

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ В ПРОЦЕСІ РЕМОНТУ РОТОРА ТУРБОКОМПРЕСОРА ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ

¹Житомирський державний технологічний університет

Проаналізовано наявні в різних літературних джерелах інформації рекомендації для вибору методів зміцнення та відновлення зношених деталей машин. З метою зміцнення та відновлення номінальних розмірів роторів вибрано метод газополуменевого напилення зносостійких покриттів. Значення економічного показника надійності ротора K_e дорівнює 17,46. Вищу надійність ротора досягнуто за рахунок додаткових затрат при зміцненні ротора з використанням порошку ПГ-10Н01; використано поняття ціни надійності ротора V_n , яка дорівнює 1800 грн. Для повнішої оцінки надійності застосовано комплексні показники надійності відновленого ротора: коефіцієнт готовності $K_g = 0,999$; коефіцієнт технічного використання $K_{me} = 0,998$.

Ключові слова: надійність деталі, показники надійності, наробіток на відмову, ремонт деталі, відновлення деталі.

Вступ

Проблему підвищення якості виробів неможливо вирішити без вирішення проблеми підвищення їх надійності. Малі міжремонтні наробітки виробів, значні витрати запасних частин визначаються, частіше всього, невисокою зносостійкістю поверхонь деталей, що труться. Проблема надійності комплексна, потребує вирішення в сферах виробництва та експлуатації двигунів, в т. ч. в процесі ремонту деталей, які швидко зношуються. Підвищення надійності деталей в процесі їх ремонту, покращення таких показників, як безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність, у порівнянні з аналогічними показниками базової деталі, є актуальною проблемою.

В роботі [1] розроблено захисні покриття та технологічні процеси їх нанесення для зміцнення і відновлення зношених деталей автомобілів.

Для ремонту обладнання широко застосовують наплавлення, яке дає можливість порівняно швидко відновити зношену поверхню, отримати покриття, яке характеризується високою стійкістю проти спрацювання. Для наплавлення використовують широко розповсюджене обладнання [2].

Хіміко-термічна обробка сталі широко застосовується з метою збільшення міцності і стійкості проти зношення деталей машин і обладнання [3, 4].

Для відновлення зношених деталей обладнання широко застосовують також газотермічні методи: газопорошкового наплавлення, газопорошкового і плазмового напилення, електродугової металізації [5]. З метою підвищення зносостійкості деталей застосовують газову та електродугову металізацію [4], а також застосовують для відновлення розмірів зношених деталей машин та механізмів, які працюють на стирання. Застосовують сталь з високим вмістом вуглецю або нержавіючу сталь [6].

Для зміцнення та відновлення інструменту, шийок кулачкових валів, ексцентриків, храповиків, кулачків використовують порошок ПГ-10Н01. Обробка покриття здійснюється шліфуванням [7].

На сьогодні правильне рішення задачі забезпечення надійності отримують раціональним вибором матеріалів — сталей, кольорових сплавів, неметалевих матеріалів, які безпосередньо відповідають головним вимогам забезпечення надійної роботи конструкції за безперервного контролю якості в умовах експлуатації [8].

Разом з тим, не вирішено проблему підвищення надійності роторів до заданих показників, не виконано розрахунки показників надійності роторів.

Метою досліджень є підвищення надійності валів ротора турбокомпресора двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) під час виконання ремонту методом газополуменевого напилювання покриттів, виконання розрахунків показників надійності відновлених валів.

Для проведення дослідження використано такі наукові методи: аналізу та синтезу; абстрактно-логічний (теоретичне узагальнення, сформульовані висновки). В роботі використано метод підвищення надійності роторів шляхом газополуменевого напилювання покриттів.

Результати досліджень

Турбокомпресор двигуна складається з відцентрового компресора і газової турбіни. Колеса турбіни і компресора на номінальному режимі роботи двигуна обертаються з частотою 45000...90000 хв⁻¹. На валу ротора зношуються посадкові місця під бронзовий підшипник ковзання, канавки під ущільнювальні кільця, поверхня вала під колесо компресора. Вал ротора турбокомпресора типу ТКР-11Н-1 має посадочне місце під підшипник ковзання з розмірами: довжина — 18±0,42 мм, діаметр — $18_{-0,08}^{-0,07}$ мм.

За метод підвищення та підтримання надійності роторів турбокомпресора ДВЗ вибрано технологічний метод. Одним з основних технологічних етапів, на якому формується надійність роторів, є зміцнення деталей методами зміцнювальних технологій.

Правильне розв'язання задачі забезпечення надійності отримано вибором методу зміцнення робочих поверхонь та вибором матеріалу напилюваного покриття під час виконання ремонту зношених валів ротора, а саме методу газополуменевого напилювання покриттів з використанням порошку марки ПГ-10Н01.

