

На правах рукопису

БАЧИНСЬКА НЕЛЯ КАЗИМИРІВНА

УДК 621.891

ДОСЛІДЖЕННЯ КОНТАКТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ШОРСТКИХ, СИЛЬНО АНІЗОТРОПНИХ ПОВЕРХОНЬ

Спеціальність 05.02.04 - Тертя та знос в машинах

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук

Хмельницький 1994



00755968 (1)

37.250
Технічному Університеті Поділля

Doctor scientiae technicarum,
доктор технічних наук, професор
СЕМЕНЮК М.Ф.

ОФІЦІЙНІ ОПОНЕНТИ : доктор технічних наук, професор
КИСЛИЙ О.О.
кандидат технічних наук, доцент
КАРАЗЕЙ В.Д.

ВЕДУЧЕ ПІДПРИЄМСТВО : Красилівський машинобудівний
завод

Захист відбудеться "30 листопада" 1994 р. в 15⁰⁰ годин
на засіданні спеціалізованої ради Д.29.01.01 в Технологічному
Університеті Поділля за адресою 280016, м.Хмельницький,
вул. Інститутська, II, 3-й учбовий корпус, зал засідань.

З дисертацією можна ознайомитися в науковій бібліотеці
Технологічного Університету Поділля / вул.Кам'янецька 110/1 /.

Автореферат розіслано "28" жовтня 1994 р.

Вчений секретар
спеціалізованої ради,
кандидат технічних наук,
професор

Кіницький Я.Т.

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

ДВ - СТ. 250 - 3 -
ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність і ступінь дослідженості тематики

Розвиток машинобудування та інших галузей промисловості вимагає постійного вдосконалення машин та устаткування. Для цього необхідно вже на стадії проектування з достатньою точністю прогнозувати їх експлуатаційні якості.

Машини та устаткування містять вузли тертя, які є головним джерелом їх відказу та виходу з ладу. Підвищення зносостійкості вузлів тертя - найважливіший і найголовніший фактор збільшення строку служби машин та устаткування.

Найбільш раціональний шлях підвищення довговічності машин-оптимізація способів зменшення зносу матеріалів на основі розробки розрахункових методів оцінки зносу сполук, що труться. Створення узагальнених теоретичних моделей зношення дозволяє вже на стадії їх проектування обґрунтовано прогнозувати знос чи ресурс сполук, що труться.

В зв'язку з цим особливу актуальність набуває знання таких характеристик сполук, що труться, як фактична площа контакту, котра використовується в багатьох розрахункових методах теорії тертя та зносу, та контактні зміщення, які особливо важливі для визначення контактної жорсткості стиків деталей. Так, в метало-різальних верстатах величина контактних змішень складає майже 90% від загальної величини деформації.

Дослідження контактних характеристик базується на методах опису шорсткості поверхні. Одним з методів опису шорсткості є метод опорних кривих, який дає певне уявлення про побудову поверхні, але не дає достатньо точно визначити характеристики поверхні. Цей метод не враховує того, що профілограма дає спотворене уявлення про топографію поверхні, оскільки проходить по па-

горбах нерівностей, а не через їх вершини.

Принципово нові можливості для розвитку розрахункових методів тертя та зносу дає застосування теорії стохастичних полів. Цей метод, який використовується для гаусовських поверхонь, дозволяє розвивати такі методи розрахунку контактних характеристик, які виявляються не тільки значно простішими, але й точнішими в порівнянні з аналогічними розрахунковими методами, що оснований на опису шорсткості за способом опорних кривих.

В даний час методом стохастичних полів вивчені ізотропні поверхні та анізотропні поверхні загального виду. В той же час шорсткі поверхні з сильною анізотропією, які представляють собою важливий клас поверхонь тертя, практично не вивчені.

В зв'язку з цим, розробка розрахункових методів оцінки фактичної площі контакту та контактних змішень шорстких, сильно анізотропних поверхонь на основі теорії стохастичних полів є дуже важливою і актуальною задачею.

Мета роботи та основні завдання наукового дослідження - розробка розрахункових методів визначення фактичної площі контакту та контактних змішень, включаючи експериментальну перевірку та розробку інженерних методик розрахунку.

Теоретична та практична цінність дослідження та його наукова новизна. Виконано моделювання шорстких, сильно анізотропних поверхонь. Вивчені умови, при яких можлива заміна шорстких поверхонь поодинокими виступів та моделювання цих виступів поверхнями другого порядку.

За двома варіантами виконано розрахунок фактичної площі контакту при пружному контактуванні. Отримано чотири різновидності розрахункових формул.

Запропоновано дві різновидності формул розрахунку фактичної

площі контакту при пластичному контактуванні. При цьому враховується зміцнення матеріалу в процесі пластичного деформування.

На основі індекса Грінвуда отримано індекс пластичності шорстких, сильно анізотропних поверхонь.

Показано, що розповсюджена в даний час думка про сталість середньої площі окремого контакту із збільшенням навантаження справедлива лише при невеликих навантаженнях, в загальному ж випадку ця думка невірна.

Розроблена конструкція і виготовлена експериментальна установка, яка призначена для експериментального визначення контактних змішень поверхонь.

Запропоновано два варіанти формул визначення контактних змішень при пластичному контактуванні.

Розроблено чотири варіанти формул розрахунку контактних змішень при пружному контактуванні.

Розроблені методи розрахунку контактних змішень та площі контакту використовуються при проектуванні верстатних пристроїв та торцевих ущільнень.

