

де qI – добуток маси на тепловміст топкових газів, кДж/кг палива.

Висновки. На основі отриманих залежностей для визначення маси та ентальпії топкових газів, отриманих у процесі спалювання деревного палива відповідної відносної вологості (W_v %) та питомих витрат теплової енергії на сушіння деревини, отримано формулу для визначення кількості палива (кг), яку потрібно спалити, щоб випарувати 1 кг вологи з деревини.

Література

1. Серговский П.С. Гидротермическая обработка и консервирование древесины / П.С. Серговский, А.И. Расев. – М. : Изд-во "Лесн. пром-сть", 1987. – 360 с.
2. Билей П.В. Сушка древесины твердых лиственных пород / П.В. Билей. – М. : Изд-во "Экология", 2002. – 224 с.
3. Білей П.В. Сушіння та захист деревини : підручник / П.В. Білей, В.М. Павлюст. – Львів : Вид-во "Кольорове небо", 2008. – 312 с.

Билей П.В., Приставский Б.И. Анализ использования источников тепловой энергии в процессах сушки древесины

Проведен анализ зависимости для определения массы и энтальпии топочных газов, полученных от сжигания древесного топлива, и удельных расходов тепловой энергии на испарение влаги из древесины.

Bilej P.V., Prystavskyy B.I. An analysis of using thermal energy in processes of drying wood

The analysis of dependence is conducted for determination of mass and fire-box gases that were got from incineration of wood fuel and specific costs of thermal energy on evaporation of moisture from wood.

УДК 674.053:621.935

Доц. Л.Ф. Дзюба¹, канд. техн. наук; доц. О.В. Меньшикова¹, канд. фіз.-мат. наук; доц. І.Т. Ребезнюк², д-р техн. наук

СИЛА НАТЯГУ У ВІТКАХ СТРІЧКОВОЇ ПИЛКИ ПІД ЧАС РІЗАННЯ ДЕРЕВИНИ

Установлено розподіл сили натягу поздовж полотна стрічкової пилки під час різання деревини. Показано, що сила натягу у вітках полотна пилки на шківках розподіляється відповідно до кутів відносного спокою та відносного ковзання. Визначено кут відносного ковзання полотна пилки на тяговому та тяжному шківках з урахуванням відцентрових сил.

Ключові слова: стрічкова пилка, сила натягу, різання деревини, кут відносного ковзання.

Особливість стрічкової пилки полягає в тому, що вона водночас є дереворізальним інструментом і гнучким тяговим органом. Стрічкову пилку встановлюють на пилкові шківки з певною силою попереднього натягу, яка забезпечує стійкість стрічкової пилки під час різання деревини. Тому в нерухомій стрічковій пилці після встановлення її на шківки у всіх поперечних перерізах полотна стрічкової пилки виникають однакові поздовжні сили розтягу. Однак у рухомій стрічковій пилці під час різання деревини, коли на тяговому

¹ Львівський ДУ БЖД;

² НЛТУ України, м. Львів

пилковому шківі діє колова сила від обертального моменту, а на тяговій вітці – сила опору від головного складника сили різання деревини, величини сили натягу на окремих ділянках полотна пилки не однакові.

У схемі розподілу сил у стрічковій пилці під час різання деревини роботи [1] не беруть до уваги того, що на пилкових шківів під час руху інструмента створюватимуться кути відносного ковзання та кути відносного спокою [2-4]. Не визначено цих кутів і в роботі [5]. Сила натягу в тяговій вітці стрічкової пилки за [1] спадатиме відразу після контакту вітки з тяговим шківом, що суперечить положенням, викладеним у [2-4].

Оскільки від розподілу сили натягу вздовж стрічкової пилки під час різання деревини залежить розподіл нормального напруження в поперечних перерізах полотна пилки і, відповідно, встановлення небезпечного перерізу, де напруження набуватиме найбільшого значення, то потрібно точніше встановити величину сили натягу на певних ділянках стрічкової пилки та межі цих ділянок.

