

**ВИЗНАЧЕННЯ ПОГОННОГО ЗУСИЛЛЯ РІЗАННЯ МОНОЛІТНОЇ ГУМИ
НОЖЕМ З ДВОСТОРОННЬОЮ ЗАТОЧКОЮ**

Представленні результати дослідження впливу параметрів: величини зазору між валиками і величини відстані від вертикальної осі обертання валиків до кромки леза ножа на погонне зусилля різання монолітної гуми. Одержано рівняння регресії визначення сумарної величини втрат на процес повздовжнього різання (на транспортування та розрізання матеріалу) та величини втрат на тертя матеріалу (транспортування), що дозволяють розрахувати погонне зусилля різання монолітної гуми ножем з двосторонньою заточкою.

Ключові слова: погонне зусилля, сумарна величина втрат, втрати на тертя матеріалу, валики, кромка леза ножа.

D.A. MAKATORA, I.V. PANASYUK
Kyiv National University of Technologies and Design, KNUTD

DEFINITION LINEAR CUTTING FORCE MONOLITHIC RUBBER KNIFE SHARPENING BILATERAL

Abstract – The author presents the research results of the effect such parameters as the value of the gap between the rollers and the value of the distance from the vertical axis of rotation of the rollers to the edge of a knife blade have on the linear cutting force of monolithic rubber.

Regression equation of determining the total value of losses in the process of longitudinal cutting (material transportation and cutting) has been obtained. Besides the author has determined the magnitude of losses due to material friction (transportation), which allows to calculate the linear cutting force of monolithic rubber with a knife with double-sided sharpening.

Keywords: linear force, the total value of losses, material friction losses, rollers, edge of a knife blade.

Постановка проблеми. Машини для вирівнювання та двоїння деталей низу взуття по товщині застосовуються для різання напівфабрикату, тобто розділення його по товщині для отримання двох і більш тонких деталей, придатних для застосування у взуттєвому і галантерейному виробництвах. У цьому велика перевага вирівнювання перед струганням шкір, при якому значна частина (30 – 50%) шкіряної тканини перетворюється в малокорисну стружку [1]. Основна частина технологічного процесу вирівнювання або двоїння деталей низу взуття – це взаємодія валкового механізму і кромки леза ножа машини з матеріалом деталі, яка представляє значний інтерес, оскільки впливає на якість обробки деталі та енергетичні витрати [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При проектуванні машин необхідно визначити загальну потужність її приводу. Звідси виникає питання визначення енергетичних витрат на процес повздовжнього різання, а саме погонного зусилля матеріалу, який планується до обробки на даній машині. Авторами робіт [3, 4] було запропоновано методикку визначення погонного зусилля, але залишається актуальним питання визначення фізико-математичної характеристики конкретного матеріалу, а саме погонного зусилля монолітної гуми, оскільки воно лежить в основі розрахунку потужності приводу.

Виклад основного матеріалу. Експериментальні дослідження як завершальна стадія проектування геометрії ріжучого інструменту в машинах для повздовжнього різання проводяться для визначення погонного зусилля різання монолітної резини.

Для визначення погонного зусилля різання був проведений двофакторний експеримент для моделі дослідження:

$$y = F(x_1, x_2),$$

де y – критерій оптимізації, що визначає q_p ;

x_1 і x_2 – керовані параметри (фактори), що характеризують відповідно величину зазору між валиками h і величину відстані від вертикальної осі обертання валиків до кромки леза ножа a .

При визначенні q_p , як зазначалося, необхідно провести двократну обробку деталі. В процесі розрізання визначається сумарна величина витрат на обробку P , а потім після розрізання матеріал складають разом і пропускають площиною з'єднання через ніж, та визначається величина витрат на тертя F . Таким чином, лише різниця цих значень, віднесена до величини ширини деталі, дає справжню величину погонного зусилля різання монолітної гуми [3, 4]:

$$q_p = \frac{P - F}{B}. \quad (1)$$

Планування експерименту проводилося з використаних ротатбельного планом Бокса для двофакторного експерименту ($k_{1,2} = 2$), який рекомендуються при $k_{1,2} \leq 5$ [5].

