



СТІЙКІСТЬ ЖАРОМІЦНИХ ПРИРОБІТНИХ ІТРІЙВІСНИХ ПОКРИТТІВ ДО МЕХАНІЧНОГО РУЙНУВАННЯ ПРИ ФОРМУВАННІ ДОРІЖОК ВРІЗАННЯ

Кубіч Вадим Іванович, к. т. н., доцент каф. «Автомобілі», Національний університет «Запорізька політехніка»

Фасоль Єлизавета Олександрівна - старший викладач кафедри фізичного матеріалознавства,
Національний університет «Запорізька політехніка»

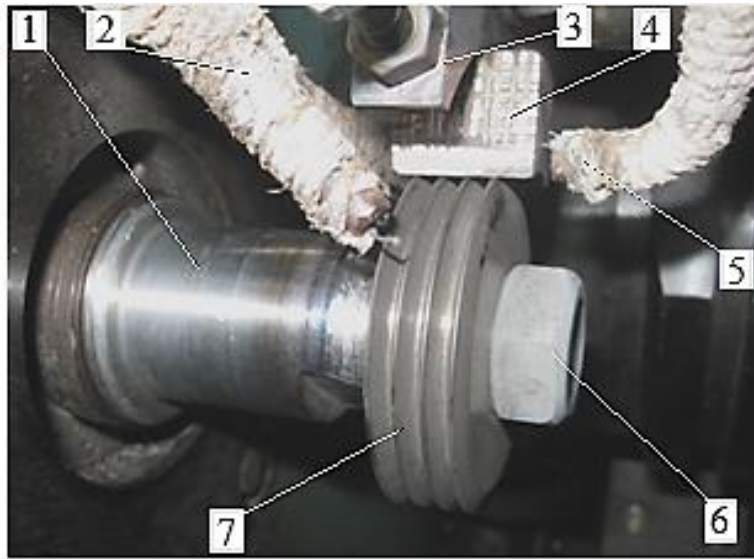
Чернета Олег Георгійович, к. т. н., доцент каф. «Автомобілів та транспортно-логістичних систем»,
Дніпровський державний технічний університет

Метою роботи є визначення стійкості ітрієвмісних покриттів, що сформовані з лігатур сплаву КНА-82 на малогабаритних зразках у газополум'яний та іоноплазмовий спосіб до механічного руйнування при формуванні доріжок врізання.

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Фізичне моделювання механічного руйнування поверхонь зразків здійснювалось за чотирма етапами:

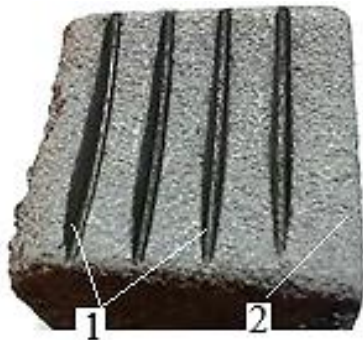
- **етап №1** – триботехнічні випробування при звичайній температурі навколишнього середовища $T=25\text{ }^{\circ}\text{C}$ після нанесення покриттів. Цикл випробування – 5 хв при постійному навантаженні;
- **етап №2** – триботехнічні випробування при звичайній температурі навколишнього середовища $T=25\text{ }^{\circ}\text{C}$ після впливу на покриття високотемпературного динамічного навантаження палаючої газової ізооктан-пропан-бутанової суміші при температурі $950\text{-}1220\text{ }^{\circ}\text{C}$. Цикл випробування – 5 хв при постійному навантаженні;
- **етап №3** – триботехнічні випробування при температурі навколишнього середовища $T=25\text{ }^{\circ}\text{C}$ після впливу на покриття високотемпературного статичного навантаження у печі при температурі $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Цикл випробування – 5 хв при постійному навантаженні;
- **етап №4** – триботехнічні випробування в середовищі палаючої газової ізооктан-пропан-бутанової суміші при температурі $950\text{-}1020\text{ }^{\circ}\text{C}$. Цикл випробування включав механічне навантаження без середовища палаючої газової суміші – 1 хв, з середовищем палаючої газової суміші – 3 хв, без середовища палаючої газової суміші – 1 хв.



