УДК 621.827

ЗМІНИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ШАТУНА В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Антон ТЕСЛЮК

Здобувач вищої освіти спеціальності G11 Машинобудування

Державний біотехнологічний університет

м. Харків, Україна

Анотація: *Досліджено закономірності зміни технічного стану та зношування шатунів двигунів внутрішнього згоряння в процесі експлуатації. Проаналізовано характер зносу втулки верхньої головки шатуна й розроблено математичну модель підвищення її овальності та зміни інтенсивності зношування залежно від напрацювання. Описано особливості фретинг-зношування в спряженні втулки з шатуном. Запропоновано удосконалену комплексну технологію відновлення верхньої головки шатуна із застосуванням наплавлення, алмазного еластичного хонінгування та комбінованої лазерної обробки.*

Ключові слова: *шатун, верхня головка шатуна, інтенсивність зношування, овальність, фретинг-зношування, відновлення деталей, алмазне хонінгування, лазерна обробка*

Збільшення міжремонтних пробігів, робота у важких дорожніх умовах та використання форсованих режимів призводять до прискореного зносу та деформації шатунів.

Невиявлені вчасно дефекти (вигин, скручування, знос отворів під втулку та вкладиші) викликають перекіс поршня, нерівномірний знос циліндропоршневої групи та, як наслідок, аварійне руйнування двигуна. Тому дослідження закономірностей зміни технічного стану шатунів та розробка ефективних технологій їх відновлення є актуальним науково-практичним завданням [1-3].

У верхній головці шатуна в процесі експлуатації відбувається зношування втулки та поршневого пальця [4-6]. Вид зношування тут переважно окислювальний і частково абразивний. Виходячи з аналізу умов роботи шатуна,

це спряження можна віднести до динамічно навантажених, для яких є справедливим експоненціальне рівняння зносу S від напрацювання l:

$$S = S_0 e^{bl}, \text{ мкм}$$

де S_o – знос наприкінці періоду приробки, приведений до початку експлуатації, мкм; b – зміна інтенсивності зношування на одиницю зносу, 1/тис. км.

Як випливає з аналізу умов роботи шатуна, максимальні навантаження діють уздовж осі шатуна. Тому максимальний знос втулки верхньої головки спостерігається вздовж осі шатуна, що обумовлює овальність отвору під поршневий палець. Овальність отвору зростатиме в процесі експлуатації. Обґрунтуємо вид залежності овальності від напрацювання. Параметр b у залежності однаковий як для площини осі шатуна, так і для перпендикулярної до неї площини.

Овальність отвору ε – це різниця діаметрів вздовж осі шатуна та у перпендикулярному напрямку. Оскільки вважаємо, що початкова овальність дорівнює нулю, то овальність у процесі експлуатації – це різниця зносів вздовж осі шатуна S_1 та у перпендикулярній площині S_2. З урахуванням рівняння (*1*) отримаємо:

$$\varepsilon = S_1 - S_2 = S_{01} e^{bl} = (S_{01} - S_{02}) e^{bl} = \varepsilon_0 e^{bl}, \text{ мкм}$$

де $\varepsilon = S_{01} - S_{02}$ – овальність отвору наприкінці приробки, приведена до початку експлуатації, мкм.

У спряженні втулки з шатуном у процесі експлуатації змінюються умови посадки. Оскільки на шатун діють навантаження з високочастотним коливанням, виникає фретинг-зношування, внаслідок чого руйнуються мікронерівності, щільність посадки знижується і вона може стати рухомою, що недопустимо [4-6]. Граничним зносом тут є середня величина мікронерівностей, що схематично показано на рис. 1.

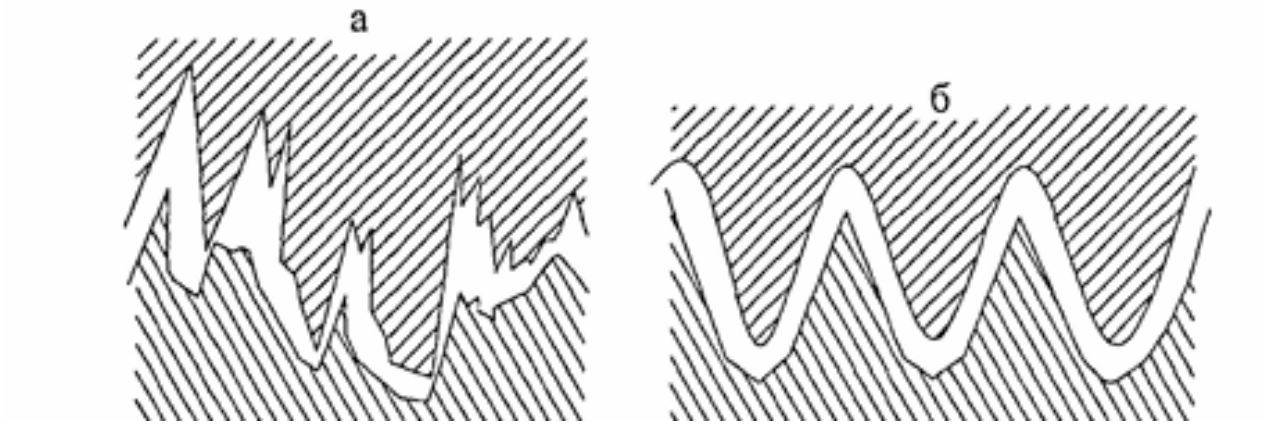


Рисунок 1 – Взаємодія мікронерівностей шатуна та втулки (а) і схема умовних мікронерівностей (б)

З рисунка 1 видно, що ймовірність руйнування мікровиступів у міру зниження їх висоти (зношування) знижується. Отже, зі збільшенням зносу інтенсивність зношування (руйнування мікровиступів) знижується. Цю залежність можна прийняти лінійною з урахуванням форми мікровиступів (конус, піраміда):

$$\alpha = \alpha_0 - b'S, \text{ мкм/тис км,}$$

де α – інтенсивність зношування наприкінці періоду приробки, приведена до початку експлуатації, мкм/тис. км; b' – зміна інтенсивності зношування на одиницю зносу, 1/тис. км; S – знос після приробки, мкм (рис. 2).