Загальна кількість дослідів визначається за формулою [5]:

$$N_{1,2} = 2^2 + 2 \cdot 2 + 5 = 13.$$

Кодування, іменування факторів та інтервали їх варіювання наведені в табл. 1, значення яких визначалися за допомогою співвідношень:

$$x_1 = \frac{x_i - 4,35}{1} ; \quad x_2 = \frac{x_j - 2,5}{0,5} . \quad (2)$$

Таблиця 1

Таблиця рівнів та інтервалів варіювання діючих факторів, які підлягають дослідженню

Фактори	Рівні варіювання					Інтервал варіювання фактору
	-1,414	-1	0	+1	+1,414	
1	2	3	4	5	6	7
h – відстань між транспортуючими валиками, мм (x_1)	2,95	3,35	4,35	5,35	5,75	1
a – відстань між вертикальною віссю обертання транспортуючих валиків і кромкою леза ножа, мм (x_2)	1,8	2	2,5	3	3,2	0,5

Проведемо обробку даних експерименту з визначення сумарної величини втрат при поздовжньому різанні матеріалу. Матриця планування двофакторного експерименту наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Матриця планування двофакторного експерименту визначення сумарної величини втрат при поздовжньому різанні матеріалу

Номер досліджу	Матриця планування		Робоча матриця		Дані до розрахунку		
	x_1	x_2	h	a	y_u	y_u	$(y_u - \bar{y}_u)^2$
1	1	1	5,35	3	742	739,26	7,5177
2	-1	1	3,35	3	980	978,11	3,5620
3	1	-1	5,35	2	1097	1094,94	4,2429
4	-1	-1	3,35	2	1120	1118,79	1,4528
5	-1,414	0	2,95	2,5	1089	1086,89	4,4532
6	1,414	0	5,75	2,5	902	901,15	0,7149
7	0	-1,414	4,35	1,8	1149	1147,00	3,9985
8	0	1,414	4,35	3,2	797	796,07	0,8630
9	0	0	4,35	2,5	992	991,04	0,9258
10	0	0	4,35	2,5	992	991,04	0,9258
11	0	0	4,35	2,5	992	991,04	0,9258
12	0	0	4,35	2,5	989	991,04	4,1526
13	0	0	4,35	2,5	989	991,04	4,1526
					$\sum_{1}^{13} = 12830$	$\sum_{1}^{13} (y_u - \bar{y}_u)^2 = 37,8877$	

При визначенні числа вимірів для кожного досліджу проводилося п'ять повторних вимірювань на нульовому рівні (досліджу 9 – 13) і визначалося наближене значення середньоквадратичної похибки рівняння (1.10) [5]: $S_p = 1,118$.

Розрахункове значення критерію Стьюдента в цьому випадку: $t_{расч}(P) = 4,0001$.

Табличне значення критерію Стьюдента для $\alpha_B = 0,95$ і $n_1 = 5$ [5]. Тобто виконується умова: $t_{расч}(P) \geq t_{табл}$.

Отже, число вимірювань $n_1 = 5$ для кожного досліджу є достатнім. Після проведення експерименту і розшифровки записів за допомогою тарувального графіка визначалося середнє значення п'яти повторних вимірювань критерію оптимізації по кожному досліджу і дані заносилися в робочу матрицю планування (табл. 2).

Необхідно визначити значення коефіцієнтів регресії рівняння (3.36) [5]:

$$y_u = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 . \quad (3)$$

Для визначення цих коефіцієнтів використовувалися рівняння (3.32) – (3.35) і дані табл. 3.32 [5] для двофакторного експерименту: $\alpha_1 = 0,2$; $\alpha_2 = 0,1$; $\alpha_3 = 0,125$; $\alpha_4 = 0,25$; $\alpha_5 = 0,125$; $\alpha_6 = 0,187$; $\alpha_7 = 0,1$.

Звідси: $b_0 = 991,04$; $b_1 = -65,68$; $b_2 = -124,09$; $b_{12} = -53,75$; $b_{11} = 1,49$; $b_{22} = -9,75$

Таким чином, рівняння (3) набуває вигляду:

$$y_u = 991,04 - 65,68x_1 - 124,09x_2 - 53,75x_1x_2 + 1,49x_1^2 - 9,75x_2^2 \quad (4)$$

Гіпотеза про адекватність рівняння (4) перевіряється в такій послідовності.

