

**В.Ю. Лоев, к.т.н., проф.
Б.М. Лещенко, магістрант
А.М. Тимощук, магістрант**

Житомирський державний технологічний університет

ЗВ'ЯЗОК МІКРОРЕЛЬЄФУ ПОВЕРХОНЬ ПАР ТЕРТЯ З ІНТЕНСИВНІСТЮ ЇХ ЗНОШУВАННЯ ПРИ НЕСТАЦІОНАРНИХ УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

В статті на відміну від попередніх публікацій, пов'язаних з мікрорельєфом поверхонь пар тертя, досліджується взаємодія поверхонь деталей, що мають різноманітний або однаковий, повністю чи частково регулярний, мікрорельєф поверхонь ковзання, а також різні або однакові параметри шорсткості, що дає можливість, залежно від призначення поверхонь деталей, умов навантаження, змащування тощо, досягати мінімального часу їх припрацювання та подальшої мінімізації інтенсивності зношування.

Передбачаються подальші експериментальні дослідження при різних матеріалах пар тертя, що застосовуються для напрямних обладнання різного призначення, з метою визначення оптимальних параметрів і рельєфу спряжених поверхонь, а також способів їх обробки із забезпеченням виконання вимог нормативних документів стосовно твердості і шорсткості поверхонь деталей машин і механізмів, в наведених у відповідних державних стандартах.

Ключові слова: шорсткість; рельєф мікронерівностей; інтенсивність зношування; змащувальна плівка; маслоємність; рівноважна шорсткість, точність.

Вступ. Постановка проблеми. Довготривалість збереження точності обладнання, в першу чергу, залежить від інтенсивності зношування відповідальних рухомих з'єднань, а саме напрямних ковзання.

Експлуатаційні параметри таких з'єднань характеризуються нестаціонарними умовами навантаження та швидкостями рухів.

Забезпечення стабільності експлуатаційних властивостей контактуючих поверхонь деталей, їх мінімальної інтенсивності зношування, є актуальною проблемою машинобудування.

Контактуючі поверхні деталей пар тертя, в переважній більшості отримуються механічною обробкою з видалення поверхневого шару із застосуванням різноманітних фінішних операцій, в тому числі пластичного деформування тощо.

Технологічні методи інженерії поверхневих шарів контактуючих поверхонь деталей мають забезпечувати їх експлуатаційні характеристики, тобто тривалу працездатність при змінних умовах навантаження і діапазонах швидкостей.

Пошуку оптимальних сполучень різноманітних рельєфів і значень параметрів шорсткості поверхонь деталей тертя присвячена ця робота.

Аналіз основних досліджень і публікацій. Одним із засновників сучасної науки про тертя є Ігор Вікторович Крагельський, автор молекулярно-механічної теорії тертя і втомлюваної теорії зношування.

Дійсно, у 1943 році, незалежно один від одного, англійський вчений Ф.П. Боуден і американський Тейбор Д., висловили ідею про подвійну теорію тертя, але механічну складову вони відкинули, вважаючи її незначною.

В роботі [1] наведено більше семисот робіт, присвячених проблемам тертя і зношування в різних умовах експлуатації без змащування та зі змащуванням, у стаціонарному стані та зі змінними умовами навантаження пар тертя.

Значний внесок у розвиток технологічного забезпечення підвищення експлуатаційних властивостей деталей машин і їх з'єднань зроблено Анатолієм Григоровичем Сусловим та його школою [3].

Вперше термін «трибологія» був застосований у 1966 році професором П.Д. Джостом у звіті комітета міністерства науки і освіти Великобританії (DES).

Термін означав науку і технологію взаємодії поверхонь, що знаходяться у відносному русі, а також пов'язані з цим явища та їх практичні наслідки [4].

В процесі тертя відбувається значна кількість змін у поверхневих шарах матеріалів взаємодіючих деталей. В роботі [1] запропоновано їх поділ на три класи:

I – що відносяться до геометричної конфігурації поверхонь;

II – що відносяться до структури приповерхневого шару, самого твердого тіла, які впливають на механічну складову тертя;

III – що відносяться до плівок, які з'являються на поверхні і впливають на молекулярну складову тертя;

В сучасній теорії вирішення триботехнічних задач надійності машин використовують як основну розрахункову характеристику процесу зношування поверхонь тертя рухомих з'єднань інтенсивність лінійного зношування I_h , яка визначається одним з наступних безрозмірних співвідношень:

$$I_h = \frac{dh}{dL_T} [5]; I_h = \frac{dV}{A_T dL_T} [6]; I_h = \frac{\lambda}{\rho_T} \frac{dG}{dL_T} [7]; I_h = \lambda \tau_a \frac{dV}{dW} [8];$$

де h , V , G – величина лінійного, об'ємного і масового зносу відповідно; L_T – шлях тертя; A_T – номінальна площа тертя; $\tau_a = \frac{F_T}{A_a}$ – питома номінальна сила тертя; A_a – номінальна площа контакту; F_T – сила тертя;

$W = L_T \cdot F_T$ – робота сили тертя; ρ_T – щільність матеріалу що зношується;

$$\lambda = \frac{A_A}{A_T}; \lambda = K_{B3} \text{ – коефіцієнт взаємного перекриття.}$$

В окремих випадках доцільно використовувати для розрахунків об'ємну I_V , масову I_G або енергетичну I_W інтенсивність зношування; $I_V = \frac{dV}{dL_T}$; $I_G = \frac{dG}{dL_T}$; $I_W = \frac{dV}{dW}$.

