

УДК 685.34.05

Д.А. Макатьора, асистент

Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ, Україна

**ВИЗНАЧЕННЯ ПОГОННОГО ЗУСИЛЛЯ РІЗАННЯ МІКРОПОРИСТОЇ ГУМИ
НОЖЕМ ІЗ ДВОСТОРОННЬОЮ ЗАТОЧКОЮ****Д.А. Макатёра**, ассистент

Киевський національний університет технологій и дизайна, г. Киев, Украина

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГОННОГО УСИЛИЯ РЕЗАНИЯ МИКРОПОРИСТОЙ
РЕЗИНЫ НОЖОМ С ДВУХСТОРОННЕЙ ЗАТОЧКОЙ****D.A. Makatyora**, assistant

Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine

**DETERMINATION OF LINEAR CUTTING FORCE OF MICROPOROUS RUBBER
WITH A KNIFE WITH DOUBLE-SIDED SHARPENING**

Наведено результати дослідження впливу параметрів: величини зазору між валиками і величини відстані від вертикальної осі обертання валиків до кромки леза ножа на погонне зусилля різання мікропористої 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 мікропористої гуми ножом із двосторонньою заточкою.

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

Приведены результаты исследования влияния параметров: величины зазора между валиками и величины расстояния от вертикальной оси вращения валиков к кромке лезвия ножа на погонное усилие резания микропористой резины. Получены уравнения регрессии определения суммарной величины потерь на процесс продольного резания (на транспортировку и разрезание материала) и величины потерь на трение материала (транспортировку), позволяющие рассчитать погонное усилие резания микропористой резины ножом с двусторонней заточкой.

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

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 microporous 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 microporous rubber with a knife with double-sided sharpening.

Key words: 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 являє собою значний інтерес, оскільки впливає на якість оброблення деталі та енергетичні витрати [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним з основних технологічних процесів оброблення деталей низу взуття є вирівнювання по товщині або двоїння. Ця операція виконується за допомогою повздовжнього різання деталей взуття. При цьому для реалізації процесу повздовжнього різання використовується нерухомий ріжучий інструмент. Авторами роботи [3] були проведені аналітичні та експериментальні дослідження процесу різання нерухомих ножом, які показали, що технологічна операція супроводжується дуже високими значеннями втрат на тертя, які досягають 60-70 % енергетичних витрат на виконання технологічної операції.

Виділення не вирішеної раніше частини загальної проблеми. Із розвитком засобів електричних вимірювань та методів тензометрії постає завдання перевірки достові-

рності отриманих раніше даних щодо визначення погонного зусилля, а також методики визначення погонного зусилля, описаного в роботах [3; 4].

Мета статті. Головною метою роботи є експериментальне визначення сумарних величин втрат та величини втрат на тертя матеріалу, що дозволяють розрахувати погонне зусилля різання мікропористої гуми ножом із двосторонньою заточкою, а також порівняльний аналіз отриманих раніше значень.

Виклад основного матеріалу. Експериментальні дослідження як завершальна стадія проектування геометрії ріжучого інструменту в машинах для повздовжнього різання проводяться для визначення погонного зусилля різання мікропористої гуми. Під час вирішення завдань, що поставлені у роботі, були використані сучасні засоби електричних вимірювань, сучасні методи тензометрії, експериментальні методи оброблення результатів експерименту. 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 .

Під час визначення q_p , як зазначалося, необхідно провести двократне оброблення деталі, при якому у ході її розрізання визначається сумарна величина витрат на оброблення 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 мікропористої гуми:

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

Планування експерименту проводилося з використання ротабельного плану Бокса для двофакторного експерименту ($k_{1,2} = 2$), який рекомендується 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 значення 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 фактора |
|--|------------------|------|------|------|--------|-----------------------------|
| | -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 оброблення даних експерименту з визначення сумарної величини втрат при повздовжньому різанні матеріалу. Матриця планування двофакторного експерименту представлена в табл. 2.