Метод має низку переваг: простота апаратури, не має потреби у високій кваліфікації оператора, відновлена деталь має рівну поверхню, що дає можливість передбачати невеликий припуск на механічну обробку покриття. До недоліків методу відноситься відносно висока вартість порошкових матеріалів.

Розроблений технологічний процес ремонту вала ротора турбокомпресора складається з таких основних операцій:

1) підготовка деталей (очищення від бруду та мастила; відбір деталей, що підлягають відновленню; зняття залишків нерівномірного зношення; знежирювання поверхні; активація і формування шорсткості поверхні;

2) підготовка порошку (просушування при температурі 130...150 °С протягом 2...3 годин; просіювання через сито 100 мкм);

3) нанесення покриття (встановлення та закріплення вала в центрах маніпулятора; нанесення покриття на опорні поверхні під підшипник ковзання до діаметра 21 мм);

4) оплавлення покриття (нагрівання напиленого покриття до температури 900...1050 °С; для нанесення і оплавлення покриттів застосовано пальник ГН-2, в якості пального газу — ацетилен; твердість покриття становить 55...62 HRC_e; тиск ацетилену — 0,01 Мпа; тиск кисню — 0,2 Мпа; витрати ацетилену — 350 л/год; витрати кисню — 350 л/год; витрати порошку — до 2 кг/год);

5) токарна обробка покриттів (режими чорнової обробки покриттів: $V = 20...25$ м/хв; $S = 0,15...0,2$ мм/об; $t = 0,3...0,4$ мм; матеріал різального інструменту — тверді сплави, ВК3, ВК4, гексаніт; режими фінішної обробки покриттів: $V = 25...30$ м/хв; $S = 0,1...0,15$ мм/об; $t = 0,15...0,2$ мм; матеріал різального інструменту — тверді сплави, гексаніт, ельбор-Р) [9];

6) обробка шліфуванням (корундові круги на м'якій основі зернистістю 46...60 марки Е60СМ; режими шліфування: швидкість круга $V_k = 25...30$ м/с; швидкість руху деталі $V_{дет} = 10...20$ м/хв; глибина різання $t = 0,015...0,030$ мм; подача $S = 5...10$ мм/об; охолоджувальна рідина — емульсія);

7) вихідний контроль (візуальний огляд; контроль твердості покриттів; контроль розмірів вала; контроль шорсткості поверхонь; контроль форми).

Після виконання операцій технологічного процесу ремонту та зміцнення зношених роторів турбокомпресора проведено лабораторні дослідження фізико-механічних властивостей покриттів (стійкості покриттів проти механічного зношення покриттів на машині тертя мод. М22П, міцності зчеплення покриття з основою на розтяг проведені на розривній машині Р05, твердості напилених покриттів з використанням приладу ТК-14-250 та інші дослідження).

Експериментальна партія роторів з розробленими захисними покриттями була встановлена на турбокомпресори ДВЗ СМД-60 і випробовували до першої відмови (табл. 1).

Одиничні та комплексні показники надійності визначено дослідним шляхом. Для цього в заданих умовах проведено випробування партії роторів з фіксацією всіх показників (наробітку, відмов, неполадок). Середній наробіток на відмову — це середнє значення наробітків N роторів до першої відмови, що визначається за формулою

$$T_{\text{від}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_{\text{від } i}, \quad (1)$$

де $T_{\text{від } i}$ — наробіток i -го ротора до першої відмови, місяців (табл. 2).

Таблиця 1

Результати виробничих випробувань роторів турбокомпресора двигуна СМД-60

Номер ротора, i	Наробіток на відмову ротора (прототипу), місяців	Наробіток на відмову проектованого ротора, місяців	Коефіцієнт збільшення терміну експлуатації проектованого ротора відносно прототипу
1	12	28	2,333
2	11	30	2,727
3	9	35	3,888
4	8,5	27	3,176
5	13	26	2,000
6	7	34	2,000

Таблиця 2

Основні показники ротора турбокомпресора ДВЗ

Найменування показника	Значення показника
Матеріал вала ротора	Сталь 45
Матеріал напиленого покриття	ПГ-10Н01
Витрати порошку на 1 ротор, кг	0,9
Вартість порошку на 1 ротор, грн	54
Вартість ротора (прототип), грн	600
Затрати на відновлення ротора B_e , грн	504
Твердість робочого шару ротора (прототип), HRC_e	52
Твердість робочого шару ротора (проектваного), HRC_e	55...62
Середній наробіток на відмову ротора (прототип), місяців	10,083
Середній наробіток на відмову ротора (проектваного), місяців	30,0
Середній коефіцієнт збільшення терміну експлуатації проектованого ротора відносно прототипу	2,687
Середній час безвідмовної роботи за певний період (наробіток на відмову) T_o , год	5280
Середній час на відшукання й усунення відмов T_n , год	4
Тривалість технічного обслуговування $\tau_{то}$, год	4
Тривалість поточного ремонту τ_p , год	2

Економічним показником надійності ротора може бути коефіцієнт

$$K_e = \frac{B_b + B_e(t)}{T_e}, \quad (2)$$

де B_b — затрати на виготовлення ротора; $B_e(t)$ — експлуатаційні затрати у функції часу; T_e — час експлуатації [8].

