

УДК 685.34.05

МАКАТЬОРА Д. А., ПАНАСЮК І. В.

Київський національний університет технологій та дизайну

ВИЗНАЧЕННЯ ПОГОННОГО ЗУСИЛЛЯ РІЗАННЯ ПОВСТІ НОЖЕМ З ДВОСТОРОННЬОЮ ЗАТОЧКОЮ

Метою даного дослідження є розробка більш простого і ефективного методу аналізу впливу величини зазору між валиками і величини відстані від вертикальної осі обертання валиків до кромки леза ножа на погонне зусилля різання повсті, шляхом використання рівнянь регресії. Дослідження проведені на прикладі експериментальної установки машини для повздовжнього різання при використанні ножа з двосторонньою заточкою.

Методологія. При проведенні математичного експерименту був використаний рототабельний план другого порядку, що дозволяє найбільш ефективно вирішити поставлене завдання оцінки впливу досліджуваних факторів на погонне зусилля різання.

Результат. Одержані рівняння регресії визначення сумарної величини втрат на процес повздовжнього різання (на транспортування та розрізання матеріалу) та величини втрат на тертя матеріалу (транспортування). Це дозволяє визначити одну із фізико-механічних характеристик повсті, а саме погонне зусилля різання, та враховувати його значення при проектуванні приводу в машинах для повздовжнього різання матеріалу.

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

Вступ. При виготовленні взуття в якості основного матеріалу широко застосовується повсть, а саме у виготовленні підшов, підкладок, платформ, устілок, в ремонті валяного взуття. До цієї категорії відносяться стандартні грубошерсті, напівгрубововняні і тонкошерсті повсті різної товщини і якості обробки, що обумовлює високий попит на різну за своєю товщиною повсть.

Постановка завдання. Для різання напівфабрикату, тобто розділення його по товщині для отримання двох і більш тонких деталей, придатних для застосування у взуттєвому і галантерейному виробництвах застосовуються машини для вирівнювання та двоїння деталей низу взуття по товщині. Основна частина технологічного процесу вирівнювання або двоїння деталей низу взуття – це взаємодія валкового механізму і кромки леза ножа машини з матеріалом деталі, які впливають на якість обробки деталі та енергетичні витрати [1]. При проектуванні машин необхідно визначити загальну потужність їх 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 [2, 3] було запропоновано методику визначення погонного зусилля, але залишається актуальним питання визначення фізико-механічних характеристик конкретного матеріалу, а саме погонного зусилля повсті, оскільки воно лежить в основі розрахунку потужності приводу.

Результати дослідження. Експериментальні дослідження як завершальна стадія проектування геометрії ріжучого інструменту в машинах для повздовжнього різання проводяться для визначення погонного зусилля різання матеріалу (повсті) (q_p).

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 транспортуючими валиками h і величину відстані від вертикальної осі обертання валиків до кромки леза ножа a .

При визначенні q_p , як зазначалося в роботах [2, 3], необхідно провести двократну обробку деталі, при котрій в ході її 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 повсті:

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

Планування експерименту проводилося з використанням ротатабельного плану Бокса для двофакторного експерименту ($k_{1,2} = 2$), який рекомендуються при $k_{1,2} \leq 5$ [4].

Загальна кількість дослідів визначається за формулою [4]:

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

Кодування, іменування значення факторів та інтервали їх варіювання наведено в табл. 1, значення яких визначалися з використанням 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

а – 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 наведено в табл. 2.

Таблиця 2 Матриця планування двофакторного експерименту визначення сумарної величини втрат при поздовжньому різанні матеріалу

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	291	290,58	0,2724
2	-1	1	3,35	3	341	340,46	0,2951
3	1	-1	5,35	2	373	372,82	0,4090
4	-1	-1	3,35	2	414	413,34	0,4367
5	-1,414	0	2,95	2,5	389	388,43	0,4178
6	1,414	0	5,75	2,5	325	324,52	0,4320
7	0	-1,414	4,35	1,8	408	406,96	0,3394
8	0	1,414	4,35	3,2	298	297,28	0,5124
9	0	0	4,35	2,5	358	357,09	0,8358
10	0	0	4,35	2,5	358	357,09	0,8358
11	0	0	4,35	2,5	357	357,09	0,0074
12	0	0	4,35	2,5	356	357,09	1,1789
13	0	0	4,35	2,5	356	357,09	1,1789
					$\sum_1^{13} = 4624$	$\sum_1^{13} (y_u - \bar{y}_u)^2 = 7,1518$	

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) [4]: $S_p = 1,118$.