Так як досліди дублювалися тільки в нульовій точці, то дисперсія адекватності згідно з рівнянням (4.48) [5]:

$$S_{ad}^2 = \frac{37,89 - 11,08}{3} = 8,93.$$

Дисперсія відтворюваності для цього випадку визначається за формулою (4.13) [5]:

$$S_{\{y\}}^2 = \frac{11,08}{4} = 2,77.$$

Знаючи число ступенів свободи для більшої ($f_{ad} = 3$) і меншої ($f_e = 4$) дисперсії [5], табличне значення критерію Фішера для 95-відсоткової довірчої ймовірності:

$$F_{табл} = 6,59.$$

Розрахункове значення критерію Фішера згідно з формулою (4.35) [5]:

$$F_{расч}(P) = \frac{8,93}{2,77} = 3,22.$$

Порівняння табличного і розрахункового значень критерію Фішера показало, що рівняння (4) можна вважати адекватним з довірчою ймовірністю $\alpha_B = 0,95$, так як дотримується умова: $F_{табл} \geq F_{расч}(P)$.

Значимість коефіцієнтів регресії в рівнянні (4) перевіряється з урахуванням рівнянь (4.26) – (4.29) і (4.30) – (4.33) і даних табл. 4.3 [5] для випадку, коли $k_1 = 2$. У цьому випадку: $a_8 = 0,2$; $a_9 = 0,125$; $a_{10} = 0,1438$; $a_{11} = 0,25$.

Отже: $S_{\{b_0\}}^2 = 0,2 \cdot 2,77 = 0,554$ і $S_{\{b_0\}} = 0,744$; $S_{\{b_i\}}^2 = 0,125 \cdot 2,77 = 0,346$ і $S_{\{b_i\}} = 0,588$;

$S_{\{b_{ii}\}}^2 = 0,1438 \cdot 2,77 = 0,398$ і $S_{\{b_{ii}\}} = 0,631$; $S_{\{b_{ij}\}}^2 = 0,25 \cdot 2,77 = 0,693$ і $S_{\{b_{ij}\}} = 0,832$.

Виходячи із співвідношень (4.26) – (4.29) [5]:

$$\Delta b_0 = \pm 2 \cdot 0,744 = \pm 1,488; \quad \Delta b_i = \pm 2 \cdot 0,588 = \pm 1,176; \quad \Delta b_{ii} = \pm 2 \cdot 0,631 = \pm 1,262;$$

$$\Delta b_{ij} = \pm 2 \cdot 0,832 = \pm 1,664.$$

Порівняння абсолютних величин коефіцієнтів регресії рівняння (4) і відповідних похибок в їх оцінці показує, що з довірчою ймовірністю 0,95 можна вважати значимими всі коефіцієнти.

Рівняння (4) є рівнянням регресії, що описує сумарну величину втрат при виконанні поздовжнього різання матеріалу нерухомим ножом в залежності від відстані між транспортуючими валиками (x_1), і відстані між вертикальною віссю обертання транспортуючих валиків і кромкою леза ножа (x_2).

Враховуючи вирази (2), перейдемо до іменованих величинах:

$$y_u = 991,04 - 65,68(h - 4,35) - 124,09\left(\frac{a - 2,5}{0,5}\right) - 53,75(h - 4,35)\left(\frac{a - 2,5}{0,5}\right) + 1,49(h - 4,35)^2 - 9,75\left(\frac{a - 2,5}{0,5}\right)^2.$$

Після спрощення рівняння прийме вид:

$$y_u = 512,58 + 414,45a + 190,11h - 107,5ah + 1,49h^2 - 39a^2 \quad (5)$$

Отриманий вираз (5) – експериментальна математична модель залежності величини сумарних втрат при виконанні поздовжнього різання від величини зазору між валиками і величини відстані від вертикальної осі обертання валиків до кромки леза ножа.

Проведемо обробку даних експерименту з визначення величини втрат на тертя матеріалу о грані нерухомого ножа. Матриця планування двофакторного експерименту наведені в таблиці 3.

При визначенні числа вимірів для кожного досліду проводилося п'ять повторних вимірювань на нульовому рівні (досліди 9 – 13) і визначалося наближене значення середньоквадратичної похибки рівняння (1.10) [5]: $S_p = 1,118$.

Розрахункове значення критерію Стьюдента в цьому випадку: $t_{расч}(P) = 4,0001$.

Табличне значення критерію Стьюдента для $\alpha_B = 0,95$ і $n_1 = 5$ [5]. Звідси виконується умова: $t_{расч}(P) \geq t_{табл}$.