Розглянемо, як розподіляється сила початкового натягу у вітках стрічкової пилки під час різання деревини (рис. 1). Стрічкова пилка набігає на тяговий шків у точці *a* з натягом [6, 7]

$$F_1 = F_0 + 0,5F_t, \quad (1)$$

де: F_0 – сила попереднього натягу, $F_t = M / R$ – тягова (колова) сила, M – обертальний момент на тяговому шківі, R – радіус пилкових шківів. Сила натягу F_1 залишається незмінною на дузі *ab* [2], яка відповідає центральному куту φ_{cn1} . Кут φ_{cn1} – це кут відносного спокою [2-4] на тяговому шківі. На дузі *ab* передається незначна частина навантаження від моменту M . За даними [3] ця частина становить до 15 % від тягової сили F_t . Однак за [3] на дузі *ab* лінійно зростає дотична сила тертя зчеплення між полотном пилки та тяговим шківом. Унаслідок цього зростають деформації зсуву в полотні пилки. У точці *b* сила зчеплення досягає значення сили тертя і полотно пилки починає проковзувати відносно тягового шківів на дузі *bc*. Дугу *bc* називають дугою відносного ковзання, а центральний кут $\varphi_{к1}$, який опирається на цю дугу, – кутом відносного ковзання. На дузі *bc* передається до 85 % тягової сили [3, 4]. Тому сила натягу в полотні пилки спадає від F_1 до F_2 .

На ділянці *cd* (рис. 1) натяг полотна пилки становитиме F_2

$$F_2 = F_0 - 0,5F_t. \quad (2)$$

Сили F_1 та F_2 пов'язані залежністю [2]

$$e^{\mu_{зч}\varphi_{к1}} = \frac{F_1}{F_2}, \quad (3)$$

де $\mu_{зч}$ – коефіцієнт зчеплення між полотном пилки та шківом. За [3] $\mu_{зч} = k_1 \cdot f$, де: $k_1 = 0,7$ – коефіцієнт, який враховує наявність незначного попереднього зміщення шарів матеріалу по всій площі контакту тертя, наявність зварного шва тощо, f – коефіцієнт тертя у плоскій парі тертя заданих матеріалів (сталь по сталі $f = 0,12...0,15$ [7]).

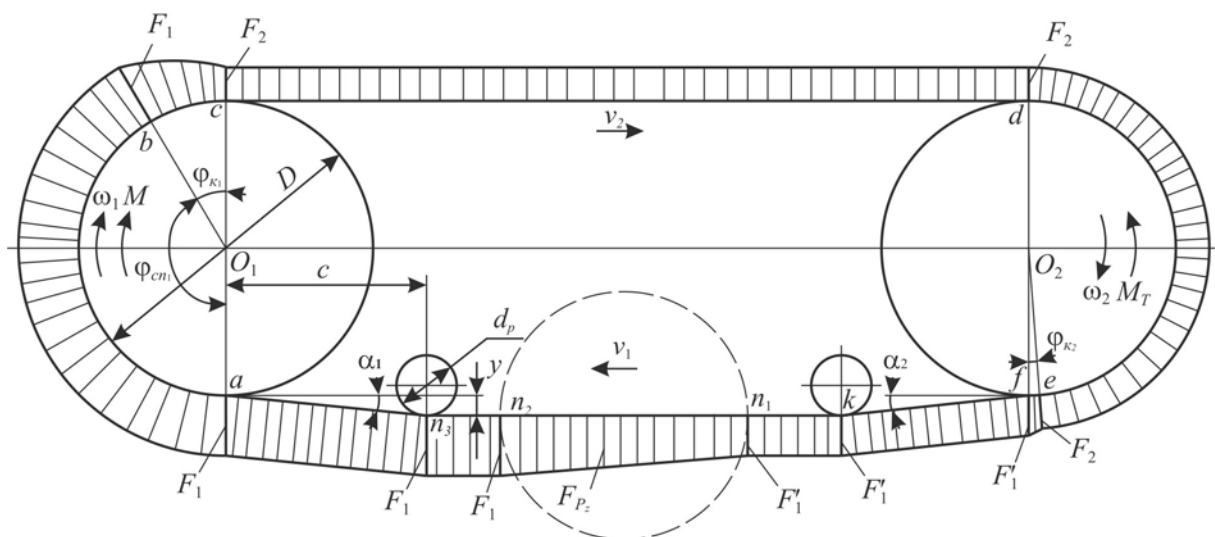


Рис. 1. Розподіл сили натягу в полотні стрічкової пилки

Натяг F_2 у полотні пилки збережеться і на дузі de , впродовж якої повільно пилки огинає тяжкий шків. Опір обертанню важкого шків створюють моменти тертя у підшипниках вала цього шків. Момент тертя M_T для одного підшипника визначають за залежністю [8]

$$M_T = f^* \cdot N_r \cdot d, \quad (4)$$

де: f^* – зведений коефіцієнт тертя підшипників кочення ($f^* = 0,001 \dots 0,004$ – для кулькових підшипників [8]), $N_r = 2 \cdot F_0$ – радіальне навантаження на підшипник; d – діаметр вала важкого шків.

