

УДК 621.891

## ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ВТУЛКИ КУЛІСИ МЕХАНІЗМУ ПЕРЕМИКАННЯ ПЕРЕДАЧ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБІЛЯ

**В.П. Свідерський**, доц., канд. техн. наук,  
**Л.М. Кириченко**, старший науковий співробітник,  
**Н.В. Бонк**, ст. гр. АТ 22-1

*Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, Україна*

У сучасному машинобудуванні зростання питомих навантажень та швидкостей руху ускладнює експлуатаційні умови деталей і вузлів машин, що спричиняє збільшення інтенсивності зносу контактуючих поверхонь. Наразі виникла проблема підвищення зносостійкості втулки куліси легкового автомобіля, що дозволило б покращити надійність механізму перемикання передач загалом.

З винайденням високотехнологічного матеріалу флубон появилась можливість замінити поліетилен на антифрикційний карбопластик, характеристики якого значно перевершують поліетилен в таких умовах [1].

Порівняльні дослідження механічних, теплофізичних та антифрикційних властивостей термопластів, які армовані вуглецевими та скляними волокнами показали, що карбопластики мають кращі характеристики ніж термопласти, армовані скловолокном: за модулем згину у 2 рази, за теплопровідністю в 2–3 рази і в 2 рази нижчу деформацію та повзучість [2,3]. Ці висновки і сприяли виконанню досліджень характеристик фторопластових матеріалів, які наповнені вуглецево-волокнистими матеріалами та матеріалів на основі фторопластів, модифікованих комбінованими наповнювачами з метою підвищення зносостійкості втулки куліси механізму перемикання передач легкового автомобіля [4].

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є підвищення зносостійкості пари тертя втулка – вісь методом заміни матеріалу поліетилен-В на фторопластовий антифрикційний карбопластик.

Для виконання поставленої мети в роботі визначено наступні задачі:

– для покращення фізичних, механічних та антифрикційних характеристик карбопластиків типу флубон дослідити вплив вуглецевих волокон та видів фторопласту на властивості матеріалів;

– розробити методику та виконати дослідження зносостійкості полімерного базового матеріалу поліетилен-В та антифрикційного карбопластика Ф4К10ВВ10.

Дослідження антифрикційних властивостей полімерних матеріалів виконували за схемою контакту «сфера – площина». При нормальному постійному навантаженні дотримувались режиму змінних граничних питомих навантажень. Зразки діаметром  $10 \pm 0,1$  мм та висотою  $10 \pm 0,1$  мм з кінцевою сферою радіусу 6,35 мм контактували сферою по площині металевого контртіла, що виготовлене із сталі 45 НВ =  $4,5 \pm 0,18$  ГПа, діаметр якого  $60 \pm 0,15$  мм та висота  $10 \pm 0,15$  мм. Металева контртіла оброблено до початкового середньо арифметичного відхилення профілю поверхні  $Ra = 0,2 \pm 0,03$  мкм.

Коефіцієнт тертя визначали за формулою:

$$\mu = \frac{F_{TP}}{N} = \frac{L \cdot f}{R_{TP} \cdot N}, \quad (1)$$

де  $F_{TP}$  – сила тертя, Н;  $N$  – нормальне навантаження, Н;  $R_{TP}$  – радіус тертя, мм;  $f$  – зусилля, яке діє на тензобалку, Н;  $L$  – плече моменту тертя  $M_L = f \cdot L$ , [мм·Н].

За результатами даного дослідження підраховували інтенсивність об'ємного зношування для шляху тертя  $\Delta S_i$ :