Таблиця 2

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

| Номер дослі- ду | 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 | 410 | 409,85 | 0,0224 | |
| 2 | -1 | 1 | 3,35 | 3 | 482 | 481,17 | 0,6968 | |
| 3 | 1 | -1 | 5,35 | 2 | 526 | 525,08 | 0,8423 | |
| 4 | -1 | -1 | 3,35 | 2 | 584 | 582,40 | 2,5688 | |
| 5 | -1,414 | 0 | 2,95 | 2,5 | 548 | 547,60 | 0,1658 | |
| 6 | 1,414 | 0 | 5,75 | 2,5 | 458 | 456,65 | 1,8186 | |
| 7 | 0 | -1,414 | 4,35 | 1,8 | 574 | 573,65 | 0,1259 | |
| 8 | 0 | 1,414 | 4,35 | 3,2 | 422 | 420,61 | 1,9456 | |
| 9 | 0 | 0 | 4,35 | 2,5 | 498 | 499,32 | 1,7448 | |
| 10 | 0 | 0 | 4,35 | 2,5 | 500 | 499,32 | 0,4611 | |
| 11 | 0 | 0 | 4,35 | 2,5 | 500 | 499,32 | 0,4611 | |
| 12 | 0 | 0 | 4,35 | 2,5 | 500 | 499,32 | 0,4611 | |
| 13 | 0 | 0 | 4,35 | 2,5 | 498 | 499,32 | 1,7448 | |
| | | | | | $\sum_1^{13} = 6500$ | $\sum_1^{13} (y_u - \bar{y}_u)^2 = 13,0594$ | | |

Під час визначення числа вимірів для кожного дослідів 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 $n_1 = 5$ [2]. Тобто виконується умова: $t_{расч(P)} \geq t_{табл}$.

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

У цьому випадку необхідно знайти значення коефіцієнтів регресії рівняння (3.36) [5]:

$$y_u = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{12} x_1 x_2 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2. \quad (3)$$

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: $b_0 = 499,32$; $b_1 = -32,16$; $b_2 = -54,12$; $b_{12} = -3,5$; $b_{11} = 1,4$; $b_{22} = -1,1$.

Таким чином, рівняння (3) набуває вигляду:

$$y_u = 499,32 - 32,16 x_1 - 54,12 x_2 - 3,5 x_1 x_2 + 1,4 x_1^2 - 1,1 x_2^2. \quad (4)$$

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

Оскільки дослідів дублювалися тільки в нульовій точці, то дисперсія адекватності згідно з рівнянням (4.48) [5]:

$$S_{ад}^2 = \frac{13,06 - 4,87}{3} = 2,73.$$

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

$$S_{\{v\}}^2 = \frac{4,87}{4} = 1,22.$$

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

$$F_{табл} = 6,59.$$

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

$$F_{расч(P)} = \frac{2,73}{1,22} = 2,24.$$

Порівняння табличного і розрахункового значень критерію Фішера показало, що рівняння (4) можна вважати адекватним з довірчою ймовірністю $\alpha_B = 0,95$, оскільки 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: $S_{\{b_0\}}^2 = 0,2 \cdot 1,22 = 0,244$ і $S_{\{b_0\}} = 0,494$; $S_{\{b_i\}}^2 = 0,125 \cdot 1,22 = 0,1525$ і $S_{\{b_i\}} = 0,391$; $S_{\{b_{ii}\}}^2 = 0,1438 \cdot 1,22 = 0,175$ і $S_{\{b_{ii}\}} = 0,418$; $S_{\{b_{ij}\}}^2 = 0,25 \cdot 1,22 = 0,305$ і $S_{\{b_{ij}\}} = 0,552$.