Момент тертя у двох підшипниках створюватиме невелику силу опору

$$F_{on} = \frac{4M_T}{D} = \frac{8 \cdot F_0 \cdot f^* \cdot d}{D}, \quad (5)$$

яка спричинить незначне зростання сили натягу полотна пилки на ділянці ef до значення F_1' [1]

$$F_1' = F_2 + F_{on}. \quad (6)$$

Сили F_1' та F_2 пов'язані залежністю

$$e^{\mu_{34}\varphi_{k2}} = \frac{F_1'}{F_2}, \quad (7)$$

де: φ_{k2} – кут відносного ковзання на важкому шківі. Оскільки різниця між значеннями сил F_1' і F_2 незначна, то кут φ_{k2} буде малим. Коли сила попереднього натягу $F_0 = 4680$ Н (що відповідає напруженню $\sigma_{нат} = 180$ МПа у полотні пилки з поперечним перерізом $B_1 \times S = 26 \times 1$, мм), діаметр вала $d = 80$ мм і діаметр пилкового шків $D = 510$ мм, сила опору дорівнює $F_{on} = 5,8 \dots 23,4$ Н. Для випадку передавання обертального моменту $M = 117$ Н·м, який створює електродвигун з потужністю $P = 11$ кВт і частотою обертання $n_{об} = 3000$ об/хв, за наявності в механізмі різання клинопасової передачі з передатним числом $u_{нас} = 3$, колова сила на пилковому шківі із зазначеним діаметром становить $F_t = 459$ Н. Сила натягу в важкій вітці пилки $F_2 = F_0 - 0,5F_t = 4680 - 0,5 \cdot 459 = 4450,5$ Н. Тоді за (6) $F_1' = 4450,5 + (5,8 \dots 23,4) =$

4456,3...4473,9 Н і кут відносного ковзання на тяжному шківі, визначений з використанням (7), коли $\mu_{зч} = 0,105$ ($f = 0,15$), може перебувати в межах від $0,71^\circ$ до $2,86^\circ$.

На ділянці fk від точки f збігання полотна пилки з тяжного шківа до точки k – контакту з напрямним роликом і на ділянці kn_1 від точки k до точки n_1 входження пилки у пропи́л натяг полотна дорівнює F'_1 .

У пропи́лі (ділянка n_1n_2 , де точка n_2 – точка виходу пилки з пропи́лу, див. рис. 1) натяг полотна поступово зростає на величину сили F_{P_z} від дії головного складника сили різання P_z і досягає величини F_1 : $F_1 = F'_1 + F_{P_z}$.

Зростання натягу на ділянці n_1n_2 , згідно з [1], вважають лінійним і пропорційним збільшенню кількості зубців у пропи́лі.

Сила натягу F_1 залишиться незмінною і на ділянках n_2n_3 та n_3a , тобто до точки n_3 контакту з напрямним роликом і після напрямного ролика до точки a набігання стрічкової пилки на тяговий шків.

Згідно з [2], упродовж дуг контакту пилки зі шківами виникатимуть контактні дотичні напруження. Найбільших значень ці напруження досягатимуть на межах дуг відносного спокою та відносного ковзання. Як було вже зазначено, кут відносного ковзання на тяжному шківі є малим, оскільки цей шків у механізмі різання стрічкопилкового верстата не передає далі обертового моменту, на відміну від тяжного шківа пасової передачі. Тому актуальним є визначення кута відносного ковзання на тяговому пилковому шківі.

Якщо знехтувати незначною зміною кута охоплення полотном пилки тягового шківа унаслідок відтискання напрямними роликами (рис. 1) та не брати до уваги відцентрових сил, то величину кута $\varphi_{к1}$ можна визначити із залежності (3).

Однак рух полотна пилки на криволінійних ділянках траєкторії (на шківах) зумовлює появу відцентрових сил, які додатково навантажують полотно пилки і впливають на величину $\varphi_{к1}$. Урахувати вплив відцентрових сил на величину кута відносного ковзання можна аналогічно до того, як беруть до уваги ці сили в пасових передачах [6, 7]. Для цього виділимо на тяговому шківі елемент полотна пилки завдовжки $dl_n = R d\varphi_{к1}$, де $R = \frac{D}{2}$ – радіус пилкового шківа та розглянемо рівновагу цього елемента (рис. 2).

