Максимальний тиск у центрі площинки контакту ($x = 0$)

$$p_0 = \frac{2P}{\pi \cdot a}. \quad (3)$$

З урахуванням (1) з виразу (3) отримаємо залежність для максимального тиску на одиницю довжини осі ролика з діаметром d_p :

$$p_0 = \sqrt{\frac{2PE^*}{\pi \cdot d_p}}. \quad (4)$$

Напруження в точках полотна стрічкової пилки, які розміщені на осі Z , визначають за [1] так

$$\sigma_x = -\frac{p_0}{a} \left[(a^2 + 2z^2)(a^2 + z^2)^{-\frac{1}{2}} - 2z \right], \quad (5)$$

$$\sigma_z = -p_0 a (a^2 + z^2)^{-\frac{1}{2}}. \quad (6)$$

Ці напруження на поверхні площинки контакту ($z = 0$) є головними [3 – 6]. Третє головне напруження в разі плоскої деформації

$$\sigma_y = \mu(\sigma_x + \sigma_z). \quad (7)$$

Для точки на внутрішній поверхні полотна пилки в центрі площинки контакту ($z=0, x=0$, точка A , рис. 2, б) за виразами (5) – (7) отримаємо для головних напружень

$$\sigma_1 = \sigma_y = -0,6 p_0; \quad \sigma_2 = \sigma_x = -1,0 p_0; \quad \sigma_3 = \sigma_z = -1,0 p_0. \quad (8)$$

Максимальні дотичні напруження на осі Z згідно з [3] обчислюють за залежністю

$$\tau_1 = \frac{-\sigma_y}{a} \left[z - z^2 (a^2 + z^2)^{-\frac{1}{2}} \right]. \quad (9)$$

Найбільшого значення $\tau_{1\max} = 0,3 p_0$ дотичне напруження набуває в точках полотна пилки на глибині $z = 0,78 a$ від поверхні контакту.

Головні напруження в точках на цій глибині (рис. 2, в)

$$\sigma_1 = \sigma_x = -0,188 p_0; \quad \sigma_2 = \sigma_y = -0,18 p_0; \quad \sigma_3 = \sigma_z = -0,788 p_0. \quad (10)$$

Графіки розподілу напружень $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_1$ в центрі площинки контакту ($x = 0$) за глибиною z/a контакту показано на рис. 3.

Рис. 3. Розподіл напружень в центрі площинки ($x = 0$) за глибиною контакту полотна пилки з напрямним роликом без урахування сил тертя на поверхні контакту

У разі оцінювання напруженого стану полотна пилки в точках на ділянці контактної взаємодії за третьою теорією міцності еквівалентні напруження визначають за виразом

$$\sigma_{\text{е\acute{c}\text{в}}}^{\text{III}} = \sigma_1 - \sigma_3. \quad (11)$$

Еквівалентні напруження в точках полотна пилки на осі Z , визначені за виразом (11) з урахуванням (8) та (10), набувають значень: коли $z = 0, x = 0$ – $\sigma_{\text{е\acute{c}\text{в}}}^{\text{III}} = 0,4 p_0$, коли $z = 0,78 a, x = 0$ – $\sigma_{\text{е\acute{c}\text{в}}}^{\text{III}} = 0,6 p_0$. Отже, в точці полотна пилки не на поверхні контакту, а на глибині $z = 0,78 a$ в центрі площинки контакту виникають

максимальні еквівалентні напруження. У точках на зовнішній поверхні полотна стрічкової пилки величина еквівалентного контактного напруження дорівнює 1,7 МПа, тобто на зовнішніх шарах матеріалу полотна пилки контактні напруження практично згасають. Графік зміни $\sigma_{\text{аєа}}^{222}$ за глибиною контакту полотна пилки з напрямним роликом зображено на рис. 3.

Еквівалентні напруження та інші розрахункові параметри на площинках контакту сталевого полотна стрічкової пилки з напрямними роликами наведено в табл. Ширина полотна пилки $B_1 = 26$ мм, діаметр напрямних роликів $d_p = 50$ мм, які розміщені на відстанях $l_1 = l_2 = 437$ мм від центрів пилкових шківів. Полотно відтиснуте обома роликами на однакову відстань від початкової горизонтальної лінії $h_1 = h_2 = h = 6$ мм.

Таблиця. Розрахункові параметри на площинках контакту полотна пилки з напрямними роликами без урахування сили тертя

№ з/п	Розрахункові параметри на площинках контакту	Одиниці вимірювання	Напрячний ролик 1	Напрячний ролик 2
1.	Сили натягу, F_1, F_1'	Н	5094	4658
2.	Нормальна сила на одиницю осі ролика, P_1, P_2	Н/м	2690	2460
3.	Півширина площинки контакту, a	мм	0,027	0,026
4.	Максимальний тиск на площинці контакту p_0	МПа	63	60
5.	Еквівалентні напруження на поверхні контакту, $\sigma_{\text{аєа}}^{\text{III}}$	МПа	25	24
6.	Еквівалентні напруження на глибині $z = 0,78a$ в центрі площинки контакту	МПа	38	36
7.	Дотичні напруження на глибині $z = 0,78a$ в центрі площинки контакту	МПа	19	18

