

Ю.Д. Абрашкевич, д.т.н., проф.;  
Л.Є. Пелевін, к.т.н., проф.;  
О.В. Човнюк, асистент (КНУБА, Київ)

### ВИЗНАЧЕННЯ СИЛОВИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ АБРАЗИВНИМИ АРМОВАНИМИ КРУГАМИ

**АНОТАЦІЯ.** У статті за основою методу багатофакторного експерименту представлено побудову регресійної моделі, що описує зміну експлуатаційних параметрів абразивного інструменту (швидкостей різання і подачі) з урахуванням конкретних умов використання абразивних армованих кругів.

**Ключові слова:** регресійна модель, абразивний армований круг, метод багатофакторного планування експерименту, режим роботи.

**АННОТАЦИЯ.** В статье на основе метода многофакторного эксперимента представлено построение регрессионной модели, описывающей изменение эксплуатационных параметров абразивного инструмента (скоростей резания и подачи) с учетом конкретных условий использования абразивных армированных кругов.

**Ключевые слова:** регрессионная модель, абразивный армированный круг, метод многофакторного планирования эксперимента, режим работы.

**SUMMARY.** In this paper a method is based on multivariate experiment is presented to build a regression model describing the change of operational parameters of the abrasive tool (cutting speed and feed) to the specific conditions of use of reinforced abrasive wheels.

**Key words:** regression model reinforced abrasive terms, the method of multifactor planning of the second experiment, the mode of operation.

#### Вступ

В теперішній час абразивні армовані круги отримали широке розповсюдження в будівництві та інших галузях народного господарства.

Для роботи з цими кругами необхідно застосування ручних та переносних машин.

У даній статті досліджується питання по визначенню силових параметрів для таких машин.

#### Виклад основного матеріалу

У роботі нормальні і тангенціальні зусилля різання визначалися під час різання труб з вуглецевої сталі з діаметром  $d_y = 80 \dots 150$  мм, а також прутка діаметром  $d_{\pi} = 20 \dots 31$  мм абразивними армованими кругами Д500×5×32мм. Дослідження проводилися при різанні способом врізання.

Силові параметри досліджувалися на експериментальному стенді. Стенд створений на базі горизонтально-фрезерного верстака 6М82Ш. Потужність приводу – 7,5 кВт. Частота обертання шпинделя 1600...4180 об/хв. Швидкість подачі заготовки, що роз-

різається, складає 0,1...1,25 м/хв. – подача механічна.

Вертикальне  $P_{yв}$  і горизонтальне  $P_{yг}$  складові зусилля різання визначалися за допомогою тензометричного стола [1].

Для підвищення ефективності досліджень застосовувався метод багатофакторного планування експерименту, це дозволяє скоротити число дослідів, що проводяться, порівняно з традиційними методами проведення експериментальних робіт.

Як наслідок дослідження створена математична модель, що описує зміну силових параметрів залежно від умов процесу абразивного різання.

На рис. 1 приведена схема зусиль, діючих на абразивний круг при різанні труб. Точка прикладання результуючих сил, що виникають в процесі різання, розташована на лінії, що з'єднує центри круга і труби, що розрізається.

Тангенціальне  $P_z$  і нормальне  $P_y$  зусилля різання можна визначити з наступних залежностей:

$$\begin{aligned} P_z &= P_{yГ} \cdot \cos \alpha - P_{yВ} \cdot \sin \alpha; \\ P_y &= P_{yВ} \cdot \cos \alpha + P_{yГ} \cdot \sin \alpha, \end{aligned} \quad (1)$$

де  $P_{yГ}$  – горизонтальна складова зусилля різання, Н;  $P_{yВ}$  – вертикальна складова зусилля різання круга, Н;  $\alpha = \arccos\left(\frac{d_0 - d}{d_0 - d_y}\right)$  – кут, що визначає точку додатку результуючої сили різання, град;  $d_0$  – діаметр круга, м;  $d$  – зовнішній діаметр труби, м;  $d_y$  – внутрішній діаметр труби, м.

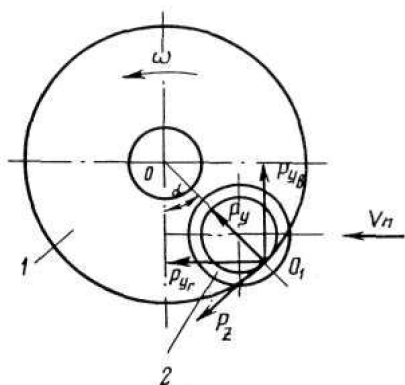


Рис. 1. Схема зусилля, що діють на абразивний армований круг при різанні труб:  
1 – абразивний круг; 2 – труба

При визначенні зусилля різання в залежність (1) підставлялися значення  $P_{yГ}$  і  $P_{yВ}$ , одержані експериментальним шляхом за максимальною дугою контакту круга з трубою, що розрізається.

