

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ В ПРОЦЕСІ РЕМОНТУ ГАЗОРОЗПОДІЛЬНОГО ВАЛА ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ

***В. М. Ночвай, кандидат технічних наук
Житомирський державний технологічний університет
e-mail: nochvaj-volodimir@yandex.ua***

Анотація. В статті проаналізовано наявні в різних літературних джерелах інформації рекомендації для вибору методів зміцнення та відновлення спрацьованих деталей машин. До них відносяться: метод електродугового наплавлення, хіміко-термічної обробки, газопорошкового наплавлення, газопорошкового і плазмового напилення, електродугової металізації.

В результаті досліджень спрацювання робочих поверхонь газорозподільних валів, встановлено перелік дефектів: спрацювання опорних шийок, кулачків за висотою; шпонкового паза за шириною; спрацювання різі.

З метою зміцнення та відновлення номінальних розмірів валів вибрано метод газополуменевого напилення зносостійких покриттів, який має ряд переваг: простота апаратури, не вимагається висока кваліфікація оператора, відновлена деталь має рівну поверхню. Технологічний процес ремонту вала складається з наступних основних операцій: підготовка деталей, підготовка порошку, нанесення покриття на опорні шийки та кулачки вала, оплавлення покриття, токарна обробка, обробка шліфуванням, вихідний контроль.

Значення економічного показника надійності вала K_e дорівнює 12,6. Вищу надійність вала досягнуто за рахунок додаткових затрат при зміцненні вала з використанням порошку ПГ-10Н01 і використано поняття ціни надійності вала V_n , яка дорівнює 1831,5 грн.

Для більш повної оцінки надійності застосовано комплексні показники надійності відновленого вала: коефіцієнт готовності $K_g = 0,997$; коефіцієнт технічного використання $K_{т.в.} = 0,99$.

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

Постановка проблеми. Спрацювання машин поглинає працю машинобудівників, експлуатаційників та ремонтників. Проблему підвищення якості виробів неможливо вирішити без вирішення

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

Аналіз останніх досліджень. В роботі [1] розроблено захисні покриття, технологічні процеси їх отримання з метою зміцнення і відновлення спрацьованих деталей автомобілів.

В практиці широко застосовують наплавлення, яке дає можливість відновити спрацьовану поверхню, отримати покриття, яке характеризується високою стійкістю проти спрацювання. Для наплавлення використовують широко розповсюджені обладнання і пристрої [2].

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

Для відновлення спрацьованих 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].

Для зміцнення та відновлення інструменту, шийок кулачкових валів, ексцентриків, храповиків, кулачків використовують порошок ПГ-10Н01. Обробку покриття виконують методом шліфування [6].

Мета досліджень. Підвищити надійність газорозподільних валів при виконанні ремонту методом газополуменевого напилювання покриттів, виконати розрахунки показників надійності відновлених валів.

Результати досліджень. Розподільний вал виготовляють зі сталі або спеціального чавуну марки ВЧ55-48-1 і піддають термічній обробці. Відновленню підлягають вали при наявності таких дефектів: спрацювання опорних шийок; кулачків за висотою; шпонкового паза за шириною; спрацювання різі.

Методом підвищення та підтримання надійності вала вибрано технологічний. Одним з основних технологічних етапів, на якому формується надійність вала, є зміцнення методом газополуменевого напилювання покриттів. Метод має ряд переваг: простота апаратури, не вимагається висока кваліфікація оператора,

відновлена деталь має рівну поверхню, що дає можливість робити невеликий припуск на механічну обробку покриття.

Для розробки покриттів з заданими властивостями використано порошок марки ПГ-10Н01. Розроблений технологічний процес ремонту вала складається з наступних основних операцій:

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

2) підготовка порошку (просушування при температурі 130...150 °С на протязі 2...3 годин; просіювання на ситі 100 мкм);

3) нанесення покриття (встановлення вала в центрах маніпулятора; нанесення покриття на опорні шийки та кулачки вала);

4) оплавлення покриття (нагрівання напиленого покриття на опорних шийках до температури 900...1050 °С; для нанесення і оплавлення покриттів застосовано пальник ГН-2; 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 ріжучого 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 ріжучого інструменту – тверді сплави, гексаніт, ельбор-Р) [7, с. 1–3];

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 деталі $V_{dem} = 10...20$ 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 спрацьованих валів проведено лабораторні дослідження фізико-механічних властивостей покриттів (стійкості покриттів проти механічного спрацювання 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).

