

3. ТЕХНОЛОГІЯ ТА УСТАТКУВАННЯ



Науковий вісник НЛТУ України
Scientific Bulletin of UNFU

<https://nv.nltu.edu.ua>

<https://doi.org/10.15421/40290518>

Article received 07.05.2019 p.

Article accepted 30.05.2019 p.

УДК 629.113



ISSN 1994-7836 (print)
ISSN 2519-2477 (online)

@ ✉ Correspondence author

M. I. Herys
mherys@ukr.net

Г. С. Гудз¹, М. І. Герис², І. Я. Захара³, М. М. Осташук¹

¹ Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, Україна

² Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, Україна

³ Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна

ЙМОВІРНІСНА МОДЕЛЬ ПОКАЗНИКІВ ДЕФОРМУВАННЯ КОЛІНЧАСТИХ ВАЛІВ УНАСЛІДОК ВІДНОВЛЕННЯ ЇХНІХ ШИЙОК НАПЛАВЛЕННЯМ

Для відновлення ресурсу колінчастих валів автомобільних двигунів широко застосовують різні способи наплавлення їхніх шийок. Встановлено, що найкращі результати за твердістю наплавленого матеріалу в разі відновлення колінчастих валів, без застосування термічного оброблення, отримують під час наплавлення пружинним дротом під флюсом АН 348А за легування металу вуглецем та хромом через флюс. Виявлено, що під час наплавлення деталі під флюсом відбувається значне нагрівання наплавлених ділянок, яке поширюється також на ділянки, що не піддаються наплавленню. Цьому сприяють лінійні та об'ємні розширення нагрітих ділянок деталі, осадження затвердлого розплавленого металу та перебіг структурних змін і перетворень у ньому. Як з'ясувалося, це супроводжується появою у наплавленому та основному металі розтягувальних або стискувальних напружень, під дією яких змінюється початкова геометрична форма деталі, тобто вона деформується. Встановлено, що деформування деталі може виникнути також і від згину, перекоосу або її скручування у затискно-му пристрої, від надмірного стиснення у центрах верстату або від теплового видовження у процесі наплавлення тощо. У випадку невеликих величин деформування правлення колінчастих валів після наплавлення не обов'язкове, оскільки їхня співвісність за корінними шийками може бути досягнута в процесі механічного оброблення. Для цього необхідно спочатку шліфувати всі шатунні шийки й в останню чергу – корінні. За величин деформувань, більших від допустимих, деталі піддають правленню або утилізуванню. Для оцінки впливу на величину деформування колінчастих валів двигунів ЗМЗ 511.10 після їхнього відновлення наплавленням і подальшого шліфування побудовано ймовірнісну модель. На основі статистичного опрацювання результатів досліджень встановлено закономірності зміни випадкової величини (деформувань) за допомогою побудови емпіричного розподілу і кривої теоретичного розподілу, які підпорядковуються нормальному закону (Крива Гауса). Перевірка узгодження теоретичного та емпіричного розподілів за критерієм Пірсона показала задовільний збіг.

Ключові слова: ресурс деталей автомобільних двигунів; термічне оброблення; закономірності зміни параметрів деталі; емпіричний і теоретичний розподіли.

Вступ. Відомо, що показники надійності автомобільних двигунів в умовах експлуатації доволі низькі й становлять 60-80 % від нормативів (Panteleenko et al., 2003). При цьому на частку спряження "шийка колінчастого валу – вкладиш" припадає 40-60 % усіх відмов у гарантійній та післягарантійній періоди (Honcharov, 2008). Тому для відновлення шийок колінчастих валів існує низка способів, з яких найбільш ефективним вважають наплавлення під шаром легуючого флюсу (Dot-senko, 1985).

Останні дослідження з відновлення деталей виконували досить давно з огляду на перерву, викликану рес-

структуризацією авторемонтної галузі. Сьогодні ситуація змінилась, про що свідчать роботи (Polianskyi et al., 2012, Honcharov, 2008, Millar, 1995, Chernovol et al., 1989, Chernovol et al., 1986), в яких докладно досліджено як позитивні сторони, так і негативні наслідки процесів відновлення деталей. До останніх варто віднести появу в наплавленому й основному шарах металу розтягувальних або стискувальних напружень, внаслідок яких деталей деформується. Тому значний інтерес викликають кількісні показники деформування колінчастих валів унаслідок відновлення їхніх шийок наплавленням під шаром флюсу, що й визначає актуальність

Інформація про авторів:

Гудз Густав Степанович, д-р техн. наук, професор, кафедра експлуатації та ремонту автомобільної техніки.

