

**ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК ТЕХНОЛОГІЧНИХ МЕТОДІВ ОБРОБЛЕННЯ ТА
ЗНОСОСТІЙКОСТІ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПОВЕРХОНЬ**

В статті здійснено аналіз причин виходу з ладу деталей фрикційних пар. Встановлено період припрацювання робочих поверхонь спряжених деталей та прогнозовано оптимальні робочі режими функціонування фрикційних пар. З метою детального вивчення процесу припрацювання робочих поверхонь спряжених деталей здійснено ряд експериментальних досліджень за такими характеристиками робочої поверхні як: технологічна шорсткість та мікротвердість. Для прогнозування зміни мікрогеометрії в процесі експлуатації отримано емпіричні залежності, які описують зв'язок циклів зношування або шляху тертя з геометричними параметрами робочих поверхонь фрикційної пари.

Ключові слова: фрикційна пара, робоча поверхня, зносостійкість, мікрогеометрія, токарна операція, машинобудування, металооброблення, шорсткість, мікротвердість.

Однією з основних причин виходу машин з ладу є відмова внаслідок зношення пар тертя. У загальному випадку процес зношування пар тертя проходить три періоди: 1) припрацювання; 2) нормальне зношування; 3) прискорене зношування. В процесі виготовлення деталей, оброблювані поверхні отримують мікрогеометричні характеристики (шорсткість, хвилястість), за встановленими технологічними вимогами. Такі характеристики описують властивості технологічного рельєфу поверхні. Кількісні параметри вказаних характеристик є недовговічними, оскільки вони змінюються у період припрацювання, і поверхня отримує експлуатаційний рельєф, який тривалий час у період експлуатації не змінюється. Саме експлуатаційний рельєф спряжених поверхонь характеризує якісні властивості деталей протягом періоду функціонування, як окремих деталей, так і вузлів загалом.

Процес припрацювання, в основі якого лежать складні механічні, фізичні та хімічні процеси, визначає загальну зносостійкість деталей. До завершення цього процесу фізичні та геометричні характеристики поверхні, наприклад шорсткість, мікротвердість, величина і знак залишкових напружень, структура граничного шару металу, коефіцієнт тертя й інші набувають оптимальних значень, відповідно умов зношування або експлуатації (ці умови визначаються матеріалом пар тертя, швидкістю ковзання, питомим тиском, якістю і способом підведення мастила). Оптимальні експлуатаційні характеристики в період нормального зношування мають здатність до самопідтримання, змінюючись, вони безперервно відтворюються в тих самих значеннях. Такий стан спостерігається до початку третього періоду.

Необхідно прагнути, щоб в процесі механічного оброблення поверхні деталей набували комплекс характеристик, що виникають під час періоду припрацювання. Тоді пара тертя в процесі виготовлення набуває властивостей притаманних спряженим поверхням притертих деталей минаючи період припрацювання (або різко його скорочуючи), тим самим, вступаючи в період нормального зношування. Це сприяє збільшенню довговічності і надійності з'єднання.

Таким чином, забезпечення технологічних режимів механічного оброблення із застосуванням методів, що забезпечують механічні властивості робочих поверхонь спряжених деталей відповідні припрацьованим, а дослідження механізму процесу припрацювання для підвищення зносостійкості таких деталей є важливою та актуальною науково-практичною задачею.

При вивченні припрацювання деталей на перший погляд може скластися враження, що працююча пара незалежно від результату умов автоматично прагне до набуття оптимальних характеристик, а відхилення у властивостях поверхонь, що виникають в процесі їх оброблення, самі «компенсуються» під час експлуатації деталі. Однак, зазначена компенсація може мати місце лише в певних випадках. Так, при дослідженні функціональних поверхонь тертя встановлено, що особливо інтенсивно шорсткість зменшується в перші 2 години роботи. Після 8 годин роботи всі поверхні набувають оптимальну шорсткість ($Ra=0,08\dots 0,04$ мкм). Грубі вихідні поверхні швидше зменшують свою шорсткість, а більш чисті – повільніше. При цьому відмічено, що вже припрацьовані поверхні з $Ra=0,08\dots 0,04$ мкм, які мали вихідну шорсткість $Ra=1,25\dots 0,32$ мкм, в період експлуатації раптово набувають грубу шорсткість і повторно починають оброблюватись. Таке явище пояснюється наступним положенням. У процесі припрацювання грубі вихідні поверхні дійсно досягають оптимальної величини шорсткості, але це відбувається внаслідок пластичної текучості металу, зокрема завдяки утворенню поверхневої плівки металу. При цьому залишаються незаповненими металом гострі кути

