

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНБАСЬКА ДЕРЖАВНА МАШИНОБУДІВНА АКАДЕМІЯ**



ВАЖКЕ МАШИНОБУДУВАННЯ. ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

МАТЕРІАЛИ

XXI **МІЖНАРОДНОЇ
НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ**



КРАМАТОРСЬК-ТЕРНОПІЛЬ 2023

УДК 621.9

Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. Матеріали XXI Міжнародної науково-технічної конференції 20 – 22 червня 2023 року / за заг. ред. В. Д. Ковальова. — Краматорськ-Тернопіль: ДДМА, 2023. — 152 с.

ISBN 978-617-7889-45-7

В збірнику наведені матеріали до вирішення актуальних проблем важкого машинобудування, конструювання, виготовлення та експлуатації машин, верстатів, інструментів, розробки та впровадження прогресивних енергозберігаючих технологій та ін.

МІЖНАРОДНИЙ ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

Голова

Ковальов В.Д., д.т.н., проф., ректор ДДМА

Члени програмного комітету:

Алієв І.С., д.т.н., проф., зав. каф. ДДМА

Антонюк В.С., д.т.н., проф. КПІ ім. Ігоря Сікорського

Васильченко Я.В., д.т.н., проф., зав. каф. ДДМА

Воронцов Б.С., д.т.н., проф. КПІ ім. Ігоря Сікорського

Гасанов М.І., д.т.н., проф., проректор НТУ "ХПІ"

Грицай І.Є., д.т.н., проф. НУ "Львівська політехніка"

Данильченко Ю.М., д.т.н., проф., зав. каф. КПІ ім. Ігоря Сікорського

Дашич П., проф. ВТМІ, Трстенік, Сербія

Заковоротний О.Ю., д.т.н., проф., зав. каф. НТУ "ХПІ"

Залога В.О., д.т.н., проф. СумДУ

Калафатова Л.П., д.т.н., проф. ДонНТУ

Кассов В.Д., д.т.н., проф., декан ФМ ДДМА

Клименко Г.П., д.т.н., проф. ДДМА

СТРУКТУРНІ ФОРМУВАННЯ УТВОРЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВІДНОВЛЮВАНИХ ВАЖКОНАВАНТАЖЕНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

¹Ковальов В.Д., ²Гасанов М.І., ²Заковоротний О.Ю., ²Клочко О.О.,
²Пермяков О.А., ³Охрименко О.А., ⁴Сапон С.П.

(¹ДДМА, м. Краматорськ - Тернопіль, Україна, ²НТУ «ХПІ», м. Харків, Україна,
³КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна, ⁴НУ «Чернігівська політехніка»,
м. Чернігів, Україна)

Критеріями формування структур поверхневого шару зубчастих коліс є параметри, що забезпечують задані експлуатаційні властивості зубчастих передач. Одним з таких параметрів є коефіцієнт тертя, який визначає здатність поверхневих шарів циліндричних загартованих крупномодульних зубчастих коліс до взаємного опору при дії контактних навантажень. Коефіцієнт тертя впливає на ККД передачі, надійність, довговічність роботи і міцність зубчастих пар.

Коефіцієнт тертя, згідно молекулярно–механічної теорії тертя, визначається як сума молекулярної і механічної складових [1, 2]:

$$f = \frac{\tau_0}{p_r} + \beta + 0,4 \cdot a_r \cdot \sqrt{\frac{h}{\rho}} \quad (1)$$

де τ_0 – питома зсувна міцність молекулярних зв'язків; p_r – середній контактний тиск; β – коефіцієнт зміцнення молекулярних зв'язків під дією стискаючих напруг; a_r – коефіцієнт гістерезисних втрат при ковзанні; h – глибина взаємного упровадження мікронерівностей контактуючих деталей; ρ – радіус заокруглення вершин мікронерівностей.

У викладеній вище теорії контактної взаємодії було показано, що тиск на фактичних площадках контакту визначається фізико–механічними властивостями поверхневого шару більш пластичного матеріалу:

$$p_r = c \cdot k_1 \cdot \sigma_T \cdot \quad (2)$$

Питома зсувна міцність молекулярних зв'язків також визначається фізико–механічними станом поверхневого шару [1] контактуючих зубчастих коліс:

$$\tau_0 = \frac{U_a}{j \cdot N_A} - \frac{k \cdot T}{j} \ln \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon}, \quad (3)$$

де U_a – енергія активації ($T_{nl} = 226$ °С – при крихкому розриві; $T_{nl} = 166$ °С – при пластичному відтискуванні); j – активаційний об'єм (10^{-27} м³); $\varepsilon_0 = 10^{12}$ – 10^{13} – для всіх металів; ε – швидкість деформації (10^{-4} – 10^{-6} с⁻¹); N_A – число Авогадро ($6,02 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹); k – стала Больцмана ($1,38 \cdot 10^{-23}$); T і T_{nl} – температура в зоні контакту і температура плавлення.