Email: ggudz@polynet.lviv.ua

Герис Микола Іванович, канд. техн. наук, доцент, кафедра лісових машин. Email: mherys@ukr.net

Захара Ігор Ярославович, канд. техн. наук, доцент, кафедра автомобільного транспорту. Email: teknikigor83@gmail.com

Осташук Микола Михайлович, канд. техн. наук, доцент, кафедра експлуатації та ремонту автомобільної техніки.

Email: miikola.ostashuck.m@gmail.com

Цитування за ДСТУ: Гудз Г. С., Герис М. І., Захара І. Я., Осташук М. М. Ймовірнісна модель показників деформування колінчастих валів унаслідок відновлення їхніх шийок наплавленням. Науковий вісник НЛТУ України. 2019, т. 29, № 5. С. 93–96.

Citation APA: Gudz, G. S., Herys, M. I., Zakhara, I. Ia., & Ostashuk, M. M. (2019). The challenge model of deformation indicators of crancshafts resulting from their necks restoration by swelling. *Scientific Bulletin of UNFU*, 29(5), 93–96.

<https://doi.org/10.15421/40290518>

нашого дослідження.

Мета дослідження – визначити закономірності зміни показників деформування колінчастих валів унаслідок наплавлення їхніх шийок під флюсом на підставі ймовірнісного підходу.

Матеріал і методи дослідження. Окрім появи у наплавлених поверхневих шарах напружень, деформування деталі може виникнути також і від згину, перекосу або скручування її в затискному пристрої, від надмірного стиснення у центрах верстату або від термічного видовження у процесі наплавлення тощо. Зрозуміло, що в цьому випадку відхилення величин деформування колінчастих валів стосуються випадкових процесів, які досліджують методами математичної статистики. Обстеження відновлених колінчастих валів двигунів ЗМЗ-511.10 проводили на ремонтній базі ТзОВ "ЛВ-ТРАНС-АВТО", м. Дубляни.

Результати дослідження. Розглянемо процедуру статистичного опрацювання випадкової величини. Сукупність зафіксованих у процесі дослідження випадкових величин x_i представляє собою вибірку певного обсягу n . Визначимо її основні характеристики на підставі (Drohomyretska et al., 2012).

Починаємо з групування емпіричних даних. Для цього масив даних розбиваємо на декілька інтервалів j (рекомендована кількість $j = 7, \dots, 8$) і визначаємо з шириною інтервалу групування Δx . Якщо x_n найбільше, а x_1 становить найменше значення випадкової величини вибірки, то $\Delta x = (x_n - x_1) / j$.

Бажано, щоб крайні значення x_i попадали в інтервал. Для вибраного Δx визначаємо середини інтервалів \bar{x}_j ($j = 1, 2, \dots, 7$) і кількість значень випадкової величини x_i ($i = 1, 2, \dots, n$), які належать j -му інтервалові, тобто фіксуємо m_j – кількість появи дослідної величини в цьому інтервалі. Тоді густина емпіричного розподілу ймовірності випадкової величини визначається як (Drohomyretska et al., 2012)

$$f_{j,e} = \frac{m_j}{n\Delta x}, j=1,2,\dots,7, \quad (1)$$

а частота ймовірності появи дослідної величини в цьому інтервалі

$$r_j = \frac{m_j}{n}, j=1,2,\dots,7, \sum_{j=1}^7 r_j = 1. \quad (2)$$

Числовими характеристиками випадкових величин є математичне сподівання M , дисперсія D та середньоквадратичне відхилення σ :

- математичне сподівання випадкової величини

$$M = \sum_{j=1}^7 \bar{x}_j r_j; \quad (3)$$

- дисперсія, що характеризує розкид значень випадкової величини відносно M ;

$$D = \sum_{j=1}^7 (\bar{x}_j - M)^2 r_j; \quad (4)$$

- середньоквадратичне відхилення

$$\sigma = \sqrt{D}. \quad (5)$$

Теоретичним законом розподілу випадкової величини є аналітична залежність між значеннями x_j і густинами ймовірностей $f_m(x_j)$. Найпоширенішим є нормальний закон розподілу (закон Гауса), теоретична густина якого

$$f_m(\bar{x}_j) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(\bar{x}_j - M)^2}{2\sigma^2}}, j=1,2,\dots,7. \quad (6)$$

Перевірка відповідності між теоретичним і емпіричним розподілами проводиться згідно з критерієм Пірсона (Drohomyretska et al., 2012)

$$\chi^2 = n \sum_{j=1}^7 \frac{(f_e(\bar{x}_j) - f_m(\bar{x}_j))^2}{f_m(\bar{x}_j)}. \quad (7)$$

Значення критерію Пірсона не повинно бути більше за табулювання, що відповідає ймовірності узгодження $p = 0,05$ для відомого числа ступенів свободи $\kappa = j - s - 1$, де s – кількість параметрів закону розподілу (для нормального закону $s = 2$).

