

УДК 621.923.74:621.921.34

В.Я. Ошовський, доц., канд. техн. наук

*Первомайський політехнічний інститут Національного університету
кораблебудування імені адмірала Макарова*

Виробничі технології як альтернатива обкатування деталей ДВЗ

Розглядаються технології обробки в умовах виробництва як альтернатива обкатування для підвищення ресурсу деталей двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ). Проаналізовано недоліки обкатування та запропоновано метод збільшення ресурсу рухомих спряжень. Доведена можливість збільшення ресурсу рухомих спряжень ДВЗ притиранням і шаржуванням алмазними пастами.

обкатування, ресурс ДВЗ, шорсткість, притирання, шаржування

В.Я. Ошовский

Первомайский политехнический институт Национального университета кораблестроения имени адмирала Макарова

Производственные технологии как альтернатива обкатки деталей ДВС

Рассматриваются технологии обработки в условиях производства как альтернатива обкатки для повышения ресурса деталей двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Проанализированы недостатки обкатки и предложен метод увеличения ресурса подвижных соединений. Доказана возможность увеличения ресурса подвижных соединений ДВС притиркой и шаржированием алмазными пастами.

обкатка, ресурс ДВС, шероховатость, притирка, шаржирование

Постановка проблеми. Обкатування ДВЗ фактично є останньою і самою відповідальною технологічною операцією доводочної обробки поверхонь тертя, від якої залежить термін подальшої експлуатації ДВЗ до ремонту та об'єм необхідних при цьому робіт. Але ця технологічна операція виконується не на робочому місці підприємства, як вид обробки з використанням сучасних технологій, а в умовах певного періоду роботи ДВЗ за спеціальними режимами [1]. Досягти високої якості рухомих спряжень деталей, особливо автотракторних двигунів, при цьому неможливо з-за того, що на їх поверхнях виникають неконтрольовані негативні зміни, які зменшують ресурс ДВЗ.

Розробки, дослідження і впровадження методів обробки поверхонь тертя деталей ДВЗ у виробничих умовах, як альтернативи для заміни обкатування можуть значно підвищити ресурс ДВЗ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В реальних умовах результати технологічного процесу обкатування рухомих спряжень деталей залежать від локальних параметрів і умов процесу на їх поверхнях, таких як питомий тиск, температура і властивості мастила та матеріалу, шорсткість та відхилення форми і розташування поверхонь, геометричні параметри і властивості відходів обробки у вигляді твердих включень, які циркулюють з мастилом, а також від різних явищ, які при цьому відбуваються, та інших випадкових факторів.

Обкатування збільшує зазор в спряженні, зменшує гарантований запас на знос а таким чином і ресурс. В результаті нерівномірності зазору відповідно перерозподіляється гідродинамічний тиск шару мастила, епюра тисків стає нерівномірною [2], що підвищує знос поверхонь.

За даними досліджень [3] геометрична неоднорідність, тобто наявність поверхневого мікрорельєфу у вигляді хвилястості або шорсткості призводить до дискретного характеру механічної взаємодії між поверхнями тертя. На плямах фактичного контакту виникають концентрації механічних напружень, які і призводять до прискорення зносу поверхневого шару. Товщина масляного шару в реальних умовах залежить від параметрів і адгезії масла, геометрії поверхонь та швидкості їх відносного руху. При деяких режимах і відповідних умовах виникає фрикційний контакт між плямами поверхонь.

Виступи мікронерівностей в умовах появи сухого нагріваються і деформуються, в результаті виникають локальні зміни мікроструктури [4]. Локальні температури нагрівання і швидкості охолодження мастилом і внутрішніми шарами металу – різні, що і призводить до неконтрольованих змін фазових і структурних складових та утворення неоднорідної мікроструктури на поверхнях тертя.

В процесі обкатування на виступах мікронерівностей перевищення питомого навантаження і температури вище певних границь може призводити також до прихвачування виступів до валу та утворення мікрОВИбоїн на поверхні підшипника [5]. Можуть приварюватися і стиратися або відламуватися тверді включення, які утворюють подряпини в напрямку відносного руху поверхонь та інші дефекти. З практики відомо, що в режимі граничного змащення, при перегріві, виникало навіть повертання бабітових вкладишів відносно їх гнізд [6].

Окрім того при механічній взаємодії поверхні стають більш реакційно здатними, що призводить до трибохімічних реакцій [7]. Вуглеводні мастила при температурі вище 80°C втрачають протизносні властивості з-за посилення десорбції поверхнево-активних речовин та зниження в'язкості.

