

В. І. Тарас, М. І. Пилипчук, С. А. Саловський, А. В. Лисак

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, Україна

ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ КРУГЛОЇ ПИЛКИ З КОМБІНОВАНИМ ЗУБЧАСТИМ ВІНЦЕМ

Вплив конструкційних параметрів пилки з комбінуванням зубців $FZ/2WZ$ на точність поздовжнього пиляння деревини пояснено особливостями формування пропилу, що поділяється на два етапи: спочатку прорізний зубець FZ зрізає середню частину стружки, утворюючи паз у дні пропилу, який утримує пилку від бокового зміщення; наступні два зачисних зубці WZ послідовно формують ліву і праву частини пропилу, розширюючи утворений паз до ширини пропилу. За допомогою 3D-моделювання пилки та методу скінченних елементів у середовищі Solid Works досліджено вплив на робочу жорсткість пилки величини виступу прорізних зубців над колом різання та їхньої товщини і встановлено залежність у вигляді рівняння регресії другого порядку. За результатами аналізу отриманого рівняння регресії оцінено вплив кожного чинника та з'ясовано, що підвищення робочої жорсткості пилки до оптимального значення (150 Н/мм) можливе завдяки збільшенню виступу прорізного зубця, оскільки це дає змогу зменшувати товщину пилки. Визначено оптимальну величину виступу прорізного зубця 1,5 мм, яка забезпечує необхідну робочу жорсткість пилки і дає змогу зменшити товщину пилки до 2,2 мм. На підставі результатів експериментальних досліджень встановлено, що пилка з обґрунтованими конструкційними параметрами зубчастого вінця $FZ/2WZ$ забезпечує точність пиляння в межах $\pm 0,5$ мм, дає змогу уникнути додаткових втрат деревини (близько 34 %) та електроенергії (до 20 %).

Ключові слова: кругла пилка; зубчастий вінець, форма твердосплавної пластини; формування пропилу; жорсткість пилки.

Вступ. Круглі пилки з пластинами твердого сплаву є найпоширенішим інструментом для розпилювання масивної деревини та деревних матеріалів (Pinchevska, 2018; *Vyburaємо dyskovi pylyky*, 2008), конструкції яких постійно вдосконалюються. Одним із завдань вдосконалення круглих пилок є підвищення їхньої робочої жорсткості, що дасть змогу підвищити точність розпилювання до $\pm 0,5$ мм та усунути з технологічного процесу операції зі зниження значних похибок (до $\pm 1,5$ мм) оброблення, оскільки це призводить до додаткових втрат деревини (близько 34 %) та електроенергії (до 20 %).

Наявні круглі пилки різняться призначенням, конструкцією корпусу, формою пластин твердого сплаву, кутовими та лінійними параметрами зубців пилок (Kiryk & Taras, 2009). Істотний вплив на якість та енергоємність процесу пиляння має форма твердосплавної пластини зубця пилки. Для поздовжнього розпилювання масивної деревини найчастіше застосовують пилки з такими пластинами твердого сплаву (рис. 1, а, б): FZ – з прямим загостренням лез по задній поверхні, WZ – з косим загостренням лез по задній поверхні.

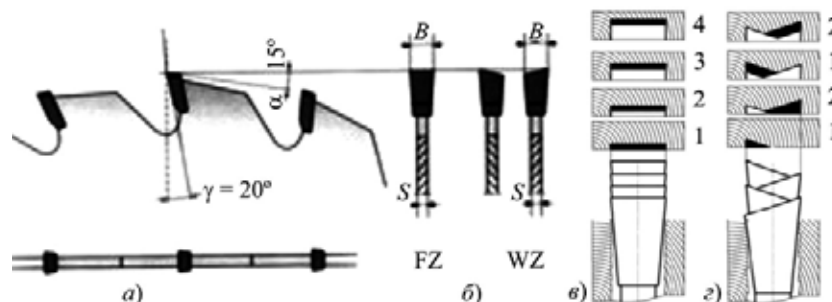


Рис. 1. Конструкції зубців пилок та схеми формування пропилу: а) зубчастий вінець пилки; б) форма твердосплавних пластин; в, г) схеми формування пропилу зубцями FZ і WZ

Інформація про авторів:

Тарас Василь Іванович, провідний інженер, кафедра деревообробного обладнання та інструментів. Email: taras_ihl@ukr.net

Пилипчук Марія Іванівна, канд. техн. наук, доцент, професор, кафедра деревообробного обладнання та інструментів.

Email: m.pylyp@nltu.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0002-7684-1821>

Саловський Степан Андрійович, аспірант, кафедра деревообробного обладнання та інструментів. Email: s.salovskij@nltu.edu.ua;

<https://orcid.org/0000-0002-2650-2004>

Лисак Андрій Васильович, студент, кафедра деревообробного обладнання та інструментів. Email: lysakandrii3@gmail.com

Цитування за ДСТУ: Тарас В. І., Пилипчук М. І., Саловський С. А., Лисак А. В. Обґрунтування конструкційних параметрів круглої пилки з комбінованим зубчастим вінцем. Науковий вісник НЛТУ України. 2018, т. 28, № 10. С. 101–107.