Рівень реалізації, впровадження наукових розробок

Методи розрахунку фактичної площі контакту, рівня деформації, міжконтактного об'єму, контактних змішень та індексу пластичності доведені до інженерних методик. Результати роботи впроваджені на Красилівському машинобудівному заводі та Хмельницьких виробничих об'єднаннях "Укрелектроапарат", "Новатор".

Апробація. Основні положення роботи і її окремі результати доповідались і обговорювались на міжреспубліканській науково-технічній конференції "Якість та надійність вузлів тертя", Хмельницький, 23-25 вересня 1992; міжнародній науково-технічній конференції "Вдосконалення устаткування легкої промисловості та складної по-

бутової техніки", жовтень 1993, засіданнях наукових семінарів кафедр основ конструювання машин та машини і апарати легкої промисловості ТУ Поділля, науково-технічних конференціях викладачів Хмельницького технологічного інституту в 1992-94 рр.

Структура та обсяг роботи

Дисертація складається із вступу, восьми розділів, висновків, списку літератури та додатку.

Робота виконана на 150 сторінках машинописного тексту, включає 45 рисунків, 102 бібліографічних джерела.

Декларація конкретного особистого внеску дисертанта у розробку наукових результатів, що виносяться на захист

Дисертація містить лише ті наукові результати, які отримані дисертантом особисто.

Характеристика методології, методу дослідження об'єкта

Об'єктом дослідження є шорсткі, сильно анізотропні поверхні, При їх дослідженні використовуються методи математичного моделювання, теорії пружності та пластичності, обчислювальної математики, методи вимірювання фізико-механічних характеристик матеріалів, запису та аналізу параметрів шорсткості. Розроблена конструкція установки експериментального визначення контактних зміщень, індуктивним методом, проведені експериментальні дослідження, результати яких порівнюються з результатами розрахунків за формулами, одержаними дисертантом та за формулами інших авторів.

ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ містить обґрунтування актуальності теми та коротку анотацію змісту дисертації.

В розділі I проаналізовано існуючі методи розрахунку та експериментального дослідження фактичної площі контакту та контактних

змішень, сформульовано завдання подальших досліджень.

Розділ 2 присвячений моделюванню шорстких, сильно анізотропних поверхонь. При цьому висвітлюються такі питання :

1. За яких умов можлива заміна шорсткої поверхні сукупністю поодиноких виступів.
2. За яких умов можлива апроксимація поодиноких виступів поверхнями другого порядку.
3. Як можуть бути сформульовані необхідні умови моделювання.

Заміна шорсткої поверхні сукупністю поодиноких виступів можлива лише тоді, коли можна знехтувати злиттям поодиноких контактів в процесі навантаження з'єднання. За характеристику злиття контактів прийнято відношення " k " кількості контактів до кількості виступів, що вступили в контакт. Для розрахунку одержано формулу :

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{2} \left\{ \alpha^{1/2} \operatorname{erfc} \left[\frac{h \alpha^{1/2}}{[2(\alpha-1)]^{1/2}} \right] \exp(h^2/2) + 1 \right. \\ \left. + \operatorname{erfc} \left[- \frac{h}{[2(\alpha-1)]^{1/2}} \right] \right\}$$

де α - параметр ширини спектру поверхні; h - рівень деформації.

Позначимо h_2 - рівень деформації, що відповідає заданому значенню k . Залежність h_2 від параметра α зображена на рис.1.

Виходячи з того, що процесами злиття контактів можна знехтувати, якщо кількість контактів і кількість виступів, що вступили в контакт, відрізняються не більше, ніж на 5%, можна слідуючим чином записати умову, за якою можлива заміна шорсткої поверхні сукупністю поодиноких виступів :

$$h \geq h_1 = h_{0.95} = 1.7262 \ln \alpha - 0.7198$$

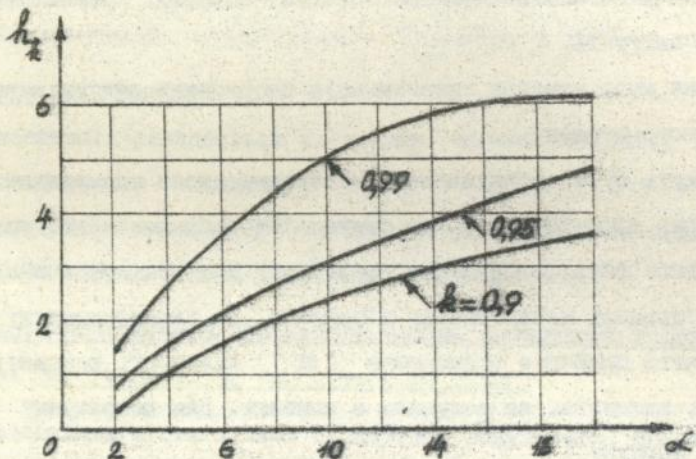


Рис. I Залежність h_z / α

При апроксимації виступів, які мають неправильну геометричну форму, тілами правильної геометричної форми повинен зберігатись розподіл матеріалу на шорстких поверхнях. Площа перерізу поверхні на висоті h , що приходить на матеріал, може бути обчислена за двома формулами. Якщо виходити з апроксимації виступів циліндричними параболоїдами, то одержимо :

$$\eta_1 = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{h}} \alpha^{1/4} \int_h^{\infty} \rho(z) \left[\frac{z-h}{K(z)/\sqrt{m_4}} \right]^{1/2} dz \quad / 3 /$$

де $\rho(z)$ - функція розподілу висот вершин виступів, $K(z)$ - кри-

визна в вершині виступів; z - висота виступа; m_4 - спектральний момент. Цю ж площу можна розрахувати, не користуючись моделюваннями, а виходячи лише з того, що висоти поверхні розподілені за законом Гауса:

$$\eta_2 = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(h/\sqrt{z}) \quad / 4 /$$

