ISSN 1994-7836 (print)
ISSN 2519-2477 (online)

УДК 674.053:
621.93.024.74
Article info
Received 07.02.2017

ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ПРОТИ СПРАЦЮВАННЯ ПИЛОК ШЛЯХОМ ЗАГОСТРЕННЯ ПЕРЕРВНИМИ АБРАЗИВНИМИ КРУГАМИ

М. І. Пилипчук, Р. В. Павлюк

НЛТУ України, м. Львів, Україна

Описано методику і результати проведеного дослідження. Запропоновано математичну модель спрацювання зубців сталевих пилок у вигляді полінома третього степеня. Отримано рівняння регресії, яке характеризує залежність площі спрацювання леза зубців сталевих пилок від шляху різання і кількості перерв абразивного круга. Доведено вплив кількості перерв круга на величину площі спрацювання зубців пилки. Визначено раціональну кількість перерв круга. Встановлено граничний шлях різання до втрати працездатності пилки загостреної перервним абразивним кругом.

Ключові слова: сталева пилка, перервний абразивний круг, модель спрацювання, рівняння регресії, шлях різання, стійкість проти спрацювання.

Постановка проблеми. Рамні і дискові сталеві пилки широко використовують для поздовжнього розпилювання деревини різних порід. Наявний спосіб загострювання цих пилок суцільними абразивними кругами малопродуктивний і не забезпечує належної стійкості зубців проти спрацювання. Збільшення подавання на врізання круга веде до значного нагрівання леза зубців пилки, підпалювання і в подальшому інтенсивної втрати гостроти. Усунути цей недолік можливо використанням перервних абразивних кругів (Kiryk, & Pavljuk, 2000), що дасть змогу зменшити температуру поверхні зубця, уникнути структурних перетворень металу, збільшити подавання на врізання, підвищити стійкість леза зубця проти спрацювання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Процес шліфування сталей досліджено у багатьох роботах, зокрема А. В. Якімова, О. О. Якімова, Д.Г. Євсеєва (Yakymov, 1975; 2014; Evseev, & Salnikov, 1978). За результатами цих досліджень встановлено, що коли процес шліфування виконувати з певними перервами і тривалістю шліфування між цими перервами меншою від часу теплового насичення металу, то за час розриву процесу шліфування знижується температура на поверхні оброблюваної деталі. Завдяки цьому вдається уникнути дефектів шліфування. На основі попередніх досліджень (Kiryk, & Pavljuk, 2000) встановлено, що спосіб перервного шліфування є ефективним для загострювання сталевого дереворізального інструмента. Розроблено конструкцію перервного абразивного круга (Pavljuk, 2015; Deklaracijnyj patent Ukrainy № 22538, 2007), проведено дослідження температури, шорсткості і твердості поверхні зубця загостреного суцільними і перервними кругами (Pavljuk, 2002). Встановлено, що використання перервних абразивних кругів не спричиняє припалювання різальних крайок вершин зубців і забезпечує постійну їхню твердість.

Мета дослідження. Встановити залежність величини спрацювання зубців сталевих пилок від шляху різання і кількості перерв круга. Вибрати раціональну кількість перерв круга. Визначити стійкість проти спрацювання зубців пилок, загострених перервними абразивними кругами.

Виклад основного матеріалу. Для дослідження використовували круглі пилки діаметром 400 мм, з кількістю зубців z = 60, кут загострювання β = 40°, передній кут γ = 35°, задній кут α = 15°, зубці з ламаною задньою поверхнею зі сталі 9ХФ.

Для загострювання пилок використовували суцільні і перервні абразивні круги на керамічній зв'язці, зернистістю – 40 нормальна, матеріал зерна – електрокорунд 25А, середньої структури № 6, 7, твердість $СМ_2$. Досліди проводили на круглопилковому прирізному верстаті для поздовжнього розпилювання моделі ЦДК4-2. Розпилювали сухі букові дошки вологістю 8…10 %. Усі досліди виконували з постійною швидкістю подавання υ_s = 24 м/хв. Проведено п'ять серій дослідів. Порівнювали першу серію для пилки, загостреної суцільним абразивним кругом, інші чотири серії – кругами з кількістю перерв n = 3, 6, 9, 12 (рис. 1).

Рис. 1. Абразивні круги з перервною робочою поверхнею

Для кількісного оцінювання спрацювання леза зубця пилки використовують лінійне або масове спрацювання. Заміряти лінійні параметри або масу спрацювання важко і вони не відображають характер самого процесу. Найпростішим та ефективним способом є вимірювання площі спрацювання леза зубця (рис. 2), який застосовано під час досліджування, а площа є показником оцінювання величини спрацювання леза зубця.