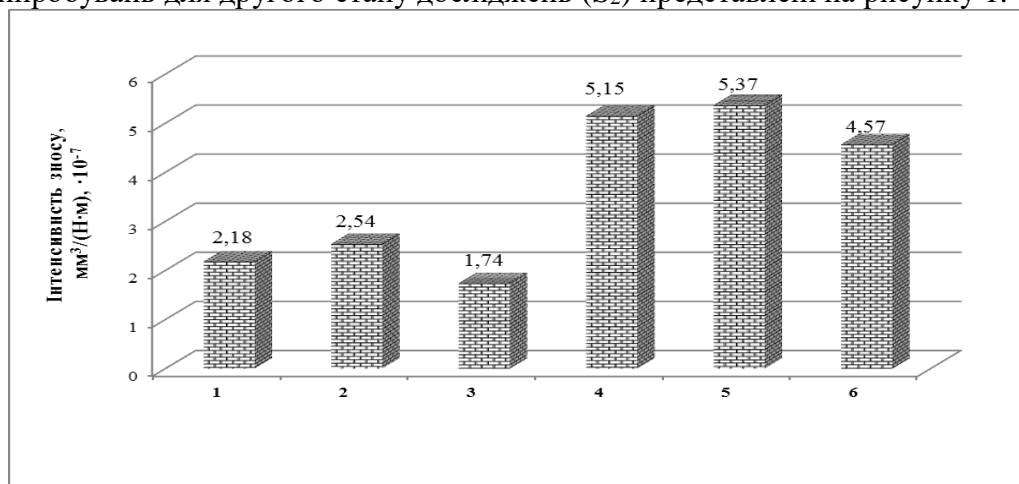
$$I_i = \frac{\Delta V_i}{N_i \cdot \Delta S_i} \quad (2)$$

де  $\Delta V_{1i}$  – зміна об'єму  $i$ -зразка на проміжку шляху тертя від 0 до 3 км (перший етап дослідження відповідає нелінійній залежності зношування від шляху тертя);

$\Delta V_{2i}$  – зміна об'єму  $i$ -зразка на проміжку шляху тертя від 3 до 50 км (другий етап дослідження відповідає лінійній залежності зношування від шляху тертя).

Нормальне навантаження на один зразок  $N_i = 100$  Н, швидкість ковзання  $V = 0,3$  м/с, температура замірялась на відстані 0,5–1 мм від поверхні контртіла і при випробуванні без мащення становила  $T = (323 \pm 2)$  К.

Дослідження проводили на шляху тертя  $S_1 = 0 \dots 3$  км та  $S_2 = 3 \dots 50$  км. Результати виконаних випробувань для другого етапу досліджень ( $S_2$ ) представлені на рисунку 1.



1 – Фторопласт 4ПН (80 мас. %) + вуглецеве волокно з тканини Текарм (20 мас. %); 2 – Фторопласт 4ПН (80 мас. %) + вуглецеве волокно з тканини Текарм (15 мас. %) + вуглецеве волокно з тканини Урал-Т15 (5 мас. %); 3 – Фторопласт 4ПН (80 мас. %) + вуглецеве волокно з тканини Текарм (5 мас. %) + вуглецеве волокно з тканини Урал-Т15 (15 мас. %); 4 – Фторопласт 4ПН (80 мас. %) + вуглецеве волокно з тканини ТГН-2М (5 мас. %) + вуглецеве волокно з тканини Урал-Т15 (15 мас. %); 5 – Фторопласт 4ПН (80 мас. %) + вуглецеве волокно з тканини ТГН-2М (10 мас. %) + вуглецеве волокно з тканини Урал-Т15 (10 мас. %); 6 – Фторопласт 4ПН (80 мас. %) + вуглецеве волокно з тканини ТГН-2М (15 мас. %) + вуглецеве волокно з тканини Урал-Т15 (5 мас. %)

Рис. 1 – Гістограма інтенсивності зносу антифрикційних матеріалів Ф4ВВ20 модифікованих різними вуглецевими волокнами та їх комбінуваннями для другого етапу дослідження при  $S_2 = 3 \dots 50$  км

За результатами випробувань встановлено, найбільшу зносостійкість має композиція Ф4ВВ20, яка наповнена вуглецевим волокном Текарм – 5 мас. % та вуглецевим волокном Урал-15 – 15 мас. %. Зносостійкість цього матеріалу на 25 % переважає матеріал Ф4ВВ20, наповнений 20 мас. % вуглецевого волокна з тканини Текарм.