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

западин мікрорельєфу поверхні. У період експлуатації (нормального зношування) утворений шар металу руйнується, і під ним знову оголюється поверхня з початковою шорсткістю. Такий процес завдає шкоди, оскільки він збільшує час припрацювання і, крім того, мікрочастинки металу дряпають спряжені поверхні. Отже, можна стверджувати, що грубі вихідні поверхні проходять етап «попереднього припрацювання». Поверхні з вихідною шорсткістю $Ra=0,32\dots0,08$ мкм проходять нормальне припрацювання, тут досягається оптимальна величина шорсткості $Ra=0,08\dots0,04$ мкм приблизно за 1,5 год роботи, а поверхня з шорсткістю, близькою до оптимальної, має дуже малий період припрацювання (близько 5 хв).

Нормальне припрацювання характеризується тим, що під мікрорельєфом, який утворився знаходиться щільна, добре заповнена металом основа. У даному випадку зміни вихідного мікрорельєфу відбуваються головним чином внаслідок стирання і незначного пластичного деформування виступів мікропрофілю. Вальцювання западин мікрорельєфу поверхні і наступного зриву навальцьованого шару тут не відбувається. Період інтенсивного зменшення шорсткості збігається з періодом інтенсивного збільшення ступеня наклепу, отже і, величини мікротвердості. До кінця періоду припрацювання її величина стабілізується й приймає оптимальне значення.

У роботах [2, 3] показано, що процес припрацювання робочих поверхонь деталей супроводжується зміною вихідної технологічної шорсткості та мікротвердості, отриманих після механічного оброблення, і утворенням експлуатаційних значень цих характеристик.

Однак у цих роботах розглядається зміна лише висотних характеристик шорсткості Ra або R_{max} , в той час як зміна форми мікронерівностей, що визначається площинними та об'ємними характеристиками досліджені недостатньо. Це особливо важливо при вивченні впливу технологічних методів оброблення на утворення в процесі припрацювання експлуатаційного мікрорельєфу.

Таким чином, з метою дослідження формування технологічного мікрорельєфу в процесі припрацювання, проведено дослідження характеру змін робочих поверхонь спряжених деталей для встановлення максимально наближеної операції механічного оброблення до даного процесу.

Експериментальні результати дослідження зміни профілю мікронерівностей втулок з матеріалу 95X18 в процесі припрацювання в залежності від шляху тертя подано на рис. 1.