З метою виробничих випробувань експериментальна партія валів з розробленими захисними покриттями була встановлена на двигуни внутрішнього згорання і випробовували до першої відмови (див. табл. 1).

1. Результати виробничих випробувань газорозподільного вала двигуна внутрішнього згорання.

Найменування показника	Базовий варіант вала (прототип)	Відновлений вал (проектований)
Матеріал напиленого покриття	–	ПГ-10Н01
Твердість робочого шару, HRC_e	52	55...62
Середній наробіток на відмову вала $T_{від}$, тис. км.	30	100
Середній коефіцієнт збільшення терміну експлуатації вала проектованого по відношенню до прототипу	1	3,33
Вартість виготовлення, грн.	550	601,7

Одиничні та комплексні показники надійності визначено дослідним шляхом. Для цього в заданих умовах проведено випробування партії валів з фіксацією всіх показників (наробітку, відмов, неполадок). Після математичної обробки дослідних даних отримано кількісні значення необхідних показників. Економічним показником надійності вала може бути коефіцієнт:

$$K_e = \frac{B_B + B_e(t)}{T_e}, \quad (1)$$

де: B_B – затрати на виготовлення вала; $B_e(t)$ – експлуатаційні затрати у функції часу; T_e – час експлуатації [8].

При $B_e(t) = 659$ грн, $B_B = 601,7$ грн і $T_e = 100$ тис. км отримано за формулою (1) значення економічного показника надійності вала. Мінімальне значення цього показника отримано за рахунок раціонального розподілу капіталовкладень між сферою виробництва та сферою експлуатації (табл. 2).

2. Економічні показники надійності відновленого вала з напиленим покриттям.

№ з.п.	Найменування показника	Значення показника
1.	Витрати порошку на 1 вал, кг	0,48
2.	Вартість порошку на 1 вал, грн.	54
3.	Затрати на виготовлення вала B_B , грн.	601,7
4.	Час експлуатації вала T_e , тис. км	100
5.	Економічний показник надійності K_e	12,6
6.	Наробіток на відмову вала $T_{від}^{пр}$, тис. км	100
7.	Ціна надійності B_H , грн.	1831,5

Вища надійність досягається за рахунок додаткових затрат. У зв'язку з цим використано поняття ціни надійності B_H . Для прогнозування затрат на підвищення надійності застосовано метод

порівняння з прототипом (вали без покриття) за результатами обробки дослідних даних про ціну надійності:

$$B_{\text{н}} = B_{\text{н.а}} \left(\frac{T_{\text{від}}^{\text{пр}}}{T_{\text{від}}^{\text{п}}} \right)^a, \quad (2)$$

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

При значенні $B_{\text{н.а}} = 550$ грн., $T_{\text{від } i}^{\text{п}} = 30$ тис. км, $T_{\text{від}}^{\text{пр}} = 100$ тис. км і $a = 1$, за формулою (2) розраховано значення ціни надійності вала відновленого методом газополуменевого напилювання з використанням порошку ПГ-10Н01 (табл. 2).

Для більш повної оцінки надійності застосовано комплексні показники. Коефіцієнт готовності $K_{\text{г}}$ характеризує одночасно дві різні властивості – безвідмовність і ремонтпридатність. Кількісно коефіцієнт готовності визначено за формулою:

$$K_{\text{г}} = \frac{T_{\text{o}}}{T_{\text{o}} + T_{\text{в}}}, \quad (3)$$

де: T_{o} – середній час безвідмовної роботи за певний період (наробіток на відмову); $T_{\text{в}}$ – середній час на відшукання й усунення відмов [10].

Коефіцієнт технічного використання визначено за формулою:

$$K_{\text{т.в.}} = \frac{T_{\text{o}}}{T_{\text{o}} + \tau_{\text{т.о.}} + \tau_{\text{р}}}, \quad (4)$$

де: $\tau_{\text{т.о}}$ – тривалість технічного обслуговування; $\tau_{\text{р}}$ – тривалість поточного ремонту [10].

3. Комплексні показники надійності відновленого вала з напиленим покриттям.