Звідси із співвідношень (4.26-4.29) [5]:

$$\Delta b_0 = \pm 2 \cdot 0,244 = \pm 0,488; \quad \Delta b_i = \pm 2 \cdot 0,391 = \pm 0,782; \quad \Delta b_{ii} = \pm 2 \cdot 0,418 = \pm 0,836; \quad \Delta b_{ij} = \pm 2 \cdot 0,552 = \pm 1,104.$$

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

Рівняння (4) є рівнянням регресії, що описує сумарну величину втрат під час виконання повздовжнього різання матеріалу нерухомим ножем 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:

$$y_u = 499,32 - 32,16(h - 4,35) - 54,12 \left(\frac{a - 2,5}{0,5} \right) - 3,5(h - 4,35) \left(\frac{a - 2,5}{0,5} \right) + 1,4(h - 4,35)^2 - 1,1 \left(\frac{a - 2,5}{0,5} \right)^2.$$

Після спрощення рівняння прийме такий вигляд:

$$y_u = 686,83 - 39,96h + 2,55a - 1,75ah + 1,4h^2 - 4,4a^2. \quad (5)$$

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

Проведемо оброблення даних експерименту з визначення величини втрат на тертя матеріалу об грані нерухомого ножа. Матриця планування двофакторного експерименту представлена в табл. 3.

Таблиця 3

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

| Номер досліджу | Матриця планування | | Робоча матриця | | | Дані до розрахунку | |
|----------------|--------------------|-------|----------------|---|-------|--------------------|-----------------|
| | x_1 | x_2 | h | a | y_u | y_u | $(y_u - y_u)^2$ |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1 | 1 | 1 | 5,35 | 3 | 322 | 321,51 | 0,2426 |
| 2 | -1 | 1 | 3,35 | 3 | 390 | 391,27 | 1,6166 |
| 3 | 1 | -1 | 5,35 | 2 | 438 | 435,77 | 4,9530 |
| 4 | -1 | -1 | 3,35 | 2 | 510 | 509,54 | 0,2130 |

Закінчення табл. 3

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | |
|----|--------|--------|------|-----|----------------------|---|--------|--|
| 5 | -1,414 | 0 | 2,95 | 2,5 | 468 | 465,76 | 5,0250 | |
| 6 | 1,414 | 0 | 5,75 | 2,5 | 364 | 364,28 | 0,0807 | |
| 7 | 0 | -1,414 | 4,35 | 1,8 | 496 | 496,22 | 0,0495 | |
| 8 | 0 | 1,414 | 4,35 | 3,2 | 334 | 331,82 | 4,7479 | |
| 9 | 0 | 0 | 4,35 | 2,5 | 408 | 409,70 | 2,8913 | |
| 10 | 0 | 0 | 4,35 | 2,5 | 410 | 409,70 | 0,0898 | |
| 11 | 0 | 0 | 4,35 | 2,5 | 412 | 409,70 | 5,2882 | |
| 12 | 0 | 0 | 4,35 | 2,5 | 410 | 409,70 | 0,0898 | |
| 13 | 0 | 0 | 4,35 | 2,5 | 408 | 409,70 | 2,8913 | |
| | | | | | $\sum_1^{13} = 5370$ | $\sum_1^{13} (y_u - \bar{y}_u)^2 = 28,1787$ | | |

Під час визначення числа вимірів для кожного дослідження 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 Стюдента в цьому випадку: $t_{расч(P)} = 4,0001$.

Табличне значення критерію Стюдента 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 дослідження є достатнім. Після проведення експерименту і розшифровки записів за допомогою тарувального графіка визначали середнє значення п'яти повторних вимірювань критерію оптимізації по кожному дослідженню 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 [5] для двофакторного експерименту: $b_0 = 409,7$; $b_1 = -35,882$; $b_2 = -58,134$; $b_{12} = 1$; $b_{11} = 2,66$; $b_{22} = 2,16$.