В процесі раніше проведених досліджень встановлено, що основний вплив на зміну тангенціального і нормального зусилля різання надають: робоча швидкість круга, продуктивність процесу різання і довжина дуги контакту між кругом і заготовкою, що розрізається. Ці змінні величини, що визначають процес абразивного різання, вибрані як керуючі фактори.

Математична модель, що описує силові параметри процесу абразивного різання матеріалів з вуглецевої сталі, прийнята лінійною і представлена багаточленом першого порядку, тобто

$$\begin{aligned} y_i &= \epsilon_0 + \epsilon_1 \cdot x_1 + \epsilon_2 \cdot x_2 + \epsilon_3 \cdot x_3 + \\ &+ \epsilon_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + \epsilon_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + \\ &+ \epsilon_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + \epsilon_{123} \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3, \end{aligned} \quad (2)$$

де  $y_i$  – відповідно тангенціальне ( $y_1$ ) і нормальне ( $y_2$ ) зусилля різання, Н;  $\epsilon_0, \dots, \epsilon_{123}$  – коефіцієнти регресії;  $x_1$  – робоча швидкість круга  $V_p$ , м/с;  $x_2$  – продуктивність процесу різання  $Q$ , м<sup>2</sup>/с;  $x_3$  – довжина дуги контакту між кругом і заготовкою, що розрізається  $l$ , м.

На підставі аналізу наявних відомостей вибрані рівні та інтервали змінювання факторів, які приведені в таблиці. Для визначення коефіцієнтів регресії (2)  $\epsilon_0, \dots, \epsilon_{123}$  проводився повний факторний експеримент типу  $2^3$ . Матриця планування експерименту, умови проведення дослідів і отримані результати приведені в таблиці.

Обробку результатів проводили за схемою з рівномірним дублюванням дослідів [2]. Значення дисперсії середнього арифметичного  $Y_i$  кожного дослідів приведені в таблиці. Перевірка дисперсії на однорідність виконувалась за критерієм Корхена:

$$G = \frac{S_{\max}^2}{\sum_{i=1}^8 S_i^2} = \frac{0,0284}{0,07264} = 0,39 < G_T = 0,44;$$

$$\bar{G} = \frac{S_{\max}^2}{\sum_{i=1}^8 \bar{S}_i^2} = \frac{0,0256}{0,0888} = 0,288 < \bar{G}_T = 0,679,$$

де  $G_T = 0,44$  ( $\bar{G}_T = 0,679$ ) – табличне значення критерію Корхена для восьми різних дослідів і числа ступенів вільності  $f = 3$  ( $n = 1$ ) за рівнем значущості 0,05 [3].

Дисперсія відтворності

$$S_{\{\bar{y}\}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N S_i^2}{N} = \frac{0,07264}{8} = 0,00908;$$

$$\bar{S}_{\{\bar{y}\}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N \bar{S}_i^2}{N} = \frac{0,0888}{8} = 0,0111.$$

Таблиця

Показники		Фактори, що вивчаються			Ефекти взаємодії				Тангенціальне зусилля різання $P_z$ , Н		Нормальне зусилля різання $P_y$ , Н	
		$V_p$	$Q$	$l$	$V_p Q$	$V_p l$	$Ql$	$V_p Ql$				
Верхній рівень		80	0,8	66								
Основний рівень		65	0,525	48								
Нижній рівень		50	0,25	34								
Інтервал варіювання		15	0,275	16								
Позначення закодованих змінних	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_1 X_2$	$X_1 X_3$	$X_2 X_3$	$X_1 X_2 X_3$	$Y_1$	$S_i^2$	$Y_2$	$\bar{S}_i^2$
Дослід 1	+	+	+	+	+	+	+	+	21,15	0,01584	42,5	0,01
Дослід 2	+	+	-	+	-	+	-	-	11,6	0,0292	24,25	0,0225
Дослід 3	+	-	-	+	+	-	-	+	15,75	0,00332	37,5	0,01
Дослід 4	+	-	-	-	+	+	+	-	10,6	0,0064	25,8	0,0256
Дослід 5	+	+	+	-	+	-	-	-	11,55	0,0108	23,45	0,0009
Дослід 6	+	+	-	-	-	-	+	+	7,15	0,02,484	21,75	0,0049
Дослід 7	+	-	+	-	-	+	-	+	16,8	0,00088	28,35	0,0049
Дослід 8	+	-	+	+	-	-	+	-	31,73	0,00408	81,5	0,01
Коефіцієнти регресії												
$v_j$	15,79	-2,93	4,51	4,26	-1,03	-0,75	1,86	-0,58				
$\bar{v}_j$	35,64	-7,65	8,31	10,8	-3,33	5,41	7,25	-3,11				

Критерій Стюдента  $|\Delta v_j| \geq \pm t \cdot S_{\{v_j\}} = \pm 2,064 \cdot 0,017 = \pm 0,035$ ,  $|\Delta \bar{v}_j| \geq \pm t \cdot \bar{S}_{\{\bar{v}_j\}} = \pm 2,0306 \cdot 0,038 = \pm 0,0876$ .