Шлях різання визначали за формулою

$$L_p = \frac{L_П \cdot l_p}{1000 \cdot S_z}, \qquad (1)$$

де: $L_П$ − сумарна довжина пропилу, м; l_p − довжина дуги різання, мм; S_z − подавання на зубець, мм.

Довжина дуги різання залежить від параметрів інструмента, умов різання і товщини дошки:

$$l_p = R \cdot \phi_к; \quad \phi_к = \arccos\phi_{вих} - \arccos\phi_{вх};$$

$$\cos\phi_{вх} = \frac{R-a}{R}; \quad \cos\phi_{вх} = \frac{R-h-a}{R}, \qquad (2)$$

Citation APA: Pylypchuk, M., & Pavlyuk, R. (2017). Increasing Saw Resistance to Wear by Sharpening Interruption Abrasive Circles. *Scientific Bulletin of UNFU, 27*(1), 160–163. Retrieved from http://nv.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/189

де: R – радіус пилки; $\phi_к$ – кут контакту зубця пилки з деревиною; $\phi_{вх}$ – кут входження зубця в деревину; $\phi_{вих}$ – кут виходу зубця з деревини; a – виступ пилки за матеріал; h – товщина заготівки.

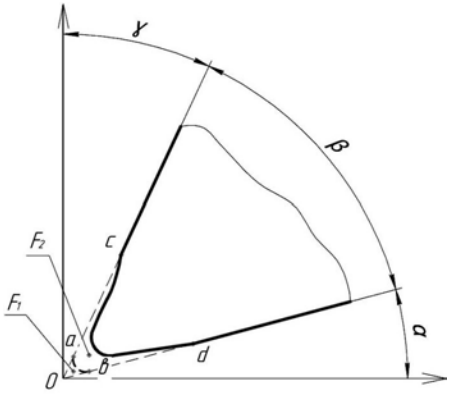

Рис. 2. Схема вимірювання площі спрацювання леза зубця: F_1 – площа спрацювання леза загостреного зубця; F_2 – для спрацьованого зубця

У кожному досліді після проходження фіксованого шляху різання, пилку знімали і фотографували лезо зубців під мікроскопом зі збільшенням у 37 разів. Одночасно фотографували мікроштрих з ціною поділки 0,01 мм. Площу спрацювання F_1 вимірювали обведенням контуру O, a, b (див. рис. 2) – для гострого зубця і площу F_2 обведенням контуру O, c, d – для затупленого зубця. У першому досліді площу спрацювання визначили для всіх зубців пилки (z = 60 шт.). Після статистичного оброблення результатів визначили коефіцієнт варіації площі спрацювання, який дорівнював 5,36 %. За цим показником визначили мінімально потрібну кількість замірів для подальших досліджень

$$n_д > \frac{t^2 \cdot \upsilon^2}{P^2}, \qquad (3)$$

де: t − критерій Ст'дента; υ – коефіцієнт варіації; P – необхідна точність дослідів (P=5 %).

Для 60 замірів критерій Ст'дента дорівнює 2. Тоді $n_д$ > 4,596. Для всіх наступних дослідів було прийнято $n_д$ = 6 замірів (для кожного десятого зубця пилки).

Результати вимірювань площі спрацювання зубців пилки залежно від шляху різання і кількості перерв круга наведено у таблиці.

Табл. Результати вимірювань площі спрацювання зубців пилки

Шлях різання, тис. м	Площа спрацювання леза зубців у тис. мкм^2 пилок, загострених абразивними кругами				
	суцільним	перервним із кількістю перерв круга, n шт.			
		3	6	9	12
0	1,0993	1,09936	0,9957	1,0254	1,0963
11,8967	4,3742	1,8586	1,7574	1,7824	2,8384
23,7933	7,2289	3,9276	2,7524	2,9876	4,6782
45,1936	10,6843	6,4429	4,2533	4,7566	7,1125
68,5907	13,1077	8,2541	5,7421	6,2487	9,1754
97,1244	14,0054	9,6271	6,9821	7,4209	10,4358
122,777	14,5317	10,3425	7,3579	8,0126	11,1524
148,766	15,0945	10,9711	7,9941	8,4231	11,8258
175,005	16,0675	11,9928	8,5427	9,0427	12,7961
200,003	19,5958	13,3824	9,7236	10,2508	14,3435
220,313	23,4296	15,1725	10,9431	11,5842	16,2984
239,061	29,4791	17,3548	12,2872	13,2509	18,9115