а



б



в



г

Рисунок 1. Елементи методичного забезпечення експериментальних досліджень:

а – контакт зразків диска з колодкою: 1 – нижній вал машини тертя СМЦ-2; 2 – кожух термопар; 3 – тримач; 4 – зразок-колодка з покриттям; 5 – кожух термопар; 6 – гайка фіксації; 7 – зразок-диск із гребнями; б – контакт зразків диска з колодкою в середовищі палаючої газової суміші; в – поверхня покриття, що сформоване у газополум'яний спосіб; г - поверхня покриття, що сформоване у газополум'яний спосіб після температурного навантаження у середовищі палаючої газової суміші: 1 – доріжки врізання; 2 - покриття

Енергетична інтенсивність зношування визначалася відповідно до виразу:

$$I_m \approx \frac{\Delta m}{N \cdot l_1 \cdot \bar{\mu}_1 + N \cdot l_2 \cdot \bar{\mu}_2 + N \cdot l_3 \cdot \bar{\mu}_3} \approx \frac{\Delta m}{N \cdot \sum_{i=1}^3 l_i \bar{\mu}_i}, \text{ г} \cdot \text{Дж}^{-1} \quad (1)$$

де Δm – середнє масове зношування покриття, г; μ_j – середнє поточне значення коефіцієнта тертя на протязі відповідного часу випробувань; l_i – середній шлях тертя, у якому проявляється коефіцієнт тертя μ_j , м; N - зусилля притискання зразку з покриттям до гребнів диска, Н.

Умовну максимальна і мінімальна інтенсивність зношування визначалась за виразами:

$$I_{my_{max}} = \frac{\Delta m_{max}}{A_{T_{min}}}, \text{ г} \cdot \text{Дж}^{-1} \quad (2)$$

$$I_{my_{min}} = \frac{\Delta m_{min}}{A_{T_{max}}}, \text{ г} \cdot \text{Дж}^{-1} \quad (3)$$

де Δm_{max} , Δm_{min} - максимальні і мінімальні вагомi зноси зразків на етапі досліджень, г;
 $A_{T_{min}}$, $A_{T_{max}}$ – мінімальні та максимальні значення роботи сил тертя, Дж.

Динамічний коефіцієнт тертя розраховувався відповідно до виразу:

$$\mu = \frac{M_{t_i}}{N \cdot r} \quad (4)$$

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ НА ЕТАПІ №1.

Таблиця 1. Енергетичні інтенсивності зношування дослідних покриттів $I_m \cdot 10^{-5}$, г·Дж⁻¹, що отримано на етапах досліджень №1, №2

Вміст ітрію Y, %	Газополум'яний спосіб формування		Іоноплазмовий спосіб формування	
	Без нагріву	Нагрів у газовому середовищі	Без нагріву	Нагрів у газовому середовищі
0	3,3	8,16	5,4	7,82
0,1	3,1	8,37	5,03	9,66
0,3	2,79	6,08	7,15	10,13
0,5	5,87	8,13	3,78	11,28