Глибина взаємного упровадження мікронерівностей в період прироблення визначається загальними контактними деформаціями сталі з більш пластичного матеріалу. У період нормального (сталого) зносу величина упровадження визначається пружними контактними деформаціями.

Таким чином, підставляючи (2) в (3), отримаємо рівняння коефіцієнта тертя для умов прироблення:

$$f = \frac{\tau_0}{c \cdot k_1' \cdot \sigma_T} + \beta + \frac{4 \cdot a_r \cdot R_a^{\frac{2}{3}}}{S_m \cdot t_m} \times \sqrt{\frac{60 \cdot \pi}{t_m} \cdot \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot p \cdot W_z \cdot H_{\max}}{k_1' \cdot \sigma_T} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot \pi \cdot k_1' \cdot \sigma_T \cdot (1 - \mu^2)}{R_a \cdot E} \right)} + \beta + \frac{48 \cdot \pi \cdot (k_1' \cdot \sigma_T)^{\frac{1}{3}}}{t_m}; \quad (4)$$

при нормальному зношенні:

$$f = \frac{\tau_0}{c \cdot k_1' \cdot \sigma_T} \times \sqrt{\frac{30 \cdot (1 - \mu^2) \cdot (2 \cdot \pi \cdot p \cdot R_a \cdot W_z \cdot H_{\max})^{\frac{1}{3}}}{E \cdot S_m \cdot t_m}}. \quad (5)$$

Для умов сухого тертя (4) і (5) не викликають сумніви, так як вони базуються на молекулярно-механічній теорії тертя І.В. Крагельського, яка показала свою життєздатність [1, 2].

Зменшення шорсткості у всьому діапазоні зміни швидкості ковзання і навантаження призводить до зниження коефіцієнта тертя. Велике значення при терті ковзання має вигляд тертя: рідинне, граничне і схоплювання.

Результати експериментального визначення зон тертя, що відповідають різним характеристам процесу тертя, при терті ковзання по шорсткій поверхні представлені на рис. 1. Аналіз результатів цих досліджень показує, що шорсткість поверхні тертя значно впливає на перерозподіл зон тертя.

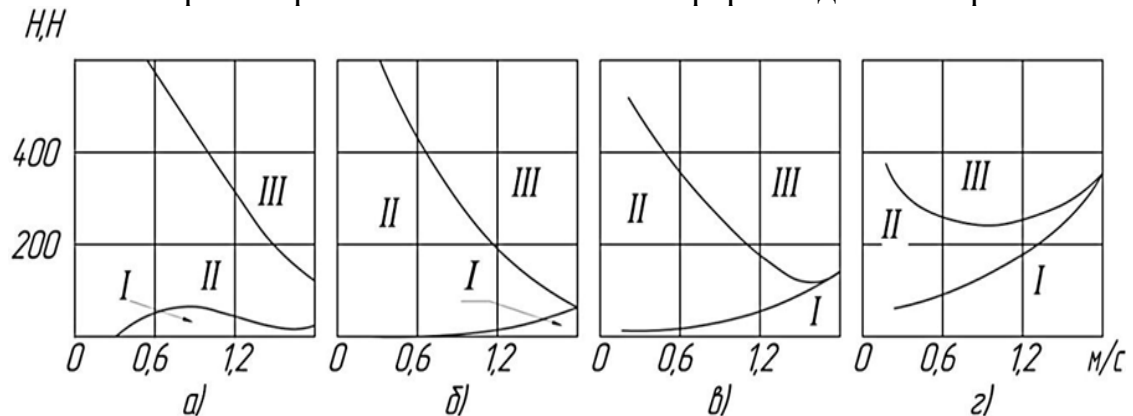


Рис. 1. Границі зон тертя:

(а) – $R_a = 0,80$ мкм; (б) – $R_a = 0,16$ мкм; (в) – $R_a = 0,05$ мкм; (г) – $R_a = 0,02$ мкм;
 I – зона рідинного тертя; II – зона граничного тертя; III – зона схоплювання

Процес тертя в значній мірі визначає зносостійкість контактуючих циліндричних зубчастих коліс. Зносостійкість характеризується здатністю поверхневих шарів циліндричних зубчастих коліс чинити опір руйнуванню при терті ковзання, терті кочення, а також при мікропереміщеннях, обумовлених впливом вібрацій (фреттинг–процес).

На рис. 2а зображений контур зубчастої частини шестерні в первісному стані, контур зносу зубів, а також контур відновлених зубів. На рис. 2б схематично зображено зуб шестерні і її зубчастої частини в первісному стані, контур зносу зуба, а також контур відновлених зубів.

При односторонньому зношенні поверхня профілю робочої частини (1) зуба змінює свою конфігурацію і просторову орієнтацію. Це положення визначається границей зношування (2) робочої частини зуба колеса. При односторонньому зношенні поверхня профілю робочої частини (1) зуба змінює свою конфігурацію і просторову орієнтацію.

