

**О. П. Шиліна, к.т.н., доцент,  
К. В. Бучковський, студент,  
С. Д. Кліменко, студент**

*Вінницький національний технічний університет*

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ В УМОВАХ СУХОГО ТЕРТЯ З ВИКОРИСТАННЯМ БАГАТОФАКТОРНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ**

Механізми подачі електродного дроту складаються з електродвигуна, редуктора й системи роликів, що подають дріт та притискних роликів. Електродвигун з редуктором забезпечують обертання ролика, який проштовхує електродний дріт по гнучкому порожнистому кабелю в зону зварювання. Вони також дозволяють налаштувати швидкість подачі дроту й підтримувати її постійною в процесі роботи. У якості привода в таких механізмах можуть використовуватися електродвигуни як змінного, так і постійного струму. Швидкості подачі електродного дроту можуть змінюватися східчасто за допомогою змінних шестірень або змінних роликів, а також плавним регулюванням частоти обертання електродвигуна постійного струму. Для подачі електродних дротів різних типів (суцільного перетину, порошкового) і діаметрів застосовують механізми подачі з однією або двома парами роликів.

Причинами коливань швидкості подачі електродного дроту в системах подачі типу, що штовхає, є багато факторів, у тому числі й залежні від схеми подачі й конструктивних особливостей системи. Через наявність опору тертя між дротом і стінками напрямного каналу дріт звивається, і чим більше опір тертя, тем частіше стають цикли вигину. При збільшенні навантаження в осьовому напрямку опір тертя зростає по експонентній залежності:

$$T_i = T_2 \cdot e^{\mu\theta}, \quad (1)$$

де  $T_2$  – зусилля опору в прямій частині напрямного каналу;  $\mu$  – коефіцієнт тертя;  $\theta$  – кут закручування напрямного каналу. звідси випливає, що зусилля опору при скручуванні каналу різко зростає й подача дроту може припинитися. Вигин електродного дроту у великому ступені залежить від співвідношення між діаметром дроту й внутрішнім діаметром напрямного каналу.

Оптимальні співвідношення, знайдені експериментальним шляхом і застосовувані в пальниках вітчизняних напівавтоматів, наведені нижче [1]:

Таблиця 1 – Оптимальні співвідношення діаметрів електродного дроту й внутрішніх діаметрів

Діаметр електродного дроту, мм	0,8-1	1-1,4	2,5	3,6
Внутрішній діаметр напрямного каналу, мм	1,4-2	2-3	3,2	4,7

В остаточному підсумку подача електродного дроту з вигинами усередині напрямного каналу приводить до нестабільності зварювального процесу, оскільки в порівнянні з подачею без вигинів довжина електродного дроту від роликів, що подають до дуги збільшується, причому увесь час із коливаннями.

Коливання швидкості подачі електродного дроту можуть також викликатися сплавленням дроту у струмопідвідному наконечнику в результаті зменшення точок дотику, отже, збільшення щільності струму в крапках контакту.

Знаючи (задаючи) зусилля опору подачі й коефіцієнт зчеплення, можна одержати необхідне зусилля підтискання роликів до дроту. Зусилля опору подачі – величина, що

залежить від багатьох факторів і мінлива в процесі роботи в широких межах. На підставі наявних досліджених даних її максимальне значення для автоматів і напівавтоматів дугового зварювання становить у межах 200-300 Н.

Для визначення сили тертя, яка впливає на зношування роликів автоматичної подачі електродного дроту наплавної головки верстата для наплавлення УД-209 розробили план експерименту з врахуванням безпосередніх зв'язків між режимами подачі дроту, матеріалом та діаметром дроту. Для різних діаметрів та різних матеріалів було заплановано експеримент. Матеріали дроту: 1) Св-08 оміднений; 2) Св-08 з окислами на поверхні (іржавий).

Випробування проводили на установці, показаній на рис. 1 з вказаними параметрами.