Виявлення на основі статистичного опрацювання закономірності зміни випадкової величини дає змогу оцінювати довговічність і надійність випадкових процесів, а саме:

- оцінку середнього ресурсу випадкової величини;
- ймовірність безвідмовної роботи;
- інтенсивність відмов;
- γ -ресурс, гамма-процентний термін служби.

Розглянемо процедуру побудови гістограми емпіричного розподілу і кривої теоретичного розподілу величини деформування колінчастих валів після наплавлення та після шліфування наплавлених шийок.

Провели замір деформацій 67 відновлених наплавленням колінчастих валів і отримали вибірку, в якій мінімальне значення деформації дорівнює 0,04 мм, а максимальне – 0,152 мм. Отриманий масив даних розбиваємо на 7 інтервалів й визначаємо ширину інтервалу $\Delta x = (0,152 - 0,04) / 7 = 0,016$, мм.

Розрахунок показників емпіричного і теоретичного розподілів навели у табличній формі й кількісному вираженні (табл. 1).

Теоретичне значення густини нормального закону розподілу з урахуванням показників розподілу визначаємо за формулою

$$f_m(\bar{x}_j) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot 0,027} e^{-\frac{(\bar{x}_j - 0,095)^2}{2 \cdot 0,000711}} = 14,78e^{-703,23(x_j - 0,095)^2}$$

й наводимо у табл. 1. Згідно з даними цієї таблиці, значення критерію χ^2 дорівнює $\chi^2 = 670,0471 = 3,16$.

Табл. 1. Послідовність обчислень під час перевірення відповідності даних нормальному закону

\bar{x}_j	Кількість попадань x_i в інтервал, m_j	Ймовірність, r_j	Емпірична густина розподілу, f_{je}	$\bar{x}_j r_j$	$\bar{x}_j - M$	$(\bar{x}_j - M)^2$	$(\bar{x}_j - M)^2 r_j$	Густина		Розрахунок критерію χ^2		
								емпірична f_{je}	теоретична f_{jm}	$f_{je} - f_{jm} = e$	e^2	$\frac{e^2 \Delta x}{f_{jm}}$
0,048	5	0,075	4,69	0,00360	-0,047	0,002209	0,000156	4,69	3,12	1,57	2,46	0,0126
0,064	10	0,149	9,31	0,00954	-0,031	0,000961	0,000143	9,31	7,52	1,79	3,20	0,0068
0,080	12	0,179	11,19	0,01432	-0,015	0,000225	0,000040	11,19	12,62	-1,43	2,04	0,0026
0,096	15	0,224	14,0	0,02150	0,001	0,000005	0	14	14,78	-0,78	0,61	0,0007
0,112	12	0,179	11,19	0,02005	0,017	0,000289	0,000052	11,11	12,06	-0,95	0,90	0,0012
0,108	8	0,119	7,44	0,01523	0,033	0,001090	0,000130	7,44	6,87	0,57	0,32	0,0007
0,144	5	0,075	4,69	0,01080	0,049	0,002401	0,000180	4,69	2,73	1,96	3,84	0,0225
-	67	1,0	-	0,09504	-	-	0,000711	-	-	-	-	0,0471

Табл. 2. Послідовність обчислень під час визначення теоретичного закону розподілу досліджуваної величини