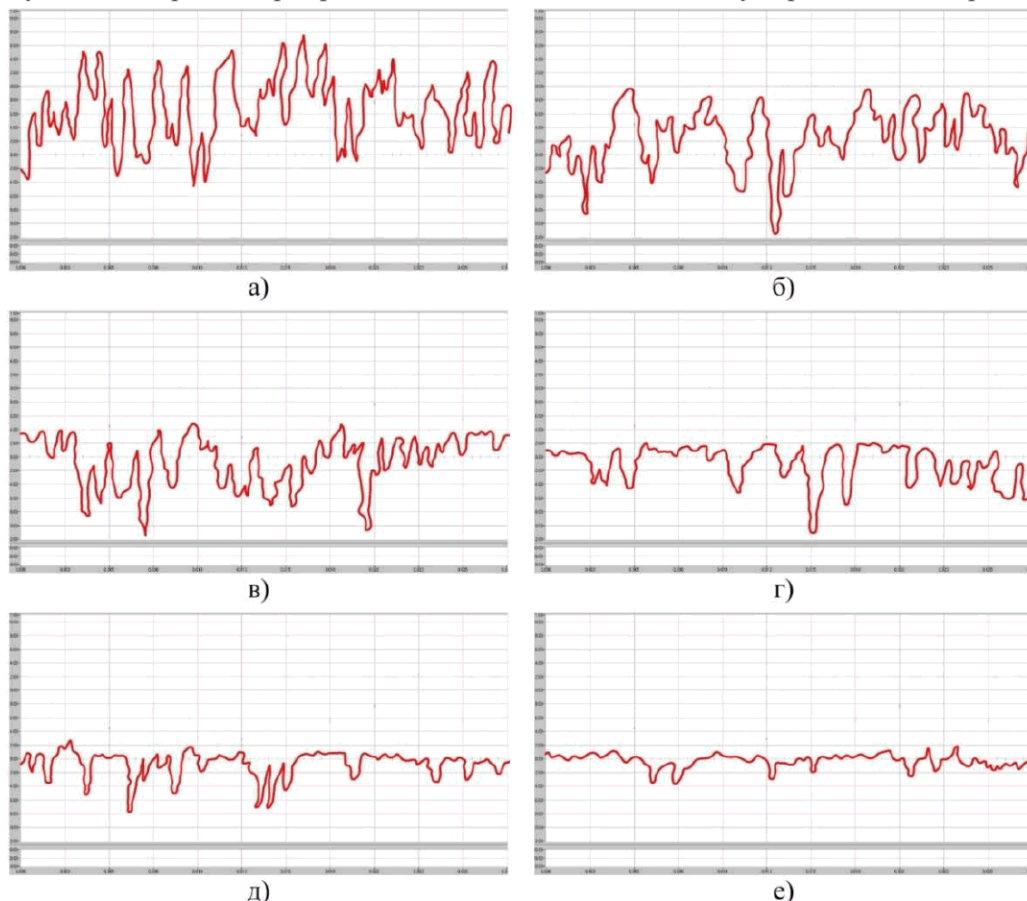


Рис. 1. Зміна профілю мікронерівностей втулок з матеріалу 95X18 в процесі припрацювання в залежності від шляху тертя: а) початковий профіль; б) $S_T - 0,406$ км; в) $S_T - 0,812$ км; г) $S_T - 1,62$ км; д) $S_T - 2,85$ км; е) $S_T - 4,32$ км

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

Під час дослідження відбувався аналіз зміни основних характеристик мікрогеометрії і мікротвердості поверхневого шару в процесі припрацювання.

У якості об'єкта дослідження була взята пара, що працює в умовах граничного тертя: $P_0 = 0,8$ МПа; $v_0 = 0,9$ м/с; мастило «Індустріальне-20». Матеріал спряжених деталей – сталь 95X18, твердість HRC=58...60. Випробування на зношування проводилися на машині ВНИПП – 542 за схемою тертя плунжерної пари.

Спочатку досліджувалися дві серії зразків, що відрізняються різною твердістю і складаються з п'яти зразків у кожній серії. Всі зразки остаточно оброблялися круглим шліфуванням ($v_{кр} = 30$ м/с; $v_d = 25$ м/хв; $s_{пр} = 0,03$ мм/об; $t = 0,02$ мм). Профілограми знімалися на тій самій поверхні золотника в одному напрямку після різного шляху тертя S_T . На рис. 2 показані криві зміни середніх значень характеристик шорсткості Ra , R_{max} , b' , v , r , β в процесі зношування втулок з матеріалу 95X18.

В отриманих після точення характеристиках якості поверхні ($Ra = 0,68$ мкм; $R_{max} = 4,2$ мкм; $b' = 1,55$; $v = 1,9$; $r = 72$ мкм; $\beta = 9^\circ 30'$; $H\mu = 7900$ МПа) в процесі припрацювання спостерігається зменшення висоти нерівностей R_{max} . Причому основна зміна R_{max} відбувалася в перші години випробувань. Протягом першої години ($S_T = 0,406$ км) вихідна висота нерівностей зменшувалася на $0,32 R_{max\text{ вих}}$, а в наступні 10 год ($S_T = 4,46$ км) вона зменшувалася лише на $0,42$.