Розрахункове значення критерію Ст'юдента в цьому випадку: $t_{розр(P)} = 4,0001$.

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

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

У цьому випадку необхідно визначити значення коефіцієнтів регресії рівняння (3.36) [4]:

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

Для визначення цих коефіцієнтів використовувалися рівняння (3.32) - (3.35) і дані табл. 3.32 [4] 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: $b_0 = 357,086$; $b_1 = -22,6$; $b_2 = -38,78$; $b_{12} = -2,34$; $b_{11} = -0,304$; $b_{22} = -2,483$.

Таким чином, рівняння (3) набуває виду:

$$y_u = 357,086 - 22,6x_1 - 38,78x_2 - 2,34x_1x_2 - 0,304x_1^2 - 2,483x_2^2 \quad (4)$$

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

Так як досліди дублювалися тільки в нульовій точці, то дисперсія адекватності згідно рівняння (4.48) [4]:

$$S_{ad}^2 = \frac{7,1518 - 4,0368}{3} = 1,038.$$

Дисперсія відтворюваності для цього випадку визначається за формулою (4.13) [4]:

$$S_{\{y\}}^2 = \frac{4,0368}{4} = 1,0092.$$

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

$$F_{табл} = 6,59.$$

Розрахункове значення критерію Фішера згідно формули (4.35) [4]:

$$F_{розр(P)} = \frac{1,0383}{1,0092} = 1,029.$$

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: $F_{табл} \geq F_{розр(P)}$.

Значимість коефіцієнтів регресії в рівнянні (4) перевіряється з урахуванням рівнянь (4.26) – (4.29) і (4.30) – (4.33) і даних табл. 4.3 [4] 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: $S_{\{b_0\}}^2 = 0,2 \cdot 1,0092 = 0,208$ і $S_{\{b_0\}} = 0,449$ $S_{\{b_1\}}^2 = 0,125 \cdot 1,0092 = 0,0126$ і $S_{\{b_1\}} = 0,355$;
 $S_{\{b_{ii}\}}^2 = 0,1438 \cdot 1,0092 = 0,145$ і $S_{\{b_{ii}\}} = 0,381$; $S_{\{b_{ij}\}}^2 = 0,25 \cdot 1,0092 = 0,252$ і $S_{\{b_{ij}\}} = 0,502$.

Звідси зі співвідношень (4.26) – (4.29) [4]:

$$\Delta b_0 = \pm 2 \cdot 0,449 = \pm 0,898; \Delta b_i = \pm 2 \cdot 0,355 = \pm 0,71; \Delta b_{ii} = \pm 2 \cdot 0,381 = \pm 0,762; \Delta b_{ij} = \pm 2 \cdot 0,502 = \pm 1,004.$$

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, крім b_{11} , тоді отримаємо:

$$y_u = 357,086 - 22,6x_1 - 38,78x_2 - 2,34x_1x_2 - 2,483x_2^2 \quad (5)$$

Рівняння (5) є рівнянням регресії, що описує сумарну величину втрат при виконанні поздовжнього різання матеріалу нерухомим ножом в залежності від відстані між транспортуючими валками (x_1), і відстані між вертикальною віссю обертання транспортуючих валків і кромкою леза ножа (x_2).

Враховуючи вирази (2), перейдемо до іменованих величинах:

$$y_u = 357,086 - 22,6(h - 4,35) - 38,78\left(\frac{a - 2,5}{0,5}\right) - 2,34(h - 4,35)\left(\frac{a - 2,5}{0,5}\right) - 2,483\left(\frac{a - 2,5}{0,5}\right)^2$$

Після спрощення рівняння прийме вид:

$$y_u = 535,74 - 10,9h - 7,54a - 4,68ah - 9,93a^2 \quad (6)$$

Отриманий вираз (6) – експериментальна математична модель залежності величини сумарних втрат при виконанні поздовжнього різання від величини зазору між валками і величини відстані від вертикальної осі обертання валків до кромки леза ножа.