Величини η_1 , η_2 будуть рівними при виконанні таких умов:
а/ в розрахунках використовується скориговане значення кривизни:

$$K(z) \rightarrow \beta^2 K(z)$$

де
$$\beta = 1 / (4,004 + 0,0449 \ln \alpha)^4$$

б/ напруження в контакті є таким, що виконується умова:

$$h \geq h_{II} = \begin{cases} 0,25 + 0,375 \alpha, & \alpha \leq 6 \\ 3,2234 - 0,0214 \alpha, & \alpha > 6 \end{cases} \quad / 5 /$$

Таким чином, необхідні умови моделювання запишуться таким чином:

$$h \geq \max(h_2; h_{II}) \quad / 6 /$$

Розділ 3 присвячений розрахунку фактичної площі контакту при пружному контактуванні поверхонь.

Спочатку розглянуто розрахунок при невеликих навантаженнях. Існують два варіанти розрахунку контактування окремого виступу. При цьому маємо такі рівняння:
- варіант I:

$$\frac{\sigma_n}{Eg} = \frac{g}{4(2\pi)^{1/2} \beta^2} \int_h^\infty \frac{p(z)}{K(z)/\sqrt{m_4}} \left(\frac{x}{g}\right) dz \quad / 7 /$$

$$\eta = \frac{3}{\alpha \beta^2} \left(\frac{\alpha}{\alpha} \right)^{1/2} \int_h^{\infty} \frac{\rho(z)}{K(z)/\sqrt{m_4}} \frac{z}{q} dz \quad / 8 /$$

- варіант II :

$$\frac{\sigma_n}{E q} = \frac{1}{\alpha} \left(\frac{\alpha \alpha}{2} \right)^{1/2} \int_h^{\infty} \rho(z) (z-h) dz \quad / 9 /$$

$$\eta = \frac{\alpha^{1/4}}{\alpha \beta} \int_h^{\infty} \rho(z) \frac{(z-h)^{1/2}}{(K(z)/\sqrt{m_4})^{1/2}} dz \quad / 10 /$$

де σ_n - номінальне напруження в контактi ; E - приведений модуль Юнга контактуючих матеріалів ; q - градієнт поверхні ;

η - відношення фактичної площі контакту до номінальної ;

x - корінь рівняння :

$$\frac{1}{9} q^2 \alpha \beta \alpha^{1/2} (z-h) K(z)/\sqrt{m_4} - x^2 \ln x = 0 \quad / 11 /$$

Аналіз результатів розрахунків за рівняннями /7,8/ та /9,10/ свідчить про те, що з високою точністю можуть бути використані формули :

- варіант I :

$$\eta = \sigma_n / (c E), \quad / 12 /$$

де $c = q (0,812 q + 0,38) \quad / 13 /$

- варіант II :

$$\eta = \frac{1,77 \sigma_n}{E q} \quad / 14 /$$

Оскільки можливі два варіанти узагальнення одержаних формул на випадок великих навантажень, то загалом одержуємо 4 варіанти формул розрахунку фактичної площі контакту при будь-яких навантаженнях :

$$\eta = 1 - \exp\left(-\frac{\sigma_n}{cE}\right) \quad / 15 /$$

$$\eta = 1 - \exp\left(-\frac{1,77\sigma_n}{Eg}\right) \quad / 16 /$$

$$\eta = \frac{\sigma_n}{cE} / \left(1 + \frac{\sigma_n}{cE}\right) \quad / 17 /$$

$$\eta = \frac{1,77\sigma_n}{Eg} / \left(1 + \frac{1,77\sigma_n}{Eg}\right) \quad / 18 /$$

Перевагу тій чи іншій розрахунковій формулі можна надати лише за результатами експериментальних досліджень.

В розділі 4 розроблені методи розрахунку фактичної площі контакту при пластичному контактуванні, які враховують зміщення контактуючих матеріалів в процесі навантаження. Розрахункові рівняння мають вигляд :

$$\frac{\sigma_n}{q^{2m}H} = 2^{1/2} \alpha^{(2m+1)/4} \mathcal{E}^{m-1} \beta^{2m-1} \quad / 19 /$$

$$\times \int_h^\infty (z-h)^{m+1/2} \left(K(z)/\sqrt{m_4}\right)^{m-1/2} \rho(z) dz$$

$$\eta = \frac{(4d)^{1/2}}{\rho \pi} \int_h^{\infty} \frac{(z-h)^{1/2}}{(K(z)/\sqrt{m_4})^{1/2}} \rho(z) dz \quad / 20 /$$

де H - твердість ; m - параметр, що характеризує зміцнення матеріала в процесі навантаження.

Аналіз розрахунків за рівняннями /19,20 / свідчить про те, що при невеликих навантаженнях з високою точністю може бути застосована апроксимаційна залежність :

$$\eta = \frac{a \sigma_n}{q^{2m} H} \quad / 21 /$$

де $a = 0,303 m^2 - 1,05 m + 1$

Узагальнення формули /21 / на випадок будь-яких навантажень можна здійснити за двома варіантами :

$$\eta = \frac{a \sigma_n}{q^{2m} H} / (1 + \frac{a \sigma_n}{q^{2m} H}) \quad / 22 /$$

$$\eta = 1 - \exp(-\frac{a \sigma_n}{q^{2m} H}) \quad / 23 /$$

За результатами експериментальних досліджень перевагу слід надати розрахунковій формулі / 23 /. Про це зокрема свідчить рис.2

- де
- E - експериментальна крива ;
 - I - розрахунок за формулою /22 / ;
 - II - розрахунок за формулою /23 /.