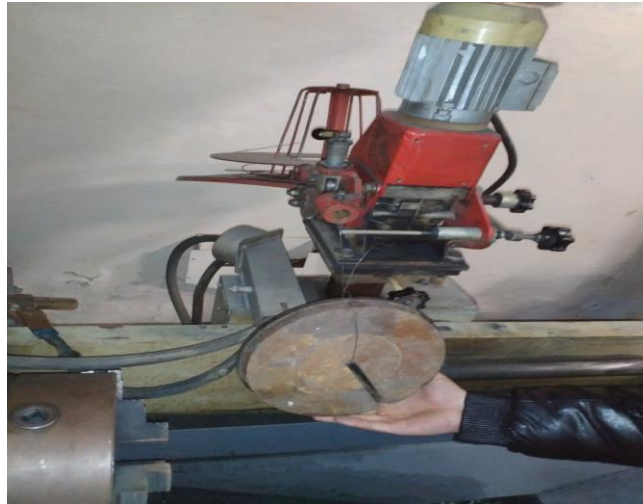


Рисунок 1 – Дослідна установка УД-209

Досліджувалась сила тертя спокою, яка визначалась з умови рівності сили тертя та сили, яку необхідно прикласти, щоб почалось проковзування дроту.

Для дослідження обрано такі фактори:

- діаметр електродного дроту;
- швидкість подачі електродного дроту;
- стан поверхні дроту.

Припускалось на основі попередніх даних, що всі ці параметри, як фактори експерименту дослідження зносостійкості, відповідають умовам їх керованості, незалежності і сумісності один до одного. Керованість факторів розглядали як можливість передавати їм довільний рівень в області визначення і фіксувати сталим протягом всього досліджу, незалежність – як відсутність між ними кореляційного зв'язку, а сумісність – як можливість зафіксувати кожен з них на будь-якому рівні незалежно від значень рівнів інших факторів.

Проведення повного багатофакторного експерименту сплановане в інтервалі допустимих значень цих трьох факторів, які визначено попередніми розрахунками та експериментальними дослідженнями. Обрано методику розробки математичної моделі зносостійкості покриттів [2], яка дозволяє представити його у вигляді поліному першої степені:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3 + b_{123}X_1X_2X_3, \quad (2)$$

Обрані фактори позначені через  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ . Для спрощення розрахунків було введено кодовані змінні. Рівні факторів, експерименту та інтервали зміни в натуральних і в кодованих значеннях наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Рівні факторів експерименту та інтервали зміни в натуральних і в кодованих значеннях

Рівні факторів	Найменування факторів та їх натуральні значення		
	Швидкість подачі, м/год $X_1$	Стан поверхні дроту (f) $X_2$	Діаметр електродного дроту, мм $X_3$
Основний рівень (0)	206	0,175	1,6
Інтервал варіювання (I)	94	0,15	0,4
Верхній рівень (+1)	300	0,25	2
Нижній рівень (-1)	113	0,1	0,8

Складена матриця планування та результати експерименту на зносостійкість.

Для забезпечення необхідної точності експерименту проводилось три незалежних досліди в незмінних режимах. Однорідність дисперсії паралельних дослідів оцінювалась за такою методикою.

Середнє арифметичне значення параметра оптимізації для кожної стрічки матриці визначалось за формулою

$$\bar{y}_j = \sum_u \frac{r y_{ju}}{r}, \quad (3)$$

де  $r$  – число паралельних дослідів;

$u$  – номер паралельного досліду;

$y_{ju}$  – значення функції відгуку в  $u$ -тому паралельному досліді  $j$ -го рядка матриці.

Для оцінки відхилень її від середнього значення обчислювалась дисперсія паралельних дослідів

$$S_j^2 = \sum_{u=1}^r \frac{(y_{ju} - \bar{y}_j)^2}{(r-1)}. \quad (4)$$

Однорідність дисперсії паралельних дослідів перевірялась за критерієм Кохрена, що являє собою відношення максимальної дисперсії, до суми всіх дисперсій.

Гіпотеза про однорідність дисперсій підтверджується, якщо розрахункові значення критерію не перевищують табличного  $G$ - критерію Кохрена ( $\alpha=0.05$ ).

Рівень значущості всіх розглянутих критеріїв приймався  $\alpha=0,05$ . При цьому вірогідність  $P$  вірного досліду складає 95%.

Для проведення розрахунків було складено програму на мові Паскаль для персонального IBM-сумісного комп'ютера. Далі представлено результати роботи програми.

За результатами проведених досліджень отримано рівняння регресії:

$$Y = 0,6 - 0,028 X_1 - 0,047 X_2 - 0,055 X_3 + 0,022 X_1 X_2 + 0,005 X_1 X_3 - 0,006 X_2 X_3 + 0,03 X_1 X_2 X_3 .$$

Перевірка статистичної значущості коефіцієнтів виконувалась за  $t$ -критерієм Стьюдента.