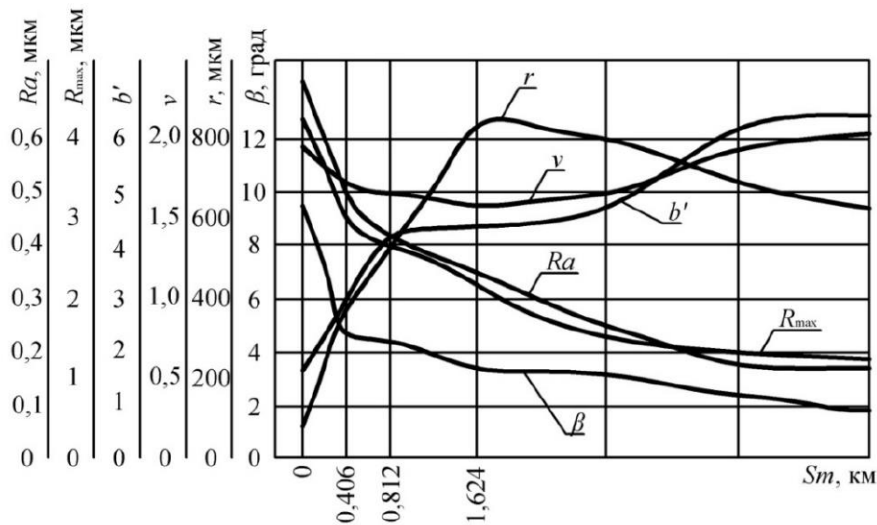


Рис. 2. Залежності характеристик шорсткості в процесі припрацювання плунжерної пари на операціях токарного оброблення

Аналогічно змінюються в процесі припрацювання значення середнього арифметичного відхилення Ra , що свідчить про зв'язок характеристик Ra та R_{max} .

Інтерес представляє зміна радіуса заокруглення вершин нерівностей r . Різке зростання радіусу до $r = 850$ мкм (за $S_T = 1,624$ км) показує, що стирання верхньої частини мікронерівностей досягає рівня, при якому нерівності представляють основу виступів вихідної шорсткості. Надалі на цій поверхні закінчується формування робочого рельєфу, якому притаманне менше значення r .

Очевидно, створення на поверхні шорсткості з великими значеннями радіусів заокруглення r може сприяти більш швидкому переходу в процесі припрацювання до експлуатаційного мікрорельєфу і зниження загальної величини зношування.

Особливість зміни кута нахилу мікронерівностей β полягає в його швидкій стабілізації при загальній зміні від 9 до 2° . Так, протягом перших двох годин спрацювання ($S_T = 0,812$ км) відбувалося 70% всієї зміни кута β . Найбільш складний характер зміни мають параметри кривої опорної поверхні b' та v . Швидке стирання окремих найбільш виступаючих нерівностей в перші дві години ($S_T = 0,812$ км) призводить до зростання b' більш ніж в 3 рази. Після утворення шорсткості зі значними значеннями площі опорних поверхонь величина лінійного спрацювання, зміна висоти мікронерівностей та інших характеристик стабілізуються, що призводить в наступні години припрацювання до змін параметра b' . Надалі при остаточному формуванні експлуатаційної шорсткості (при $S_T > 2,85$ км), якісно відрізняється від вихідної шорсткості і шорсткості в процесі припрацювання, значення b' зростає. Це підтверджується побудовою кривих опорних поверхонь (рис. 3). Криві 3...5, відповідають шляху тертя 0,812; 1,624; 2,85 км, основна зміна величини відбувається протягом перших двох годин зносу ($S_T = 0,812$ км).

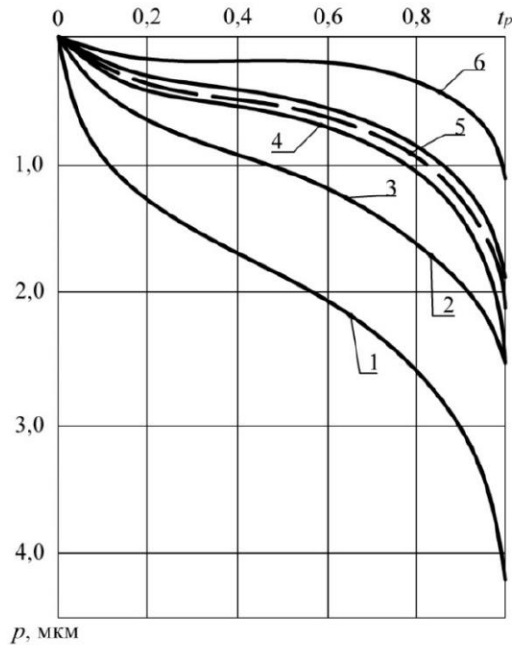


Рис. 3. Залежність опорної поверхні від відстані p після різного періоду процесу припрацювання: 1 – до початку припрацювання; 2 – $S_r=0,406$ км; 3 – $S_r=0,812$ км; 4 – $S_r=1,624$ км; 5 – $S_r=2,85$ км; 6 – $S_r=4,46$ км

Результати дослідження зміни зміцнення поверхневого шару в процесі припрацювання, які проводилися на двох серіях зразків після фінішного оброблення шліфувальними технологіями, мають вихідну мікротвердість 7000 МПа (HRC=51...52) і 7900 МПа (HRC=58...60), а також криві опорної поверхні показані на рис. 4.