Якщо $B_e(t) = 20$ грн, $B_b = 504$ грн і $T_e = 30$ міс., за формулою (2) отримано значення економічного показника надійності вала ротора. Значення цього показника отримано за рахунок розподілу капіталовкладень між сферою виробництва та сферою експлуатації (табл. 3).

Таблиця 3

Показники надійності відновленого ротора з напиленим покриттям

Найменування показника	Значення показника
Економічний показник надійності K_e	17,46
Ціна надійності B_n , грн	1800
Коефіцієнт готовності K_r	0,999
Коефіцієнт технічного використання $K_{т.в}$	0,998

Вища надійність досягається за рахунок додаткових затрат. У зв'язку з цим використано поняття ціни надійності B_n . Під ціною надійності розуміють змінні затрати на виготовлення виробу, зумовлені вимогами надійності.

Для прогнозування затрат на підвищення надійності за результатами обробки дослідних даних про

ціну надійності застосовано метод порівняння з прототипом (вали роторів без напиленого покриття)

$$B_n = B_{на} \left(\frac{T_{від}^{пр}}{T_{від}^п} \right)^a, \quad (3)$$

де B_n — ціна надійності виробу; $B_{на}$ — ціна надійності аналога чи прототипу; $T_{від}^{пр}$ — напрацювання на відмову проектного виробу; $T_{від}^п$ — напрацювання на відмову (середній термін служби) прототипу; a — емпіричний показник, що характеризує рівень підвищення надійності виробу ($a = 0,5 \dots 1,5$) [8].

Зі значеннями $B_{на} = 600$ грн, $T_{від}^п = 10,083$ міс., $T_{від}^{пр} = 30$ міс. і $a = 1$, за формулою (3) розраховано значення ціни надійності ротора відновленого методом газополуменевого напилювання з використанням порошку ПГ-10Н01 (див. табл. 3).

Для повнішої оцінки надійності застосовано комплексні показники. На практиці найчастіше визначають коефіцієнти готовності та технічного використання. Після математичної обробки дослідних даних отримано кількісні значення необхідних показників.

Коефіцієнт готовності K_r характеризує одночасно дві різні властивості — безвідмовність та ремонтпридатність і кількісно визначається за формулою

$$K_r = \frac{T_o}{T_o + T_b}, \quad (4)$$

де T_o — середній час безвідмовної роботи за певний період (наробіток на відмову); T_b — середній час, витрачений на відновлення працездатності ротора за той самий період експлуатації, тобто середній час на відшукання й усунення відмов [1].

Коефіцієнт технічного використання $K_{тв}$ визначено як відношення сумарного часу перебування випробовуваних роторів у працездатному стані (сумарного наробітку) за період експлуатації до суми цього наробітку й часу простою, витраченого на технічне обслуговування і ремонт за той самий період експлуатації. Кількісно коефіцієнт технічного використання визначається за формулою

$$K_{тв} = \frac{T_o}{T_o + \tau_{то} + \tau_p}, \quad (5)$$

де $\tau_{то}$ — тривалість технічного обслуговування; τ_p — тривалість поточного ремонту [1].

Висновки

1. Значення економічного показника надійності роторів $K_e = 17,46$ отримано за урахуванням розподілу капіталовкладень між сферою виробництва та сферою експлуатації.
2. Вища надійність досягнута за рахунок додаткових затрат. У разі зміцнення ротора методом газополуменевого напилювання з використанням порошку ПГ-10Н01 ціна надійності становить 1800 грн.
3. Зі збільшенням середнього часу безвідмовної роботи T_o ротора за певний період (наробіток на відмову) T_o коефіцієнт готовності K_r зростає.
4. Зі збільшенням наробітку за період експлуатації або зменшенням часу простою, витраченого на технічне обслуговування і ремонт за той самий період експлуатації коефіцієнт технічного використання $K_{тв}$ зростає.
5. Коефіцієнт технічного використання найповніше характеризує надійність роторів, тому що враховує витрати часу в процесі проведення технічного обслуговування, ремонту й усунення відмов.
6. Сфера ремонту є одним із джерел інформації про ступінь і характер пошкоджень елементів виробів, які ремонтують, як таких, що не досягли граничного стану і не мають відмов, так і таких, що досягли цих значень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ремонт автомобілів [Текст] : навч. посіб. / [В. Я. Чабанний, С. О. Магопєць, О. Й. Мажейка та ін.]. — Кіровоград : Кіровоградська районна друкарня, 2007. — 720 с.
2. Повышение долговечности машин технологическими методами [Текст] / [В. С. Корсаков, Г. Э. Таурит, Г. Д. Васильюк и др.]. — К. : Техніка, 1986. — 158 с.
3. Харламов, Ю. О. Основи технології відновлення і зміцнення деталей машин [Текст] : навч. посіб. у 2 т. Т. 2. /