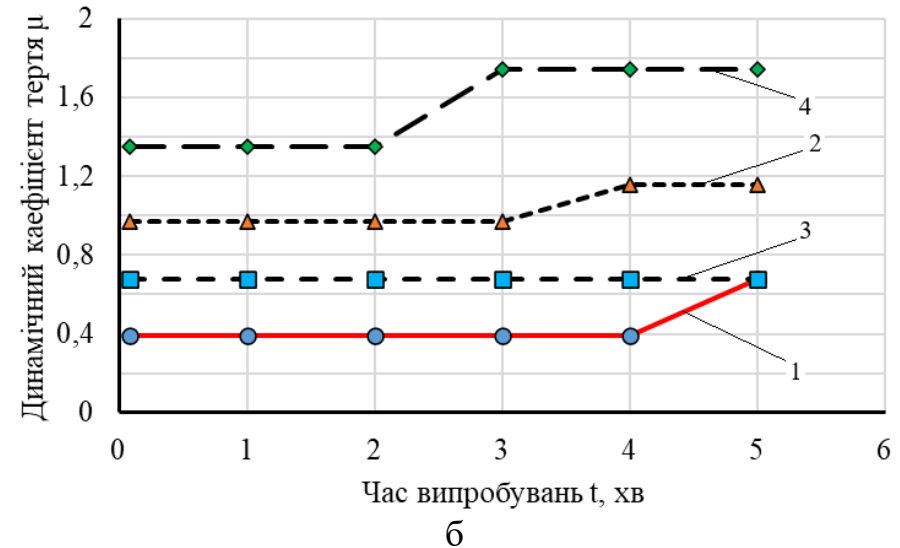
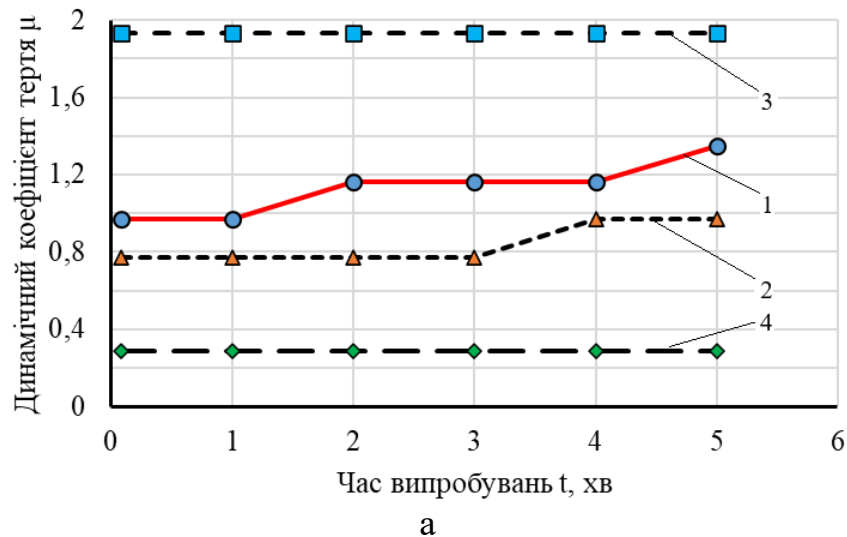


Рисунок 2. Залежність динамічного коефіцієнта тертя від часу триботехнічного випробування покриттів при $T=25$ °С до взаємодії з потоком палаючих газів:
 а - при газополум'яному формуванні; б - при іоноплазмовому формуванні; 1 - вихідне покриття;
 2 - ітрію 0,1%; 3 - ітрію 0,3%; 4 - ітрію 0,5%

Таблиця 2. Оцінка покриттів без температурного навантаження

Спосіб формування	Параметр	Кількість балів min→max стійкість			
		1	2	3	4
Газополум'яний	I_m	0,5	0	0,1	0,3
	μ	0,3	0	0,1	0,5
Іоноплазмовий	I_m	0,3	0	0,1	0,5
	μ	0,5	0,1	0,3	0

Примітка. У стовпцях під балами наведені значення концентрацій ітрію.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ НА ЕТАПІ №2.