Часто застосовують таку характеристику, як швидкість зношування: $v_h = \frac{dh}{dt_{ck}}$,

$$\text{яка пов'язана з інтенсивністю співвідношенням: } I_h = \frac{V_h}{V},$$

де V і t_{ck} – відповідно швидкість і час ковзання.

Величина зворотня інтенсивності або швидкості зношування називається зносостійкістю.

При взаємодії двох шороховатих поверхонь профіль більш м'якої неперервно змінюється, тобто змінюється і коефіцієнт тертя. Відбувається процес припрацювання, який закінчується отриманням оптимальної (рівноважної) шорсткості, процес самоорганізації.

Доктор технічних наук, професор Ф.Я. Якубов підкреслював, що внутрішнім проявом самоорганізації при терті є наступні процеси:

- формування вторинних структур з іншою, більш високою міцністю і зносостійкістю порівняно з вихідною;

- розвиток рівноважної шорсткості незалежно від вихідної мікрогеометрії поверхонь тертя;

- підвищення фактичної площі контакту за рахунок припрацьованого зношування і, як наслідок, контактних навантажень;

- реалізація ефекту вибіркового перенесення матеріалу і таке інше.

Зовнішнім проявом самоорганізації є зниження і стабілізація практично всіх енергетичних, силових і триботехнічних параметрів процесу тертя і зношування, а саме коефіцієнта тертя, температури, інтенсивності зношування.

Задача полягає лише в тому, яким чином забезпечити найкоротший час процесу припрацьовання з подальшим низьким коефіцієнтом інтенсивності зношування.

Викладення основного матеріалу. Зміну початкового профілю в часі можливо визначити усіченням математичної моделі поверхні площиною, розташованою від базисної площини на деякому рівні h_c , який можливо задавати і рахувати фіксованою змінною [9]

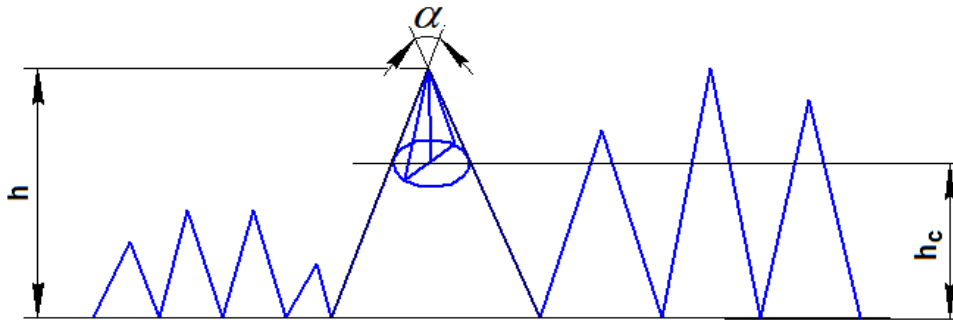


Рис. 1. Математична модель поверхні

α – кут при вершині нерівностей;

h_c – ефективна висота профілю.

Модель являє собою сукупність усічених конусів на деякому рівні h_c , для якої можливо записати наступне співвідношення: $F_d = \tau_s S_d$, де F_d – деформаційна складова сили тертя F ; S_d – площа виступів, які можуть деформуватися при контакті.

Це співвідношення можливо записати так: $F_d = \tau_s S_3 \left(\frac{S_H - S_C}{S_H} \right)$,

де S_3 – площа виступів, що знаходяться в зачепленні; S_C – площа перетину на рівні h_c ; S_H – номінальна площа поверхні.

Зсув одиниці площі буде дорівнювати: $\delta = \frac{h_c \tau_s}{G} \left[1 - \frac{S_C}{S_H} \int_{h_c}^{h_m} (h - h_c)^2 \varphi(h) dh \right]$,

де $\varphi(h)$ – функція щільності розподілення нерівностей по висоті; G – модуль зсуву; h_m – максимальна висота вихідного профілю.

Враховуючи те, що S_d і S_3 – ніколи не однакові, для них справедливе співвідношення $S_d \leq S_3$,

тобто, реальна величина δ буде більшою. $\delta = \frac{F_d h_c}{G S_d}$,

Більш повно відображає істинну картину явищ при навантаженнях критерій В.А. Бабичкова, по якому вплив схеми напруженого стану на пластичність матеріалів оцінюється по відношенню до

нормального напруження на октаедричних площадках до дотичних на тих самих площадках, за коефіцієнтом м'якості K .

$$K = \frac{1}{\int_0^{h_m} h^2 q(h) dh},$$

Тоді
$$\delta = \frac{F_D h_c}{G} \frac{\int_h^{h_m} h^2 \varphi(h) dh}{\int_h^{h_m} (h - h_c)^2 \varphi(h) dh}, \text{ в разі, якщо } h_c \geq \frac{h_m}{2}.$$

і
$$\delta = \frac{F_D h_c}{G} \frac{\int_0^{h_m} h^2 q(h) dh}{\int_{h_c}^{h_m} (h - h_c)^2 q(h) dh}, \text{ в разі, коли } h_c \leq \frac{h_m}{2}$$

В наведених виразах функція $\varphi(h)$ характеризує мікрогеометрію поверхні, а величина h_m – мікрогеометрію одиничного виступу, $h_m = a \times \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$,

де a – розмір основи одиничного виступу; α – кут при вершині мікрорівняння.