Нанесення на вуглецеву тканину або волокно фторопластового покриття приводить до підвищення зносостійкості композиційного матеріалу в десятки разів [2,3]. Разом з тим, відслідковується підвищення міцності, збільшення модуля пружності, а також підвищується термостійкість та хімістійкість матеріалу. Нанесення на волокнисті вуглецеві матеріали фторопластового покриття підвищує втмону міцність в десятки тисяч разів. Виходячи з цього, для покращення антифрикційних характеристик карбопластиків Ф4ВВ20 на поверхню вуглецевої тканини Текарм було нанесено покриття Фторопласту-4 “МБ”. Дослідження зносостійкості виконували за схемою сфера – площина. Нормальне навантаження на один зразок  $N_i = 100$  Н, при швидкості ковзання  $V = 0,45$  м/с, температура замірялась на відстані

0,5 – 1 мм від поверхні контртіла і при випробуванні без мащення становила  $T = (323 \pm 2)$  К. Експерименти проводили на шляху тертя  $S_1 = 0 \dots 3$  км,  $S_2 = 3 \dots 13$  км. Результати виконаних досліджень представлені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Антифрикційні характеристики карбопластиків Ф4ВВ20 з різними марками фторопласту-4.

Назва матеріалу та склад, мас. %	Інтенсивність зносу, $\text{мм}^3/(\text{Н} \cdot \text{м}), \cdot 10^{-6}$ $S_1=3$ км	Інтенсивність зносу, $\text{мм}^3/(\text{Н} \cdot \text{м}), \cdot 10^{-6}$ $S_2=3 \dots 13$ км	Коефіцієнт тертя, $\mu$
Ф4ВВ20-4 “МБ” з покриттям Ф-4 “МБ” на вуглецевій тканині	1,265	0,7098	0,269
Ф4ВВ20-4 “Д” (Ф-4Д – 80, Текарм –5, Урал-Т15 – 15)	2,172	3,37	0,35
Ф4ВВ20-4 “Т” (Ф-4Т – 80, Текарм –5, Урал-Т15 – 15)	1,807	0,853	0,273
Ф4ВВ20-4 “0”, (Ф-4 “0” – 80, Текарм –5, Урал-Т15 – 15)	3,124	4,934	0,297

Аналізуючи виконані дослідження, можна зробити висновок, що найнижчу інтенсивність зносу та коефіцієнт тертя має композиційний матеріал наповнений вуглецевим волокном з тканини Текарм, на поверхню якого було нанесено фторопластове покриття Фторопласт-4 “МБ”.

Карбопластики Ф4ВВ20 з різними марками фторопластів за інтенсивністю зносу можна розташувати у такий ряд:  $\text{Ф-4“0”} < \text{Ф-4“Д”} < \text{Ф-4“Т”}$ . Найбільшу зносостійкість мають композиційні матеріали на основі фторопласту-4“Т”.

Дослідження механічних характеристик при стисненні композиційних матеріалів Ф4ВВ20 виконували за ГОСТ 4651-82 СТ. Перед експериментами зразки кондиціонували за ГОСТ 12423-66 на протязі 16 годин при температурі  $23 \pm 2^\circ \text{C}$  та відносній вологості  $50 \pm 5\%$ .

Випробування при стискуванні антифрикційних фторопластових матеріалів виконували з допомогою розривної машини марки Р-0,5. Зразки для досліджень були виготовлені у вигляді циліндрів діаметром 10 мм та висотою 15 мм. Дослідження проводили з швидкістю руху рухомої траверси розривної машини 2,5 мм/хв. Міцність при стисненні в МПа розраховували за формулою:

$$\sigma = \frac{N}{F} \quad (3)$$

де  $N$  – нормальне навантаження, Н;  $F$  – площа поперечного перерізу зразка,  $\text{мм}^2$ .

Міцність при стискуванні карбопластиків Ф4ВВ20 з різними марками фторопласту-4 представлено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Міцність при стискуванні карбопластиків Ф4ВВ20

Назва матеріалу	Міцність при стискуванні, $\sigma$ , МПа		
	5% деформування	15% деформування	25% деформування
Ф4ВВ20-4 “0”, (Ф-4 “0”)	17,899	39,97	65,1274
Ф4ВВ20-4 “Д”, (Ф-4 “Д”)	20,13	46,37	70,96
Ф4ВВ20-4 “Т”, (Ф-4 “Т”)	14,65	39,62	68,41
Ф4ВВ20-4 “МБ”	15,92	31,75	–

Аналіз одержаних результатів показав, що найбільшу міцність при стискуванні має карбопластик Ф4ВВ20-4 “Д”. У карбопластика Ф4ВВ20-4 “Т” міцність при стискуванні дещо нижча, а найнижча міцність при стискуванні у карбопластика Ф4ВВ20-4 “О”.