Citation APA: Taras, V. I., Pylypchuk, M. I., Salovsky, S. A., & Lisak, A. V. (2018). Substantiation of designing parameters of the round saw with combined crown gear. *Scientific Bulletin of UNFU*, 28(10), 101–107. <https://doi.org/10.15421/40281021>

Проте у зазначених конструкціях круглих пилок є істотні вади: у перших – висока енергоємність пиляння; у других – малий ресурс роботи пилки. Зубці пилок із прямим загостренням зрізують стружку на всій ширині пропилу, що відповідає головній різальній кромці (рис. 1,а), відповідно енергозатрати на різання такими зубцями будуть максимальними. Зубці пилки з косим загостренням лез, що чергуються (рис. 1,б), зрізують стружку шириною, яка дорівнює половині ширини пропилу. Кожна стінка пропилу формується тільки половиною всіх зубців, які загострені в одну сторону. Як результат, загальна потужність на різання зменшується, проте подача на зубець збільшується. Взаємодія зубця із деревиною відбувається під певним кутом, тому максимальні сили різання будуть зосереджені на кінчиках зубців пилки, що пришвидшує зношення та зменшує період їхньої стійкості проти спрацювання. Тому виникає необхідність вдосконалення конструкцій круглих пилок із пластинами твердого сплаву для підвищення точності розпилювання в межах $\pm 0,5$ мм.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Основним конструкційним показником інструмента, що характеризує точність пиляння, є жорсткість пилки. Досліджено жорсткості круглих пилок в роботах (Sanev, 1980; Stakhyev, 1989; Yakunyn, 2000; Pashkov, 1998).

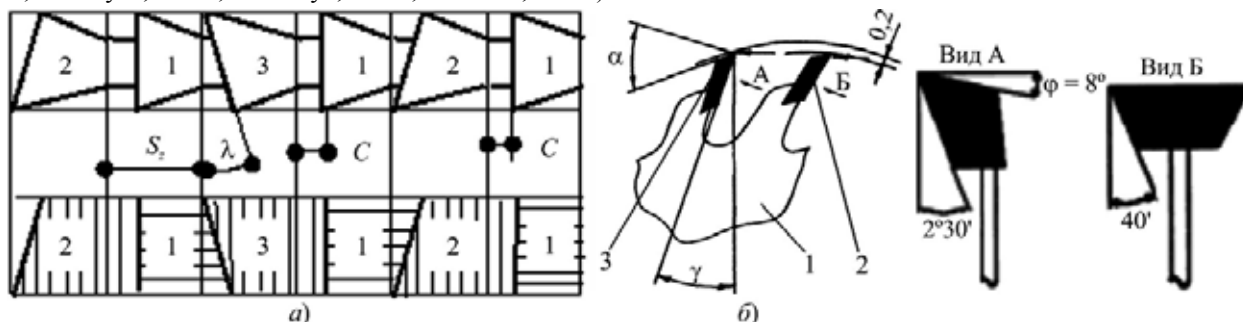


Рис. 2. Конструкції комбінованих зубчастих вінців круглих пилок для поздовжнього пиляння деревини: а) зубці, прямо і косо загострені по передній грані; б) зубці різної висоти і форми пластин твердого сплаву

У роботі (Martin & Michael, 2016) подано нову концепцію гасіння коливань пилок, яка базується на негативній ємності шунтованих п'єзоелектричних перетворювачів, що наносяться на посадковий отвір пилкового диска. Необхідна енергія для електроніки генерується із обертання пилки, яка є свого роду генератором, тому ніяких змін у верстаті не потрібно. Встановлено, що п'єзоелектричне шунтове демпфування дискової пилки з автономним джерелом живлення забезпечує зменшення шуму та вібрації. Автори (Zhang et al., 2014) за допомогою методу кінцевих елементів дослідили вплив вальцювання на стійкість круглої пилки. Результати показують, що натяг пилкового полотна й ефект напруженого стану може бути різним, коли тангентальна сила і сила тиску ролика не однакові. Отже, зрівноваження тангентальної сили і ролика, особливо для пилок невеликих діаметрів, покращує результат. Автори статті (Xinpei et al., 2012) вважають, що найважливішою умовою різання деревини дисковими пилами є висока точність пиляння, яка залежить від стійкості зубців пилки в пропилі. Проведено огляд поточного стану знань щодо характеристик власних коливань пилок та представлено експериментальні результати щодо зменшення вібрації круглої пилки та підвищення продуктивності процесу пиляння. Автори статті (Wang, Yin & Li, 2011) аналізують напруження навколо зубців круглих пилок

Для підвищення стійкості пилки в пропилі на сьогодні застосовують різні конструкційні рішення: радіальні прорізи й напаяні в них пластини для винесення стружки; проміжні зубці; різні профілі різальних зубців тощо. Відомими також є роботи (Hlebov & Novoselov, 2007; Yvanovskyy, 2012), в яких жорсткість пилок пропонують підвищити способом комбінування зубців із пластинами твердого сплаву різного профілю та розмірів (рис. 2, а,б). Автором (Hlebov & Novoselov, 2007) розроблено конструкцію комбінованої пилки для поздовжнього пиляння деревини з косо і прямо загострених зубців (див. рис. 2,а), яка забезпечує зниження енергоємності процесу пиляння. Автор роботи (Yvanovskyy, 2012) способом комбінування зубців пилки різної форми і розмірів (див. рис. 2,б) розробив конструкцію пилки для поздовжнього пиляння м'яких листяних порід деревини.

Автори роботи (Abrao et al., 2014) виконали дослідження якості пиляння круглими пилами з пластинами з карбиду вольфраму та металокерамічним напиленням, результати яких показали, що вищу якість і мінімальну ширину пропилу забезпечує конструкція пилки з металокерамічним напиленням за умови застосування високих швидкостей різання та мінімальної швидкості подавання.

різних конструкцій під час різання. На підставі отриманих аналітичних результатів пропонують ефективний підхід для зниження концентрації напружень навколо зуба пили і запобігання виламування зубців.