Ю. О. Харламов, М. А. Будаг'янц. — Луганськ : вид-во Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля, 2003. — 480 с.

4. Токарев, А.Н. Основы теории надежности и диагностика [Текст] : учеб. / А. Н. Токарев — Барнаул : АлтГТУ, 2008. — 168 с.

5. Ковалевский А. А. Опыт применения газотермических покрытий для восстановления деталей и защиты металлов от коррозии [Текст] : обзор / А. А. Ковалевский, Л. А. Иовенас — Рига : ЛатНИИИТМ, 1986. — 46 с.

6. Ремонт обладнання підприємств по переробці сільськогосподарської продукції [Текст] : довідник / [В. К. Супрунчук, М. П. Роменський О. М., Панчук та ін.]. — К. : Урожай, 1992. — 176 с.

7. Коломенцев А. Г. Опыт восстановления деталей газотермическими методами [Текст] : обзорная информация / А. Г. Коломенцев, И. Г. Голубев, В. И. Свищев. — М. : ЦНТИИТЭИ, 1985. — 40 с.

8. Канарчук, В. Є. Надійність машин [Текст] : підручник / В. Є. Канарчук, С. К. Полянський, М. М. Дмитрієв. — К. : Либідь, 2003. — 424 с.

9. Повышение производительности механической обработки изделий с износостойкими газотермическими покрытиями [Текст] : информационный листок / ЖЦНТИ. — Житомир, 1985. — 4 с.

Рекомендована кафедрою технології підвищення зносостійкості ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 03.05.2017

Ночвай Володимир Матвійович — канд. техн. наук, доцент кафедри технологій машинобудування, e-mail: nochvaj-volodimir@yandex.ua .

Житомирський державний технологічний університет, Житомир

V. M. Nochvai¹

Improving Reliability in Process of Repair of Rotor of Turbocharger of Internal Combustion Engine

¹Zhytomyr State Technological University

Recommendations existing in different sources of information for the choice of methods of strengthening and reconditioning of worn machine parts have been analyzed in the article. To strengthen and restore the nominal size of rotors the method of gas-flame spraying of wear-resistant coatings has been chosen. The value of the economic reliability index of the rotors K_e equals to 17, 46. Higher rotor reliability is achieved at the expense of extra cost for rotor strengthening using powder ПГ-10Н01, and the price of B_n rotor reliability is 1800 UAH. Complex indicators of reliability of the reconditioned rotor are used for more complete reliability assessment: availability coefficient K_a equals to 0,999; coefficient of technical use $K_{тв}$ equals to 0,998.

Keywords: machine part reliability, reliability indicators, mean time between failures, repair of machine parts, reconditioning of machine parts.

Nochvai Volodymyr M. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor of the Chair of Technologies of Machine-Building, e-mail: nochvaj-volodimir@yandex.ua

В. М. Ночвай¹

Повышение надежности в процессе ремонта ротора турбокомпрессора двигателя внутреннего сгорания

¹Житомирский государственный технологический университет

Проанализированы существующие в разных литературных источниках рекомендации для выбора методов упрочнения и восстановления изношенных деталей машин. С целью упрочнения и восстановления номинальных размеров роторов выбран метод газопламенного напыления износостойких покрытий. Значение экономического показателя надежности ротора K_e равен 17,46. Высшая надежность ротора достигнута за счет дополнительных затрат при упрочнении ротора с использованием порошка ПГ-10Н01 и использовано понятие цены надежности ротора B_n , которая равна 1800 грн. Для более полной оценки надежности применены комплексные показатели надежности восстановленного ротора: коэффициент готовности $K_a = 0,999$; коэффициент технического использования $K_{тв} = 0,998$.

Ключевые слова: надежность детали, показатели надежности, наработка на отказ, ремонт детали, восстановление детали.

Ночвай Владимир Матвеевич — канд. техн. наук, доцент кафедры технологий машиностроения, e-mail: nochvaj-volodimir@yandex.ua