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

Таблиця 3 Матриця планування двофакторного експерименту з визначення величини втрат на тертя матеріалу о грані нерухомого ножа

Номер досліджу	Матриця планування		Робоча матриця			Дані к розрахунку		
	x_1	x_2	h	a	y_u	y_u	$(y_u - \bar{y}_u)^2$	
1	1	1	5,35	3	235	232,95	4,2206	
2	-1	1	3,35	3	273	274,41	0,8678	
3	1	-1	5,35	2	302	300,69	1,7083	
4	-1	-1	3,35	2	335	336,68	2,8190	
5	-1,414	0	2,95	2,5	318	315,07	8,5738	
6	1,414	0	5,75	2,5	259	260,31	1,7211	
7	0	-1,414	4,35	1,8	332	330,65	1,8191	
8	0	1,414	4,35	3,2	239	238,73	0,0696	
9	0	0	4,35	2,5	318	316,07	3,7275	
10	0	0	4,35	2,5	314	316,07	4,2822	
11	0	0	4,35	2,5	316	316,07	0,0048	
12	0	0	4,35	2,5	314	316,07	4,2822	
13	0	0	4,35	2,5	318	316,07	3,7275	
					$\sum_1^{13} = 3873$	$\sum_1^{13} (y_u - \bar{y}_u)^2 = 37,8234$		

При визначенні числа вимірів для кожного досліджу проводилося п'ять повторних вимірювань на нульовому рівні (досліди 9 - 13) і визначалося наближене значення середньоквадратичної похибки рівняння (1.10) [4]: $S_p = 1,118$.

Розрахункове значення критерію Ст'юдента в цьому випадку: $t_{розр(P)} = 4,0001$.

Табличне значення критерію Ст'юдента для $\alpha_B = 0,95$ і $n_1 = 5$ [4]. Звідси виконується умова: $t_{розр(P)} \geq t_{табл}$.

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.).

У цьому випадку необхідно знайти значення коефіцієнтів регресії рівняння (3.32) - (3.35) і дані табл. 3.32 [4] для двофакторного експерименту: $b_0 = 316,07$; $b_1 = -19,36$; $b_2 = -32,5$; $b_{12} = -1,37$; $b_{11} = -14,19$; $b_{22} = -15,69$.

Таким чином, рівняння (6) прийме вид:

$$y_u = 316,07 - 19,36x_1 - 32,5x_2 - 1,37x_1x_2 - 14,19x_1^2 - 15,69x_2^2 \quad (7)$$

Гіпотеза про адекватність рівняння (6) перевіряється відповідно до методики.

Дисперсія адекватності:

$$S_{ад}^2 = \frac{37,8234 - 16,024}{3} = 7,266.$$

Дисперсія відтворюваності для цього випадку:

$$S_{\{y\}}^2 = \frac{16,024}{4} = 4,01.$$

Розрахункове значення критерію Фішера:

$$F_{розр(P)} = \frac{7,266}{4,01} = 1,81.$$

Порівняння табличного і розрахункового значень критерію Фішера показало, що рівняння (7) можна вважати адекватним з довірчою ймовірністю $\alpha_B = 0,95$, так як дотримується умова: $F_{табл} \geq F_{розр(P)}$.

Значимість коефіцієнтів регресії в рівнянні (7) перевіряється відповідно до викладеної методики.

Отже: $S_{\{b_0\}}^2 = 0,2 \cdot 4,01 = 0,802$ і $S_{\{b_0\}} = 0,896$; $S_{\{b_i\}}^2 = 0,125 \cdot 4,01 = 0,501$ і $S_{\{b_i\}} = 0,708$; $S_{\{b_{ii}\}}^2 = 0,1438 \cdot 4,01 = 0,577$ і $S_{\{b_{ii}\}} = 0,759$; $S_{\{b_{ij}\}}^2 = 0,25 \cdot 4,01 = 1,0025$ і $S_{\{b_{ij}\}} = 1,0012$.

Звідси зі співвідношень (4.26) – (4.29) [5]:

$$\Delta b_0 = \pm 2 \cdot 0,896 = \pm 1,792; \Delta b_i = \pm 2 \cdot 0,708 = \pm 1,416; \Delta b_{ii} = \pm 2 \cdot 0,759 = \pm 1,518; \Delta b_{ij} = \pm 2 \cdot 1,0012 = \pm 2,0024.$$

Порівняння абсолютних величин коефіцієнтів регресії рівняння (7) і відповідних похибок в їх оцінці показує, що з довірчою ймовірністю 0,95 можна вважати значимими всі коефіцієнти, крім b_{12} , тоді отримуємо:

$$y_u = 316,07 - 19,36x_1 - 32,5x_2 - 14,19x_1^2 - 15,69x_2^2 \quad (8)$$

Рівняння (8) 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 величин:

$$y_u = 316,07 - 19,36(h - 4,35) - 32,5\left(\frac{a - 2,5}{0,5}\right) - 14,19(h - 4,35)^2 - 15,69\left(\frac{a - 2,5}{0,5}\right)^2.$$

