УДК. 621.824.33

РОЗРАХУНОК ПРОФІЛЮ ВІДНОВЛЕННЯ ТА ОЦІНКА ТОВЩИНИ ЙОГО ПОКРИТТЯ ДЛЯ ЗНОШЕНОГО КУЛАЧКА РОЗПОДІЛЬНОГО ВАЛУ ДВИГУНУ КАМАЗ-740.10

Рубцов М.О., к.т.н.
Лазуренко А.С., асп.[1]
Таврійський державний агротехнологічний університет
Тел/факс (0619) 42-20-74

Анотація **– роботу присвячено обґрунтуванню формули розрахунку для відновлення електроконтактним наварюванням металевих матеріалів та кількісній оцінці змінювання товщини покриття за периметром кулачка розподільного валу двигуну КАМАЗ-740.10. Результати досліджень дозволять забезпечити рівномірне ущільнення порошкового матеріалу за периметром напікання для отримання якісного покриття.**

Ключові слова **- профіль кулачка, електрод-пуансон, математична залежність, криволінійна поверхня, товщина покриття.**

Постановка проблеми. В результаті аналізу досліджень [1, 2] заключаємо, що при постійному порошковому матеріалі, властивості покрить, отриманих електроконтактним напіканням, визначаються за умовами ущільнення порошку й температури напікання.

При електроконтактному напіканні порошкових матеріалів електродом-пуансоном на криволінійну поверхню, рівномірність ущільнення, а, отже, і властивості одержуваного покриття за площею напікання, визначаються у відповідності з формою контактної поверхні електрода-Пуансона до формі відновлюваної поверхні деталі. Зазначимо, що при напіканні, виконаному за формою поверхні, що відновлюється, товщина порошкового шару у вихідному положенні буде нерівномірною.

У зв'язку з вище зазначеним, нами було виконано визначення форми криволінійної контактної поверхні електрода-пуансона, яке повинне вирішуватися в кожному конкретному випадку виходячи з форми й розмірів поверхні, що відновлюється і товщини покриття.

Аналіз останніх досліджень. Дослідженнями авторів [2, 3] встановлено, що до 37 % розподільних валів двигунів ЗМЗ-53, а також валів двигунів КАМАЗ-740.10, що надійшли в ремонт, вибрако-

---

[1] - науковий керівник к.т.н., доц. Смелов А.О.

вується через зношування кулачків. В результаті аналізу технічного стану розподільних валів при їхньому надходженні в ремонт встановлено, що до 37% валів впускні й до 42% валів випускні кулачки мають зношування менше припустимого та не вимагають ремонтних впливів; до 26% валів впускні й до 33% валів випускні кулачки підлягають відновленню перешліфовкою на еквідистантний профіль; до 37% валів маючих хоча б один впускний кулачок і до 25% валів - хоча б один випускний кулачок зі зношуванням більше граничного, тобто підлягають відновленню металопокриттями. Кількість кулачків, що мають зношування більше граничного коливається від 1 до6.

Формування цілей статті. Метою даної роботи є обґрунтування та вибір математичної залежності для розрахунку форми контактної поверхні електрода-пуансона при електроконтактному напіканні кулачків розподільного валу двигуну КАМАЗ-740.10, що дозволить забезпечити рівномірне ущільнення порошкового матеріалу за периметром напікання, і допоможе отримувати якісні покриття у процесі електроконтактного напікання порошкових матеріалів на криволінійну поверхню кулачка.

Основна частина. Згідно аналізу зношень кулачків розподільних валів двигуну КАМАЗ-740.10 по дослідженням [3], на профілі зношеного кулачка було встановлено три характерні точки О(0; 0), А(9,16198009; 6,325), В(17,6; 25,6) (рис. 1).

Слід зазначити, що форми вершин кулачків, зношених на різну величину, не мають геометричної подібності. У початковий момент, при величині зношування до (0,5…0,6)10^{-3}м, найбільшому зношуванню піддається вершина кулачка з боку набігання. З ростом величини зношування ця зона починає поширюватися й на сторону вершини, що є збіжною. При величині зношування (1,2…1,5)10^{-3}м форма зношеної вершини практично симетрична.

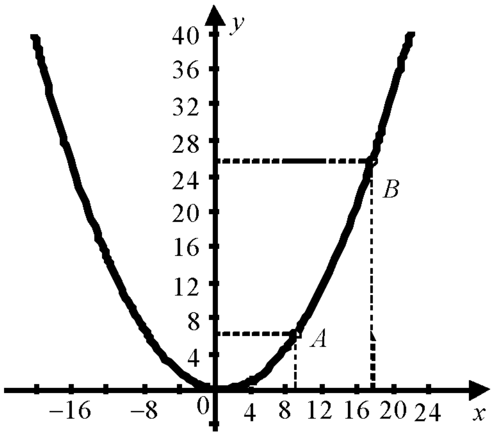

Рисунок 1 – Характерні точки зношення кулачків.