Зміна мікротвердості поверхневих шарів в процесі припрацювання визначається, головним чином, умовою дотримання рівності зовнішнього навантаження і відображення межі текучості металу на величину фактичної опорної поверхні. У зв'язку з малою величиною опорної поверхні в початковий момент зношування відбувається пластична деформація поверхневих шарів, яка підвищує їх мікротвердість (для $S_r=2,85$ км). Збільшення опорної поверхні в подальшому призводить до зниження необхідної границі текучості металу, в результаті чого мікротвердість в процесі подальшого зношення раніше зміцненого шару знижується. Після утворення функціональної шорсткості, зношування відбувається без зміни її характеристик. Це призводить до утворення оптимальної мікротвердості поверхневого шару [1]. Криві зносу (рис. 4) показують, що зносостійкість зразків залежить від дотримання технологічних умов оброблення. Навіть незначні зміни в технологічному процесі призводять до збільшення величини зношування в процесі припрацювання на 25%, що свідчить про вплив технологічної спадковості на зносостійкість досліджуваних деталей.

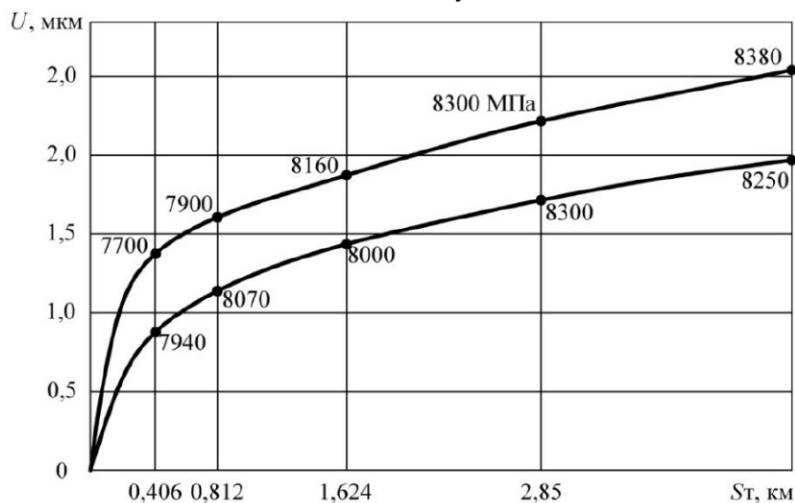


Рис. 4. Залежність зношування і мікротвердості фрикційної поверхні в процесі припрацювання втулок зі сталі 95X18 від шляху тертя

З точки зору технологічного управління процесом припрацювання важливо знати, яким

чином методи оброблення, формують якість поверхні, тобто впливають на зміну характеристик поверхневого шару.

Виходячи з цього, можна зробити припущення, що відхилення однієї з характеристик від загальної закономірності повинно компенсуватися відповідною зміною інших характеристик, що входять в безрозмірний комплекс, а в підсумку загальна закономірність зміни Δ залишається постійною для конкретного методу оброблення. Наприклад, для зразків після припрацювання зростання висоти мікронерівностей R_{\max} не призводить до збільшення Δ за рахунок компенсуючої зміни характеристик r , b' і v .

Для прогнозування зміни мікрогеометрії в процесі припрацювання отримано емпіричні залежності зміни безрозмірного комплексу Δ як функції числа циклів зношення N або шляху тертя S_T .

