

## ТЕРТЯ ТА ЗНОШУВАННЯ В МАШИНАХ

УДК 621. 824.32–044.952 DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2019.2\(33\).116-121](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2019.2(33).116-121)

М.Ф. Ковальов, проф., канд. техн. наук, М.В. Головащук, асп.

*Національний транспортний університет, м.Київ, Україна**e-mail: mfk0146@gmail.com, Mineralisimys@ukr.net*

## Визначення закономірностей зношування шийок колінчастих валів двигунів транспортних засобів

Забезпечення необхідних експлуатаційних показників двигунів транспортних засобів на сучасному етапі розвитку автомобілебудування та авторемонтного виробництва потребує поліпшення їх технічних характеристик. Однією з основних причин передчасного виходу з ладу двигунів транспортних засобів є знос трибосистеми шийки колінчастого вала - підшипника ковзання. В статті проведено аналіз закономірностей зношування корінних і шатунних шийок колінчастих валів двигунів транспортних засобів. Досліджено особливості зносу корінних та шатунних шийок колінчастих валів.

**зношування, корінні та шатунні шийки колінчастого валу, двигун транспортних засобів**

М.Ф. Ковалев, проф., канд. техн. наук, М. В. Головащук, асп.

*Національний транспортний університет, г.Київ, Україна*

**Определение закономерностей изнашивания шеек коленчатых валов двигателей транспортных средств**

Обеспечение необходимых эксплуатационных показателей двигателей транспортных средств на современном этапе развития автомобилестроения и авторемонтного производства требует улучшения их технических характеристик. Одной из основных причин преждевременного выхода из строя двигателей транспортных средств является износ трибосистемы шейки коленчатого вала - подшипника скольжения. В статье проведен анализ закономерностей изнашивания шеек коленчатых валов двигателей транспортных средств. Исследованы особенности износа коренных и шатунных шеек коленчатых валов.

**изнашивание, коренные и шатунные шейки коленчатого вала, двигатель транспортных средств**

**Постановка проблеми.** Поліпшення технічних характеристик двигунів на сучасному етапі розвитку автомобілебудування та авторемонтного виробництва характеризується посиленням їх експлуатаційних показників. Відомо, що зношування шийок колінчастих валів це поступова зміна їх розмірів, форми і стану поверхонь внаслідок взаємодії тонких поверхневих шарів металу в процесі тертя. В поверхневих шарах під впливом зняття сил тертя і зовнішнього середовища відбуваються складні фізико-хімічні зміни, якими і визначається швидкість зношування деталей. Швидкість зношування будь-якої деталі автомобіля залежить від великої кількості випадкових чинників: величини навантаження на поверхні тертя, що безперервно змінює величину зазору, між поверхнями, що труться, твердості і чистоти обробки поверхонь, швидкості відносного переміщення деталей, від в'язкості, температури і чистоти оливи і ін. Отже, швидкість зношування деталі слід розглядати як випадкову величину, а знос представляє залежну величину від чинників дії.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Практичні дослідження та огляд літературних джерел вказують на те, що колінчасті вали є найбільш складною в конструктивному виконанні і найбільш напруженою деталлю двигуна, що працює в широкому об'ємі динамічних навантажень і швидкостей обертання.

Автори [3, 5] стверджують, що основною і постійно діючою причиною зміни технічного стану колінчастого вала та трибосистеми шийки колінчастого вала – вкладиша підшипника ковзання є зношення корінних та шатунних шийок.

В процесі зношення шийок колінчастих валів зростає величина зазору між поверхнями шийка вала – підшипник ковзання. В наслідок даного процесу відбувається зниження тиску оливи, а із зростанням величини зазору збільшуються динамічні навантаження які з часом набувають ударного характеру. При цьому інтенсифікується процес зниження тягового зусилля, швидкості руху, коефіцієнту корисної дії та інших технічних характеристик, а також в результаті дане явище впливає на прискорення зношування суміжних пар тертя [9].

Динаміка нерівномірного зношування корінних і шатунних шийок колінчастого вала по його довжині призводить до зростання завищених рівнів між суміжними шийками, що призводить до збільшення пластичної деформації колінчастого вала і може бути причиною його руйнування. При цьому зношування корінних шийок або підшипника ковзання в межах 0,05-0,08 мм вже небезпечне, оскільки може призвести до пошкодження колінчастого вала.