Прагнення розділити ширину пропилу на окремі ділянки, оброблення яких здійснюється від середини пропилу до боків, і цим самим зменшити величину сколів, призвело до комбінування зубчастого вінця пилки (Kiryk, Taras & Hryhoryev, 2009; Pylypchuk & Taras, 2015) твердосплавними пластинками різної форми: прямих та з ліво- і правостороннім скошенням по задній грані зубця.

Отже, аналіз наукових праць показав, що є значна кількість досліджень щодо вдосконалення конструкцій круглих пилок, проте дуже мало робіт, які основним завданням вдосконалення пилок ставлять підвищення точності процесу поздовжнього пиляння.

Мета дослідження – підвищення точності поздовжнього розпилювання деревини способом обґрунтування конструкційних параметрів зубців круглої пилки з комбінованим зубчастим вінцем.

Завдання дослідження – на підставі аналізу кінематики процесу поздовжнього пиляння круглою пилою з комбінованим зубчастим вінцем виявити основні конструкційні параметри зубців пилки, що впливають на точність розпилювання деревини; розробити методи-

ку та виконати дослідження для встановлення оптимальних параметрів зубців пилки з комбінованим зубчастим вінцем для забезпечення точності пиляння в межах $\pm 0,5$ мм.

Об'єкт і методи дослідження. Об'єктом дослідження є кругла пилка з комбінованим зубчастим вінцем для поздовжнього розпилювання деревини FZ/2WZ (Pulupchuk & Taras, 2015). Спосіб комбінування зубців

із твердосплавними пластинами різної форми та розмірів (рис. 3,а,б) забезпечує розділення в часі навантаження на оброблюваний матеріал від сил різання і полягає в умовному розділенні зубців на *прорізні* 1 із прямим загостренням по задній грані (FZ), що виступають над загальним колом різання, і *зачисні* 2, 3, які мають ліво- і правостороннє косе загострення по задній грані зубця (WZ).

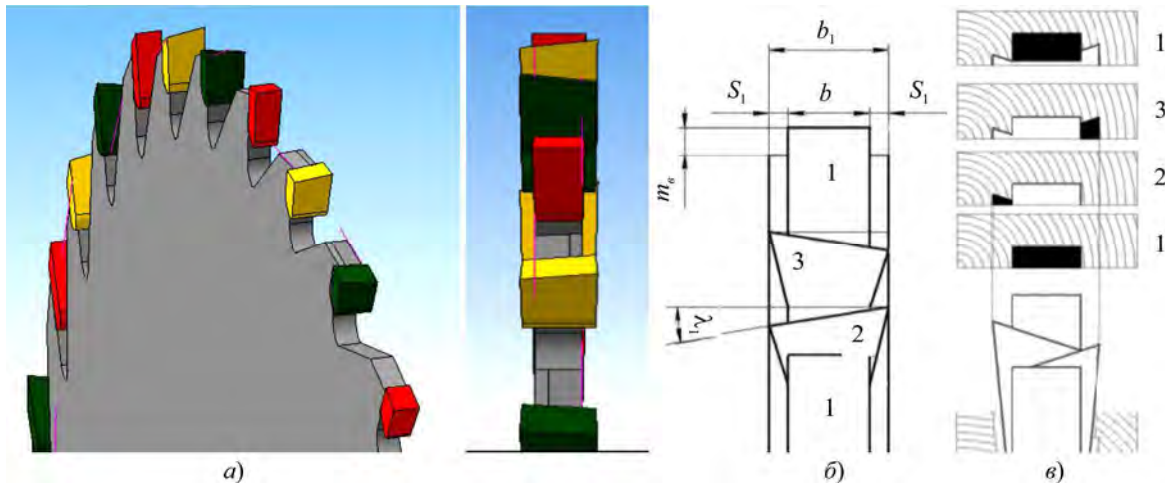


Рис. 3. Конструкція комбінованого зубчастого вінця пилки FZ/2WZ: а) 3D-модель зубчастого вінця пилки; б) конструкційні параметри зубців; в) схема формування пропилу

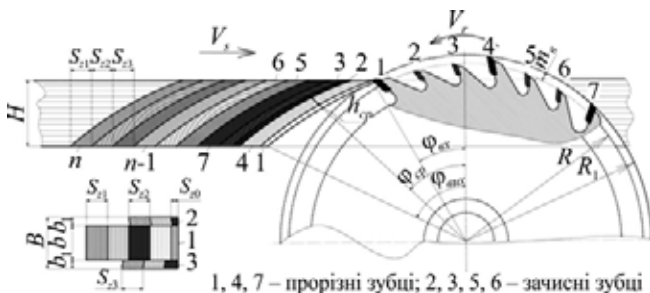


Рис. 4. Схеми стружкоутворення та формування пропилу під час різання пилкою FZ/2WZ: 1, 4, 7 – прорізні зубці; 2, 3, 5, 6 – зачисні зубці

Вплив конструкційних параметрів пилки з комбінуванням зубців FZ/2WZ на точність поздовжнього пиляння деревини пояснюємо особливостями кінематики процесу різання (рис. 4). Формування пропилу пилкою FZ/2WZ поділяємо на два етапи. Спочатку прорізний зубець 1FZ зрізає середню частину стружки, утворюючи серединний паз у дні пропилу, який утримує пилку від бокового зміщення. Наступні два зачисних зубці 2WZ і 3WZ послідовно формують ліву і праву частини пропи-

лу, розширюючи утворений паз до ширини, що відповідає ширині пропилу.