Оскільки інтенсивність зношування – це похідна від зносу за пробігом (напрацюванням), тобто $\alpha=dS/dl$, інтегрування диференціального рівняння дозволяє отримати залежність α від l та S від l:

$$\frac{dS}{dl} = \alpha_0 - b'S;\ l = \int \frac{dS}{\alpha_0 - b'S} = -\frac{1}{\alpha_0 - b'}\ln(\alpha_0 - S) + \mathrm{C_ц}, \text{ мкм/тис. км,}$$

де $C_ц$ – стала інтегрування, зміст якої визначається з початкових умов: $S = 0$ при $l = 0$.

Після перетворень:

$$\alpha_0 e^{-b'l} = \alpha_0 - b'S = \alpha, \text{ чи } \alpha = \alpha_0 e^{-b'l},$$

тобто інтенсивність зношування у процесі експлуатації знижується.

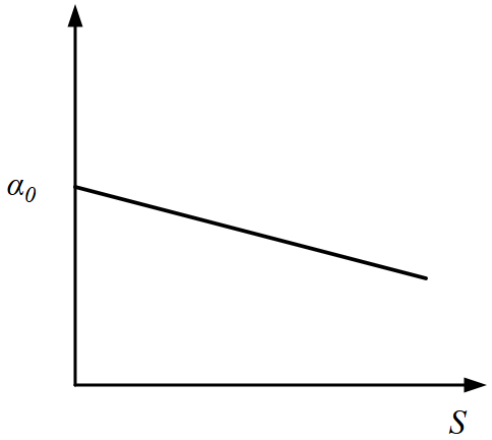


Рисунок 2 – Характер залежності інтенсивності зношування α_0 від зносу S

Таким чином, з урахуванням цих процесів слід обирати спосіб та технологію відновлення верхньої головки шатуна, а також визначати ресурс спряження.

Традиційні методи ремонту часто обмежуються заміною втулок та розточуванням під нові вкладиші. Удосконалена технологія пропонує комплексний підхід:

- Застосування лазерного або газопорошкового наплавлення на площини розніму з подальшим фрезеруванням та хонінгуванням «у розмір» (забезпечує відновлення правильної круглості отвору без зменшення міжосьової відстані шатуна).

- Хонінгування замість розточування: застосування алмазного еластичного хонінгування для фінішної обробки отворів, що забезпечує шорсткість поверхні $R_a \leq 0,4$ мкм і збільшує площу фактичного контакту з втулкою.

- Зміцнення та відновлення деталей автомобільного транспорту комбінованою лазерною обробкою.

Список використаних джерел

1. Ремонт машин та обладнання: Підручник. / О.І. Сідашенко та ін.;за ред. проф. О.І. Сідашенка, О.А. Науменка. К.: Агроосвіта, 2015. 665 с.

2. Технологія ремонту машин та обладнання. Курс лекцій. / О.І. Сідашенко, О.В.Тіхонов, С.О. Лузан та інші. Навч. посібник. Харків: ХНТУСГ, 2017. 361 с

3. Практикум з ремонту машин. Технологія ремонту машин, обладнання та їх складових частин. Том 2. / О.І. Сідашенко, О.В. Тіхонов, Т.С. Скобло та інші. За ред. О.І. Сідашенко, О.В. Тіхонова. Навчальний посібник. Харків: ТОВ «Пром-Арт», 2018. 491 с.

4. Теслюк А., Рибалко І. Удосконалення технології ремонту верхньої головки шатуна двигуна КамАЗ-740. *Сталий розвиток транспорту та інфраструктури: виклики майбутнього*: збірник тез Всеукраїнської конференції здобувачів вищої освіти та молодих вчених, 6-8 травня 2026 р. [Електронне видання]. Рівне : НУВГП, 2026. С. 106-108.

5. Чернета О.Г., Середа Б.П., Кубіч В.І. Основи технологічного виробництва та ремонту автомобілів. Навчальний посібник Кам'янське: ДДТУ, 2023. 163 с

6. Канарчук В.Є., Чигринец А.Д., Голяк О.Л. Відновлення автомобільних деталей: Технологія та обладнання: Посібник для вузів. К.: Транспорт, 2015. 303 с.

Abstract. *The patterns of changes in the technical condition and wear of internal combustion engine connecting rods during operation have been studied. The nature of wear of the small end bushing of the connecting rod has been analyzed, and a mathematical model for the increase in its ovality and the change in wear rate depending on operating time has been developed. The features of fretting wear in the bushing-to-connecting-rod joint are described. An improved comprehensive technology for restoring the small end of the connecting rod using surfacing, diamond elastic honing, and combined laser processing is proposed.*

Keywords: *connecting rod, small end of connecting rod, wear rate, ovality, fretting wear, part restoration, diamond honing, laser processing.*

Науковий керівник:

Рибалко І.М.

доктор технічних наук, доцент

Державний біотехнологічний університет