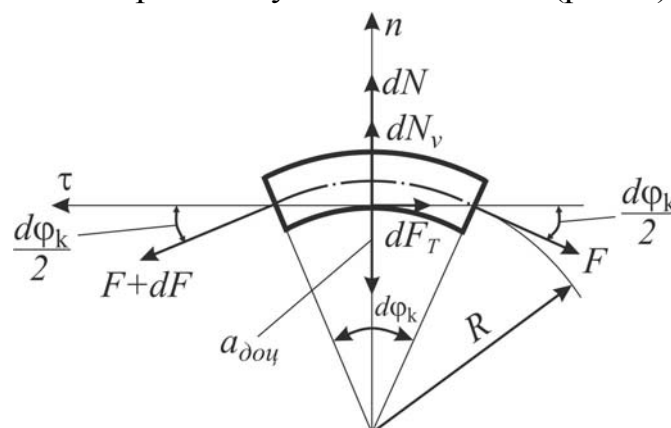


Рис. 2. Схема для визначання кута відносного ковзання на тяговому шківі

Маса виділеного елемента

$$dm = \rho A dl_n = \rho A R d\varphi_{\kappa_1}, \quad (8)$$

де: ρ – густина матеріалу полотна пилки (сталь, $\rho = 7,85 \cdot 10^3$ кг/м³), $A = B_1 \cdot S$ – площа поперечного перерізу полотна.

На виділений елемент у торцевих поперечних перерізах діють сили натягу F і $F + dF$, сила dN реакції в'язі шківа, сила тертя між пилкою та шківом dF_T , відцентрова сила інерції dN_v , прикладена в центрі ваги перерізу і спрямована вздовж радіуса в протилежний бік до доцентрового прискорення виділеного елемента $a_{\text{доц}} = v^2 / R$. Величина відцентрової сили інерції з урахуванням (8)

$$dN_v = a_{\text{доц}} \cdot dm = v^2 \rho A d\varphi_{\kappa_1}. \quad (9)$$

Спроектувавши всі сили, що діють на виділений елемент, на нормаль n і дотичну τ , отримаємо систему двох рівнянь

$$\begin{cases} -2F \sin \frac{d\varphi_{\kappa_1}}{2} - dF \sin \frac{d\varphi_{\kappa_1}}{2} + dN + dN_v = 0; \\ F + dF - F - dF_T = 0. \end{cases} \quad (10)$$

З першого рівняння системи (10) за дуже малого кута $d\varphi_{\kappa_1}$ ($\sin \frac{d\varphi_{\kappa_1}}{2} \approx \frac{d\varphi_{\kappa_1}}{2}$), нехтуючи додатком другого порядку малості $dF \sin \frac{d\varphi_{\kappa_1}}{2}$ та враховуючи (9), отримаємо

$$dN = F d\varphi_{\kappa_1} - v^2 \rho A d\varphi_{\kappa_1} = (F - v^2 \rho A) d\varphi_{\kappa_1}. \quad (11)$$

З другого рівняння системи (10), використовуючи для сили тертя залежність $dF_T = \mu_{\text{зч}} dN$ та враховуючи (11), маємо

$$dF = \mu_{\text{зч}} (F - v^2 \rho A) d\varphi_{\kappa_1}. \quad (12)$$

Після розділення в (12) змінних та інтегрування, отримаємо

$$e^{\mu_{\text{зч}} \varphi_{\kappa_1}} = \frac{F_1 - v^2 \rho A}{F_2 - v^2 \rho A}.$$

Звідси центральний кут φ_{κ_1} , що відповідає дузі вс відносного ковзання,

$$\varphi_{\kappa_1} = \frac{1}{\mu_{\text{зч}}} \ln \frac{F_1 - v^2 \rho A}{F_2 - v^2 \rho A} = \frac{1}{\mu_{\text{зч}}} \ln \frac{F_0 + 0,5F_t - v^2 \rho A}{F_0 - 0,5F_t - v^2 \rho A}. \quad (13)$$

Значення кута φ_{κ_1} визначено для стрічкових пилок завширшки $B_1 = 26$ мм і $B_1 = 44$ мм та завтовшки $S = 1$ мм за різних швидкостей різання (табл. 1). У розрахунках прийнято, що сила попереднього натягу відповідає напруженню 180 МПа у вітці пилки. Для пилки з полотном завширшки $B_1 = 26$ мм, ця сила становить $F_0 = 4680$ Н, коли $B_1 = 44$ мм – $F_0 = 7920$ Н. Колова сила $F_t = 459$ Н, що відповідає оберальному моменту $M = 117$ Н·м на тяговому шківі з діаметром $D = 510$ мм. Коефіцієнт зчеплення $\mu_{\text{зч}} = 0,105$, який відповідає коефіцієнту тертя у плоскій сталевій парі $f = 0,15$.