Встановлено, що від фінішної обробки деталей дизелів залежить не тільки початкова, а і наступна інтенсивність зношування при експлуатації [8]. Згладжування мікронерівностей (зменшення Ra , Rz , $Rmax$ та збільшення tp) зменшує коефіцієнт тертя та підвищує зносостійкість поверхонь [9].

Спеціалістами ВАЗа на основі аналізу стану деталей двигунів після пробігу до необхідного капітального ремонту було визначено, що ресурс ДВЗ корелюється не пробігом автомобілів, а якістю виготовлених деталей та умовами експлуатації. Але деталі не підлягають контролю в технологічному процесі обкатування, як завершальної обробки, та виправленню дефектів після неї.

Формулювання цілей. Метою статті є дослідження технологій доводочної обробки, які на стадіях завершення виробництва або капітального ремонту деталей ДВЗ в альтернативу обкатуванню дозволять у спряженнях «шийка колінчастого валу – вкладиші», «поршневі кільця - циліндр», «поршень - циліндр» отримати мінімальний зазор та оптимальні параметри шорсткості поверхонь зі зменшенням відносних погіршеностей їх форми і розташування, а також підвищити механічні властивості поверхневого шару для збільшення ресурсу ДВЗ та можливості подальшого форсування.

Виклад основного матеріалу. Найбільш раціональний стан в зонах дискретного контакту поверхонь досягається тоді, коли контактне навантаження розподіляється більш рівномірно і відсутні пікові напруження. Для досягнення такого стану необхідне прироблення поверхонь деталей, але не обкатуванням, при якому виникають негативні явища, а на основі сучасних технологій доведення поверхонь. Перспективними є нанотехнології та інші, які можуть покращувати не тільки геометричні характеристики поверхонь спряжень, а й склад та механічні властивості у тонкому поверхневому шарі матеріалу поверхонь. Однією з таких технологій є шаржування алмазними пастами.

Доводочна обробка спряжених поверхонь в підшипниках ковзання повинна зменшувати висоту нерівностей профілю шорсткості, відхилення від правильності

геометричної форми і розташування поверхонь та збільшувати відносну опорну довжину профілю шорсткості при мінімальному зменшенні запасу на знос. Така обробка збільшить дійсну площину контакту між дотичними поверхнями, що зменшить питомий тиск між ними та дасть можливість передавати і сприймати більші експлуатаційні навантаження при збільшенні ресурсу роботи підшипника.

Ресурс роботи підшипника визначається часом його надійної роботи, що досягається при рідинному терті, тобто коли спряжені поверхні роз'єднані шаром мастила і тертя між металевими поверхнями замінюється тертям в мастильній рідині. Для забезпечення рідинного тертя необхідно, щоб поверхні спряжених деталей не зачіплювалися, тобто щоб шар мастила не мав розривів. Це можливо, коли найменша товщина утвореного масляного шару h_{min} (рис.1, а) буде відповідати умові [10]

$$h_{min} \geq h_{p.m} \geq Rz_1 + Rz_2 + \Delta_\phi + \Delta_p + \Delta_{def} + \Delta_\delta, \quad (1)$$

де $h_{p.m}$ – товщина масляного шару, при якому забезпечується рідинне тертя;
 Rz_1, Rz_2 – висоти нерівностей спряжених поверхонь;
 Δ_ϕ, Δ_p – погрішності форми і розташування спряжених поверхонь;
 Δ_{def} – величина, яка враховує вплив деформацій деталей підшипникового вузла при його роботі;

Δ_δ - добавка, яка враховує відхилення навантаження, швидкості, температури від розрахункових, а також механічні вклучення в маслі та інші невраховані фактори.