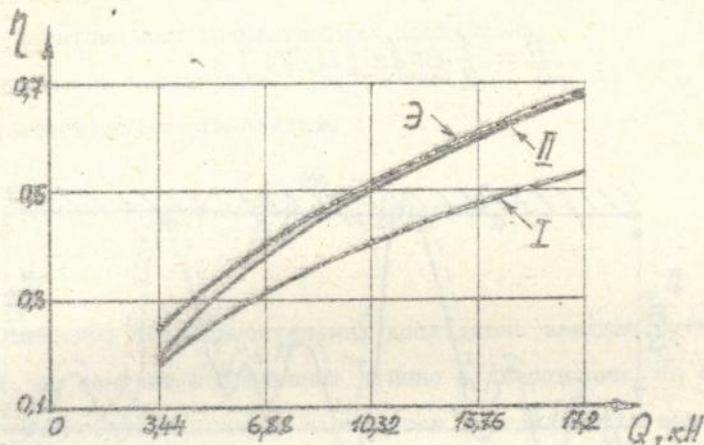


Рис. 2. Залежність фактичної площі контакту від навантаження для пари свинець-сталь 40 X

В розділі 5 розроблена конструкція експериментальної установки для дослідження контактних перемішень, яка має ряд переваг в порівнянні з існуючими установками, а саме :

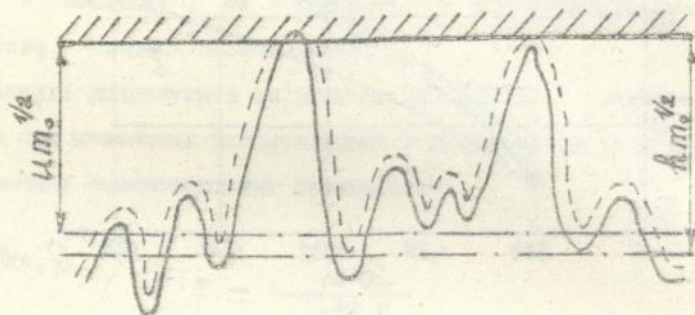
- конструкція установки дозволяє виключити вплив на результати вимірювань об'ємних деформацій ;
- наявність матриці, яка легко знімається, дає можливість швидко проводити переналадку установки ;
- можливо проводити навантаження контактуючої пари з фіксованою швидкістю.

В розділі 6 проведено дослідження контактних змішень при пластичному контактуванні поверхонь.

Зв'язок рівня деформації h , ефективного рівня деформації " u " та фактичної площі контакту η визначається рівняннями:

$$h = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp(-u^2/2) + \frac{1}{2} u \operatorname{erfc}(-u/\sqrt{2})$$

$$\eta = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(u/\sqrt{2})$$



профіль та середня лінія :

————— до навантаження
 - - - - - після навантаження

Рис.3 Схема контактування

кільки можливі два варіанти розрахунку площі контакту / форми /22,23/ /, то за результатами розрахунків за формулами /2-25/ запропоновано дві інженерні методики розрахунку рівня формації h :

варіант I :

$$h = \begin{cases} -9,717 + 4,647 \ln(8,737 - C), & K \leq 1 \\ 0,42 \exp(-0,98C^{1,039}), & K > 1 \end{cases}$$

варіант II :

$$h = \begin{cases} -6,461 + 3,749 \ln(5,826 - C), & K \leq 0,693 \\ 0,365 \exp[-1,508(C + 0,367)^{1,844}], & K > 0,693 \end{cases}$$

де $K = \frac{\alpha \sigma_n}{\rho_{21} H}$; $C = \ln K$

Перевагу тому чи іншому варіанту розрахунку можна надати лише за результатами експериментальних досліджень.

При зміні номінального напруження від σ_{n_1} до σ_{n_2} контактне переміщення становитиме :

$$\Delta H = \left(\frac{F}{2}\right)^{1/2} R_a (h_1 - h_2)$$

При проведенні експериментальних досліджень важливо бути впевненими, що контакт в з'єднанні дійсно є пластичним. На основі відомого критерія Грінвуда-Вільямсона і результатів моделювання шерстких, сильно анізотропних поверхонь, викладених в розділі 2, сформульовано індекс пластичності шерстких, сильно анізотропних поверхонь. Контакт буде пластичним при виконанні умови :

$$Eg/H > 0,46$$

/ 29 /

Експериментальні дослідження проведені для таких матеріалів, як свинець, дюралюміній, мідь та латунь дозволяють зробити висновки, що більш точні результати можна одержати застосовуючи формули / 23,27 /. Хороша точність формул розрахунку контактних переміщень є також свідченням правильності відповідних формул розрахунку фактичної площі контакту, оскільки методи розрахунку площі контакту становлять основу методів розрахунку контактних зміщень. Для розрахунку структури площі контакту одержані такі формули :