Унаслідок того, що сили натягу на ділянках полотна пилки, які контактують з напрямними роликками, не однакові, відповідно різняться і значення контактних напружень для напрямних роликів 1 і 2. Оскільки сила натягу на ділянці вітки полотна пилки, де вона контактує з напрямним роликком 1 дещо більша, то, відповідно більшим є максимальний тиск на площинці контакту з цим роликком та максимальні дотичні та еквівалентні напруження. Еквівалентне напруження на глибині $z = 0,78 a = 0,02$ мм від поверхні контакту набуває значення 38 МПа, що становить до 20 % від напруження попереднього натягу. Наявність у точках полотна пилки на глибині 0,02 мм максимальних дотичних напружень негативно позначається на довговічності розтягнутого полотна пилки.

Максимальний тиск на поверхні контакту залежить від місця розміщення напрямних роликків, їх діаметрів та напруження попереднього натягу полотна пилки (рис. 4, рис. 5). Для графіків рис. 4 розрахункові параметри дорівнювали: діаметр $d_p = 50$ мм, відстань $h_1 = 6$ мм, ширина $B_1 = 26$ мм, товщина полотна пилки $S = 1$ мм, колова сила $F_t = 459$ Н за швидкості головного руху різання $v = 30$ м/с.

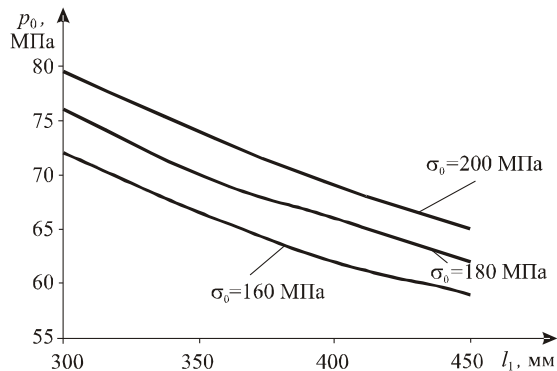


Рис. 4. Максимальний контактний тиск у центрі площинки контакту напрямного ролика з полотном пилки залежно від відстані l_1

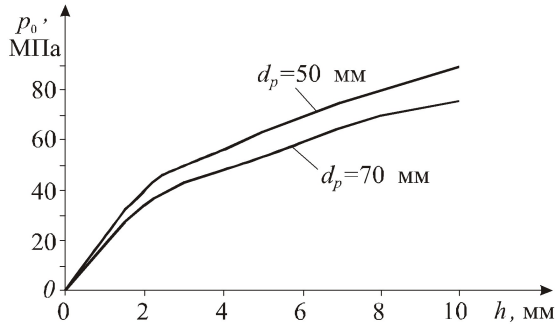


Рис. 5. Максимальний контактний тиск у центрі площинки контакту напрямного ролика з полотном пилки залежно від відстані h

На рис. 5 показано графіки зміни максимального контактного тиску P_0 залежно від величини відтискання полотна стрічкової пилки роликками з діаметрами 50 мм або 70 мм. Для графіків рис. 5 розрахункові параметри становили: напруження попереднього натягу пилки $\sigma_0 = 200$ МПа, відстань $l_1 = 400$ мм.

Висновки

1. У полотні стрічкової пилки в місцях дотику до напрямних роликів виникають контактні напруження. Установлено залежності величини контактних напружень від місця розміщення напрямних роликів, їх діаметрів та напруження попереднього натягу полотна пилки.

2. Проаналізовано напружений стан у точках полотна пилки за глибиною контакту з напрямними роликками. Установлено, що найбільші еквівалентні контактні напруження виникають на деякій глибині полотна пилки у центрі площинки контакту, а в зовнішніх шарах полотна практично згасають.

Література

1. Ребезнюк І. Т. Розвиток наукових основ розпилювання деревини на стрічкопилкових верстатах: дис. докт. техн. наук: 05.05.04 / Ребезнюк Ігор Тарасович. – Львів, 2009. – 375 с.
2. 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.
3. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия / Джонсон К.: [пер. с англ.] – М.: Мир, 1989. – 510 с.

4. Гурняк Л. І. Опір матеріалів: посібник для вивчення курсу при кредитно-модульній системі навчання / Гурняк Л. І., Гуцуляк Ю. В., Юзьків Т. Б. – Львів: Новий світ –2000, 2005. – 364 с.

5. Гуліда Е.М. Прикладна механіка: підруч. для студ. вищ. навч. закл. / Гуліда Е.М., Дзюба Л.Ф., Ольховий І.М. – Львів: Світ, 2007. – 386 с.

6. Ольховий І. М. Про оцінку контактної витривалості зубців закритих передач машин і пристроїв пожежогасіння / Ольховий І. М., Дзюба Л. Ф., Ліщинська Х. І. // Збірник наукових праць “Пожежна безпека ”. – ЛДУБЖД, УкрНДІПБ МНС України. – 2007. – №10. – С. 65 – 70.