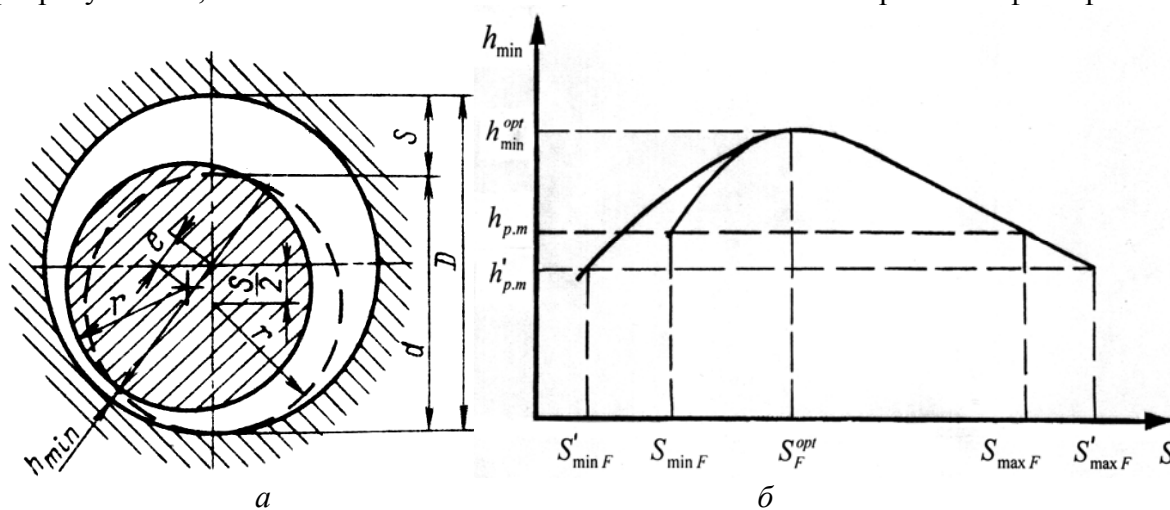


Рисунок 1 - Найменша товщина масляного шару h_{min} на схемі підшипника (а) та характер її залежності від зазору S в процесі зносу підшипника (б)

На найменшу товщину масляного шару h_{min} на ділянці максимального зближення спряжених поверхонь при сталому режимі роботи підшипника впливає величина діаметрального зазору S (рис. 1, б). Після звичайної технології обробки в процесі зносу підшипника, тобто при збільшенні функціонального зазору від мінімального $S_{min F}$ до максимального значення $S_{max F}$ товщина масляного шару h_{min} спочатку швидко збільшується, а після досягнення максимального значення поступово зменшується з-за збільшення амплітуди коливань валу в отворі підшипника. Рідинне тертя можливе тільки в певному діапазоні функціональних діаметральних зазорів, наприклад, від $S_{min F}$ до $S_{max F}$, які визначаються за такими формулами [10]

$$S_{\min F} = \frac{k\mu_1\omega d^2 - \sqrt{(k\mu_1\omega d^2)^2 - 16ph_{p,m}^2 m\mu_1\omega d^2}}{4ph_{p,m}} \text{ мкм}, \quad (2)$$

$$S_{\max F} = \frac{k\mu_2\omega d^2 + \sqrt{(k\mu_2\omega d^2)^2 - 16ph_{p,m}^2 m\mu_2\omega d^2}}{4ph_{p,m}} \text{ мкм}; \quad (3)$$

де k і m – коефіцієнти постійні для даного значення відношення довжини підшипника l до діаметру валу d ;

μ_1, μ_2 – динамічна в'язкість мастила, в умовах роботи підшипника відповідно при мінімальному та максимальному функціональних зазорах, Па·с;

ω – колова швидкість, рад/с;

p – середній тиск на одиницю площі проекції опорної поверхні підшипника, Н/м².

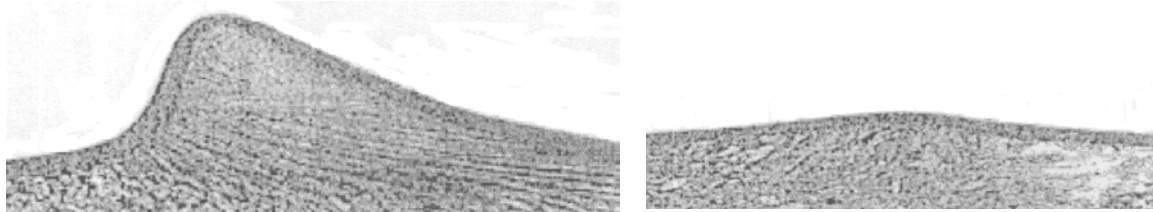
В процесі обкатування функціональний зазор швидко збільшується з-за згладжування шорсткості, погрішностей форми та інших геометричних відхилень, що призводить і до зменшення ресурсу. Швидкість зносу зменшується тільки після утворення оптимального зазору S_{opt} , при якому товщина масляного шару максимальна.