\bar{x}_j	Кількість попадань x_i в інтервал, m_j	Ймовірність, r_j	Емпірична густина розподілу, f_{je}	$\bar{x}_j r_j$	$\bar{x}_j - M$	$(\bar{x}_j - M)^2$	$(\bar{x}_j - M)^2 r_j$	Густина		Розрахунок критерію χ^2		
								емпірична f_{je}	теоретична f_{jm}	$f_{je} - f_{jm} = e$	e^2	$\frac{e^2 \Delta x}{f_{jm}}$
0,1	8	0,119	1,19	0,0119	-0,24	0,0576	0,0069	1,19	0,79	0,4	0,16	0,02025
0,2	13	0,194	1,94	0,0388	-0,14	0,0196	0,0038	1,94	1,71	0,24	0,0576	0,00337
0,3	15	0,224	2,24	0,0678	-0,04	0,0016	0,0004	2,24	2,46	-0,22	0,0484	0,00197
0,4	14	0,209	2,09	0,0836	0,06	0,0036	0,0008	2,09	2,36	-0,27	0,0729	0,00309
0,5	10	0,149	1,49	0,0745	0,16	0,0256	0,0038	1,49	1,51	-0,02	0,0004	0,00003
0,6	5	0,075	0,75	0,0450	0,26	0,0676	0,0051	0,75	0,65	0,10	0,0100	0,00154
0,7	2	0,030	0,30	0,0210	0,36	0,1296	0,0039	0,30	0,18	0,12	0,0144	0,00800
-	67	1,0	-	0,3426	-	-	0,0247	-	-	-	-	0,03825

$$M = 0,095; D = 0,000711; \sigma = \sqrt{0,000711} = 0,027.$$

Для перевірки узгодження теоретичного і емпіричного розподілів визначаємо ймовірність узгодження p при $\chi^2 = 3,16$ і $s = 4$. Оскільки $p = 0,53$ і $p > 0,05$, то теоретичний розподіл узгоджується з емпіричним.

На рис. 1 наводимо криву теоретичного (нормального) закону розподілу величини деформування колінчастих валів після наплавлення та гістограма розподілу емпіричних даних.

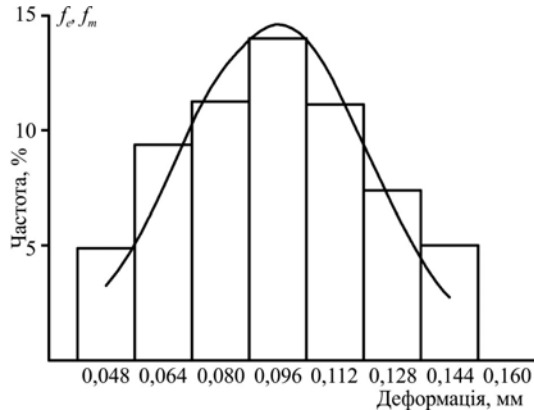


Рис. 1. Розподіл величин деформації колінчастих валів після наплавлення

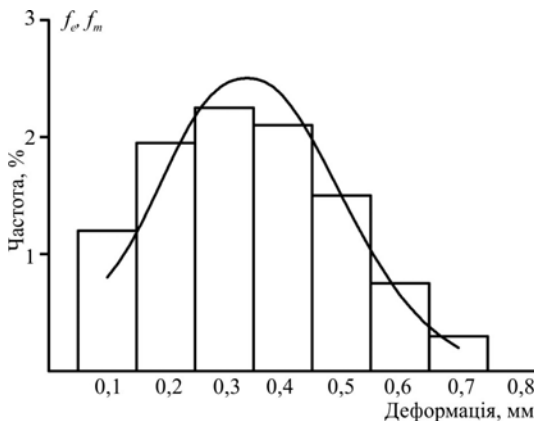


Рис. 2. Розподіл величин деформацій колінчастих валів після шліфування наплавлених шийок

Аналогічно з попередніми розрахунками для вибірки $n = 67$ проводимо замір деформації колінчастих валів після наплавлення їхніх шийок. Массив даних розбиваємо на 7 інтервалів і визначаємо ширину інтервалу $\Delta x = (0,75 - 0,05) / 7 = 0,1$. Розрахунок показників емпіричного і теоретичного розподілів наведено у табл. 2. Значення показників $M = 0,34$; $D = 0,0247$; $\sigma = \sqrt{0,0247} = 0,157$.

Теоретичні значення густини нормального закону розподілу з врахуванням його показників визначаємо за формулою

$$f_m(\bar{x}_j) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot 0,157} e^{-\frac{(\bar{x}_j - 0,34)^2}{2 \cdot 0,157^2}} = 2,54 e^{-20,24(x_j - 0,34)^2}$$

й наводимо у табл. 2.

Узгодження теоретичного і емпіричного розподілів провели за допомогою критерію χ^2 . Згідно з даними, наведеними у табл. 2: $\chi^2 = 67 \cdot 0,03825 = 2,56$. Ймовірність узгодження при $\chi^2 = 2,56$ і $s = 4$ дорівнює 0,63. Оскільки $p = 0,63$ і $p \geq 0,05$, то теоретичний розподіл узгоджується з емпіричним.

На рис. 2 навели розподіли (теоретичний і емпіричний) величин деформування колінчастих валів після шліфування наплавлених шийок.