В роботі [9] зроблені висновки, що на величину деформації зсуву найбільший вплив має кут φ . Зі збільшенням кута φ величина деформації зменшується. Запропоновано для більш чіткої залежності величини деформації δ від мікронерівностей поверхні задавати певний закон розподілення нерівностей за висотою і визначити δ , наприклад, для $h_c = 0.5h_m$.

$$\varphi(h) = \operatorname{const}, \delta = \frac{\tau_s h_c}{G} \left[1 - \frac{(h_m - h_c)^2}{h_m^3} \right]; \quad h_i = h_m, \delta = \frac{\tau_s h_c}{G} \left[1 - \frac{(h_m - h_c)^2}{h_m^2} \right]$$

З урахування другої складової сили тертя, обумовленої адгезійною взаємодією поверхонь:

$$\delta = \frac{h_c}{G} \left[\tau_s \left(1 - k \int_{h_c}^{h_m} (h - h_c)^2 \varphi(h) dh \right) + kaP \int_{h_c}^{h_m} (h - h_c)^2 \varphi(h) dh \right],$$

де k – геометричний параметр.

Для практичних цілей використовують співвідношення: $\frac{\delta}{F} = \frac{h_c}{G \delta_3}$,

де δ_3 – тангенціальна деформація поверхні;

δ і F – реально визначені величини.

В інтервалі $0 \leq h_c \leq \frac{1}{2} h_m \times a \times \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$ величина δ змінюється повільніше, ніж складова сили тертя F_D (ліва гілка кривої на рис. 2).

Такий профіль підходить для стабільно працюючих поверхонь.

В інтервалі $\frac{1}{2} a \times \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \leq h_c \leq a \times \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$ величина δ зростає швидше, ніж F_D (права гілка кривої).

Це визначає переважні границі вибору параметра h_c для полегшення припрацювання.

$$\frac{1}{2} a \times \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \leq h_c = a \times \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$$

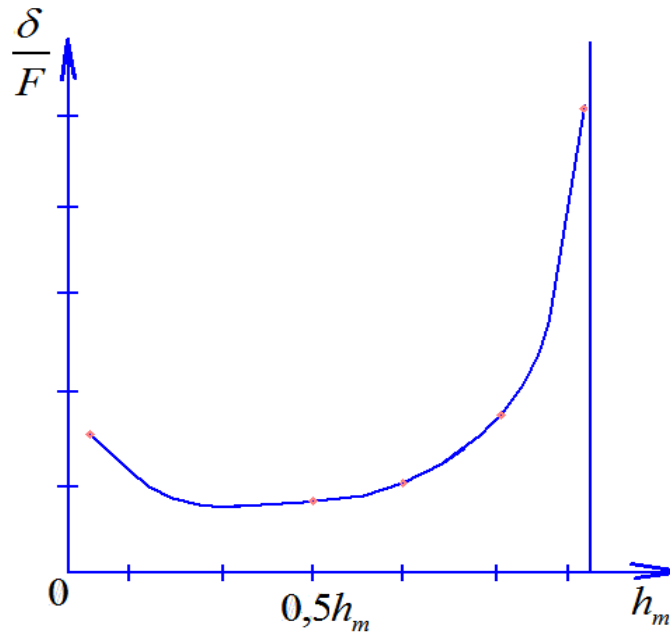


Рис. 2. Вплив параметра h_c на тангенціальну податливість поверхні

В роботі [3] для забезпечення необхідної зносостійкості деталей параметри поверхневого шару визначаються із залежності:

$$\frac{H_p W_p R_p^4 k_1'^2}{S_m^6} = 3375 \left[\frac{\sigma_T E}{\pi(1-\mu^2)} \right]^3 \left(\frac{10 J_n}{\chi p} \right)^6, \quad (1)$$

де H_p – висота згладжування макровідхилення, що характеризує металоємність поверхні;

W_p – висота згладжування профіля хвилястості;

R_p – висота згладжування мікронерівностей;

k_1' – степеь зміцнення поверхневого шару;

S_m – середній крок мікронерівностей;

σ_T – межа текучості матеріалу;

E – модуль пружності;

μ – коефіцієнт Пуассона;

J_n – інтенсивність зношування;

χ – коефіцієнт: $\chi = \frac{1}{2(\nu+1)} \sqrt{\frac{\nu}{2a}}$,

де a – коефіцієнт, що враховує різницю площі перетину виступів мікронерівностей на висоті p , від фактичної площі контакту на тому ж рівні; ($a=1$; згідно з розробленою теорією контактної взаємодії деталей машин)

$\nu = 2t_m \frac{R_p}{R_a} - 1$ – параметр апроксимації початкової частини опорної кривої профіля.