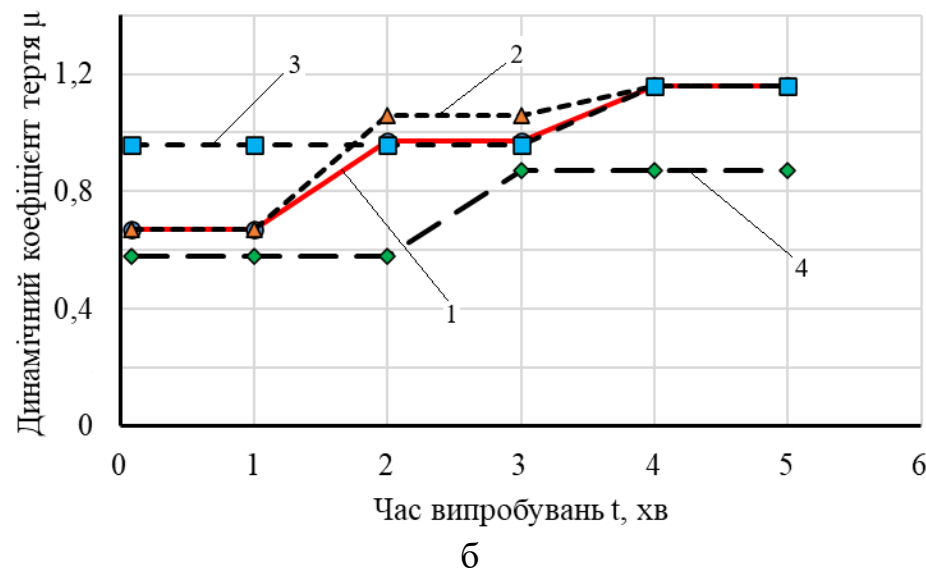
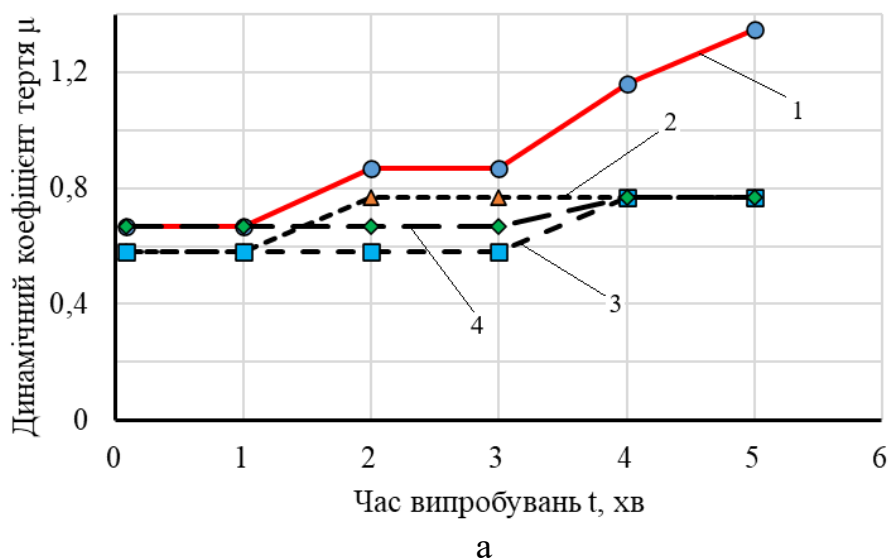


Рисунок 3. Залежність динамічного коефіцієнта тертя від часу тріботехнічного випробування покриттів при $T=25$ °C після взаємодії з потоком палаючих газів:

а - при газополум'яному формуванні; б – при іоноплазмовому формуванні; 1 – вихідне покриття; 2 – ітрію 0,1%;
3 – ітрію 0,3%; 4 – ітрію 0,5%

Таблиця 3. Оцінка покриттів підданих взаємодії високотемпературному навантаженню газовим середовищем

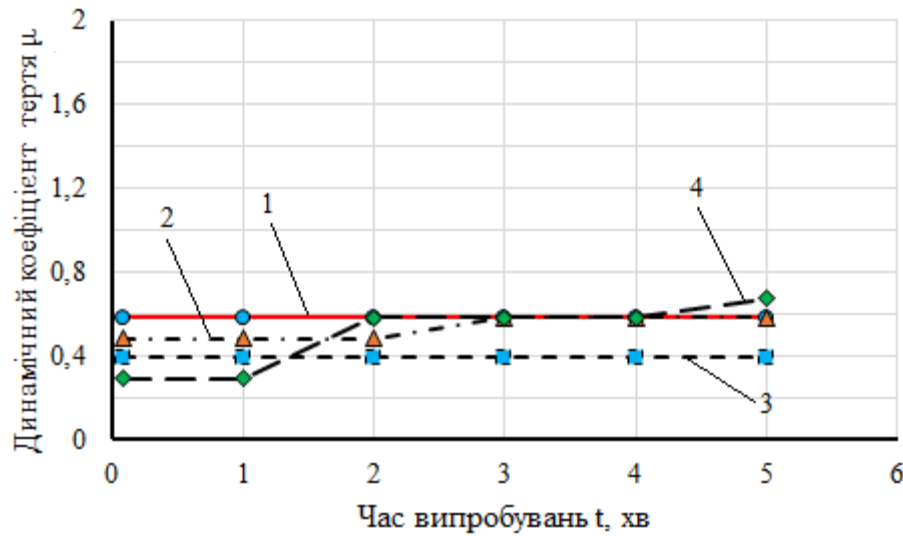
Спосіб формування	Параметр	Кількість балів min→max стійкість			
		1	2	3	4
Газополум'яний	I _m	0,1	0	0,5	0,3
	μ	0	0,1	0,5	0,3
Іоноплазмовий	I _m	0,5	0,3	0,1	0
	μ	0,1	0	0,3	0,5