Отже, число вимірювань $n_1 = 5$ для кожного досліду є достатнім. Після проведення експерименту і розшифровки записів за допомогою тарувального графіка визначали середнє значення п'яти повторних вимірювань критерію оптимізації по кожному досліду і дані заносилися в робочу матрицю планування (табл. 3.).

Таблиця 3

Матриця планування двофакторного експерименту з визначення величини втрат на тертя матеріалу о грані нерухомого ножа

Номер досліду	Матриця планування		Робоча матриця			Дані до розрахунку		
	x_1	x_2	h	a	y_u	y_u	$(y_u - \bar{y}_u)^2$	
1	1	1	5,35	3	675	673,46	2,3795	
2	-1	1	3,35	3	867	865,49	3,4014	
3	1	-1	5,35	2	986	985,00	1,8325	
4	-1	-1	3,35	2	1073	1071,64	2,7405	
5	-1,414	0	2,95	2,5	1012	1010,85	1,9028	
6	1,414	0	5,75	2,5	816	813,83	3,0508	
7	0	-1,414	4,35	1,8	1070	1068,45	3,0124	
8	0	1,414	4,35	3,2	704	702,44	1,8440	
9	0	0	4,35	2,5	897	895,91	2,0691	
10	0	0	4,35	2,5	895	895,91	0,3989	
11	0	0	4,35	2,5	897	895,91	2,0691	
12	0	0	4,35	2,5	894	895,91	2,7774	
13	0	0	4,35	2,5	894	895,91	2,7774	
					$\sum_{1}^{13} = 11682,23$	$\sum_{1}^{13} (y_u - \bar{y}_u)^2 = 30,2559$		

У цьому випадку необхідно знайти значення коефіцієнтів регресії рівняння (3.32) - (3.35) і дані табл. 3.32 [5] для двофакторного експерименту: $b_0 = 895,907$; $b_1 = -69,67$; $b_2 = -129,42$; $b_{12} = -26,35$; $b_{11} = 8,22$; $b_{22} = -5,23$.

Таким чином, рівняння (3) набуває вигляду:

$$y_u = 895,907 - 69,67x_1 - 129,42x_2 - 26,35x_1x_2 + 8,22x_1^2 - 5,23x_2^2 \tag{6}$$

Гіпотеза про адекватність рівняння (6) перевіряється у вище викладеній методиці.

Дисперсія адекватності:

$$S_{ad}^2 = \frac{30,2559 - 10,09}{3} = 6,72 .$$

Дисперсія відтворюваності для цього випадку:

$$S_{\{y\}}^2 = \frac{10,09}{4} = 2,52 .$$

Розрахункове значення критерію Фішера:

$$F_{расч}(F) = \frac{6,72}{2,52} = 2,66 .$$

Порівняння табличного і розрахункового значень критерію Фішера показало, що рівняння (6) можна вважати адекватним з довірчою ймовірністю $\alpha_B = 0,95$, так як дотримується умова: $F_{табл} \geq F_{расч}(P)$.

Значимість коефіцієнтів регресії в рівнянні (6) перевіряли аналогічно вищенаведеній методиці.

Отже: $S_{\{b_0\}}^2 = 0,2 \cdot 2,52 = 0,504$ і $S_{\{b_1\}} = 0,71$; $S_{\{b_i\}}^2 = 0,125 \cdot 2,52 = 0,315$ і $S_{\{b_i\}} = 0,561$;

$S_{\{b_{ii}\}}^2 = 0,1438 \cdot 2,52 = 0,362$ і $S_{\{b_{ii}\}} = 0,601$; $S_{\{b_{ij}\}}^2 = 0,25 \cdot 2,52 = 0,63$ і $S_{\{b_{ij}\}} = 0,793$.

Виходячи із співвідношень (4.26) – (4.29) [5]:

$\Delta b_0 = \pm 2 \cdot 0,71 = \pm 1,42$; $\Delta b_i = \pm 2 \cdot 0,561 = \pm 1,122$; $\Delta b_{ii} = \pm 2 \cdot 0,601 = \pm 1,202$; $\Delta b_{ij} = \pm 2 \cdot 0,793 = \pm 1,586$.

Порівняння абсолютних величин коефіцієнтів регресії рівняння (6) і відповідних похибок в їх оцінці показує, що з довірчою ймовірністю 0,95 можна вважати значимими всі коефіцієнти, тоді отримаємо:

$$y_u = 895,907 - 69,67x_1 - 129,42x_2 - 26,35x_1x_2 + 8,22x_1^2 - 5,23x_2^2 \tag{7}$$

Рівняння (7) є рівнянням регресії, що описує сумарну величину втрат при виконанні поздовжнього різання матеріалу нерухомим ножом залежно від відстані між транспортуючими валиками (x_1), і відстані між вертикальною віссю обертання транспортуючих валиків і кромкою леза ножа (x_2).