Залежно від довжини шляху різання змінюється не тільки площа спрацювання, але і характер спрацювання леза зубця (рис. 3). До початку різання, коли L_p = 0 загострений і доведений зубець має радіус загострення ρ = 10…15 мкм, грані зубця рівні і гладенькі (рис. 3, *а*). З часом, коли шлях різання досягне L_p = 150 тис. м, радіус заокруглення леза зростає до ρ= 30…40 мкм і на передній і задній поверхнях зубця помітні сліди спрацювання і викришування (див. рис. 3, *б*). Для затуплених зубців, коли шлях різання сягає 230 тис. м, лезо зубця зношене по передній і задній поверхнях, на яких видно задирки, хоча радіус загострення немає істотного зростання і становить 50…60 мкм (див. рис. 3, *в*). У подальшому спостерігається виламування леза зубця (див. рис. 3, *г*) або відгинання його у бік передньої поверхні (див. рис. 3, *д*).

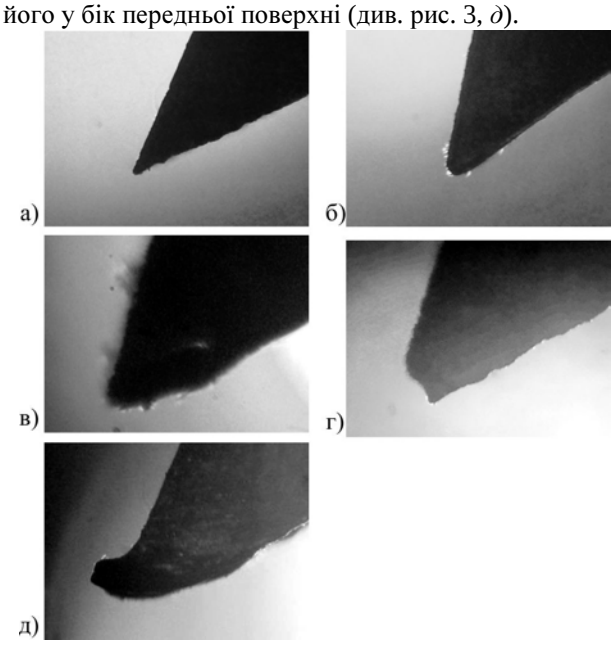

Рис. 3. Стадії спрацювання зубців пилки під час розпилювання деревини твердої породи (бук)

Залежність площі спрацювання леза зубців пилки у тис. мкм^2 описується поліномом третього степеня (рис. 4) у вигляді рівняння регресії

$$F_{СП} = a_3 \cdot L_p^3 + a_2 \cdot L_p^2 + a_1 \cdot L_p + a_0\,, \qquad (4)$$

де a_3, a_2, a_1, a_0 – коефіцієнти рівняння регресії, що залежать від кількості перерв круга.

Залежність коефіцієнтів рівняння регресії від кількості перерв круга можна описати поліномом другого степеня (рис. 4-6).

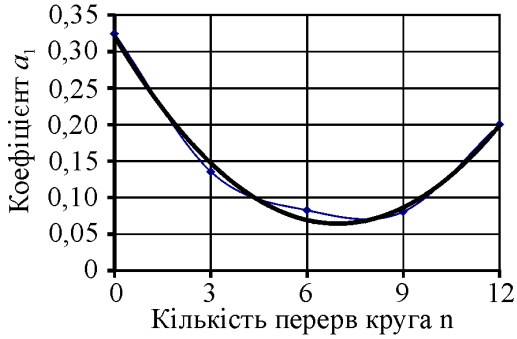

Рис. 4. Залежність коефіцієнта a_1 від кількості перерв круга

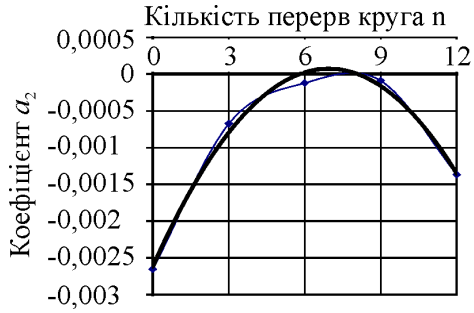

Рис. 5. Залежність коефіцієнта a_2 від кількості перерв круга

Рис. 6. Залежність коефіцієнта a_3 від кількості перерв круга

Тоді рівняння регресії (4) запишемо у вигляді залежності

$$F_{cn} = \left(2\cdot 10^{-7}\cdot n^2 - 2\cdot 10^{-6}\cdot n + 7\cdot 10^{-6}\right)\cdot L^3 + \\ +\left(-6\cdot 10^{-5}\cdot n^2 + 8\cdot 10^{-4}\cdot n - 0{,}0026\right)\times L_p^2 + \\ +\left(0{,}0053\cdot n^2 - 0{,}0737\cdot n + 0{,}3209\right)\cdot L + 1{,}0632. \quad (5)$$