Примітка. У стовпцях під балами наведені значення концентрацій ітрію

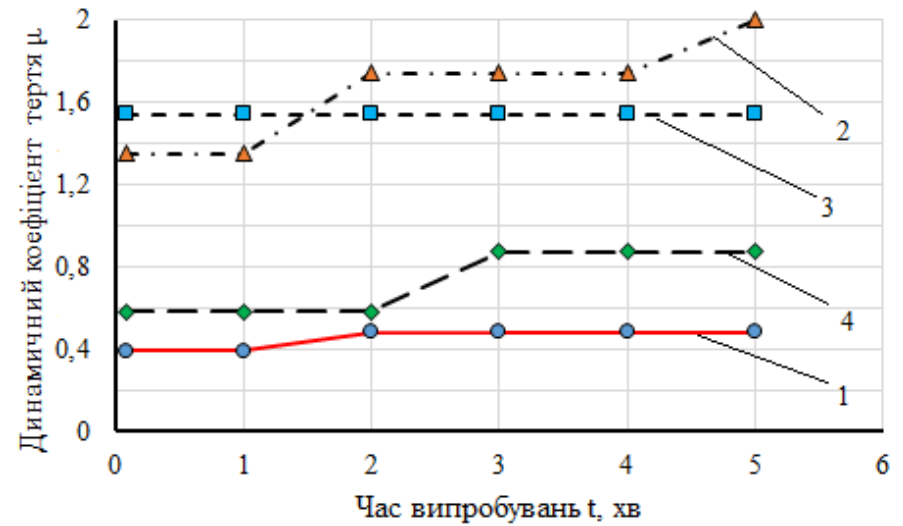
РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ НА ЕТАПІ №3.

Таблиця 4. Енергетичні інтенсивності зношування дослідних покриттів I_m·10⁻⁵, г·Дж⁻¹, що отримано на етапах досліджень №3, №4

Вміст індію Y, %	Газополум'яний спосіб формування		Іоноплазмовий спосіб формування	
	Витримка у печі	Нагрів після печі	Витримка у печі	Нагрів після печі
0	0,35	0,35	0,2	1,47
0,1	1,14	1,49	1,76	0,85
0,3	0,43	0,61	0,9	0,79
0,5	0,21	0,37	1,46	0,96



а



б

Рисунок 4. Залежність динамічного коефіцієнта тертя від часу тріботехнічного випробування покриттів при $T=25\text{ }^{\circ}\text{C}$ після витримки у печі:

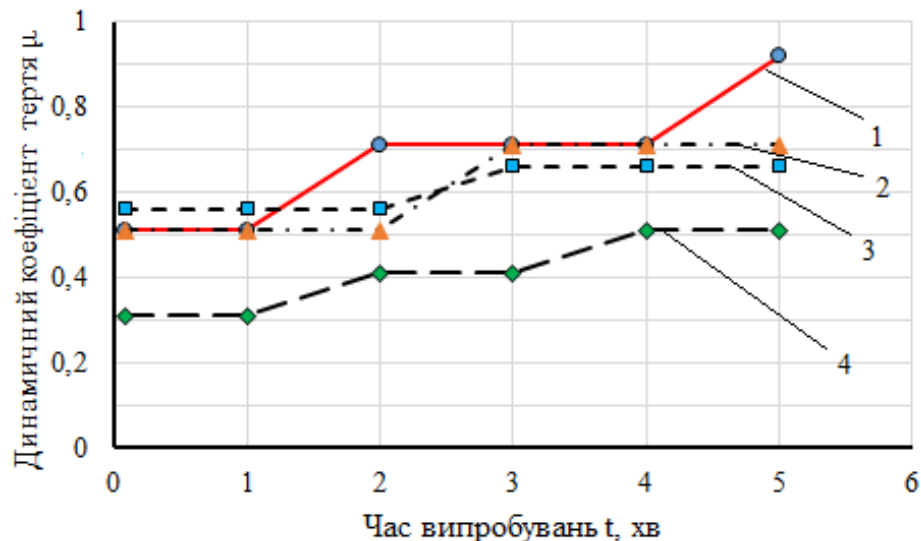
а - при газополум'яному формуванні; б – при іоноплазмовому формуванні; 1 – вихідне покриття; 2 – ітрію 0,1%; 3 – ітрію 0,3%; 4 – ітрію 0,5%