Після коректування рівняння регресії була отримана математична модель залежності зносостійкості покриття від параметрів його нанесення:

$$Y = 0,63 - 0,028 X_1 - 0,047 X_2 - 0,055 X_3 + 0,022 X_1 X_2 + 0,03 X_1 X_2 X_3 .$$

Перевірка на адекватність проводилась за критерієм Фішера:

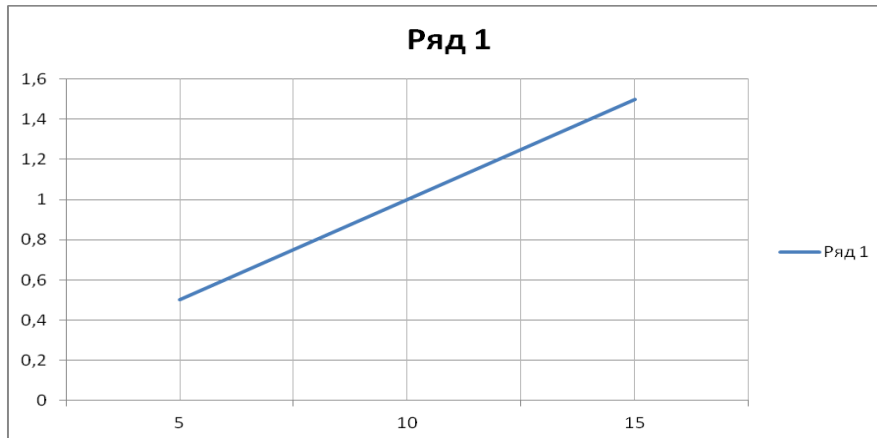


Рисунок 2 – Вплив навантаження на силу тертя: оміднений дріт: 1) 5 кг; 2) 10 кг; 3) 15 кг

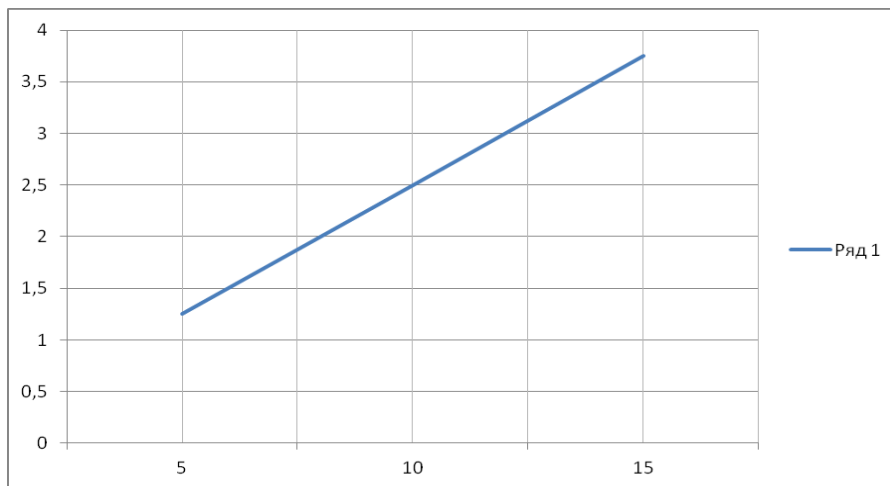


Рисунок 3 – Вплив навантаження на силу тертя: Св-08: 1) 5 кг; 2) 10 кг; 3) 15 кг

Оскільки виконується умова  $F_p < F_{табл}$ , то розроблена модель є адекватною.

Аналіз отриманої моделі показав, що всі обрані фактори, зі збільшенням в інтервалі досліджень, впливають на зносостійкість покриттів в сторону її підвищення, оскільки коефіцієнти в рівнянні регресії, яке моделює процес зношування, від'ємні.

Експеримент із омідненим дротом Св-08 показав, що є проковзування і до дроту необхідно прикласти меншу силу, ніж в експерименті із дротом СВ-08 з окислами на поверхні (іржавий). Найбільше зношування роликів при найбільшій швидкості має матеріалі дроту Св-08 з окислами на поверхні (іржавий), при більшій силі притискання ролика та більшого діаметра дроту. Наявність корозії на електродному дроті значно збільшує силу тертя та підвищує зношування роликів.

### Література

1. Багатофункціональна лабораторна установка для дослідження трибологічних властивостей конструкційних і мастильних матеріалів / В. П. Вельбой, А. Г. Кузьменко, О. В. Диха, М. О. Диха // Проблеми трибології. – 2008. – № 1. – С. 94–98.
2. Горячева И. Г. Контактные задачи в трибологии / И. Г. Горячева, М. Н. Добычин. – М. : Машиностроение, 1988. – 256 с.