З формул (2) і (3) та характеру залежності (рис. 1, б) $h_{min} = f(S)$ видно, що при зменшенні $h_{p,m}$ найменший функціональний зазор $S_{\min F}$ зменшується (2), а найбільший – $S_{\max F}$ збільшується (3). Тобто геометрія поверхонь має значний вплив на довговічність посадки з зазором і для збільшення ресурсу підшипника можна розширити інтервал $S_{\max F} - S_{\min F}$ до $S'_{\max F} - S'_{\min F}$ за рахунок зменшення геометричних погрішностей: $Rz_1, Rz_2, \Delta\phi, \Delta\rho$ та зниження таким чином $h_{p,m}$ до значення $h'_{p,m}$.

З-за розширення інтервалу функціональних зазорів збільшиться запас на знос, а з-за зменшення геометричних відхилень і шорсткості поверхонь зменшаться також інтенсивність зносу до S_{opt} та коефіцієнт тертя, що значно збільшить ресурс роботи спряження. $h_{p,m}$. Це підтверджується результатами багатьох експериментальних досліджень [8, 9, 11, 12].

Одним з методів згладжування спряжених поверхонь є притирання їх алмазними пастами [13]. В процесі притирання змінюється мікрорельєф і механічні властивості поверхонь спряження. Мікронерівності округлюються, їх висота зменшується відповідно до кратності притирань (рис. 2).

Окрім того у процесі притирання алмазною пастою в поверхневих шарах спряження виникає шаржування (рис. 2), тобто утворюється зміцнена наклепана зона, насичена твердими алмазними включеннями. При використанні нанодисперсних алмазних паст будова поверхневих шарів може змінюватися на рівні нанотехнологій.



a

б

a – однократного; *б* – багатократного

Рисунок 2 - Мікрорельєф поверхні після алмазного притирання

Алмазні включення поверхневого шару є діелектриками, мають малу реакційну здатність, а тому виключають можливість адсорбції поверхнево-активних речовин працюючими поверхнями і таким чином служать нейтралізаторами “водневого зносу”.

Слід відзначити також, що дрібнодисперсні алмазні частинки виключають прихвачування до валу і утворення задирок на поверхнях тертя, а у суміші з мастилом працюють як кульки у підшипниках кочення.

Проведено випробування дії алмазного притирання з шаржуванням на спряженні “підшипник нижньої головки шатуна - шатунна шийка колінчастого валу” компресора 2ФВ-4. Перед притиранням бронзова поверхня вкладишів нижньої головки шатуна і кришки після лудження покривалася бабітом Б83 і оброблялася з припуском до утворення посадки з незначним натягом. Виготовлені таким чином підшипники нижніх головок шатунів притиралися до полірованої шатунної шийки колінчастого валу з сталі 45 алмазною пастою АСМ 7/5 ГОСТ 25593-83 у суміші з мастилом. Вал обертався з частотою $0,5...2\text{с}^{-1}$ при закріплених до незначного опору обертанню валу кришках підшипників, які періодично підтягувались при добавленні суміші пасти з мастилом. Притирання продовжувалося до вільного обертанню валу при повністю затягнутих кришках підшипників.

Притирання за такою технологією дозволило окрім шаржування отримати мінімальний зазор в спряженнях та згладити шорсткість поверхонь. Після такої доводочної обробки компресор був випробуваний при роботі в умовах високих навантажень, при ступеню стискання 6...12. Після близько 2000 годин експлуатації були перевірені поверхні спряжень “підшипник нижньої головки шатуна - шатунна шийка колінчастого валу”. На поверхнях шийок валу і підшипника слідів зносу, прихвачувань та інших пошкоджень виявлено не було, шийка валу оставалась полірованою, а поверхня вкладишів не мала занурених включень продуктів зносу.

Пояснити отриману високу зносостійкість поверхонь можна тим, що при алмазному шаржуванні тверді алмазні частинки спроможні проникати в поверхні як вкладишів і так валу, що підвищує зносостійкість не тільки вкладишів, а й валу. У відзнаку від такого шаржування при обкатуванні утворювані продукти зносу проникають тільки в поверхню вкладишів, що приблизно в два рази збільшує знос валу порівняно з вкладишами [14]. Окрім того алмазні частинки при зануренні під дією механічного втискування орієнтуються відповідно до поверхонь дотику.

Така доводочна обробка спряження наближає геометрію поверхні підшипника до поверхні полірованого валу, згладжує виступи шорсткості та підвищує механічні властивості контактуючих поверхневих шарів підшипника і валу утворенням в їх структурі алмазних включень. Це зменшує коефіцієнт тертя, збільшує запас на знос та зносостійкість поверхонь, тобто підвищує ресурс роботи спряження у відміну від обкатування.