де t_m – відносна опорна довжина профіля по середній лінії,

p – рівень площі перетину мікронерівностей.

В період припрацювання в роботі [3] пропонується визначення інтенсивності зношування за такою залежністю:

$$I_h = \frac{2.5\nu^{0.5} Ra^{\frac{2}{3}}}{n\lambda(\nu+1)S_m t_m^{\frac{3}{2}}} \left(\frac{P}{k'_1 \sigma_{\setminus T}} \right)^{\frac{7}{6}} \times \sqrt{15\pi(2\pi W_z H_{\max})^{\frac{1}{3}} \left[1 + \frac{2\pi k'_1 \sigma_T (1-\mu^2)}{F} \right]}. \quad (2)$$

Рівноважний стан поверхневого шару деталі характеризується параметрами:

$$C_x = (R_p^v W_p^2 H_p^2)^{\frac{1}{v+4}} \times \frac{k^{\left(\frac{b+1}{v+4}\right)}}{\rho_m}, \quad (3)$$

значення якого можливо підрахувати за формулою:

$$C_x = \frac{0.5\tau_0^4 \sigma_T^{\left(\frac{1}{v+4}-t\right)}}{\pi^2 \left(\frac{1-\mu^2}{E}\right)^2 a_r^4 (1.7p)^{\frac{1}{v+4}}}. \quad (4)$$

Прийнявши $\nu = 2$ і $R_p = 3Ra$, а також підставляючи $\rho_m = \frac{S_m^2 t_m^2}{6 \times 10^3 Ra}$ [3] в рівняння (3),

отримаємо:

$$C_x = \frac{H_p W_p R_p^4}{S_m^6 k_1'^2}.$$

Але, в першу чергу, нас цікавить час припрацювання поверхонь з різним або однаковим рельєфом поверхонь пар тертя.

Сумарний час припрацювання в роботі [9] пропонується визначати за залежністю:

$$t_{\Sigma} = \frac{R_z}{V_H} \left(1 - \sqrt[3]{2 - \Psi} \right) \frac{\lg \frac{N_{\max}}{N_1} \psi}{\lg \psi},$$

де R_z – середнє значення шорсткості для деталі вузла, що має нижчий клас шорсткості;

N_{\max} – максимальне навантаження при припрацюванні (як правило $N_{\max} = 50\%$ від середнього експлуатаційного навантаження);

V_H – швидкість початкового зношування при навантаженні N (встановлюється експериментально для заданого матеріалу і конкретному абразивному середовищі);

ψ – прийнятий коефіцієнт збільшення навантаження,

$\psi = 1,1 - 1,3$.

Кількість ступенів припрацювання n з навантаженням N_i для кожного ступеня з порядковим номером ступеня i визначається:

$$N_i = N_1 \psi^{i-1}; \quad n = \frac{\lg \frac{N_{\max}}{N_1} \psi}{\lg \psi}.$$

Відповідно до вимог нормативних документів (ГОСТ 7599-82) «Станки металлообрабатывающие. Общие технические условия», підпункт 2.3.5, не допускається однакова твердість напрямних, що ковзаються одна по одній, а напрямні ковзання з чавуну повинні мати твердість 48 HRC (підпункт 2.2.3.)

В разі застосування сталевих накладних напрямних ковзання їх твердість має складати 55HRC.

В свою чергу напрямні супортів, салазок, столів тощо, що переміщуються по напрямних станини, для верстатів середньої категорії за масою (від 1 до 10 т.) мають бути пришабрені з різною кількістю плям контакту в квадраті 25x25мм. (для верстатів класу точності Н – 12 шт., для класу точності П – 15 шт., для

класів точності В, А, С – 20 шт.) глибиною не більше 6 мкм. із забезпеченням опорної поверхні не менше 70 %.

Шорсткість обробки напрямних ковзання для цих верстатів при ширині напрямних більше 25 до 100 мм має не перевищувати:

- для класу точності Н – Ra 1,25;
- для класу точності П і В – Ra 0,63;
- для класу точності А і С – Ra 0,32;

В той же час немає навіть рекомендацій щодо рельєфу мікросшорсткості поверхонь в парах тертя, хоча ДСТУ 2413-94 налічує позначення форми та напрямів розташування шорсткості (паралельне \sqrt{L} , перпендикулярне $\sqrt{\perp}$, перехресне \sqrt{X} , довільне \sqrt{M} , колове \sqrt{C} , радіальне \sqrt{R} , крапкоподібне \sqrt{P}).

Можливе також застосування повністю або частково регулярного мікрорельєфу поверхонь відповідно до ГОСТ 24773-81 “Поверхности с регулярным микрорельефом. Классификация параметров и характеристики”

Отримання необхідної шорсткості поверхні напрямних можливо значною кількістю технологічних операцій, створюючи різноманітні рельєфи мікронерівностей, залишкові напруження та структури поверхневого шару.

Технологічними операціями, що забезпечують отримання шорсткості Ra 0,63 можуть бути:

- стругання поздовжнє і поперечне;
- торцеве фрезерування;
- шліфування периферією круга;
- шліфування торцем чашкового круга;
- комплексний спосіб (торцеве фрезерування з вигладжуванням), тощо.