Із аналізу літературних джерел [1, 9] можна зробити висновок що зазори в трибосистемі двигунів транспортних засобів (шийка колінчастого вала – підшипник ковзання), змінюються інтенсивніше у порівнянні з циліндро-поршневою групою. Залежність зміни зазору в з'єднанні шийки колінчастого вала двигуна нового та відновленого зображено на (рис. 1).

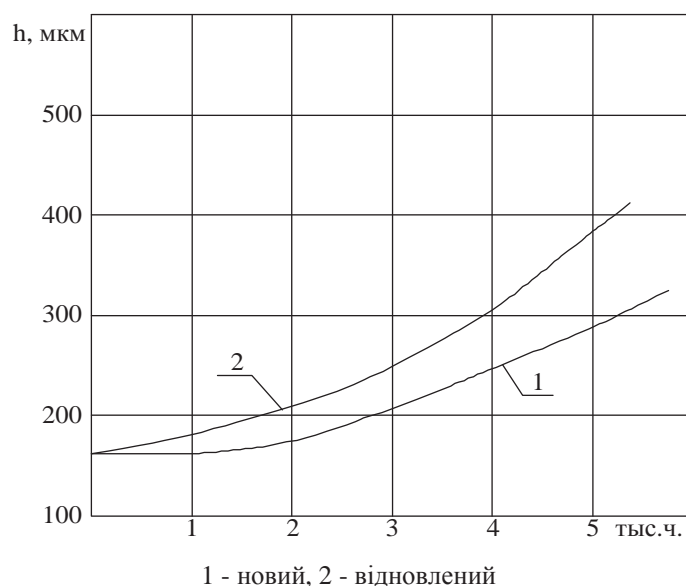


Рисунок 1 – Динаміка зміни зазорів в з'єднанні вкладиша з шийкою колінчастого вала двигуна  
Джерело: [8]

Подальше дослідження характеру і причин руйнування колінчастих валів показало, що майже у всіх випадках вони пов'язані з зношенням корінних і шатунних шийок і лише невеликий відсоток від загального числа пошкоджень, які залежать від дефектів матеріалу деталі (заготовки) [4]. Це повною мірою підтверджує висновки численних спостережень професора Б. І. Костецького та інших вчених про те, що саме руйнування поверхонь деталей машин при контактній взаємодії, як правило, передують руйнуванню основи. Отже, у загальній проблемі надійності і довговічності автомобіля прийнято розрізняти «об'ємну міцність» і «міцність поверхневого шару» [6]. Дане висловлювання стверджує що переважна більшість відмов в умовах експлуатації з'являється внаслідок зношення, (руйнування) поверхневих шарів трибосистем.

Явища зношування та втома у вузлах та агрегатах транспортних засобів як показали дослідження авторів [2, 5] часто розвиваються спільно і взаємопов'язані. Ця властивість розповсюджується на силові агрегати транспортних засобів основу яких складає двигун внутрішнього згорання, а складовими системами якого, є колінчастий вал та вкладиши підшипників ковзання на зношення яких в першу чергу впливають згадані явища.

**Постановка завдання.** Метою статті є аналіз закономірностей зношування шийок колінчастих валів двигунів транспортних засобів в залежності від величини навантаження на поверхні тертя, що безперервно змінює величину зазору, між поверхнями, що труться, твердості і чистоти обробки поверхонь, швидкості відносного переміщення деталей, від в'язкості, температури і чистоти оливи і ін. Відповідно до поставленої мети в статті досліджено особливості зносу корінних та шатунних шийок колінчастих валів.

**Виклад основного матеріалу.** Довговічність і потенціал роботи колінчастих валів визначаються двома параметрами – втомною міцністю і зносостійкістю. Коли питання підвищення втомної міцності колінчастого вала і, взагалі, всіх елементів трибосистем двигуна вирішується в основному на стадії його проектування, то зносостійкість деталей і пар тертя в цілому залежить від багатьох факторів, починаючи з конструкції колінчастого вала, методів зміцнення елементів вала і закінчуючи режимами роботи двигуна, якістю застосовуваних автоексплуатаційних матеріалів і зовнішніми умовами роботи (рис. 2).