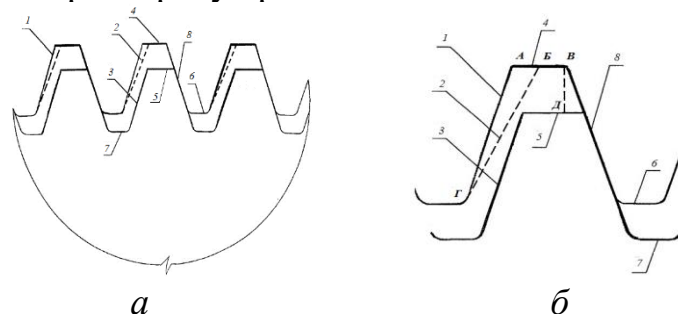


Рис. 2. Відновлення профілю зношеної зубчастої частини крупногабаритного колеса: 1 – контур профілю робочої частини зуба колеса в первісному стані; 2 – границя зносу профілю робочої частини зуба шестерні, після визначеного терміну експлуатації; 3 – контур профілю робочої частини зуба колеса у відновленому стані; 4 – поверхня виступу зуба шестерні в первісному стані; 5 – поверхня виступу зуба шестерні у відновленому стані; б – поверхня впадини зуба колеса в первісному стані; 7 – поверхня впадини зуба шестерні у відновленому стані; 8 – контур профілю неробочої частини зуба шестерні в первісному і відновленому станах; А–Г – границя поверхні профілю зуба шестерні в первісному стані; Б–Г – границя поверхні профілю зуба колеса при його зношенні в процесі експлуатації; А–Б – зона зношування поверхні виступу зуба колеса; В – зона поверхні виступу зуба шестерні в зношеному вигляді після експлуатації колеса; В–Д – висота зони видалення зношеної частини зуба колеса

Це положення визначається границей зношування (2) робочої частини зуба колеса. Положення границі зношування (2) визначає характер зачеплення веденої і ведучої шестерень і, відповідно, геометричні параметри поверхні виступів зубів (4).

Література: 1. Гасанов М.І., Пермяков О.А., Шелковий О.М., Заковоротний О.Ю., Ключко О.О. Проблеми відновлення функціональних властивостей експлуатації крупногабаритних зубчастих передач // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні = Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Techniques in a machine industry: зб. наук.пр. / Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». – Харків : НТУ «ХПІ», 2023. – № 1 (7) 2023. – С. 6–15. – ISSN 2079-004X, DOI: 10.20998/2079-004X.2023.1(7).01. 2. Kovalov, V.D.; Vasilchenko, Y.V.; Klochko, A.A. & Gasanov, M.I.: Chapter 10: Technology of restoration of large gear boxes. In: Modern Manufacturing Processes and Systems, Vol. 2: Fundamentals. Vrnjačka Banja (Serbia): SaTCIP Publisher Ltd. & Belgrade (Serbia): Faculty of Information Technology and Engineering (FITI), 2020, pp. 223–246. ISBN 978-86-6075-070-1.

Кінденко М. І. Вплив магнітного стану і полярності робочої частини інструменту із швидкорізальної сталі Р6М5 на його експлуатаційні властивості	45
Кінденко М. І. Комплексне зміцнення інструменту виготовленого зі швидкорізальної сталі	47
Клименко Г.П., Разживін О.В., Бородай Р.А., Колюкін О.Ю. Статистичне моделювання надійності технологічної системи	49
Клименко Г.П., Суботін О.В., Донченко Є.І., Чащін І.В., Закір'я Р.Р. Експертний метод оцінки якості технологічних систем	50
Клименко С.А., Клименко С.Ан., Конєйкіна М.Ю., Манохін А.С., Чумак А.О., Мельнічук Ю.О. Точіння загартованої сталі інструментом, оснащеним РсBN BL	52
Клочко О.О., Камчатна-Степанова К.В., Пермьков Є.О., Антоненко Я.С., Мироненко О.Є. Способи підвищення зносостійкості зубчастих циліндричних передач з обліком некратного зубчатого зачеплення.....	54
Ковалевський С.В., Ковалевська О.С., Коваленко О.М., Сидюк Д.М. Моделювання впливу мікрівібрацій на процеси тертя.....	56
Ковалевський С.В., Ковалевська О.С., Сидюк Д.М. Комплексна оптимізація технологічних процесів	58
Коваленко В.А., Разживін О.В. Шляхи зниження енерговитрат електроприводів великої вантажопідйомності.....	60
Ковальов В.Д., Васильченко Я.В., Шаповалов М.В., Заковоротний О.Ю., Поліщук Я.А. Математичні моделі та економічні критерії для пошуку оптимального управління режимами різання при обробці деталей машинобудування на важких верстатах	62
Ковальов В.Д., Васильченко Я.В., Шаповалов М.В., Анциферова О.О., Степанов Р.І. Оцінка граничної похибки приладу для вимірювання товщини мастильного шару в зубчастих передачах	63
Ковальов В.Д., Гасанов М.І., Заковоротний О.Ю., Клочко О.О., Пермьков О.А., Охрименко О.А., Сапон С.П. Структурні формування утворення експлуатаційних властивостей відновлюваних важконавантажених зубчастих коліс.....	65