Висновки. Технологічний метод притирання з шаржуванням алмазними пастами на прикладі обробки спряження «шийка колінчастого валу – вкладиші» дозволяє:

- збільшити запас на знос за рахунок зменшення найменшого функціонального зазору;
- згладити виступи та зменшити висоту мікронерівностей профілю шорсткості, а також збільшити відносну опорну довжину профілю мікронерівностей, що дає можливість збільшити питомі навантаження;
- отримати в тонких поверхневих шарах спряжених деталей зносостійкі структури насичені дрібнодисперсними алмазними включеннями шляхом механічного втискування і занурення алмазних частинок.

Таким чином технології притирання і шаржування основних рухомих спряжень деталей, що визначають ресурс ДВЗ, можуть бути альтернативою обкатуванню.

Перспективними є подальші дослідження впливу режимів і матеріалів для притирання і шаржування на мікроструктуру, механічні властивості, зносостійкість і ресурс деталей рухомих спряжень. Отримані результати та основані на них технології завершальної обробки для заміни обкатування можуть значно підвищити ресурс ДВЗ.

Список літератури

1. Сергеев Д.И. Техническая эксплуатация судовых дизелей. – М.: Транспорт, 1969. – 176 с.
2. Двигатели внутреннего сгорания: Конструирование и расчёт на прочность поршневых и комбинированных двигателей / Под ред. А.С.Орлина, М.Г.Круглова. 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1984. – 384 с.
3. Горячева И.Г. Механика фрикционного взаимодействия. – М.: Наука, 2001. – 478с.
4. Аулін В.В., Кузик О.В. Зміна стану зон тертя деталей машин та динамічне трибоматеріалознавство їх поверхневих шарів // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград: КНТУ, 2013. Вип. 26. - С. 32-40.
5. Андрусенко О.Е., Матвеев Ю.И. Влияние аккумуляирования теплоты в подшипниковом узле на прихват и усталостное разрушение подшипников скольжения // Вестник АГТУ. Серия: Морская техника и технология. 2009. №1. - С.47-49.
6. Чуфистов Е.А., Родайкин Н.В., Чуфистов О.Е. Конструкторско-технологическое повышение надежности подшипниковых узлов коленчатых валов среднеоборотных дизельных двигателей // Известия ВУЗов. Поволжский регион. Технические науки. 2009. №2. - С. 156-165.
7. Шевеля В.В., Олександренко В.П. Трибохимия и реология износостойкости: Монография. – Хмельницький: ХНТУ, 2006. - 278 с.
8. Барановский Д.Н. Повышение долговечности дизелей с применением оптимальной микрогеометрии трибосистемы «гильза-кольцо» // Автомобильный транспорт (Харьков, ХНАДУ). 2010. №26. – С. 81-84.
9. Алиев А.А., Булгаков В.П., Приходько Б.С. Качество поверхности и свойства деталей машин // Вестник АГТУ. 2004. №1. - С.8-12.
10. Якушев А.И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: Учебник. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1979. - 343 с.
11. Тарельник В.Б., Марцинковский В.С., Дзюба А.В. Новый способ улучшения прирабатываемости пары трения «вкладыш подшипника – шейка вала» // Компрессорное и энергетическое машиностроение, 2013. - №1(31). - С. 49-53.
12. Коченов В. А. Конструирование приработанных трибоспряжений двигателей внутреннего сгорания / Коченов В. А., Казаков С. С. // Вестник АГТУ. Серия: Морская техника и технология. - 2010. - №2. - С. 134-138.
13. Барышников С.О. Нанотехнологии и работа двигателей внутреннего сгорания (постановка эксперимента) // Журнал университета водных коммуникаций. 2009. №3. - С. 33-42.
14. Автомобили ВАЗ: изнашивание и ремонт /А.А. Звягин, М.А. Масино, А.М. Мотин, Б.В. Прохоров; Под общ. ред. А.А.Звягина. – Л.: Политехника, 1991. - 255 с.

Viktor Oshovsky

Pervomaysk Politechnic Institute of National Shipbuilding University named after admiral Makarov

Production technologies as alternative to rolling of the ICE details

Technologies of treatment in the conditions of production are examined as an alternative to rolling for the increase of details resource of internal-combustion engine (ICE).

The lacks of rolling-off are analysed and the method of increasing the resource of mobile interfaces is offered.

Possibility of the increasing of resource of mobile interfaces by the ICE grinding and caricaturing by diamond pastes is proved.

rolling, resource ICE, unevenness, lapping, charging

Одержано 08.10.13