№ з.п.	Найменування показника	Значення показника
1.	Середній час безвідмовної роботи за певний період (наробіток на відмову) T_{o} , год.	1600
2.	Середній час на відшукання й усунення відмов $T_{\text{в}}$, год.	12
3.	Коефіцієнт готовності $K_{\text{г}}$	0,997
4.	Тривалість технічного обслуговування $\tau_{\text{т.о.}}$, год	4
5.	Тривалість поточного ремонту $\tau_{\text{р}}$, год.	8
6.	Коефіцієнт технічного використання $K_{\text{т.в.}}$	0,99

Коефіцієнт технічного використання найбільше повно характеризує надійність валів, тому що враховує витрати часу в

процесі проведення технічного обслуговування, ремонту й усунення відмов (табл. 3).

Висновки

1. Мінімальне значення економічного показника надійності валів $K_e = 12,6$ отримано за рахунок раціонального розподілу капіталовкладень між сферою виробництва та сферою експлуатації, а саме при зміцненні вала з використанням порошку ПГ-10Н01.

2. Вища надійність досягнута за рахунок додаткових затрат. При зміцненні вала з використанням порошку ПГ-10Н01 ціна надійності $B_n = 1831,5$ грн.

3. При збільшенні середнього часу безвідмовної роботи T_0 вала за певний період (наробіток на відмову) T_0 коефіцієнт готовності K_r зростає.

4. При збільшенні наробітку за період експлуатації або зменшенні часу простою, витраченого на технічне обслуговування і ремонт за той же період експлуатації коефіцієнт технічного використання $K_{т.в.}$ зростає.

Список літератури

1. Чабанний В. Я., Магопець С. О., Мажейка О. Й., Кропивний В. М., Василенко І. Ф., Шепеленко І. В., Павлюк-Мороз В. А. Ремонт автомобілів: навчальний посібник. Кіровоград. 2007. 720 с.
2. Корсаков В. С., Таурит Г. Э., Васильюк Г. Д., Лещенко М. И. Повышение долговечности машин технологическими методами. Киев. Техніка. 1986. 158 с.
3. Харламов Ю. О., Будаг'янц М. А. Основы технологии восстановления и укрепления деталей машин: навчальний посібник. Т. 2. Луганськ. 2003. 480 с.
4. Токарев А. Н. Основы теории надежности и диагностика. Барнаул. АлтГТУ. 2008. 168 с.
5. Ковалевский А. А., Иовенас Л. А. Опыт применения газотермических покрытий для восстановления деталей и защиты металлов от коррозии. Рига. ЛатНИИНТМ. 1986. 46 с.
6. Коломенцев А. Г., Голубев И. Г., Свищев В. И. Опыт восстановления деталей газотермическими методами: обзорная информация. Москва. ЦНТИИТЭИ. 1985. 40 с.
7. Повышение производительности механической обработки изделий с износостойкими газотермическими покрытиями: информационный листок. ЖЦНТИ. Житомир. 1985. 4 с.
8. Канарчук В. Є., Полянський С. К., Дмитрієв М. М. Надійність машин: підручник. Київ. Либідь. 2003. 424 с.

References

1. Chabannyi V. Ia., Mahopets S. O., Mazheika O. I., Kropivnyi V. M., Vasylenko I. F., Shepelenko I. V., Pavliuk-Moroz V. A. (2007). Remont avtomobiliv [Mechanic]. Kirovohrad. Ukraine. Kirovohradska raionna drukarnia. 720.
2. Korsakov V. S., Taurit G. E., Vasilyuk G. D., Leshchenko M. I. (1986). Povysheniye dolgovechnosti mashin tekhnologicheskimi metodami [Increasing the durability of machines by technological methods]. Kiev. Ukraine. Tekhnika. 158.