Отже, за результатом антифрикційних та механічних досліджень доцільно використовувати для приготування композиційних матеріалів Ф4ВВ20 фторопласт-4 “Т” та наносити на поверхню вуглецевої тканини Текарм покриття фторопласту-4 “МБ”.

Дослідження зносостійкості полімерного базового матеріалу поліетилен-В та антифрикційного карбопластика Ф4К10ВВ10 виконували за схемою контакту «конус – площина». При нормальному навантаженні на один зразок  $N_i = 100$  Н використовували зразки у формі квадрату розміром  $3 \times 3$  мм та висотою 12 мм із верхнім конусом під кутом  $90^\circ$ . Контртіло, діаметр якого  $60 \pm 0,15$  мм та висота  $10 \pm 0,15$  мм, виготовлене із сталі 40Х НРС = 44–48 і оброблено до початкового середньоарифметичного відхилення профілю поверхні  $Ra = 0,2 \pm 0,03$  мкм.

Результати досліджень з визначенням параметрів моделі зношування [5] наведені у таблиці 3.

Таблиця 3 – Результати досліджень з визначенням параметрів моделі зношування

№	Матеріал	m	$K_w$	$S, \text{м}$	$U_w, \text{мм}$	k
1	Поліетилен-В, без мащення	0,5	0,00688	504	0,773	1
2	Ф4К10ВВ10, без мащення	4,5	0,4296	504	$4,99 \cdot 10^{-4}$	1549
3	Поліетилен-В, мастило ТАД-17	2,5	0,0824	1224	0,745	1
4	Ф4К10ВВ10, мастило ТАД-17	3,5	0,01873	1224	$9,468 \cdot 10^{-4}$	787

Порівняння (k) зносу матеріалів,  $U_w$ :

$$(1/2), K = U_{w1}/U_{w2}$$

$$(3/4), K = U_{w3}/U_{w4}$$

Встановлено, що композиційний антифрикційний матеріал Ф4К10ВВ10 при терті без мащення за зносостійкістю переважає базовий матеріал поліетилен-В у 1549 разів, а при терті у мастилі ТАД-17 – у 787 разів.

Таким чином, було здійснено вибір та обґрунтування технологічного методу підвищення зносостійкості втулки куліси механізму перемикання передач легкового автомобіля шляхом заміни поліетилену-В на карбопластик Ф4К10ВВ10. Експериментальні дослідження зносостійкості антифрикційних матеріалів були підтверджені результатами розрахунків з визначенням параметрів моделі зношування.

#### Список використаних джерел

1. Диха О. В. Технологічне забезпечення довговічності технічних трибосистем : монографія / О. В. Диха, В. П. Свідерський, О. С. Дробот, Н. С. Машовець. – Хмельницький : ХНУ, 2021. – 178 с.
2. Сіренко Г. О. Фізичні методи дослідження речовин: Ч. II. Теплофізичні методи та властивості полімерних композитів : моногр. підруч. [спец. курс лекцій. - 2-ге вид. випр., доп.] / Г. О. Сіренко, В. П. Свідерський, М. Б. Складанюк ; за ред. Г. О. Сіренка. - Івано-Франківськ : Вид. Супрун В.П., 2020. - 292 с. – URI: // <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/9824>.
3. Sina Ebnesajjad. Fluoroplastics Volume 1: Non-Melt Processible Fluoropolymers / Sina Ebnesajjad. –The Definitive User's Guide and Data Book. – Second Edition . – 2015. – 698 p.
4. Sina Ebnesajjad. Fluoroplastics Volume 2: Melt Processible Fluoropolymers / Sina Ebnesajjad.– The Definitive User's Guide and Data Book.– Second Edition . – 2016. – 745 p.
5. Кузьменко А.Г. «Методи розрахунків і випробувань на зношування та надійність.» : Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів – Хмельницький, ТУП, 2002 р. – 640 с.