Як підкреслюється в роботі [1] однією з важливих закономірностей припрацювання є незалежність рівноважної шорсткості від початкової, але в той же час залежної від умов зношування: матеріалу пар тертя, стиску, температури на поверхні тертя, умов зношування, наявності забруднень в змащувальному матеріалі тощо.

Також наголошується, що процес утворення мікронерівностей в процесі тертя вивчений недостатньо повно.

Синергетичний підхід до процесів самоорганізації при терті і зношуванні [10] не вніс суттєвих змін в поглядах на процес припрацювання. В роботі підкреслено, що самоорганізація є фундаментальним явищем природи.



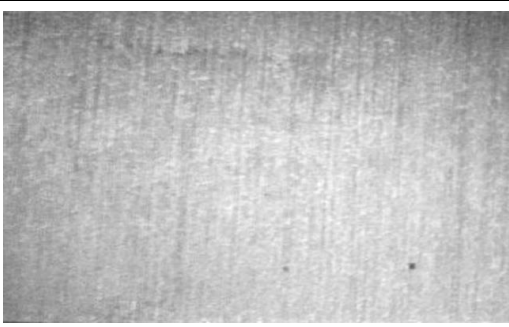
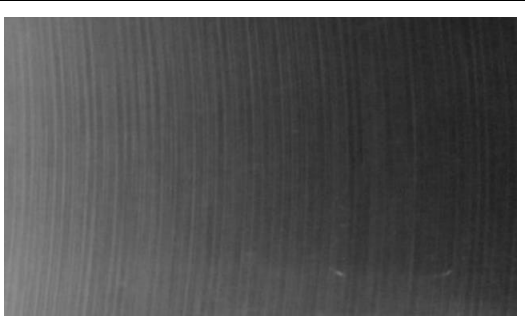

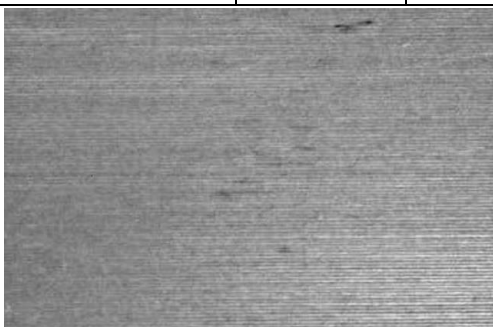

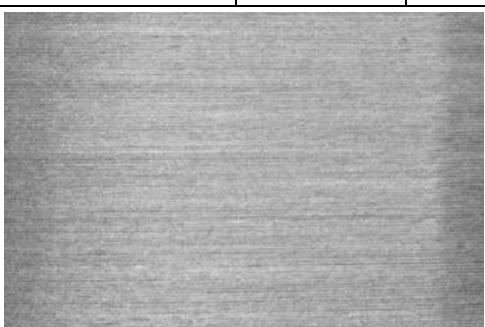
В техніці і в технології процеси систематизації найбільш проявляються при терті, тобто при формуванні вторинних контактних структур і зношування.

З метою отримання оптимального, з точки зору мінімізації часу припрацювання та інтенсивності зношування при подальшій експлуатації сполучення різноманітних та однакових рельєфів поверхонь пар ковзання, проведені теоретичні і заплановані експериментальні дослідження.

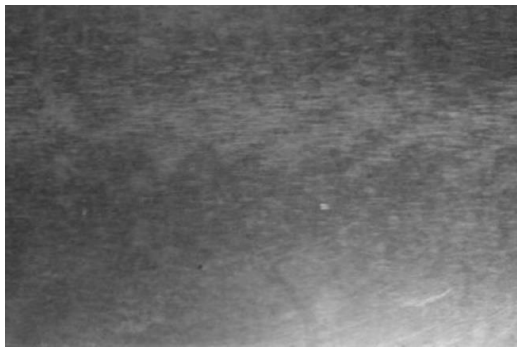



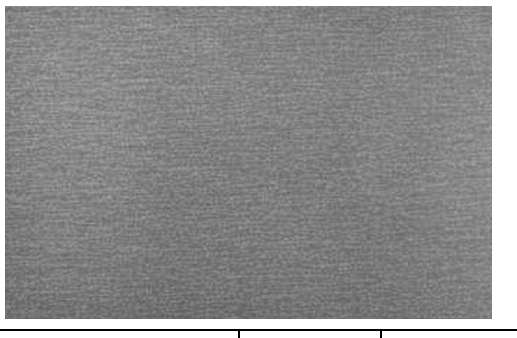
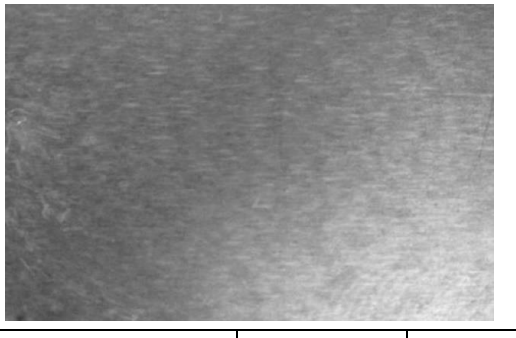
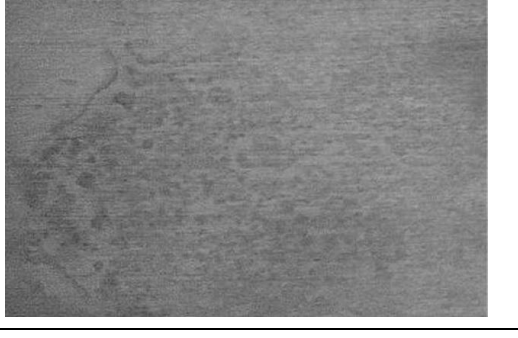
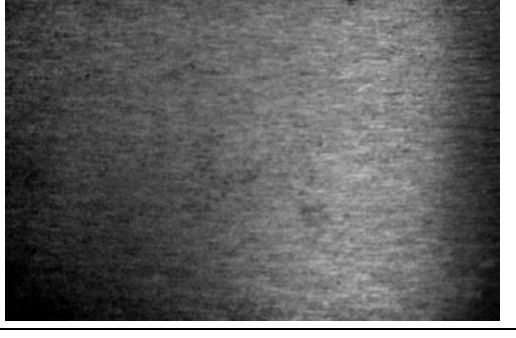
Для проведення порівняльних досліджень підготовлені наступні зразки та визначена маслоємність їх поверхонь (табл. 1 і 2).