Адекватність рівняння регресії перевіряли за критерієм Фішера F_T =3 для $f_{ад}$ =8 і f_y =60; F_p =1,76. З рис. 4-6 добре спостерігається наявність екстремуму у коефіцієнтів a_1, a_2, a_3 для кількості перерв круга в межах від 6 до 9, отримано графік залежності спрацювання леза від шляху різання (рис. 7). Виходячи з конструктивних міркувань і можливостей балансування круга прийнято за раціональну парну кількість перерв – вісім.

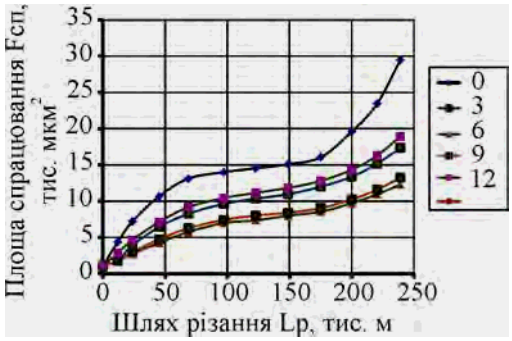

Рис. 7. Залежність площі спрацювання леза зубців пилки від шляху різання і кількості перерв круга

Дослідження показало, що критичним є спрацювання зубця пилки F_{cn} =15 тис. мкм^2. Після досягнення цієї межі спостережень різке зростання сил різання, вібрація заготівки та почорніння поверхонь пропилу внаслідок горіння. Подальша експлуатація пилки стає неможливою. Виходячи з цього визначили гранично можливий шлях різання (рис. 8).

Встановлено, що для пилки, загостреної суцільним абразивним кругом, межею шляху різання є 150 тис. м, а для пилки, загостреної кругом з вісьмома перервами, шлях різання становить 250 тис. м, тобто в 1,67 раза більше.

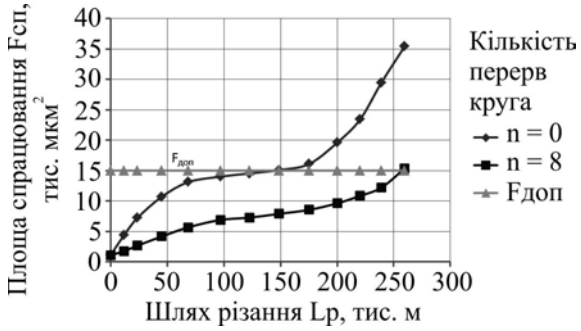

Рис. 8. Визначення граничного шляху різання для розпилювання деревини бука пилкою, загостреною суцільним і перервним абразивним кругом з n = 8

Висновки. Вперше проведено порівняльні дослідження спрацювання лез зубців сталевих пилок, загострених суцільним і перервними абразивними кругами. Для кількісного оцінювання спрацювання зубців пилок доцільно прийняти площу спрацювання його леза, як функцію від шляху різання і кількості перерв круга. Залежність площі спрацювання леза зубців пилки адекватно описується поліномом третього степеня. Раціональною кількістю перерв круга є вісім. Використання перервних абразивних кругів для загострення сталевих пилок забезпечує підвищення стійкості в 1,67 раза.

Підвищення стійкості пилок проти спрацювання дає змогу зменшити їх річну витрату та простої верстатів на заміну інструменту і цим самим підвищити продуктивність процесу пиляння.

Перелік використаних джерел

Deklaracijnyj patent Ukrainy № 22538. (2007). Perervnyj zbirnyj abrazyvnyj krug. R. V. Pavljuk: Zajavnyk. Nacionalnyj lisotehnichnyj universytet Ukrainy. Zajavleno17.11.2006, Opubl. 25.04.2007, Bjul. № 3, p. 2. [In Ukrainian].

Evseev, D. G., & Salnikov, A. N. (1978). Fizicheskie osnovy shlifovanija. Saratov: Izd. Sarat. un-ta, p. 128. [In Russian].