Отримане рівняння, описує залежності, було знайдено з трьома довільними постійними і виглядає, як:

$$\Delta = \Delta_{\text{вих}} - k \left(1 + \frac{1}{e^{Cx}} \right), \quad (1)$$

де x – число циклів зношення N або шлях тертя S_T , км; $\Delta_{\text{вих}}$ – значення безрозмірного комплексу після фінішного оброблення; C – коефіцієнт, що залежить від якості поверхневого шару, який визначається технологічними методами оброблення; k – коефіцієнт, що показує на скільки змінюється величина безрозмірного комплексу від вихідного стану $\Delta_{\text{вих}}$ до експлуатаційного стану робочого рельєфу $\Delta_{\text{експ}}$:

$$k = \Delta_{\text{вих}} - \Delta_{\text{експ}}. \quad (2)$$

Величина $\Delta_{\text{експ}}$ визначається умовами зношування (швидкістю, тиском, мастилом, матеріалом пари тертя, фізико-механічними властивостями). Тому можна стверджувати, що даний коефіцієнт пов'язує величину зміни безрозмірного комплексу Δ з умовами процесу тертя і зношування.

Отже, дослідження мікротвердості поверхні в процесі припрацювання після лезових методів оброблення показало, що закономірність її зміни має аналогічний характер, як при шліфуванні, з утворенням оптимальних значень мікротвердості. Таким чином, запропонована методика аналізу зносостійкості спряжених поверхонь деталей для забезпечення максимальної тривалості періоду нормального зношування шляхом призначення технологічних режимів механічного оброблення підтверджена експериментальними даними і може використовуватися під час проектування технологічних процесів виготовлення фрикційних деталей.

Інформаційні джерела

1. Балтер М.А. Упрочнение деталей машин / Балтер М.А. - М.: Машиностроение, 1978. - 184 с.
2. Дахнюк О.П., Заблоцкий В.Ю. Вдосконалення технології виготовлення сепараторів конічних роликотшипників, та їх вплив на віброакустичні параметри // “Перспективні технології та прилади”. Збірник статей. Випуск 8 (1). м. Луцьк, червень 2016 р. – Луцьк: Луцький НТУ, 2016. – С. 12–15.
3. Дахнюк О.П., Заблоцкий В.Ю. Дослідження зв'язків технологічних факторів з параметрами якості формоутворення поверхонь обертання та техніко-економічними показниками токарно-автоматних операцій // “Перспективні технології та прилади”. Збірник наукових праць. Випуск №4 (1). м. Луцьк, червень 2014 р. – Луцьк: Луцький НТУ, 2014. – С. 33–41.

Заблоцкий В.Ю. ORCID ID 0000-0002-2921-0031

Луцкий национальный технический университет

ВЗАИМОСВЯЗЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ И ИЗНОСОУСТОЙЧИВОСТЬЮ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

В статье проведен анализ причин выхода из строя деталей фрикционных пар. Установлен период приработки рабочих поверхностей сопряженных деталей и спрогнозированы оптимальные рабочие режимы функционирования фрикционных пар. С целью детального изучения процесса приработки рабочих поверхностей сопряженных деталей осуществлен ряд экспериментальных исследований за такими характеристиками рабочей поверхности как: технологическая шероховатость и микротвердость. Для прогнозирования изменения микрогеометрии в процессе эксплуатации получены эмпирические зависимости, описывающие связь циклов износа или пути трения с геометрическими параметрами рабочих поверхностей фрикционной пары.

Ключевые слова: *фрикционная пара, рабочая поверхность, износостойкость,*

микрогеометрия, токарная операция, машиностроения, металлообработка, шероховатость, микротвердость.

V. Zablotskyi ORCID ID 0000-0002-2921-0031

Lutsk National Technical University

INTERRELATION OF TECHNOLOGICAL METHODS OF PROCESSING AND WEAR-RESISTANCE OF FUNCTIONAL SURFACES

The article analyzes the reasons for the failure of friction pair parts. The period of running-in of the working surfaces of the mating parts has been established and optimal working conditions for the functioning of the friction pairs have been predicted. For the purpose of detailed study of the process of running-in of the working surfaces of conjugate parts, a number of experimental studies have been carried out for such characteristics of the working surface as: technological roughness and microhardness. To predict the change in microgeometry during operation, empirical relationships are obtained that describe the relationship of wear cycles or friction paths with the geometric parameters of the working surfaces of a friction pair.

Keywords: *friction pair, working surface, wear resistance, microgeometry, turning operation, mechanical engineering, metalworking, roughness, microhardness.*