Ще однією особливістю є те, що кожний із трьох видів зубців пилки формує окрему частину пропилу, відповідно на кожний зубець припадає потрійна подача, тобто $S_{z(1)} = S_{z(2,3)} = 3S_{z(0)}$, яку можна визначити із залежності

$$S_{z(1,2,3)} = 3S_{z(0)} = \frac{3V_s \cdot 1000}{z \cdot n}, \quad (1)$$

де: V_s – швидкість подавання, м/хв.; z – загальна кількість зубців пилки, n – кількість обертів пилки, хв^{-1} .

Оскільки різниця між кутом контакту прорізних і зачисних зубців є незначною, то значення середньої товщини стружки прорізних і зачисних зубців визначаємо через подачу на один зубець, тобто

$$h_{(1,2,3)} = 3S_{z(0)} \cdot \sin \phi_{cp}. \quad (2)$$

Графоаналітичним методом (рис. 5) виявлено, що величина виступу прорізного зубця m_e визначає глибину паза в дні пропилу і цим самим впливає на стійкість пилки в пропилі та точність різку через робочу жорсткість пилки.

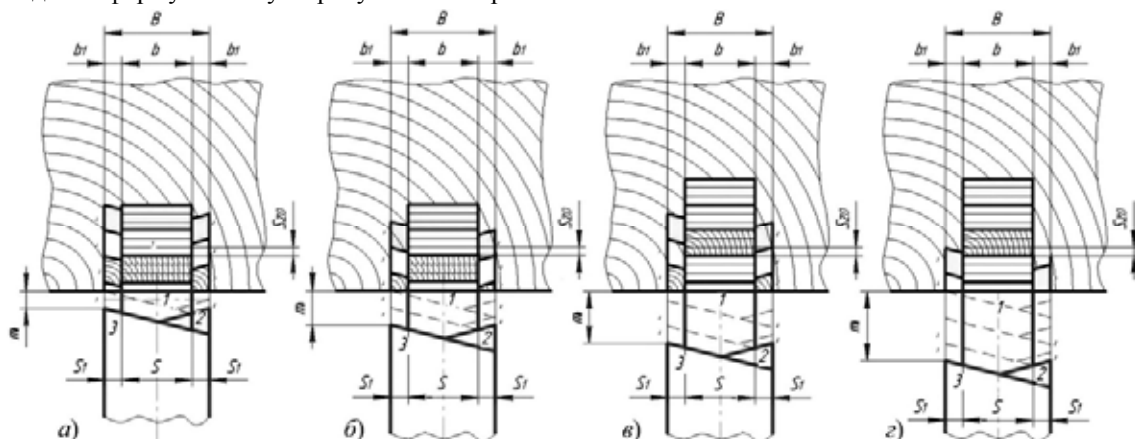


Рис. 5. Вплив величини виступу прорізного зубця на формування паза в дні пропилу під час пиляння пилкою Fz/2Wz з параметрами: $D=315$ мм; $b=S=2,4$ мм; $B=3,4$ мм; $S_{z(0)} = 0,25$ мм; а) $m_e = 0,5$ мм; б) $m_e = 1,0$ мм; в) $m_e = 1,5$ мм; г) $m_e = 2,0$ мм

Табл. 1. Конструкційні параметри пилки з комбінованим зубчастим вінцем FZ/2WZ

Профіль та кількість зубців	Лінійний параметр, мм									Кутовий параметр, °		
	D	d	d_ϕ	B	S	b	b_1	S_1	m_ϕ	γ	α	λ_1
FZ/2WZ, 12/24	315	50	100	2,8-3,8	1,6-2,8	1,6-2,8	2,8-3,8	0,5	0,5-2,0	20	15	10

Ширину паза визначає товщина прорізного зубця b , яка дорівнює товщині пилки S і також має значний вплив на жорсткість пилки. Отже, основними конструкційними параметрами пилки з комбінованим зубчастим

$Fz/2Wz$ (табл. 1), що впливають на робочу жорсткість пилки і можуть змінюватися у визначеному діапазоні, є виступ прорізного зубця, m_ϕ та його товщина, b .

Аналітичні способи розрахунку жорсткості круглих пилко (Stakhyev, 1989; Pashkov, 1998) не забезпечують можливості враховувати вплив форми і розмірів зубців. Для того, щоб врахувати зазначені чинники, робочу жорсткість пилко досліджено за допомогою методу скінченних елементів (МСЕ) (Alyamovskyy, 2004). Для створення тривимірної моделі пилки і виконання скінченно-елементного досліджування застосовано середовище Solid Works (рис. 6).