Таблиця 5. Оцінка покриттів після витримки у статичному високотемпературному середовищі

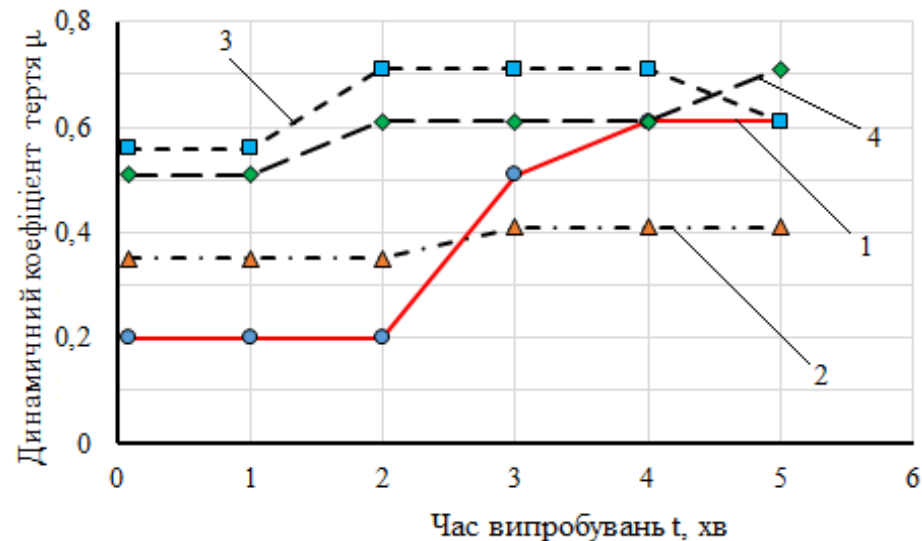
Спосіб формування	Параметр	Кількість балів min→max стійкість			
		1	2	3	4
Газополум'яний	I_m	0,1	0,3	0	0,5
	μ	0	0,1	0,3	0,5
Іоноплазмовий	I_m	0,1	0,5	0,3	0
	μ	0,1	0,3	0,5	0

Примітка. У стовпцях під балами наведені значення концентрацій ітрію.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ НА ЕТАПІ №4.



а



б

Рисунок 7. Залежність динамічного коефіцієнта тертя від часу тріботехнічного випробування покриттів при $T=950-1020\text{ }^{\circ}\text{C}$ після витримки у печі:

а - при газополум'яному формуванні; б – при іоноплазмовому формуванні; 1 – вихідне покриття; 2 – ітрію 0,1%; 3 – ітрію 0,3%; 4 – ітрію 0,5%

Таблиця 6. Оцінка покриттів після витримки у статичному високотемпературному середовищі

Спосіб формування	Параметр	Кількість балів min→max стійкість			
		1	2	3	4
Газополум'яний	I_m	0,1	0,3	0,5	0
	μ	0	0,3	0,1	0,5
Іоноплазмовий	I_m	0	0,5	0,1	0,3
	μ	0,3	0,5	0,1	0

Примітка. У стовпцях під балами наведені значення концентрацій ітрію.