- кількість контактів на одиниці номінальної площі контакту :

$$d_c = d_c^* (m_2/m_0)^{1/2} \quad / 30 /$$

де

$$d_c^* = \frac{1}{29} \exp(-u^2/2) \quad / 31 /$$

площа окремого контакту :

$$A_c = A_c^* (m_0 / m_2)^{1/2} \quad / 32 /$$

де $A_c^* = \eta / d_c \quad / 33 /$

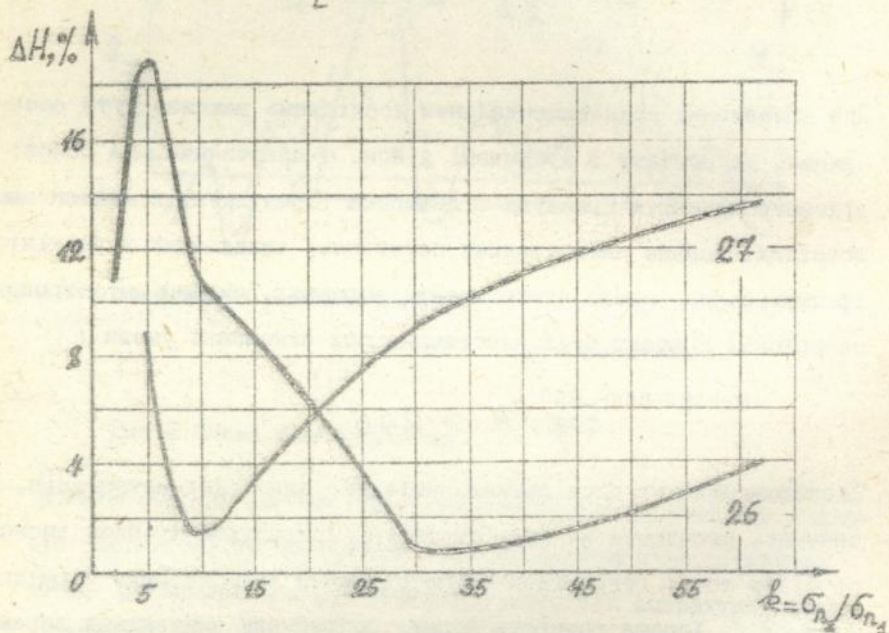


Рис.4 Похибка визначення контактних переміщень при розрахунках за формулами /26,27/ /пара дюралюміній - сталь 40 X/

В даний час розповсюджена думка про те, що із збільшенням навантаження середня площа окремого контакту не мініється. Аналіз рис.6 свідчить про те, що середню площу окремого контакту можна вважати приблизно сталою лише при достатньо малих навантаженнях.

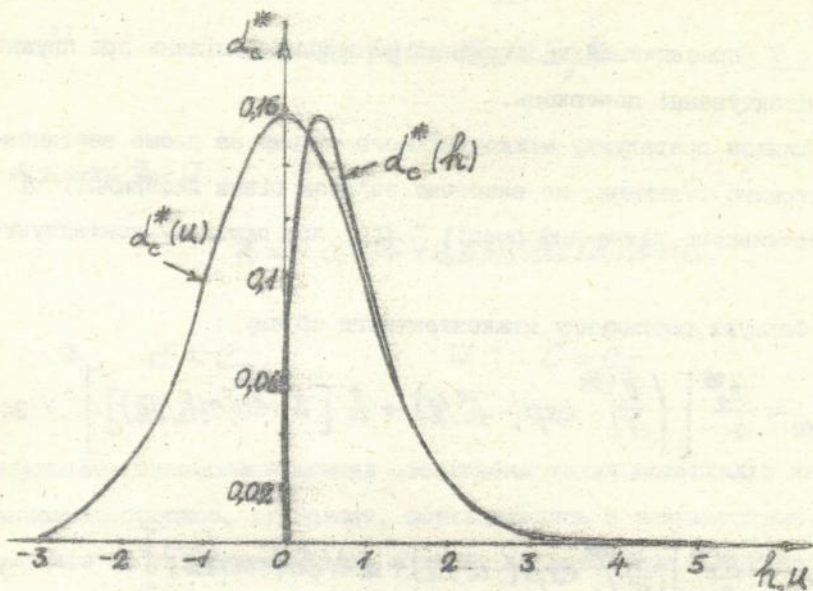


Рис. 5. Залежність кількості контактів від рівнів деформації

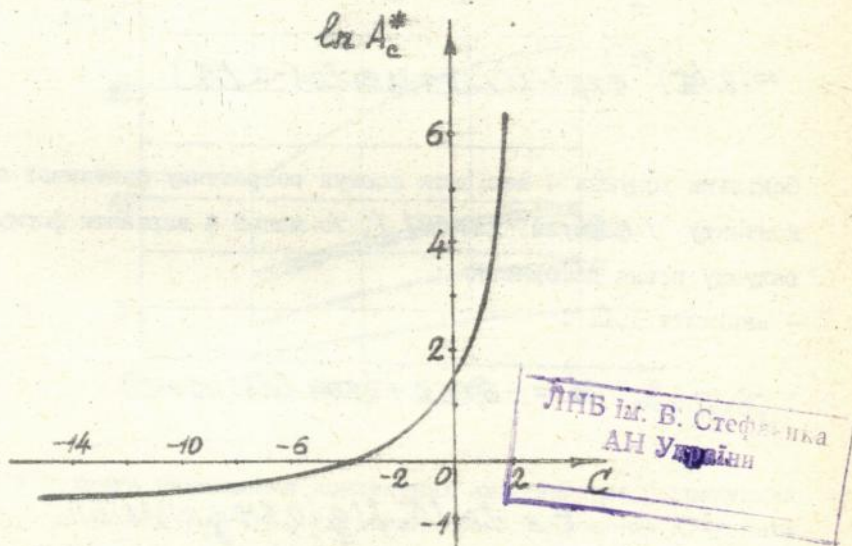


Рис. 6 Залежність площі окремого контакту

ЛНВ ім. В. Стефаника
АН України

Розділ 7 присвячений дослідженню контактних змішень при пружному контактуванні поверхонь.

Шляхом розрахунку міжконтактного об'єму за двома варіантами одержано рівняння, що визначає зв'язок рівня деформації h та ефективного рівня деформації " u " при пружному контактуванні.