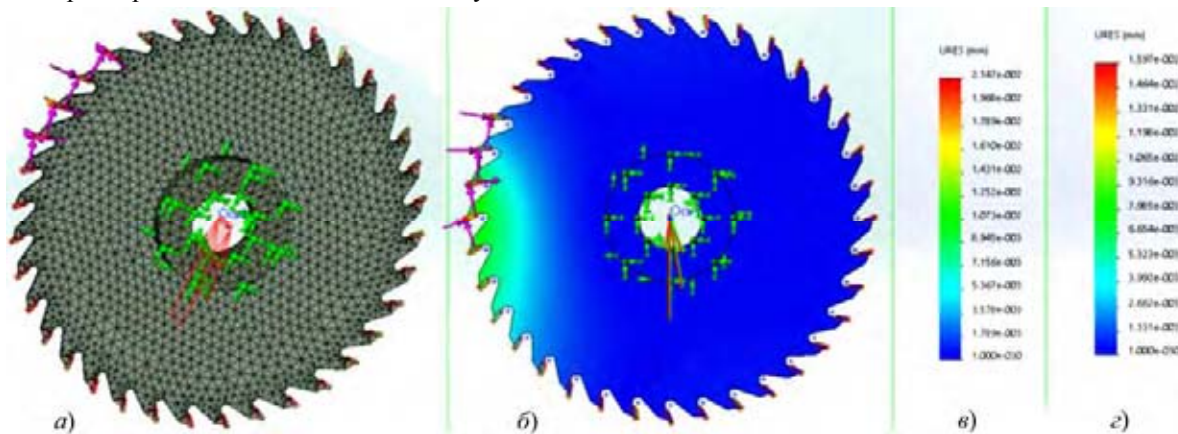


Рис. 6. Кінцево-елементна 3D- модель круглої пилки в середовищі Solid Works під час визначання робочої жорсткості пилки: а) розбиття на моделі кінцево-елементної сітки; б) прикладання складових сили різання до зубців пилки; в, г) результати відхилення пилки за повного і часткового навантаження

Метою досліджень є встановлення функціональної залежності робочої жорсткості пилки від двох змінних чинників:

$$J = f(m_\phi, b). \quad (3)$$

Вибрано рівняння регресії другого порядку із двома чинниками, загальний вигляд якого такий:

$$J = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2, \quad (4)$$

де $b_0, b_1, b_2, b_{12}, b_{11}, b_{22}$ – коефіцієнти рівняння регресії.

Табл. 2. Визначення області інтересу змінних чинників

Назва чинника	Позначення	Одиниця вимір.	Значення			
			область визначення		область інтересу	
			мін.	макс.	мін.	макс.
Величина виступу прорізного зубця	m_ϕ	мм	0,5	2,0	0,5	2,0
Товщина зубця (полотна пилки)	b	мм	1,2	4,2	1,6	2,8

Визначено області інтересу чинників впливу (табл. 2) та, згідно з методикою математичного планування експерименту (Pylypchuk, Hryhoryev & Shostak, 2007), розроблено план-матрицю центрального композиційного ортогонального плану другого порядку для $k=2$, що містить дев'ять дослідів: $N=2^k+2k+1$. Оброблення результатів експерименту виконано за допомогою прикладної програми GrafOrt (Panasyuk, 2015).

Експериментальні дослідження точності пиляння трьома видами конструкцій пилко виконано в лабораторних умовах на базі верстата ЦДК4-2 (рис. 7,а,б,в) за таких умов: пилки з профілями зубців: FZ, WZ, FZ/2WZ; порода деревини – береза; висота пропилю – 40 мм; швидкість подавання – 16 м/хв; довжина заготовки – 2500 мм; вологість деревини – 25 %; кількість брусків – 10 шт.; кількість замірів – 100 шт.

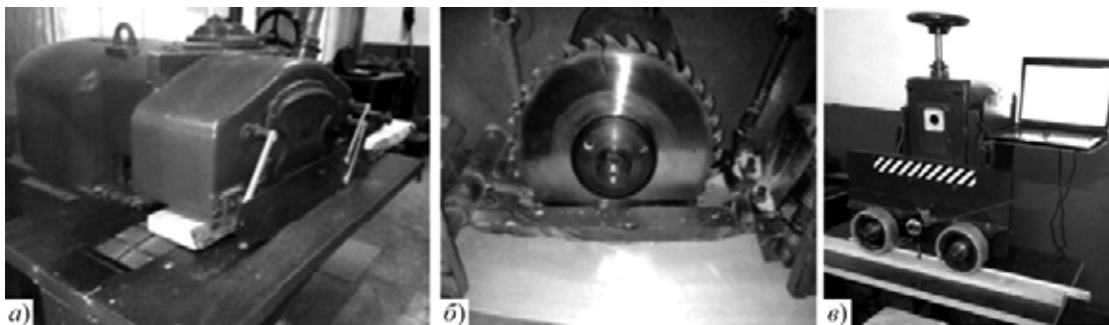


Рис. 7. Експериментальна установка на базі верстата ЦДК4-2: а) верстат ЦДК4-2; б) пилка; в) вимірювання точності пиляння

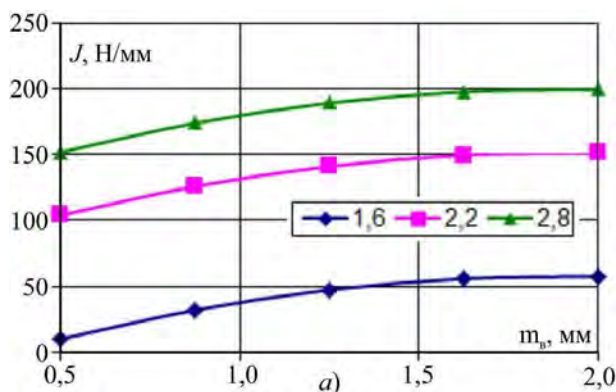
Для визначення точності обробленої поверхні брусків деталей розроблено спеціальну установку (див. рис. 7,в) із записом результатів на ПК. Вимірювання похибок оброблених поверхонь виконували числовим ін-

дикатором з дискретністю підрахунку 0,01 мм ИЧЦ(3)-25–0,01, що оснащений спеціальною ніжкою із роликом, та застосуванням програмного забезпечення фірми МІКРОТЕХ типу УИС-Р1-СОМ.