Враховуючи вирази (2), перейдемо до іменованих величин:

$$y_u = 895,907 - 69,67(h - 4,35) - 129,42\left(\frac{a - 2,5}{0,5}\right) - 26,35(h - 4,35)\left(\frac{a - 2,5}{0,5}\right) + 8,22(h - 4,35)^2 - 5,23\left(\frac{a - 2,5}{0,5}\right)^2$$

Після спрощення рівняння прийме вид:

$$y_u = 1297,647 - 9,43h + 75,01a - 52,7ah + 8,22h^2 - 20,92^2. \quad (8)$$

Отриманий вираз (8) – експериментальна математична модель залежності величини втрат на тертя матеріалу о грані нерухомого ножа при виконанні поздовжнього різання нерухомим ножом, від величини зазору між валиками і величини відстані від вертикальної осі обертання валиків до кромки леза ножа.

Отримані експериментальні моделі, а саме визначення сумарної величини втрат (5) та величини втрат на тертя матеріалу (8) дозволяють визначати погонне зусилля різання монолітної гуми (1). Підставляючи значення в рівняння (1), отримуємо середнє значення погонного зусилля монолітної гуми:

$$q_p = 3,17 \frac{H}{\text{мм}}.$$

Висновки.

Отримані рівняння регресії, а саме визначення сумарної величини втрат при поздовжньому різанні матеріалу та величини втрат на тертя матеріалу о грані нерухомого ножа, що дозволяють визначати одну із фізико-математичних характеристик монолітної гуми, а саме погонне зусилля різання, та враховувати її значення при проектуванні приводу в машинах для поздовжнього різання матеріалу.

Література

1. Майзель М.М. Машины и аппараты кожевенного и мехового производства / Майзель М.М., Квяткевич И.К., Пин Л.Г. – М. : Гизлегпром, 1950 – 590 с.
2. Князев В.І. Визначення похибки обробки при двійні деталей низу взуття / В.І. Князев, В.С. Чорно-Іванов // Легка промисловість. – 1997. – № 1. – С. 59.
3. Чорно-Іванов В.С. Розробка механізму поздовжнього різання деталей низу взуття : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.05.10 / Чорно-Іванов В.С. – К., ДАЛПУ. – 1998. – 18 с.
4. Пат. 70012А (України). Спосіб визначення потужності, що витрачається на поздовжнє різання матеріалу / Д.А. Макацьора, В.І. Князев. – Опубл. в бюл. «Промислова Власність», 2004. – № 9.
5. Тихомиров В.Б. Планирование и анализ эксперимента / Тихомиров В.Б. – М. : Легкая индустрия, 1974. – 262 с.

References

1. Majzelj M.M., Kvjatkevych Y.K., Pyn L.Gh. Mashyny y apparaty kozhevennogho y mekhovogho proyzvodstva. – М.: Ghyzleghprom, 1950 – 590 s.
2. Knjazjev V.I., Chorno-Ivanov V.S. Vyznachennja pokhybky obrobky pry dvojnini detalej nyzu vzuttja// Leghka promyslovistj. - 1997. - #1. - S.59.
3. Chorno-Ivanov V.S. Rozrobka mekhanizmu povzdovzhnjogho rizannja detalej nyzu vzuttja: Avtoref. dys... k-ta tekhn. nauk: 05.05.10 / DALPU – K., 1998. – 18 s.
4. Deklaracijnyj Patent (Ukrajiny) 70012A Sposib vyznachennja potuzhnosti, shho vytrachajetsja na povzdovzhnje rizannja materialu/ D.A. Makatjora, V.I. Knjazjev. – Opubl. v bjul. «Promyslova Vlasnistj», 2004, # 9.
5. Tykhomyrov V.B. Planirovanye y analiz eksperymenta. – М.: Leghkaja yndustryja, 1974. – 262s.

Рецензія/Peer review : 2.12.2013 р.

Надрукована/Printed :7.2.2014 р.

Статтю представляє: д.т.н., проф., зав. каф. техногенної безпеки та тепломасообмінних процесів,
КНУТД Панасюк І.В.