Висновки. Встановлено, що найкращі результати за твердістю наплавленого металу під час відновлення шийок колінчастих валів отримують під шаром флюсу, але, поряд із позитивом, спостерігаємо їхнє деформування.

Визначено закономірності величин деформування колінчастих валів після наплавлення та шліфування їхніх шийок на підставі опрацювання експериментальних досліджень, що дасть змогу удосконалити маршрутну технологію їхнього відновлення.

Перелік використаних джерел

Chernovol, M. I., Poedinok, S. E., & Stepanov, N. E. (1989). *Povyshenie kachestva vosstanovleniya detaley mashin*. Kyiv: Tekhnika, 169 p. [In Russian].

Chernovol, M., & Posta, J. (1986). *Renovace soucasti zemedelskych stroju odporovym navarovanim*. In *Sbornik konference "Svarovani v zemedelskem opravarenstvi"*. DT CSVTS, Ceske Budejovice, (pp. 93–105).

Dotsenko, N. I. (1985). *Vosstanovlenie kolenchatyih valov avtomaticheskoy naplavkoy*. Moscow: Transport, 68 p. [In Russian].

Drohomyretska, Kh. T., Rybytska, O. M., Sliusarchuk, O. Z., et al. (2012). *Teoriia ymovirnosti ta matematychna statystyka*. Lviv: Publishing House of the National University of Lviv Polytechnic, 396 p. [In Ukrainian].

Honcharov, V. H. (2008). *Pidvyshchennia resursu transportnoi tekhniky udoskonalenniam tekhnologii remontu kolinchastykh valiv*. *Abstract of candidate dissertation for technical sciences* (05.22.20 – Eksploatatsiia ta remont zasobiv transportu). Kharkiv, 20 p. [In Ukrainian].

Millar, G.-H. (1995). Diesel development in perspective. *Diesel Progress of North America*, 7, 44–46.

Panteleenko, F. I., Lyalyakin, V. P., Ivanov, V. P., & Konstantinov, V. M. (2003). *Vosstanovlenie detaley mashin*. Moscow: Mashinostroenie, 672 p. [In Russian].

Polianskyi, O. S., Savchenkov, B. V., & Baitsur, M. V. (2012). *Tekhnolohiia vidnovlennia detalei ta remontu avtomobiliv*. Kharkiv: Publishing House KhNADU, 320 p. [In Ukrainian].

THE CHALLENGE MODEL OF DEFORMATION INDICATORS OF CRANKSHAFTS RESULTING FROM THEIR NECKS RESTORATION BY SWELLING

The authors have studied the actual issue of resource recovery of car engine's crankshafts where various ways of their necks swelling is widely used. In the course of the research we have revealed that the best results according to the hardness of the swollen material in the process of crankshafts restoration without the application of heat treatment are obtained during swelling with a spring wire under AN 348A flux for metal doping with carbon and chromium through flux. We have defined that during the swelling of the component under the flux there is a significant heating of the welded areas, which extends to areas that are not submerged. This is facilitated by the linear and volumetric expansion of the heated parts of the component, and also the deposition of solidified molten metal and the structural changes and transformations that occur therein. This is revealed to be accompanied by the occurrence of tensile or compressive stresses in the welded and basic metal, under the influence of which the initial geometric shape of the component changes, that is, it deforms. The deformation of the component may also occur due to various factors such as bending, tilt or twisting in the clamping device, and also excessive compression in the centers of the machine or thermal expansion in the process of swelling, etc. When the quantities of deformations are larger than permissible, the components are subject to correction or disposal. Crankshaft deformation refers to random processes that are studied by methods of mathematical statistics. For this purpose, a sample of the array of 67 restored ZMZ-511.10 crankshafts was inspected at the service center of LV-TRANS-AUTO LLC, Dublyany, which resulted in the grouping of empirical data into 7 intervals. The density of the empirical distribution of the random variable probability and the probability frequency are determined. Some numerical characteristics of random variables such as mathematical expectation, dispersion and mean square deviation are obtained. On the basis of statistical processing, we detected the regularities of the random variable change (deformations) through the construction of the empirical distribution and the theoretical distribution curve, which is subject to the normal law (the Gauss curve). The verification of the agreement of the theoretical and empirical distribution by the Pearson's criterion showed a satisfactory coincidence. The obtained research results will allow improving the route technology for restoration of automobile engine crankshafts.

Keywords: resource of automobile engine components; heat treatment; regularities of the components parameters change; empirical and theoretical distributions.