Результати дослідження та їх обговорення. Внаслідок проведених досліджень за допомогою прикладної програми GrafOrt (Panasyuk, 2015) отримали адекватне рівняння регресії залежності робочої жорсткості пилки від змінних чинників у кодових значеннях, що має вигляд:

$$J = 141,07 + 23,78X_1 + 70,94X_2 - 13,56X_1^2 - 22,88X_2^2. \quad (5)$$

Аналізуючи рівняння (5), бачимо, що вільний член 141,07 – це значення робочої жорсткості пилки за умови, коли значення двох чинників відповідають середньому рівню; збільшення виступу зубця та його товщини підвищує жорсткість пилки, тобто існує пряма залежність між чинниками впливу і параметром оцінки;



товщина зубця має майже в три рази більший вплив на жорсткість пилки, ніж висота виступу зубця; наявність членів із квадратами підтверджує параболічну залежність між змінними чинниками і жорсткістю пилки.

Рівняння регресії в натуральних значеннях чинників має вигляд:

$$J = -503,98 + 91,95m_a + 397,91b - 24,10m_a^2 - 63,56b^2. \quad (6)$$

На підставі рівняння (6) побудовано графічні залежності (рис. 8, а, б) робочої жорсткості пилки від величини виступу прорізного зубця та товщини зубця, наглядність яких дають змогу провести аналіз результатів дослідження.

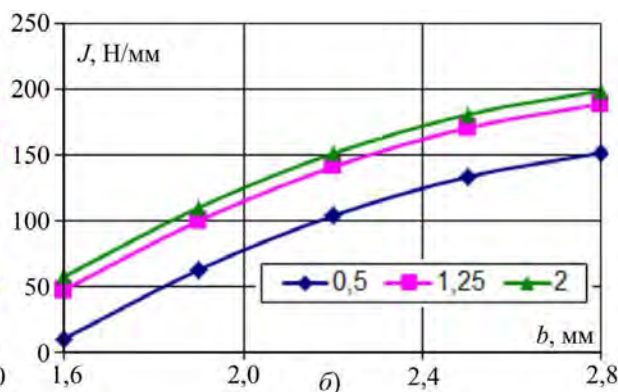


Рис. 8. Результати дослідження робочої жорсткості пилки Fz/2WZ: а) залежність робочої жорсткості пилки від виступу прорізного зубця; б) залежність робочої жорсткості пилки від товщини зубця

Рациональною величиною виступу прорізного зубця є 1,5 мм, що відповідає найбільшому зростанню робочої жорсткості пилки, після якого робоча жорсткість стабілізується. Обґрунтування виступу $m_a = 1,5$ мм полягає в тому, що за такого виступу формується достатньої величини паз у дні пропилю, який забезпечує вібростійкість пилки, а також запобігає зміщенню зубців пилки в осьовому напрямку. Для забезпечення необхідної робочої жорсткості пилки ($J \geq 150$ Н/мм) (Stakhyev, 1989) з обґрунтованими конструкційними параметрами зубців (табл. 3) визначено мінімальну величину товщини диска пилки (2,2 мм), що дає змогу зменшити загальну ширину пропилю на 16 %.

Табл. 3. Визначені конструкційні параметри пилки FZ/2WZ для поздовжнього розпилювання пиломатеріалів товщиною до 60 мм

Профіль та кількість зубців	Лінійний параметр, мм										Кутовий параметр,		
	D	d	d_ϕ	B	S	b	b_1	S_1	m_a	γ	α	λ_1	
FZ/2WZ, 12/24	315	50	100	3,2	2,2	2,2	3,2	0,5	1,5	20	15	10	

Отже, надання рациональної величини виступу прорізного зубця 1,5 мм дає змогу завдяки зменшенню товщини пилки до 2,2 мм забезпечити необхідну її робочу жорсткість і підвищити точність пиляння до $\pm 0,5$ мм, а також знизити втрати деревини на 16 %.

На підставі результатів експериментальних досліджень точності пиляння пилками з різними конструкціями зубчастого вінця та формою і розмірами пластин твердого сплаву (рис. 9) встановлено, що тільки пилка з визначеними конструкційними параметрами зубчастого вінця FZ/2WZ забезпечує точність пиляння $\pm 0,47$, що

відповідає вимогам чинних стандартів (DSTU 19917–2016, 2016) ($\pm 0,5$ мм).

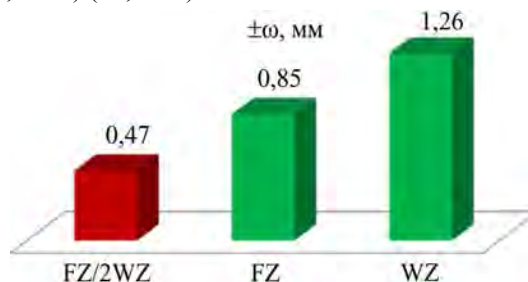


Рис. 9. Результати дослідження точності пиляння трьома пилками з формою пластин твердого сплаву: комбінування зубців FZ/2WZ; зубці з прямим загостренням FZ; зубці з косим загостренням WZ

Отже, на підставі результатів досліджень можна стверджувати, що визначені лінійні та кутові параметри прорізних і зачисних зубців пилки з комбінованим зубчастим вінцем FZ/2WZ для поздовжнього розпилювання пиломатеріалів товщиною до 60 мм забезпечують підвищення точності пиляння в межах $\pm 0,5$ мм відповідно до вимог чинних стандартів та зменшення втрат деревини від зменшення на 16 % загальної ширини пропилю.

Висновки:

1. На підставі аналізу кінематики процесу пиляння круглою пилкою з комбінованим зубчастим вінцем FZ/2WZ та особливостей формування пропилю встановлено, що конструкційні параметри прорізних і зачисних зубців значно впливають на робочу жорсткість пилки та точність розпилювання дощок.
2. Досліджено вплив виступу прорізних зубців пилки та їхні товщини на робочу жорсткість пилки з комбінованим зубчастим вінцем FZ/2WZ та визначено рациональну величину виступу прорізних зубців 1,5 мм і товщи-

ну 2,2 мм, за яких забезпечується умова щодо робочої жорсткості пилки ($J \geq 150$ Н/мм).