Рисунок 2 – Фактори, які впливають на інтенсивність зношування трибосистем двигуна  
Джерело: [3]

Аналізуючи вплив різних факторів у загальному процесі зношування деталей двигуна автори М. А. Григорьев, А. В. Чичинадзе у своїх роботах [3, 9] приділяли значну увагу процесам зношення, характерним з'єднанням вузлів та агрегатів транспортних засобів.

Зношування, що виникає при роботі трибосистем, є найбільш характерним видом пошкодження деталей машин і характеризується видаленням матеріалу з контактуючих поверхонь в результаті механічних та хімічних процесів. Нині досить добре вивчені види і закони зносу, однак сформулювати однозначно і узагальнити все різноманіття явищ, що відбувається в поверхневих шарах деталей, неможливо.

Таким чином, зносостійкість необхідно розглядати як характеристику складної трибологічної системи, так як вона не представляє собою такої ж характеристики даного матеріалу, як, наприклад, межа його міцності під час розтягу. При контакті двох сполучених поверхонь і їх відносному переміщенні в поверхневих шарах виникають механічні та молекулярні взаємодії, які, в кінцевому результаті, і призводять до руйнування мікрооб'ємів поверхонь, тобто до їх зносу. При цьому провідним процесом зношування трибосистеми шийка колінчастого вала – підшипника ковзання є механічне зношування, до якого входять абразивне і втомлене зношування [10].

Супутніми видами зношування є молекулярно-механічне і корозійно-механічне зношування з усіма своїми різновидами, які в залежності від умов роботи двигуна впливають на зношування і при певних умовах можуть стати основними процесами руйнування. Абразивні частки надходять в робочу зону пари тертя з повітря, разом з паливом і мастильними матеріалами. Забруднені мастильні матеріали істотно впливають на інтенсивність процесу зношування шатунних і корінних шийок колінчастих валів, в результаті чого спрацювання може відбуватися навіть при рідинному терті.

Як було зазначено раніше, колінчастий вал є найбільш напруженою деталлю двигуна, що сприймає періодичні навантаження від сил тиску газів в циліндрах, сил інерції зворотньо-поступальних рухомих мас і їх моментів. Протягом кожного робочого циклу ( $720^\circ$  для чотирьох - і  $360^\circ$  для двотактного двигуна) сили, що діють на колінчастий вал, безперервно змінюються за величиною і напрямком. Це в сукупності призводить до того, що трибосистема шийки колінчастого вала – вкладиш підшипника ковзання двигунів працює в широкому діапазоні динамічних навантажень і швидкостей тертя.

В результаті таких умов роботи в спряжених поверхнях (шийки колінчастих валів та підшипників) в першу чергу піддаються втомним процесам поверхні корінних і шатунних шийок колінчастих валів.

Під терміном втома зазвичай розуміють особливий тип руйнування, що викликається повторно діючими циклами напруги, амплітудне значення яких не перевищує межі пружності матеріала [3], а втомне зношування є одним з найбільш поширених механізмів руйнування поверхонь деталей силових систем і, як наслідок, появи частинок зносу, зміни геометричних параметрів виробів і виходу їх з ладу. Цей вид зношування сполучень, в першу чергу, пов'язаний з втомними процесами, коли основною причиною руйнування поверхні деталі є виникнення на поверхні або під поверхнею втомних мікротріщин і відшарування частинок металу або його окисних плівок при багаторазовому навантаженні одиничних нерівностей поверхонь, що труться [6].