Формули розрахунку міжконтактного об'єму :

$$V_{мп} = \frac{\pi c}{4} \left[\left(\frac{2}{\alpha} \right)^{1/2} \exp(-h^2/2) + h [3 + \operatorname{erfc}(h/\sqrt{2})] \right] \quad / 34 /$$

$$V_{мп} = \frac{\pi c}{2} \left[\left(\frac{2}{\alpha} \right)^{1/2} \exp(-u^2/2) + u \operatorname{erfc}(-u/\sqrt{2}) \right] \quad / 35 /$$

Рівняння, що зв'язує рівні деформації :

$$\begin{aligned} (2\pi)^{-1/2} \exp(-h^2/2) + \frac{1}{2} h [3 + \operatorname{erfc}(h/\sqrt{2})] &= \quad / 36 / \\ = (2/\alpha)^{1/2} \exp(-u^2/2) + u \operatorname{erfc}(-u/\sqrt{2}) \end{aligned}$$

Оскільки існують 4 варіанти формул розрахунку фактичної площі контакту / формули /15-18/ /, то маємо 4 варіанти формул розрахунку рівня деформації :

- варіанти I, II :

$$h = -6,568 + 3,804 \ln(5,73 - c) \quad / 37 /$$

$$I : \quad c = \ln(\sigma_n / (q(0,812q + 0,33)E)) \quad / 38 /$$

II :

$$C = \ln(1,77 \sigma_n / (E \epsilon))$$

/ 39 /

- варіанти III, IV :

$$k = -5,714 + 3,538 \ln(5,24 - C) \quad / 40 /$$

III : $C = C_I$

IV : $C = C_{II}$

Результати експериментальних досліджень таких матеріалів як капролон, оргскло, вініпласт, порівнювались з результатами розрахунків за варіантами I-IV, а також за методикою Я.А.Рудзита. Найбільш точні результати можна одержати, якщо користуватись варіантом II /формули /37,39//. Правомірним є також висновок про хорошу якість формули розрахунку площі контакту /16/, яка лежить в основі відповідної формули розрахунку рівня деформації.

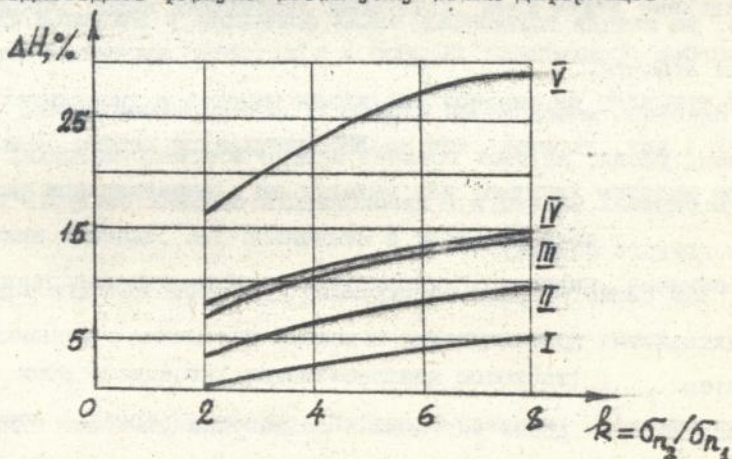


Рис. 7 Похибка визначення контактних змішень при розрахунках за варіантами I-IV та методикою Я.А.Рудзита /У / пара вініпласт-сталь 40 X /

В розділі 8 висвітлені питання практичного використання результатів досліджень. Радузями практичного застосування результатів досліджень є :

- а/ проектування торцевих ушільнень ;
- б/ проектування пар тертя ;
- в/ дослідження електричних та теплових явищ в контакті ;
- г/ проектування верстатних пристосувань.

Результати дисертаційної роботи використовуються при проектуванні верстатних пристосувань на виробничих об'єднаннях "Новатор" /м.Хмельницький /, "Укрелектроапарат" /м.Хмельницький /, Красилівському машинобудівному заводі.

Викладення основних результатів дисертації та формулювання підсумкових висновків

1. Проаналізовані існуючі методи розрахунку фактичної площі контакту та контактних змішень, вивчена можливість їх застосування для розрахунку шорстких, сильно анізотропних поверхонь. Виявлено, що методи розрахунку таких поверхонь у нинішній час практично відсутні.

2. Виконано моделювання шорстких, сильно анізотропних поверхонь. Вивчені умови, за яких можлива заміна шорсткої поверхні сукупністю окремих виступів і апроксимація окремих виступів поверхнями другого порядку.

Тим самим створені передумови створення методів розрахунку характеристик контактування шорстких поверхонь з сильною анізотропією.

3.² Виконано за двома варіантами розрахунок фактичної площі контакту / ФК / при пружному контактуванні. Запропоновано чотири різновидності розрахункових формул. Отриманий розрахунковим шляхом висновок про лінійну залежність ФК від навантаження при

пружному контактуванні і невисоких навантаженнях повністю збігається з результатами чисельних експериментальних досліджень, проведених різними вченими для різних матеріалів. Цікаво те, що в той же час, як залежність площі контакту від навантаження для кожного окремого виступу є нелінійною, залежність площі контакту від навантаження для сукупності усіх виступів, що вступили в контакт, є лінійною. Це пояснюється впливом на процес формування площі контакту розподілу вершин виступів по висоті.