3. На підставі виконаних досліджень доцільно рекомендувати конструкцію пилки з комбінованим зубчастим вінцем *FZ/2WZ* з визначеними раціональними параметрами прорізних і зачисних зубців для подовжного розпилювання пиломатеріалів товщиною до 60 мм, що дасть змогу забезпечити точність пиляння в межах $\pm 0,5$ мм та зменшити загальні витрати деревини (близько 34 %) та електроенергії (до 20 %).

Перелік використаних джерел

- Abrao, A. M., Moreira, M. C., Faria, P. E., et al. (2014). High-performance circular sawing of AISI 1045 steel with cermet and tungsten carbide inserts. *Journal of mechanical science and technology*, 10, 4275–4282. <https://doi.org/10.1007/s12206-014-0941-5>
- Alyamovskyy, A. A. (2004). *SolidWorks / CosmosWorks*. Inzhenernyy analiz metodom konechnykh elementov. Moscow: DMK Press, 432 p. [In Russian].
- DSTU 19917-2016. (2016). (HOST 19917-2014, IDT) Mebli dlya sydinny ta lezhannya. Zahalni tekhnichni umovy. [Z nadannym chynnosti vid 2016-10-01]. Derzhavne pidpryemstvo "Ukrayinsky naukovy doslidnyy i navchalnyy tsentr problem standartyzatsiyi, sertyfikatsiyi ta yakosti" (DP "UkrNDNTS") Nakaz vid 26.04.2016, № 122. [In Ukrainian].
- Hlebov, Y. T., & Novoselov, V. H. (Ed.). (2007). Prodolnoye pylenye drevesyny pyloy s kombynyrovannymy zubyamy = Longitudinal wood cutting by the saw with combined teeth. *Derevoobrabotka: tekhnolohyy, oborudovanye, menedzhment XXI veka: Materialy II Mezhdunarodnogo evraziyskogo sympozyuma*; Federalnoe ahentstvo po obrazovanyu rossyyskoy federatsyy, Uralskyy hosudarstvennyy lesotekhnicheskyy unyversytet, Uralskyy lesnoy tekhnopark., (pp. 169–175). Ekaterynburh. Retrieved from: <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/4086>. [In Russian].
- Kiryk, M. D., & Taras, V. I. (2009). Analiz konstruksiy ta parametriv kruhlykh pylok iz plastynamy tverdoho splavu dlya pozdovzhnoho rozpylyvannya derevyny. *Scientific Bulletin of UNFU*, 19(2), 95–97. [In Ukrainian].
- Kiryk, M. D., Taras, V. I., & Hryhoryev, A. S. (2009). Pat. № 40481 Ukrayina, MPK V27 V33/00. Kruhla pylka; zayav. i vlasn. NLTU Ukrayiny; opubl. 10.04.2009, Byul. № 7. [In Ukrainian].
- Martin, P., & Michael, R. (2016). Piezoelectric shunt damping of a circular saw blade with autonomous power supply for noise and vibration reduction. *Journal of Sound and Vibration*, 3, 20–31. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2015.09.021>
- Panasyuk, M. M. (2015). Prohrama dlya obroblennya rezultativ bahatofakturnoho eksperymentu za dopomohoy EOM. *Materialy 67-oyi naukovy-tekhnichnoyi konferentsiyi studentiv NLTU Ukrayiny*, (pp. 166–167). Lviv: Vyd-vo NLTU Ukrayiny. [In Ukrainian].
- Pashkov, V. K. (1998). Obespechenye rabotosposobnosti kruhlykh pyl pry pylenyy drevesyny. *Abstract of doctoral dissertation for technical sciences* (05.21.05 – Technology and equipment of wood-working industries, wood science). St. Petersburg, 36 p. [In Russian].
- Pinchevska, O. O. (2018). *Aktualni napryamy rozvytku derevoobrobnoyi promyslovosti v Ukrayini*. Sayt NUBiP Ukrayiny. Retrieved from: https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u39/Problemma_stattya_na_sayt_Pinchevska_O.O.pdf. [In Ukrainian].
- Pylypchuk, M. I., & Taras, V. I. (2015). Konstruktsiya tverdospлавnoyi kruhloyi pylky z hrupovym rozmishchennyam rizalnykh elementiv. *Visnyk KHNTU SH im. P. Vasylenka: zb. nauk.-tekhn. prats*, 160, 35–40. [In Ukrainian].
- Pylypchuk, M. I., Hryhoryev, A. S., & Shostak, V. V. (2007). *Osnovy naukovykh doslidzen: pidruchnyk dlya VNZ*. Kyiv, 270 p. [In Ukrainian].
- Sanev, V. Yu. (1980). *Obrabotka drevesyny kruhlymy pylamy*. Moscow: Lesn. prom-st, 232 p. [In Russian].
- Stakhyev, Yu. M. (1989). *Rabotosposobnost ploskykh kruhlykh pyl*. Moscow: Lesn. prom-st, 384 p. [In Russian].
- Vybyrayemo diskovi pylky. (2008). *Informatsiyyny portal derevoobrobnoyi haluzi*. Retrieved from: <http://www.derevo.info/content/detail/5208/content/>. [In Ukrainian].
- Wang, X., Yin, Z., & Li, Y. (2011). The Stress Analysis of Different Circular Saw Structures During Cutting. *International Academic Conference on Machinery, Materials Science and Engineering Applications*, (pp. 471–478). Wuhan.
- Xinpei, X., Chengyong, W., Jiayan, C., et al. (2012). Effect of Roll Tensioning and Clamping Ratio on Natural Frequency of Circular Saw Blade for Wood Cutting Process. *13th International Conference on Tools* (ICT 2012), (pp. 89–94). Miskolc.
- Yakunyn, N. K. (2000). *Podhotovka k rabote y ekspluatatsyya kruhlykh pyl*. Moscow: MHUL, 496 p. [In Russian].
- Yvanovskyy, A. V. (2012). Povyshenye efektyvnosti prodolnoho pylenyya drevesyny myahkykh lystvennykh porod kruhlymy pylamy. *Abstract of candidate for technical sciences* (05.21.05 – Technology and equipment of woodworking industries, wood science). Voronezh, 16 p. [In Russian].
- Zhang, M., Zhang, Y., Ke, J., et al. (2014). The Influence of Tangential Roller Pressure on the Stability of Circular Saw Blade. *International Conference on Machinery, Electronics and Control Simulation* (ICMECS), (pp. 32–35). Weihai.