Після розрахунку коефіцієнтів регресії, перевірки значущості коефіцієнтів (див. таблицю) отримали наступні залежності

$$Y_1 = 15,79 - 2,93 \cdot X_1 + 4,51 \cdot X_2 + 4,26 \cdot X_3 - 1,03 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,75 \cdot X_1 \cdot X_3 + 1,86 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0,58 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3; \quad (3)$$

$$Y_2 = 35,64 - 7,65 \cdot X_1 + 8,31 \cdot X_2 + 10,8 \cdot X_3 - 3,33 \cdot X_1 \cdot X_2 - 5,41 \cdot X_1 \cdot X_3 + 7,25 \cdot X_2 \cdot X_3 - 3,11 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3. \quad (4)$$

Адекватність моделей (3) і (4) перевіряли за критерієм Фішера.

$$F = \frac{S_{ад}^2}{S_{\{Y\}}^2} = \frac{0,000125}{0,00908} = 0,055 < F_T = 2,8;$$

$$\bar{F} = \frac{\bar{S}_{ад}^2}{\bar{S}_{\{Y\}}^2} = \frac{0,042}{0,0111} = 3,78 < \bar{F}_T = 3,8,$$

де  $S_{ад}^2 = \frac{\sum (\Delta Y_i)^2}{f}$  – дисперсія адекватності [2],  $F$  – табличне значення критерію Фішера [3].

Таким чином, залежності (3) і (4) адекватно описують зміну зусиль різання залежно від вибраних факторів, що характеризують процес абразивного різання матеріалів з вуглецевої сталі.

У таблиці приведені натуральні значення факторів, а в рівняннях (3) і (4) – кодовані. Перехід від кодованих до натуральних факторів виконувався за допомогою перетворення

$$X_i = \frac{\bar{X}_j - X_{j0}}{I_j}, \quad (5)$$

де  $X_j$  – кодоване значення фактора;  $\bar{X}_j$  – натуральне значення фактора;  $X_{j0}$  – натуральне значення основного фактора;  $I_j$  – інтервал варіювання;  $j$  – номер фактора.

Після переходу від кодованих змінних до натуральних отримали наступні залежності:

$$P_z = 14,5 - 0,15 \cdot V_p - 14,61 \cdot Q - 0,07 \cdot l + 0,18 \cdot V_p \cdot Q + 0,0015 \cdot V_p \cdot l + 1,0075 \cdot Q \cdot l - 0,009 \cdot V_p \cdot Q \cdot l; \quad (6)$$

$$P_y = 41,34 - 0,1915 \cdot V_p - 132,32 \cdot Q - 0,3315 \cdot l + 1,45 \cdot V_p \cdot Q + 0,002 \cdot V_p \cdot l + 4,7025 \cdot Q \cdot l - 0,047 \cdot V_p \cdot Q \cdot l, \quad (7)$$

де  $P_z, P_y$  – відповідно тангенціальне і нормальне складові зусилля різання, Н.

Ефективна потужність для приводу визначалася залежністю

$$N_{еф} = \frac{P_z \cdot V_p}{102}. \quad (8)$$

Залежності (6)-(8) дозволяють провести кількісну оцінку силових параметрів залежно від умов процесу різання абразивними армованими кругами Д500х5х32 мм.

Експериментальна перевірка проводилася при різанні труб 108х4 мм, 89х4 мм, прутка діаметром 31 мм з вуглецевої сталі абразивними армованими кругами Д500х5х32 мм. Відхилення результатів, отриманих експериментальним шляхом і за розрахункових залежностях (6), (7), не перевищує 8...12 %.

### Висновки

На підставі проведених досліджень отримані дані, необхідні для вибору існуючих та розроблення нових типів машин, що забезпечували ефективне використання абразивних армованих кругів.

### Література

1. *Мифлиг Д.М., Семенов Е.Б., Шор Г.М.* Приборы для исследования силовых параметров при шлифовании и резании камня. В сб. "Горный породоразрушающий инструмент" К., Техника, 1970.
2. *Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В.* Планирование экспериментов при поиске оптимальных условий. М., Наука, 1976.
3. *Налимов В.В.* Применение статистических методов при анализе вещества. М., Наука, 1965.

Рецензент: В.П. Рашківський, к.т.н., доцент (КНУБА, Київ)

Отримано: 01.11.2011р.