Таблиця 1


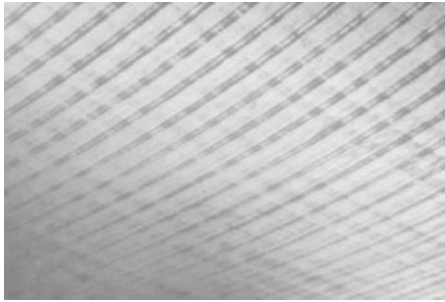
Поверхні дослідних зразків

Зразки оброблених поверхонь із чавуну				Зразки оброблених поверхонь зі сталі			
№ з/п	торцеве	поздовж	поперек	№ з/п	торцеве	поздовж	поперек
	фрезерування	Ra 0,6	Ra 0,4		фрезерування	Ra 0,7	Ra 0,3
1				5			
2	торцеве	поздовж	поперек	6	торцеве	поздовж	поперек
	фрезерування	Ra 1,4	Ra 1,0		фрезерування	Ra 0,9	Ra 0,1
3				7			
	стругання	поздовж	поперек		стругання	поздовж	поперек
4				8			
	стругання	поздовж	поперек		стругання	поздовж	поперек
4				8			
	стругання	Ra 0,9	Ra 1,6		стругання	Ra 0,3	Ra 1,8

Продовження табл. 1

Зразки оброблених поверхонь із чавуну				Зразки оброблених поверхонь зі сталі			
№ з/п	пласке шліфування	поздовж	Поперек	№ з/п	пласке шліфування	поздовж	поперек
		Ra 0,1	Ra 0,4			Ra 0,1	Ra 0,2
9				13			
10	пласке шліфування	поздовж	Поперек	14	пласке шліфування	поздовж	поперек
		Ra 0,4	Ra 0,9			Ra 0,1	Ra 0,4
							
11	пласке шліфування	поздовж	Поперек	15	пласке шліфування	поздовж	поперек
		Ra 0,5	Ra 0,6			Ra 0,2	Ra 0,7
							
12	пласке шліфування	поздовж	Поперек	16	пласке шліфування	поздовж	поперек
		Ra 0,7	Ra 1,8			Ra 0,6	Ra 2,0
							

Закінчення табл. 1

Зразки оброблених поверхонь зі сталі				Зразки оброблених поверхонь зі сталі			
17	торцеве шліфування	поздовж	поперек	18	Торцеве шліфування	поздовж	поперек
		Ra 0,5	Ra 0,7			Ra 1,0	Ra 1,1
							

Таблиця 2

Маслоємність поверхонь зразків

№ з/п	Шорсткість, Ra		Вага зразків*, г		Маслоємність поверхні, г
	вздовж	поперек	без мастила	з мастилом	
1	0,6	0,4	22,72245	22,7765	0,05405
2	1,4	1	20,07395	20,13305	0,0611
3	0,6	0,9	21,02960	21,10355	0,07395
4	0,9	1,6	21,04880	21,12980	0,08100
5	0,7	0,3	23,61905	23,67145	0,0524
6	0,9	0,1	24,23655	24,2935	0,05695
7	0,3	1,1	23,8757	23,93775	0,06205
8	0,3	1,8	24,0788	24,4025	0,06145
9	0,1	0,4	19,13145	19,1725	0,04085
10	0,4	0,9	20,8568	20,91985	0,06305
11	0,5	0,6	21,4423	21,50745	0,06515
12	0,7	1,8	21,8877	21,95655	0,07485
13	0,1	0,2	22,43095	22,4713	0,04035
14	0,1	0,4	22,72505	22,7742	0,04917
15	0,2	0,7	22,99905	22,3521	0,05305
16	0,6	2,0	22,2678	22,3259	0,05810
17	0,5	0,7	22,99045	23,04855	0,0581
18	1,0	1,1	22,7876	22,85635	0,06875