Таким чином, рівняння (3) набуває вигляду:

$$y_u = 409,7 - 35,882x_1 - 58,134x_2 + x_1x_2 + 2,66x_1^2 + 2,16x_2^2. \quad (6)$$

Гіпотеза про адекватність рівняння (6) перевіряється у вищевикладеній методиці.

$$\text{Дисперсія адекватності: } S_{ад}^2 = \frac{28,18 - 11,25}{3} = 5,643.$$

$$\text{Дисперсія відтворюваності для цього випадку: } S_{\{y\}}^2 = \frac{11,25}{4} = 2,81.$$

$$\text{Розрахункове значення критерію Фішера: } F_{расч(P)} = \frac{5,643}{2,81} = 2,01.$$

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

Значимість коефіцієнтів регресії в рівнянні (6) перевіряли аналогічно, як у вищевикладеній методиці.

$$\text{Отже: } S_{\{b_0\}}^2 = 0,2 \cdot 2,81 = 0,562 \quad \text{і} \quad S_{\{b_0\}} = 0,75; \quad S_{\{b_1\}}^2 = 0,125 \cdot 2,81 = 0,351 \quad \text{і} \quad S_{\{b_1\}} = 0,592;$$

$$S_{\{b_{11}\}}^2 = 0,1438 \cdot 2,81 = 0,404 \quad \text{і} \quad S_{\{b_{11}\}} = 0,636; \quad S_{\{b_{12}\}}^2 = 0,25 \cdot 2,81 = 0,7025 \quad \text{і} \quad S_{\{b_{12}\}} = 0,838.$$

Звідси із співвідношень (4.26-4.29) [5]:

$$\Delta b_0 = \pm 2 \cdot 0,75 = \pm 1,5; \quad \Delta b_1 = \pm 2 \cdot 0,592 = \pm 1,184; \quad \Delta b_{11} = \pm 2 \cdot 0,636 = \pm 1,272;$$

$$\Delta b_{12} = \pm 2 \cdot 0,838 = \pm 1,676.$$

Порівняння абсолютних величин коефіцієнтів регресії рівняння (6) і відповідних похибок щодо їх оцінювання показує, що з довірчою ймовірністю 0,95 можна вважати значимими всі коефіцієнти, крім b_{12} , тоді отримуємо:

$$y_u = 409,7 - 35,882x_1 - 58,134x_2 + 2,66x_1^2 + 2,16x_2^2. \quad (7)$$

Рівняння (7) є рівнянням регресії, що описує сумарну величину втрат під час виконання повздовжнього 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:

$$y_u = 409,7 - 35,88(h - 4,35) - 58,13\left(\frac{a - 2,5}{0,5}\right) + 2,66(h - 4,35)^2 + 2,16\left(\frac{a - 2,5}{0,5}\right)^2.$$

Після спрощення рівняння набуде такого вигляду:

$$y_u = 742,77 + 2,66h^2 - 59,02h + 8,64a^2 - 72,27a. \quad (8)$$

Отриманий вираз (8) – експериментальна математична модель залежності величини втрат на тертя матеріалу об грані нерухомого ножа під час виконання повздовжнього 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 мікропористої гуми (1). Підставляючи значення в рівняння (1), отримуємо середнє значення погонного зусилля мікропористої гуми:

$$q_p = 2,56 \frac{H}{\text{мм}},$$

для мікропористої гуми РПШ-4 "Мипора".

Відхилення від отриманих раніше значень роботи [3] становлять $\Delta = 8,98\%$.

Висновки та пропозиції. Отримані рівняння регресії, а саме визначення сумарної величини втрат при повздовжньому різанні матеріалу та величини втрат на тертя матеріалу об грані нерухомого ножа, дозволяють оперативно визначати погонне зусилля різання мікропористої гуми, ніж під час використання відомих методів.

Список використаних джерел

1. *Майзель М. М.* Машины и аппараты кожевенного и мехового производства / М. М. Майзель, И. К. Квяткевич, Л. Г. Пин. – 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 повздовжнього різання деталей низу взуття : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.10 / В. С. Чорно-Іванов. – К., 1998. – 18 с.
4. *Деклараційний патент (України) 70012А.* Спосіб визначення потужності, що витрачається на повздовжнє різання матеріалу / Д. А. Макатьора, В. І. Князев ; опубл. в Бюл. «Промислова Власність», 2004, № 9.
5. *Тихомиров В. Б.* Планирование и анализ эксперимента / В. Б. Тихомиров. – М. : Легкая индустрия, 1974. – 262 с.