В. И. Тарас, М. И. Пилипчук, С. А. Саловський, А. В. Лысак

Національний лесотехнічний університет України, г. Львів, Україна

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ КРУГЛОЙ ПИЛЫ С КОМБИНИРОВАННЫМ ЗУБЧАТЫМ ВЕНЦОМ

Влияние конструкционных параметров пилы с комбинированным зубчатым венцом *FZ/2WZ* на точность продольного пиления древесины объясняется особенностями формирования пропила и делится на два этапа: сначала прорезной зубец *FZ* срезают среднюю часть стружки, образуя паз в дне пропила, который удерживает пилу от бокового смещения; следующие два зачисных зубца *WZ* последовательно формируют левую и правую части пропила, расширяя образованный паз к ширине пропила. С помощью 3D-моделирования пилы и метода конечных элементов в среде Solid Works исследовано влияние на рабочую жесткость пилы величины выступления прорезных зубцов над окружностью резания и их толщины с установлением зависимости в виде уравнения регрессии второго порядка. В результате анализа полученного уравнения регрессии оценено влияние каждого фактора и выяснено, что повышение рабочей жесткости пилы до оптимального значения (150 Н/мм) возможно за счет увеличения выступления прорезного зубца, поскольку это позволяет уменьшать толщину пилы. Определена оптимальная величина выступления прорезного зубца 1,5 мм, которая обеспечивает необходимую рабочую жесткость пилы и позволяет уменьшить толщину пилы до 2,2 мм. На основании результатов экспериментальных исследований установлено, что пила с обоснованными конструкционными параметрами зубчатого венца *FZ/2WZ* обеспечивает точность пиления в пределах $\pm 0,5$ мм, позволяет избежать дополнительных потерь древесины около 34 % и электроэнергии до 20 %.

Ключевые слова: круглая пила; зубчатый венец; форма твердосплавной пластины; формирование пропила; жесткость пилы.

SUBSTANTIATION OF DESIGNING PARAMETERS OF THE ROUND SAW WITH COMBINED CROWN GEAR

As a result of the analysis of the design of a circular saw with a combined toothed crown gear, we found that the method of combining the teeth with carbide plates of various shapes and sizes provides for the time division of the load on the treated material from the cutting forces and consists of the conditional separation of the teeth in the cut with a direct *FZ* exacerbation along the posterior face, protruding over the general range of cutting, and scrubs that have left and right lateral spine *WZ* exacerbation along the posterior facet of the tooth. The influence of the structural parameters of the saw with the combination of the *FZ/2WZ* teeth on the accuracy of longitudinal wood sawing is due to the peculiarities of the formation of propyl, which is divided into two following stages: initially, the perforated tooth *FZ* cuts the middle part of the chips, forming a mid groove at the bottom of the saw blade, which keeps the saw from the lateral displacement; the following two welding teeth *WZ* consecutively form the left and right portions of the propylene, expanding the formed groove to the width of the propylene. Known analytical methods for calculating the rigidity of circular saws do not provide the ability to consider the influence of the shape and size of the teeth, so the influence of the projection of the cutting teeth over the cutting circle and their thickness on the working rigidity of the saw was studied using 3D-modeling of the saw and finite element method in Solid Works environment and the dependence in the form of a second order regression equation. As a result of the analysis of the obtained regression equation, it is found that the working rigidity of the saw almost three times greater is the thickness of the saw than the height of the protuberance of the tooth, but rationally increase the stiffness of the saw by increasing the projection of the perforated tooth and reducing the thickness of the saw, as this will reduce the width of the saw. The rational value of the projection of the cutting pin of 1.5 mm is determined, which enables to form a corresponding groove at the bottom of the saw blade, which provides vibration resistance of the saw, and also prevents the saw blades from being displaced in the axial direction. Based on the analysis of the research results, a minimum 2.2 mm saw blade thickness has been determined, which provides the required working stiffness of the saw ($J \geq 150$ N/mm) and reduces the overall width of the saw to 3.2 mm. Based on the results of experimental studies on the accuracy of longitudinal sawing boards, it has been established that the saw with substantiated structural parameters of the toothed crown *FZ/2WZ* ensures the accuracy of sawing up to $\pm 0,5$ mm and avoids additional wood losses of about 34 % and electricity up to 20 %.

Keywords: round saw; crown gear; a form of a carbide plate; formation of propylene; saw toughness.