Табл. Значення кутів відносного ковзання

v , м/с	B_1 , мм	φ_{κ_1} , °	v , м/с	B_1 , мм	φ_{κ_1} , °
30	26	55,78	30	44	32,94
40	26	57,615	40	44	34
50	26	60,16	50	44	35,52

Як видно з табл., зі збільшенням швидкості руху пилки зростає і кут відносного ковзання, оскільки зростає величина відцентрової сили. Наприклад, для пилки з полотном завширшки $B_1 = 44$ мм кут відносного ковзання на 41 % менший, ніж для пилки з полотном завширшки $B_1 = 26$ мм.

Висновки. 1. Установлено розподіл сили натягу поздовж полотна стрічкової пилки під час різання деревини. Напруження розтягу на ділянках полотна стрічкової пилки потрібно визначати відповідно до цього розподілу.

2. Визначено кут відносного ковзання полотна пилки на тяговому та тяжному шківів з урахуванням відцентрових сил.
3. Показано вплив ширини полотна пилки та швидкості її переміщення на величину кута відносного ковзання на тяговому шківі.

Література

1. Дешевой М.А. Механическая технология дерева. – Ч. 2. Орудия и инструменты для обработки дерева / М.А. Дешевой. – Л.-М. : Изд-во ОНТИ, 1936. – 429 с.
2. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия : пер. с англ. / К. Джонсон. – М. : Изд-во "Мир", 1989. – 510 с.
3. Андреев А.В. Расчет деталей машин при сложном напряженном состоянии / А.В. Андреев. – М. : Изд-во "Машиностроение", 1981. – 216 с.
4. Биргер И.А. Расчет на прочность деталей машин: справочник / И.А. Биргер, Б.Ф. Шорр, Г.Б. Йосилевич. – М. : Изд-во "Машиностроение", 1979. – 702 с.
5. Феоктистов А.Е. Ленточнопильные станки : монография / Александр Ефимович Феоктистов. – М. : Изд-во "Лесн. пром-сть", 1976. – 152 с.
6. Гузенков П.Г. Детали машин : учебник [для студ. ВУЗов] / П. Г. Гузенков. – М. : Изд-во "Высш. шк.", 1975. – 464 с.
7. Павлище В.Т. Основы конструирования та розрахунок деталей машин : підручник / В.Т. Павлище. – Львів : Вид-во "Афіша", 2003. – 560 с.
8. Юдин В.А. Теория механизмов и машин : учебн. пособ. [для студ. ВУЗов] / В.А. Юдин, Л.В. Петрокас. – Изд. 2-е, [перераб. и доп.]. – М. : Изд-во "Высш. шк.", 1977. – 527 с.

Дзюба Л.Ф., Меньшикова О.В., Ребезнюк И.Т. Сила натяжения в ветвях ленточной пилы при резании древесины

Установлено распределение силы натяжения вдоль полотна ленточной пилы при резании древесины. Показано, что сила натяжения в ветвях полотна пилы на шкивах распределяется с учетом углов относительного покоя и относительного скольжения. Определен угол относительного скольжения полотна пилы на ведущем и ведомом шкивах с учетом центробежных сил.

Ключевые слова: ленточная пила, сила натяжения, резание древесины, угол относительного скольжения.

Dzjuba L.F., Menshikova O.V., Rebeznjuk I.T. Strength of tension in branches of band saw during the wood cutting

It is established distribution of Tension Power longitudinal the Blade of Band Saw during the wood cutting. It is shown that the strength of the Tension in the branches of the Saw Blade pulley is divided according to the relative inactivity state angle and the relative sliding angle. It is determined the angle of the relative Saw Blade slip to traction and pulled pulley including centrifugal forces.

Keywords: Band Saw, the Power of tension, Wood Cutting, the Angle relative Sliding.