Після спрощення рівняння прийме вид:

$$y_u = -97,974 + 104,09h + 248,8a - 14,19h^2 - 62,76a^2. \quad (9)$$

Отриманий вираз (9) – 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 (6) та величини втрат на тертя матеріалу (9) дозволяють визначати погоне зусилля різання повсті (1). Підставляючи значення в рівняння (1) отримаємо середнє значення погонного зусилля повсті:

$$q_p = 1,367 \frac{H}{мм},$$

Висновки. Отриманні рівняння регресії, а саме визначення сумарної величини втрат при поздовжньому різанні матеріалу та величини втрат на тертя матеріалу о грані нерухомого ножа, дозволяють визначати одну із фізико-механічних характеристик повсті, а саме погоне зусилля різання, та враховувати його значення при проектуванні приводу в машинах для поздовжнього різання матеріалу.

Список використаної літератури

1. Князев В.І, Чорно-Іванов В.С. Визначення похибки обробки при двоїнні деталей низу взуття// Легка промисловість. – 1997. – №1. – С.59.
2. Чорно-Іванов В.С. Розробка механізму поздовжнього різання деталей низу взуття: Автореф. дис... к-та техн. наук: 05.05.10 / ДАЛПУ – К., 1998. – 18 с.
3. Деклараційний Патент (України) 70012А Спосіб визначення потужності, що витрачається на поздовжнє різання матеріалу/ Д.А. Макатєра, В.І. Князев. – Опубл. в бюл. «Промислова Власність». – 2004. – № 9.
4. Тихомиров В.Б. Планирование и анализ эксперимента. – М.: Легкая индустрия, 1974. – 262 с.

Рекомендовано до публікації д.т.н. проф. Місяць В.П.

Стаття надійшла до редакції 06.12.2013

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГОННОГО УСИЛИЯ РЕЗАНИЯ ВОЙЛОКА НОЖОМ С ДВУСТОРОННЕЙ ЗАТОЧКИ

МАКАТЄРА Д.А., И.В. ПАНАСЮК Д.А.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Целью данного исследования является разработка более простого и эффективного метода анализа влияния величины зазора между валиками и величины расстояния от вертикальной оси вращения валиков до кромки лезвия ножа, на погонное усилие резания войлока, путем использования уравнений регрессии. Исследования проведены на примере экспериментальной установки машины для продольного резания при использовании ножа с двусторонней заточкой.

Методология. При проведении математического эксперимента был использован рототабельный план второго порядка, который позволяет наиболее эффективно решить поставленную задачу оценки влияния исследуемых факторов на погонное усилие резания.

Результат. Полученные уравнения регрессии определения суммарной величины потерь на процесс продольной резания (на транспортировку и разрезания материала) и величины потерь на трение материала (транспортировки). Это позволяет определить одну из физико-механических характеристик войлока, а именно погоне усилия резания, и принять его значение при проектировании привода в машинах для продольной резания материала.

Ключевые слова: погонное усилие, суммарная величина потерь, потери на трение материала, валики, кромка лезвия ножа.

DETERMINATION OF LINEAR FORCE OF FELT CUTTING USING A KNIFE WITH A DOUBLE-SIDED SHARPENING

MAKATORA D., PANASJUK I.

Kyiv National University of Technologies and Design

The purpose of the study is to develop a simple and effective method of the analysis of the impact the gap between the rollers and the value of the distance from the vertical axis of the rollers rotation to the edge of the knife blade have on linear force of felt cutting by using regression equations. The research has been conducted by means of the experimental setup for longitudinal cutting machine using a knife with a double-sided sharpening.

The mathematical experiment has been conducted by utilizing the plan of the second order allowing to efficiently solve the task of assessment of the impact of the researched factors on linear force of cutting.

The results of regression equation determining the total value of both longitudinal cutting losses and magnitude losses due to material friction have been got. These results help to determine the linear force of cutting as one of the physical and mechanical properties of felt, and to consider its importance in the design of drives in machines for a material longitudinal cutting.

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

УДК 539.3

СУРЬЯНИНОВ Н.Г., КОРНИЕНКО Ю.В.

Одесский национальный политехнический университет

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ ЗАДАЧИ ИЗГИБА ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ

Получена полная система фундаментальных решений задачи о изгибе замкнутой круговой цилиндрической оболочки под действием осесимметричной нагрузки. Задача решена с использованием нового подхода — численно-аналитического метода граничных элементов. Отмечена высокая эффективность метода, кратко изложена его суть.

Ключевые слова: цилиндрическая оболочка, метод граничных элементов, осесимметричный изгиб, фундаментальная функция.