Yakimov, O. O. (2014). Tehnologichne zabezpechennja jakosti poverhnevogo sharu zubiv vysokotochnyh zubchastyh kolis pry shlifuvanni: Dissertation of doctor of technical Sciences (05.02.08). Odesk. polit. un-et. Odesa, p. 450. [In Ukrainian].

Yakymov, A. V. (1975). *Optymizacija procesa shlifuvannja*. Moscow: Mashynostroenye, p. 176. [In Ukrainian].

Kiryk, M. D., & Pavljuk, R. V. (2000). Specificity of sharpening woodcutting tooth of saws. *Scientific Bulletin of UNFU, 10*(1), pp. 262–266. Retrived from: http://nltu.edu.ua/nv/Archive/2000/10_1/51.pdf. [In Ukrainian].

Pavljuk, R. V. (2002). Influencing of modes of sharpening on a roughness and microhardness of a working surface of teethes of steel saws. *Scientific Bulletin of UNFU, 12*(5), pp. 50–54. Retrived from: http://nltu.edu.ua/nv/Archive/2002/12_5/20.pdf. [In Ukrainian].

Pavljuk, R. V. (2015). The improvement of the frame saws sharpening technology using faltering abrasive circles. *Scientific Bulletin of UNFU, 25*(1), pp. 179–183. Retrived from: http://nltu.edu.ua/nv/Archive/2015/25_1/31.pdf. [In Ukrainian].

М. И. Пилипчук, Р. В. Павлюк

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПИЛ ПУТЕМ ЗАТОЧКИ ПРЕРЫВИСТЫМИ АБРАЗИВНЫМИ КРУГАМИ

Описаны методика и результаты проведенного исследования. Предложена математическая модель износа зубьев стальных пил в виде полинома третей степени. Получено уравнение регрессии, характеризующее зависимость площади износа зубьев пил от пути резания и количества перерывов абразивного круга. Показано влияние количества прерываний круга на величину площади износа зубьев пил. Определено рациональное количество прерываний круга. Установлена рациональная износостойкость пил, заточенных прерывистым абразивным кругом.

Ключевые слова: заточка, стальная пила, прерывистый абразивный круг, модель износа, уравнение регрессии, путь резания, износостойкость.

M. I. Pylypchuk, R. V. Pavlyuk

INCREASING SAW RESISTANCE TO WEAR BY SHARPENING INTERRUPTION ABRASIVE CIRCLES

The existing method of sharpening steel saws with solid abrasive wheels is of low productivity and doesn't provide high level of wear resistance. Abrasive wheels with intermittent sharpening surface may be used to avoid this drawback. The purpose of the study is to identify the relationship between the teeth wear area, cutting path and the number of abrasive wheel interruptions, and to define the rational number of interruptions and circular saw replacement frequency during sawing wood. We used a circular saw blade with the diameter of 400 mm and 60 square top teeth on the blade. Experiments were conducted on circular sawing woodworking machines with crawler conveyor. Dried beech boards were sawn. Speed of conveying workpieces was constant – 24 m/min. Five series of experiments were carried out. The first series was with saw sharped by continuous abrasive wheels. The next series was with saw sharped by intermittent abrasive wheels with the number of interruptions – 3, 6, 9, 12. We used circles ceramic bond. For quantitative evaluation of saw blade teeth' wear we used the area of blade teeth' wear. Cutting path is determined as a function from the length of the cut, cutting arc length and filing for tooth. The wear area was measured using the integrated methodology and 'Compass' software. During the cutting process the blade teeth wear on the front and back sides. At the beginning the area of blade teeth ware increased rapidly; later ware intensity decreases and progressed into the phase of steady wear. After reaching a value of 15×10^3 μm^2 sharp increase of wear area was observed and some teeth had broken down or bent blades. On the basis of the experiments and model analysis, it could be stated that as the number of interruptions increases the area of blade teeth ware decreases. Subsequent exploitation of the circular saw is impossible. To conclude, we have conducted for the first time comparative research of wear of steel circular saw blades teeth sharpened with continuous and interruption abrasive circles. Using abrasive wheels with intermittent grinding surface may increase wear resistance of circular saws to 1.67 times. This helps reduce expenses on circular saws, machines and replacement of instrument and increase their productivity.

Keywords: sharpening; steel saw blade; interruption abrasive circle; mathematical model of wear; regression equation; cutting path; wear resistance.

Інформація про авторів:

М. І. Пилипчук, канд. техн. наук, професор, НЛТУ України, м. Львів, Україна
Р. В. Павлюк, асистент, НЛТУ України, м. Львів, Україна.
E-mail: pavlyuk_roman76@list.ru