4. Запропоновано дві різновидності формул розрахунку ФК при пластичному контактуванні. При цьому враховується зміцнення матеріалу в процесі пластичного деформування. З існуючих методів розрахунку ФК пластичного контактування випливає, що в цьому випадку площа контакту не залежить від шорсткості поверхні. Цей висновок не завжди справджується на практиці. Пояснення цьому дає теорія, розроблена в дисертаційній роботі. В відповідності з цією теорією, залежність ФК при пластичному контактуванні від шорсткості можна знехтувати лише тоді, коли можна знехтувати ефектами зміцнення матеріалів в процесі пластичного деформування. В загальному ж випадку шорсткість впливає на величину ФК.

5. Розроблені методи розрахунку ФК як при пружному, так і при пластичному контактуванні, на відміну від існуючих методик мають ряд важливих переваг, які полягають в тому, що вони :

- справедливі при будь-яких, як малих так і великих, навантаженнях ;
 - містять лише стандартні характеристики шорсткості ;
 - враховують баратоперховість побудови поверхні / виступ на виступі /. Це дає можливість за одними й тими ж формулами розраховувати різні площі контакту - контурну, фактичну, фізичну.
6. Отримано індекс пластичності шорстких, сильно анізотропних поверхонь, у відповідності з яким ймовірність появи пластичного

контакту підвищується із збільшенням зведеного модуля Юнга, зменшенням чистоти поверхні та твердості. Оскільки найбільш сприятливим режимом експлуатації машин та механізмів є режим пружного контактування, то отриманий результат пояснює, чому на практиці, враховуючи те, що для заданого матеріалу при різних видах обробки модуль Юнга практично не змінюється, намагаються підвищувати твердість поверхні та збільшувати її чистоту.

7. Показано, що розповсюджена в нинішній час думка про сталість середньої площі окремого контакту із зростанням навантаження справедлива лише при невеликих навантаженнях, в загальному ж випадку ця думка не вірна.

8. В результаті аналізу існуючих методів експериментального дослідження контактних змішень розроблена конструкція та виготовлена експериментальна установка. Спроекована установка порівняно з аналогічними існуючими має такі переваги :

- виключення об'ємних деформацій матеріалу зразка за рахунок розміщення останнього в матриці шляхом попереднього запресування, що дозволяє вимірювати саме контактні змішення ;
- можливість навантаження контактуючої пари із фіксованою швидкістю ;
- можливість легкого та швидкого переобладнання за рахунок наявності матриці, яку можна легко зняти.

9. Розроблено два варіанти формул розрахунку контактних змішень при пластичному контактуванні. Проведені експериментальні дослідження довели їх високу точність та підтвердили також правильність формул розрахунку площі контакту, які лежать в основі методів розрахунку контактних змішень.

10. Розроблено 4 варіанти формул розрахунку контактних змішень при пружному контактуванні. Проведена їх перевірка шляхом порівняння отриманих результатів з експериментальними даними та ре-

зультатами розрахунків по існуючим методикам. Встановлено, що будь-який із розроблених 4 варіантів краще існуючих методик, оскільки вони є більш точними та значно простішими у користуванні. Хороша збіжність експериментальних даних та формул розрахунку контактних зміщень є також підтвердженням правильності формул розрахунку ФЖ, які лежать в їх основі.

II. Розроблені методи розрахунку контактних зміщень та площі контакту використовуються при проектуванні верстатних пристроїв та торцевих ушільнень.

Основні положення роботи опубліковані в 9 роботах, у числі яких наступні :

1. Бачинская Н.К., Семенюк Н.Ф. Моделирование шероховатых поверхностей с сильно выраженной анизотропией. - Тезисы докладов межреспубликанской научно-технической конференции "Качество и надежность узлов трения". Хмельницкий, 1992, с.9-10.
2. Бачинская Н.К., Семенюк Н.Ф. Фактическая площадь контакта шероховатых поверхностей с сильно выраженной анизотропией. - Тезисы докладов межреспубликанской научно-технической конференции "Качество и надежность узлов трения". Хмельницкий, 1992, с.17-18.
3. Лукьянюк Н.В., Бачинская Н.К., Калда Г.С., Семенюк Н.Ф. Разработка конструкции экспериментальной установки исследования контактных деформаций металлополимерных сопряжений. - Тезисы докладов межреспубликанской научно-технической конференции "Качество и надежность узлов трения". Хмельницкий, 1992, с.53-54.
4. Бачинская Н.К., Семенюк Н.Ф. Экспериментальный метод оценки расчета контактных перемещений. - Тезисы докладов международной научно-технической конференции "Усовершенствование оборудования легкой промышленности и сложной бытовой техники". Хмель-

ницкий, 1993, с.60-61.

5. Бачинская Н.К., Семенов Н.Ф. Расчет контактных перемещений.- Тезисы докладов международной научно-технической конференции "Усовершенствование оборудования легкой промышленности и сложной бытовой техники". Хмельницкий, 1993, с.61-62.

6. Бачинская Н.К. Необходимые условия моделирования шероховатых поверхностей с сильно выраженной анизотропией.-Сборник трудов молодых ученых ХТИ. Хмельницкий, 1993, с.106-109.

7. Бачинская Н.К. Фактическая площадь контакта шероховатых поверхностей с сильно выраженной анизотропией при упругом и пластическом контактировании.- Сборник трудов молодых ученых ХТИ. Хмельницкий, 1993, с.110-114.

8. Семенов Н.Ф., Бачинская Н.К. Механика фрикционного контакта шероховатых поверхностей. Разработка расчетной модели // Трение и износ. 1993. т.14, №5, с.837-841.

9. Семенов Н.Ф., Бачинская Н.К. Механика фрикционного контакта шероховатых поверхностей. Площадь контакта // Трение и износ. 1993, т.14, №6, с.984-990.