* Середнє значення з 3-х вимірів

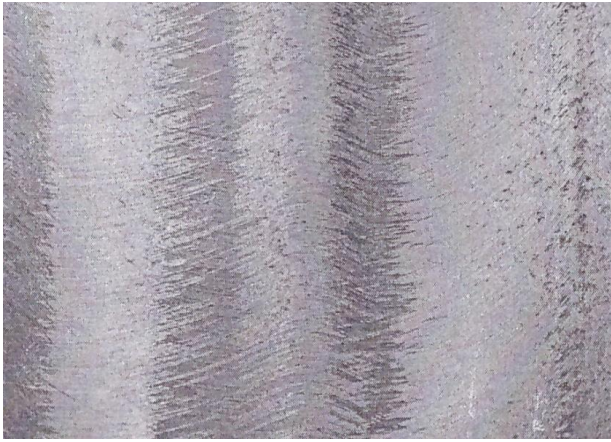
Площа зразків 20x30=600 мм²

Мастило: Індустріальне 20

Поверхня зразка обробленого торцевим лезовим інструментом з планетарним рухом формоутворюючих елементів з надтвердого матеріалу Гексаніт Р

Сталь 45, HRC48

Площа зразка 20 x 30 = 600 мм²

		
Вздовж	Ra 0,2	
поперек	Ra 0,3	
Вага зразка без мастила, г	Вага зразка з мастилом, г	Маслоємність поверхні, г
24,7854	24,8489	0,06350

Мастило: Індустріальне 20

Проведені попередні лабораторні дослідження при наступних початкових умовах:

1. Базовою поверхнею дослідного зразка прийняти шліфвання торцевим чашковим кругом загартована поверхня чавунного зразка HRC 40; шорсткість: поздовжна Ra=0.5мкм, поперечна Ra=0,6мкм; маслоємність 0,06515г.

2. Зразки відібрані для попередніх досліджень (табл. 3).

Таблиця 3

№ зразка	Матеріали	Шорсткість, Ra		Метод обробки	Маслоємність поверхні, г.
		позд.	попер.		
1	Чавун	0,6	0,4	Плоске шліф.	0,05405
2	Чавун	1,4	1,0	Плоске шліф.	0,0611
3	Чавун	0,6	0,9	Стругання	0,07395
4	Чавун	0,9	0,6	Стругання	0,08100
9	Чавун	0,1	0,4	Торцеве фрез.	0,04085
12	Чавун	0,7	1,8	Торцеве фрез.	0,07485

3. Зусилля притискання зразків ступінчасте: 15Н,20Н,25Н.

Проведення експериментальних досліджень супроводжувались контролем часу припрацювання та значення досягнутої рівноважної шорсткості.

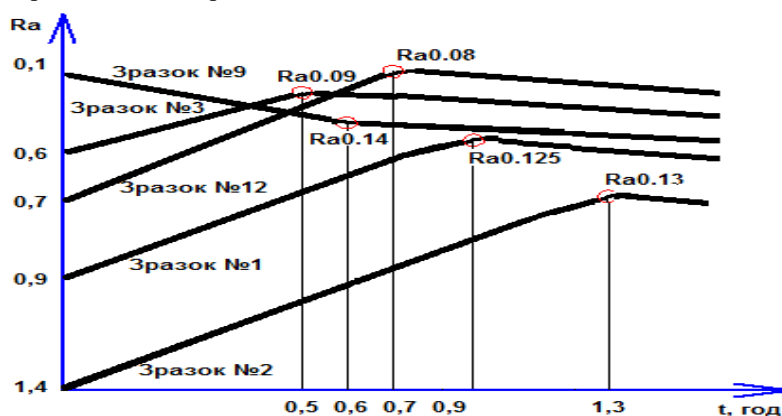


Рис. 3. Графіки результатів попередніх досліджень часу досягнення рівноважної шорсткості та її величини

Попередні висновки. Аналіз результатів дослідження процесу припрацювання п'ятьох зразків з чавуну, поверхні тертя яких отримані плоским шліфуванням, струганням і торцевим фрезеруванням, надає можливість зробити наступні попередні висновки:

1. Час припрацювання суттєво залежить від вихідної шорсткості і рельєфу мікронерівностей зразка, отриманого різними технологічними операціями (від 0,5год. до 1,3год.).
2. Значення шорсткості припрацьованих поверхонь (рівноважної шорсткості) знаходиться в певному діапазоні величин: від $Ra=0,08\text{мкм}$ до $Ra=0,14\text{мкм}$.
3. Відповідність теоретичних розрахунків і результатів експериментальних досліджень, а також рекомендацій щодо конкретних оптимальних значень параметрів шорсткості і її мікрорельєфу пар тертя будуть надані по результатам досліджень всіх наведених зразків при різних умовах навантаження та взаємному розташуванні.