Ця гіпотеза отримала підтвердження в дослідженнях професорів Г. В. Самсонова, І. В. Крагельського, Л. В. Кукси та ін., які встановили, що утворення втомних мікротріщин відбувається в місцях скупчення дислокацій на певній відстані

від поверхні, різному для кожного металу, а поширення їх відбувається під дією поля напружень, обумовленого як скупченням дислокацій, так і зовнішнім джерелом силою тертя, які, з'єднуючись, утворюють сітку втомних тріщин, що призводить до руйнування поверхні. Утворення втомних тріщин спостерігається як в умовах змащування, так і в умовах обмеження мастильного шару. При цьому підкреслюється винятково важлива роль дискретних (локальних) поверхневих деформацій. Це достовірно підтверджується природою мікронеоднорідного деформованого стану металів, як в пружній, так і в пластичній областях і численними металографічними дослідженнями. Тому, основним видом фрикційних зв'язків, що виникають при терті матеріалів в сполученні шийка колінчастого вала підшипник ковзання і спонукаючи їх до зносу, є пружнопластична деформація як результат зношування мікрорельєфів поверхонь. При терті двох поверхонь зони контакту постійно змінюються, а окремі мікронерівності піддаються багаторазовому навантаженню, в результаті чого і виникають умови для втомного руйнування поверхневого шару.

Втомний знос супроводжується цілою гамою похідних фізичних, хімічних і механічних процесів, що протікають в поверхневих шарах третьових тіл.

Структура поверхневого шару металу є основою для надійної роботи колінчастих валів. Її вплив на втомний знос було досліджено багатьма вченими. Експериментально встановлено, що дрібнозерниста структура підвищує зносостійкість сталевих і чавунних деталей внаслідок підвищеного опору деформацій.

Відомо також, що міцність і опір деформації ростуть при зменшенні розмірів зерна, при цьому навіть невелика кількість домішок і легуючих елементів значно підвищує межу пружної деформації сплаву.

До того ж, досліджено, що поєднання повторних механічних і термічних впливів на матеріал деталі призводить до прискореного розвитку втомних тріщин, що необхідно враховувати при розробці технологій ремонту деталей транспортної галузі [5].

**Висновки.** Досліджуючи закономірності зношування шийок колінчастих валів двигунів транспортних засобів можна зробити такі висновки: характер зношування і закономірність зміни зносу в часі пояснюється цілим рядом невідповідних причин, дію яких неважко прогнозувати заздалегідь. До таких непередбачуваних, детермінованих причин відносяться: зміна площі контакту елементів в процесі зношування, зміна фізико-механічних властивостей матеріалів деталей по глибині, ріст динамічних навантажень і погіршення умов змащування по мірі збільшення зазорів в спряженнях і т. д.

Однією з основних причин передчасного виходу з ладу двигунів після капітального ремонту, і зокрема, трибосистеми шийки колінчастого вала - підшипника ковзання, є рівень застосовуваних способів і якість зміцнення корінних і шатунних шийок колінчастих валів. Виходячи з цього, можна вважати, що проблема підвищення зносостійкості корінних і шатунних шийок колінчастих валів і в цілому ресурсу роботи пари тертя шийки колінчастого вала - підшипник ковзання актуальна і в теперішній час.

## Список літератури

1. Авдеевский В.С., Боновой М.А. Трибология и машиностроение. *Трение и износ*. 1990. № 1. С. 23–26.
2. Анілович В.Я., Грінченко О.С., Карабін В.В. Міцність та надійність машин. Київ: Урожай, 1996. 288 с.
3. Григорьев М.А., Пономарев Н.Н. Износ и долговечность автомобильных двигателей. Москва: Машиностроение, 1976. 283 с.
4. Дроздов Ю.Н., Павлов В.Г., Пучков В.Н. Трение и износ в экстремальных условиях. Москва: Машиностроение, 1986. 224 с.
5. Когаев В.П., Дроздов Ю.Н. Прочность и износостойкость деталей машин. Москва: Высш. шк., 1991. 317 с.



6. Костецький Б.І., Караулов О.К., Костецька Н.Б. Структурно-енергетичні умови поверхневої міцності при терті. Київ: АН УССР, 1977. 26 с.
7. Крагельский И. В. Трение и износ. Москва: Машиностроение, 1968. 480 с.
8. Стеценко Е.Г., Конарев Ю.Н. Коленчатые валы тепловозных дизелей. Москва: Транспорт, 1985. 112 с.
9. Чичинадзе А. В. Основы трибологии (трение, износ, смазка). Москва: Наука и техника, 1995. 284 с.
10. Хрущев М.М., Бабичев М.А. Абразивное изнашивание. Москва: Наука, 1970. 118 с.