Бачинская Н.К. Исследование контактных характеристик шероховатых, сильно анизотропных поверхностей.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.04 - трение и износ в машинах, Технолог. ун-т Подолья, Хмельницкий, 1994.

Защищается 9 публикаций, которые содержат теоретические исследования контактных характеристик шероховатых, сильно анизотропных поверхностей, а также результаты экспериментальных исследований. Выполнено моделирование шероховатых поверхностей. Произведен расчет фактической площади контакта и контактных перемещений при упругом и пластическом контактировании. Разработана

установка и проведены исследования, которые подтвердили хорошее соответствие расчетных результатов с экспериментальными данными. Получен индекс пластичности, исследованных поверхностей. Осуществлено промышленное внедрение методов расчета контактных перемещений.

Bachinskaya N.K. Research of Contact Characteristics of Rough, Strongly Anisotropic Surfaces.

The thesis is submitted for the degree of Candidate of Technical Sciences on speciality 05.02.04 - Friction and Wear in Machines, the Podolliya Technological University, Khmel'nitsky, 1994.

Nine publications are being defended which contain theoretical research of contact characteristics of rough, strongly anisotropic surfaces, as well as the results of experimental researches.

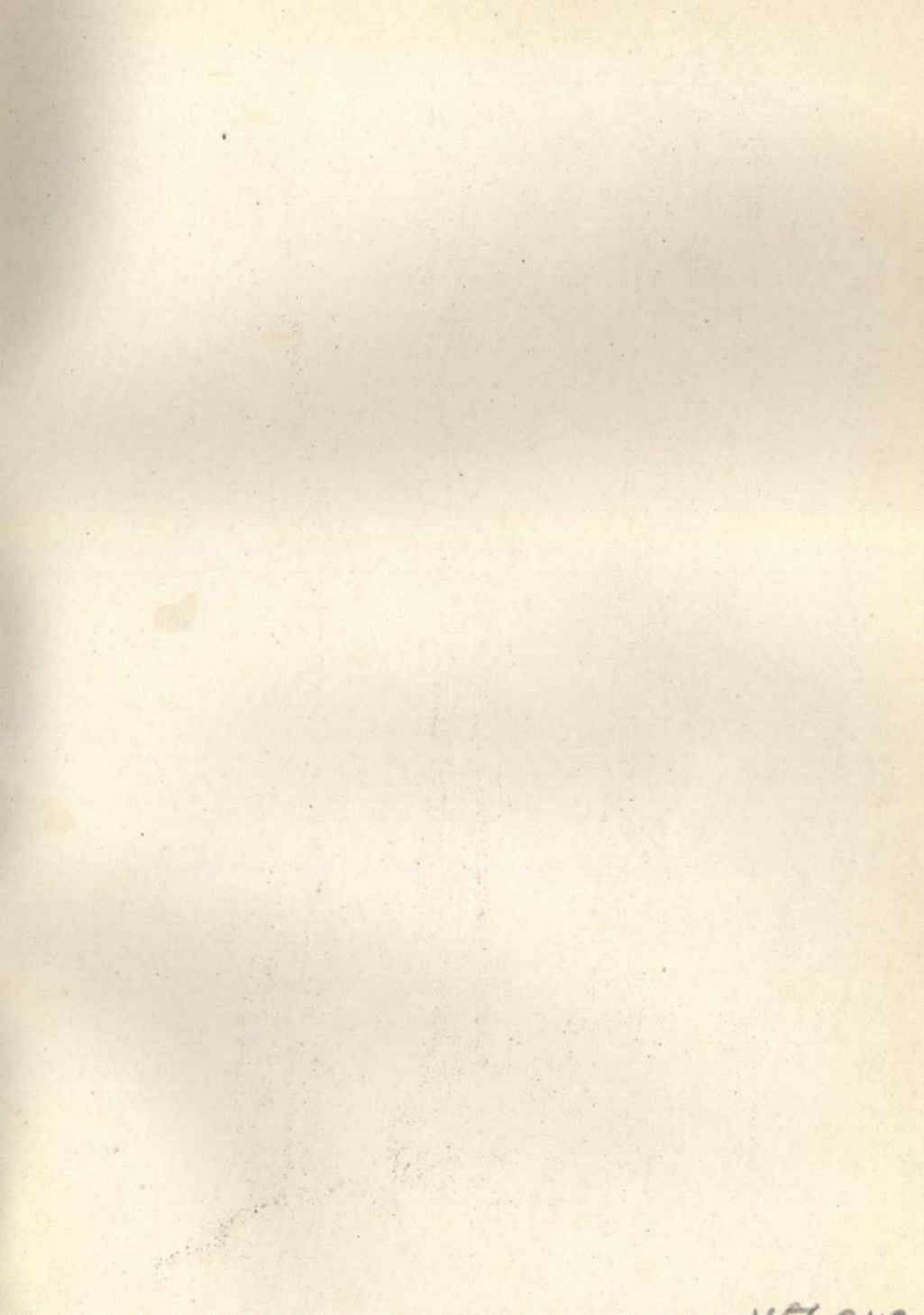
Modelling of rough surfaces has been performed. Calculation of factual area of contact and contact movements in elastic and plastic contacting. An experimental installation has been developed and researches have been conducted which proved good compliance of calculation results with the experimental data. The plasticity index has been obtained of the surfaces studied. The methods of calculation of contact movements have been applied in industry.

Ключові слова :

тертя, знос, вузли тертя, фактична площа контакту, контактні зміщення, контактна жорсткість, рівень деформації, міжконтактний об'єм, пружний контакт, пластичний контакт, індекс пластичності, верстатні пристрої, торцеві ущільнення.

Handwritten signature

11-21-19



AB 31.256

AB 31.256