3. *Kharlamov Iu. O., Budah'iants M. A. (2003). Osnovy tekhnolohii vidnovlennia i zmitsnennia detalei mashyn [The basic technology of restoration and strengthening of machine parts]. Vol. 2. no. 2. Lugansk. Ukraine. Skhidnoukrainskyi natsionalnyi universytet imeni V. Dalia. 480.*
4. *Tokarev A. N. (2008). Osnovy teorii nadezhnosti i diagnostika [Fundamentals of reliability theory and diagnostics]. Barnaul. Russia. AltGTU. 168.*
5. *Kovalevskiy A. A., Iovenas L. A. (1986). Opyt primeneniya gazotermicheskikh pokrytiy dlya vosstanovleniya detaley i zashchity metallov ot korrozii [Experience in the use of gas-thermal coatings for the restoration of parts and the protection of metals from corrosion]. Riga. Latvia. LatNIINTM. 46.*
6. *Kolomentsev A. G., Golubev I. G., Svishchev V. I. (1985). Opyt vosstanovleniya detaley gazotermicheskimi metodami [Experience in restoring details with gas-thermal methods]. Moscow. Russia. TSNTIITEI. 40.*
7. *Levchenko N. V., Danil'chuk N. P., Polonskiy L. G. (1985). Povysheniye proizvoditel'nosti mekhanicheskoy obrabotki izdeliy s iznosostoykimi gazotermicheskimi pokrytiami [Increasing the productivity of machining products with wear-resistant gas-thermal coatings]. Zhitomir. Ukraine. ZHTSNTI. 4.*
8. *Kanarchuk V. Ie., Polianskiy S. K., Dmytriiev M. M. (2003). Nadiinist mashyn [Reliability of machines]. Kiev. Ukraine. Lybid. 424.*

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ В ПРОЦЕССЕ РЕМОНТА ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО ВАЛА ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

В. М. Ночвай

Аннотация. *В статье проанализированы имеющиеся в разных литературных источниках информации рекомендации для выбора методов упрочнения и восстановления изношенных деталей машин. К ним относятся: метод электродуговой наплавки, химико-термической обработки, газопорошковой наплавки, газопорошкового и плазменного напыления, электродуговой металлизации.*

В результате исследований износа рабочих поверхностей газораспределительных валов, установлено перечен дефектов: износ опорных шеек, кулачков по высоте; износ паза шпонки по ширине; износ резьбы.

С целью упрочнения и восстановления номинальных размеров валов выбран метод газопламенного напыления износостойких покрытий, который имеет ряд преимуществ: простота аппаратуры, не требуется высокая квалификация оператора, восстановленная деталь имеет ровную поверхность.

Технологический процесс ремонта вала состоит из следующих основных операций: подготовка деталей, подготовка порошка, нанесение покрытия на опорные шейки и кулачки вала, оплавление покрытия, токарная обработка, обработка шлифованием, исходный контроль.

Численное значение экономического показателя надежности вала K_e , равно 12,6. Высшую надежность вала достигнуто за счет

дополнительных затрат при упрочнении вала с использованием порошка ПГ-10Н01 и использовано понятие цены надежности вала B_H , которая равна 1831,5 грн.

Для более полной оценки надежности применены комплексные показатели надежности восстановленного вала: коэффициент готовности $K_e = 0,997$; коэффициент технического использования $K_{m.в.} = 0,99$.

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

RELIABILITY CONTROL IN PROCESS OF REPAIR OF GAS DISTRIBUTING SHAFT OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE

V. M. Nochvay

Abstract. Recommendations existing in different sources of information for the choice of methods of strengthening and reconditioning of worn machine parts are analyzed in the article. These methods include: the method of electric arc deposition, chemico-thermal treatment, gas-powder deposition, gas-powder and plasma spraying, electric arc metallization.

As a result of the research of wear of the working surfaces of the gas distribution shafts the following defects are determined: wear of bearing journals, cams according to height; wear of grooving shaft key according to width; wear of thread.

To strengthen and restore the nominal size of shafts the method of gas-flame spraying of wear-resistant coatings was chosen. This method has a number of advantages: simplicity of equipment; high qualification of the operator is not required; the restored part has smooth surface. Technological process of the shafts repair consists of the following basic operations: parts preparation, powder preparation, coating of the bearing journals and cams of the shaft, thermal reflow of coating, turning, grinding, initial control.

The value of the economic reliability index of the shaft K_e equals to 12,6. Higher shaft reliability is achieved at the expense of extra cost for shaft strengthening using powder ПГ-10Н01, and the price of B_H shaft reliability is 1831,5 UAH.

Complex indicators of reliability of the reconditioned shaft are used for more complete reliability assessment: availability coefficient K_e equals to 0,997; coefficient of technical use $K_{m.в.}$ equals to 0,99.

Key words: machine part reliability, reliability indicators, mean time between failures, repair of machine parts, reconditioning of machine parts