## References

1. Avduevskij, V.S. & Bonovoj, M.A. (1990). Tribologija i mashinostroenie [Tribology and mechanical engineering]. *Trenie i iznos – Friction and Wear. 1.* 23–26 [in Russian].
2. Anilovych, V.Ya., Hrinchenko, O.S. & Karabin, V.V. (1996). *Mitsnist' ta nadijnist' mashyn [Strength and reliability of machines]*. Kyiv: Urozhaj [in Ukrainian].
3. Grigor'ev, M.A. & Ponomarev, N.N. (1976). *Iznos i dolgovechnost' avtomobil'nyh dvigatelej [Wear and durability of car engines]*. Moskva: Mashinostroenie [in Russian].
4. Drozdov, Ju.N., Pavlov, V.G. & Puchkov, V.N. (1986). *Trenie i iznos v jekstremal'nyh uslovijah [Friction and wear in extreme conditions]*. Moskva: Mashinostroenie [in Russian].
5. Kogaev, V.P. & Drozdov, Ju.N. (1991). *Prochnost' i iznosostojkost' detalej mashin [The strength and durability of machine parts]*. Moskva: Vyssh. shk. [in Russian].
6. Kostets'kyj, B.I., Karaulov, O.K. & Kostets'ka, N.B. (1977). *Struktorno-enerhetychni umovy poverkhnevoi mitsnosti pry teriti [Structural-energy conditions of surface friction strength]*. Kyiv: AN USSR [in Russian]. [in Ukrainian].
7. Kragel'skij, I. V. (1986). *Trenie i iznos [Friction and wear]*. Moskva: Mashinostroenie
8. Stecenko, E.G. & Konarev, Ju.N. (1985). *Kolenchatye valy teplovoznyh dizelej [Crankshafts of locomotive engines]*. Moskva: Transport [in Russian].
9. Chichinadze, A.V. (1995). *Osnovy tribologii (trenie, iznos, smazka) [Basics of tribology (friction, wear, grease)]*. Moskva: Nauka i tehnika [in Russian].
10. Hrushhev, M.M. & Babichev, M.A. (1970). *Abrazivnoe iznashivanie [Abrasive wear]*. Moskva: Nauka [in Russian].

**Kovalov Mykhailo**, Prof., PhD tech. sci., **Holovaschchuk Mykhailo**, post-graduate  
National Transport University, Kyiv, Ukraine

### Determination of Patterns of Wear on the Crankshafts of Vehicles Engines

The purpose of the article is to analyze the regularities of the wear characteristics of the crankshafts of vehicles engines depending on the magnitude of the load on the friction surface, which continuously changes the gap between the rubbing surfaces, the hardness and cleanliness of the machined surfaces, the speed of relative movement of parts, viscosity, temperature and purity of oil, etc. In accordance with the stated goal, the article explores the peculiarities of the wear of the crankshafts and crankshafts.

Providing the necessary operational performance of vehicle engines at the present stage of development of automotive and auto repair production requires improvement of their technical characteristics. One of the main causes of premature failure of vehicles engines is the wear of the tribosystem of the crankshaft neck - the sliding bearing. Wear of the crankshaft necks leads to a gradual change in their size, shape and condition of the surfaces due to the interaction of thin metal surface layers in the friction process. The nature of wear and tear patterns over time is explained by a number of non-random causes. These include: change in the contact area of the elements in the wear probe, change in the physical and mechanical properties of the materials of the parts in depth, increase in dynamic loads and deterioration of lubrication conditions as the gaps in the joints increase, etc.

Thus, the leading process of wear of the tribosystem of the neck of the crankshaft - the sliding bearing is mechanical wear, which includes abrasive and fatigue wear. One of the main causes of premature failure of engines after major repairs, and in particular, the crankshaft cervical tribosystem - sliding bearing, is the level of methods used and the quality of strengthening of the crankshaft and crankshaft crankshafts. Therefore, the problem of increasing the wear resistance of the crankshaft crankshafts and crankshafts and in the whole life of the pair of crankshaft friction pairs - the sliding bearing is relevant today.

**wear, crankshaft neck, vehicle engine**

Одержано (Received) 19.11.2019

Прорецензовано (Reviewed) 25.11.2019

Прийнято до друку (Approved) 23.12.2019