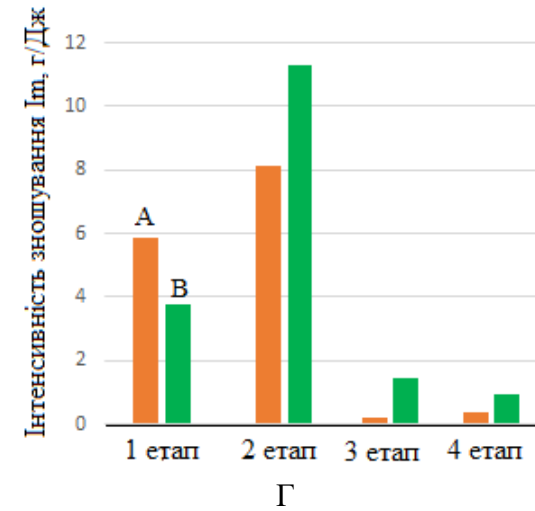
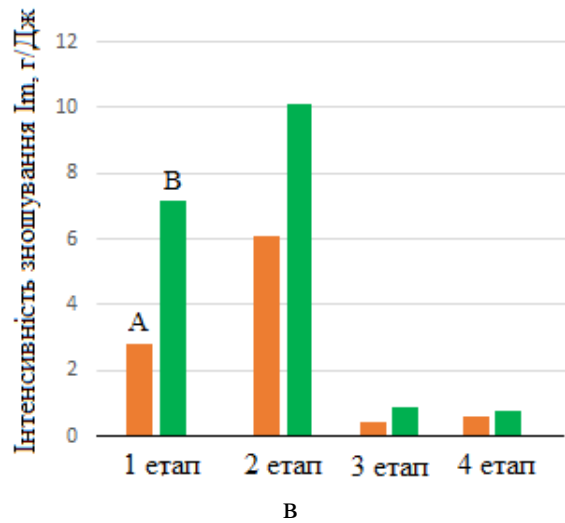
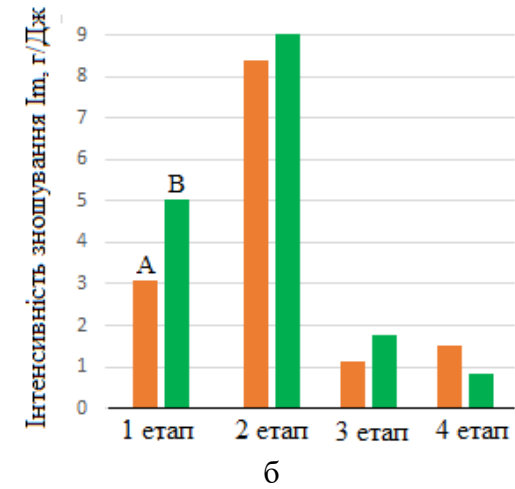
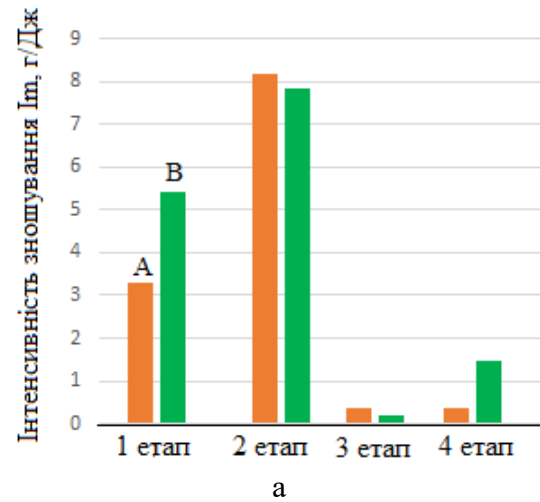


Рисунок 6. Діаграми співвідношень інтенсивностей зношування $I_m \cdot 10^{-5}$ матеріалів покриттів по етапам досліджень:
 А – покриття, що сформоване у газополум'яний спосіб; В – покриття, що сформоване в іоноплазмовий спосіб;
 а – без ітрію; б – ітрію 0,1%; в – ітрію 0,3%; г – ітрію 0,5 %

ВИСНОВКИ

За результатами триботехнічних випробувань покриттів із лігатур сплаву КНА-82 із додаванням ітрію 0,1%, 0,3%, 0,5% отримані данні, які дозволили встановити характер зміни динамічного коефіцієнта тертя від часу випробувань та численні значення енергетичної інтенсивності зношування матеріалу.

Здійснена оцінка покриттів, які формувалися у газополум'яний та іоноплазмовий спосіб, яка ґрунтувалася на тому, що максимальна стійкість до механічного руйнування буде визначатися проявом постійного найменшого значення динамічного коефіцієнта тертя, як ознака меншої дії сили тертя до досягнення межі втоми, та кількості відокремлених часток, які приходяться на виробництво одиниці інтегральної роботи сили тертя. При цьому зазначені параметри оцінки вишикувались в ряд за кількістю балів від 1 до 4. При цьому максимальний бал відповідає максимальній стійкості, тобто меншому значенню енергетичної інтенсивності зношування матеріалу та мінімальному значенню сталого коефіцієнта тертя.

Визначено, що однаковий збіг зазначених параметрів за бальними оцінками майже на всіх етапах випробувань (I-III) мало покриття, що формувалось у газополум'яний спосіб із концентрацією ітрію 0,3%-0,5%. Виключення склало покриття, що формувалось у іоноплазмовий спосіб, із концентрацією ітрію 0,1% на IV етапі випробувань.