Список використаної літератури:

1. Крагельский И.В. Основы расчётов на трение и износ / И.В. Крагельский, М.Н. Добычин, В.С. Комбалов. – М. : Машиностроение. – 1977. – 526 с.
2. Рыжов Э.В. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин / Э.В. Рыжов. – К. : Наукова думка, 1984. – 272 с.
3. Технологическое обеспечение и повышение эксплуатационных свойств деталей и их соединений / А.Г. Суслов, В.П. Фёдоров, О.А. Горленко и др. ; под ред. А.Г. Суслова. – М. : Машиностроение, 2006. – 443 с.
4. Потеха В.Л. Трибодилатометрия / В.Л. Потеха. – Гомель : ГГТУ, 2000. – 374 с.
5. Блюмен А.В. О расчёте износа при переменном режиме трения / А.В. Блюмен, Д.Г. Точельников, Г.М. Харач // Тезисы докладов Всесоюзной научной конференции : ч. 1 : Теория трения и износа. – Ташкент : Таш. П.Н. – 1975. – 174 с.
6. Блюмен А.В. Расчётная оценка интенсивности изнашивания и ресурсы сопряжения «вал–втулка» с обратной парой трения / А.В. Блюмен, Г.М. Харач, Д.Г. Эфрос // Вестник машиностроения. – 1976. – № 2. – С. 29–32.
7. Крагельский И.В. Узлы трения машин / И.В. Крагельский, Н.М. Михин // Справочник: (Основы проектирования машин). – М. : Машиностроение. – 1983. – 520 с.
8. Трение, изнашивание и смазка : спр-к в 2-х томах / под ред. И.В. Крагельского, В.В. Алишина. – М. : Машиностроение, 1978–1979. – Кн. 1. – 399 с. ; Кн. 2. – 358 с.
9. Шильгорин Ф.А. Состояние и перспективы развития проблемы приработки узлов трения в кузнечно-прессовом машиностроении / Ф.А. Шильгорин. – М., 1986. – 64 с.
10. Якубов Ф.Я. Синергетика и процессы самоорганизации при трении и изнашивании / Ф.Я. Якубов // Сучасні технології в машинобудуванні // Modern technologies in mechanical engineering : зб. наук. пр. – Харків : НТУ «ХПУ», 2010. – Вип. 5. – С. 122–133.

References:

1. Kragel'skij, I.V., Dobychin, M.N. and Kombalov, V.S. (1977), *Osnovy raschjotov na trenie i iznos*, Mashinostroenie, Moskva, 526 p.
2. Ryzhov, Je.V. (1984), *Tehnologicheskie metody povyshenija iznosostojkosti detalej mashin*, Naukova dumka, Kiev, 272 p.
3. Suslov, A.G., Fjodorov, V.P. and Gorlenko, O.A. (2006), *Tehnologicheskoe obespechenie i povyshenie jekspluatacionnyh svojstv detalej i ih soedinenij*, in Suslov, A.G. (ed.), Mashinostroenie, Moskva, 443 p.
4. Poteha, V.L. (2000), *Tribodilatometrija*, GGTU, Gomeľ, 374 p.

5. Bljumen, A.V., Tochel'nikov, D.G. and Harach, G.M. (1975), «O raschjote iznosa pri peremennom rezhime trenija», *Tezisy dokladov Vsesojuznoj nauchnoj konferencii*, Part 1: *Teorija trenija i iznosa*, Tash. P.N., Tashkent, 174 p.
6. Bljumen, A.V., Harach, G.M. and Jefros, D.G. (1976), «Raschjotnaja ocenka intensivnosti iznashivaniya i resursy sopriazheniya «val–vtulka» s obratnoj paroj trenija», *Vestnik mashinostroenija*, No. 2, pp. 29–32.
7. Kragel'skij, I.V. and Mihin, N.M. (1983), «Uzly trenija mashin», *Spravochnik: (Osnovy proektirovaniya mashin)*, Mashinostroenie, Moskva, 520 p.
8. Kragel'skij, I.V. and Alisin, V.V. (ed.) (1978–1979), *Trenie, iznashivanie i smazka*, spravochnik, in 2 Volumes, Book 1, 399 p., Book 2, 358 p., Mashinostroenie, Moskva.
9. Shil'gorin, F.A. (1986), *Sostojanie i perspektivy razvitiya problemy prirabotki uzlov trenija v kuznechno-pressovom mashinostroenii*, Moskva, 64 p.
10. Jakubov, F.Ja. (2010), «Sinergetika i procesy samoorganizacii pri trenii i iznashivanii», *Suchasni tehnologii v mashinobuduvanni, Modern technologies in mechanical engineering*, zbirnyk naukovykh prac', NTU «HPU», Harkiv, part 5, pp. 122–133.

ЛОЄВ Володимир Юхимович – кандидат технічних наук, професор кафедри металорізальних верстатів і систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- комплексні і комбіновані методи обробки плоских поверхонь деталей машин.
- металорізальні верстати і системи.

ЛЕЩЕНКО Богдан Миколайович – магістрант кафедри металорізальних верстатів і систем Житомирського державного технологічного університету факультету інженерної механіки.

Наукові інтереси:

- фінішна обробка плоских поверхонь деталей торцевим лезовим інструментом зі створенням необхідного мікрорельєфу.
- створення маслоємної поверхні в парах тертя.

ТИМОЩУК Андрій Миколайович – магістрант кафедри металорізальних верстатів і систем Житомирського державного технологічного університету факультету інженерної механіки.

Наукові інтереси:

- перспективні напрямки розвитку лезової обробки плоских поверхонь деталей та їх інструментальне забезпечення.

Стаття надійшла до редакції 26.01.2017.