В [1] доведено, що профіль зношеного кулачка можна записати залежністю

$$y = a \cdot x^b. \tag{1}$$

Підставляючи в формулу (1) значення точок А і В отримаємо систему рівнянь

$$\begin{cases} 6{,}325 = a \cdot 9{,}16198009^b, \\ 25{,}6 = a \cdot 17{,}6.^b \end{cases}$$

Після розв'язання цієї системи отримаємо: $a = 0{,}055069616$, $b = 2{,}141550214$, тобто залежність (1) прийме вигляд:

$$y = 0{,}055 \cdot x^{2{,}142}. \tag{2}$$

Аналізуючи залежність (2), можна зробити висновок, що вона близька до квадратичної.

Нами було запропоновано описувати профіль зношеного кулачка розподільного валу квадратичною залежністю

$$y = kx^2 + Lx + M. \tag{3}$$

Підставивши в залежність (3) координати точок О, A, B, матимемо:

$$\begin{cases} 0 = K \cdot 0^2 + L \cdot 0 + M, \\ 6{,}325 = K \cdot 9{,}16198009^2 + L \cdot 9{,}16199009 + M, \\ 25{,}6 = K \cdot 17{,}6^2 + L \cdot 17{,}6 + M. \end{cases}$$

Розв'язавши систему трьох лінійних рівнянь, отримаємо: $K = 0{,}090565383$, $L = -0{,}139405286$, $M = 0$. Підставивши ці коефіцієнти в (3), матимемо

$$y = 0{,}090565383x^2 - 0{,}139405286x. \tag{4}$$

Додатні значення y отримуємо при $x \in (-\infty;\ 0) \cup (1{,}54; +\infty)$. Тобто дана залежність має інтервал $(0;\ 1{,}54)$, де $y < 0$, що не підходить для досліджень.

Візьмемо для формули (3) п'ять точок: $A(9{,}162; 6{,}325)$, $B(17{,}6; 25{,}6)$, $O(0;0)$, $A_1(-9{,}162; 6{,}325)$, $B_1(-17{,}6; 25{,}6)$ і застосуємо метод найменших квадратів для визначення невідомих коефіцієнтів. Згідно цього метода:

$S = \sum (y_i - Y)^2 \to \min$ або $S = \sum \left(kx_i^2 + Lx_i + M - Y\right)^2 \to \min$.

$$\begin{cases} \dfrac{\partial S}{\partial K} = 0, \\ \dfrac{\partial S}{\partial L} = 0, \\ \dfrac{\partial S}{\partial M} = 0. \end{cases}$$

Одержали систему трьох лінійних рівнянь з трьома невідомими: K, L, M.

$$\begin{cases} K\sum_{i=1}^{5} x_i^4 + L\sum_{i=1}^{5} x_i^3 + M\sum_{i=1}^{5} x_i^2 = \sum_{i=1}^{5} Y_i x_i^2, \\ K\sum_{i=1}^{5} x_i^3 + L\sum_{i=1}^{5} x_i^2 + M\sum_{i=1}^{5} x_i = \sum_{i=1}^{5} Y_i x_i, \\ K\sum_{i=1}^{5} x_i^2 + L\sum_{i=1}^{5} x_i + M \cdot n = \sum_{i=1}^{5} Y_i. \end{cases}$$

Складемо розрахункову таблицю 1.

Таблиця 1 – Розрахункові дані.

n	x_i	Y_i	$x_i Y_i$	x_i^2	x_i^3	x_i^4	$x_i^2 Y_i$
1	9,162	6,325	57,950	83,942	769,079	7046,300	530,935
2	17,6	25,6	450,56	309,76	5451,776	95951,258	7929,856
3	0	0	0	0	0	0	0
4	-9,162	6,325	-57,950	83,942	-769,079	7046,300	530,935
5	-17,6	25,6	-450,56	309,76	-5451,776	95951,258	7929,856
$\sum$	0	63,85	0	787,40	0	205995,12	16921,581

Підставивши значення сум в останню систему, матимемо

$$\begin{cases} 20{,}5995116 \cdot K + 0 \cdot L + 787{,}404 \cdot M = 16921{,}581, \\ 0 \cdot K + 787{,}404 \cdot L + 0 \cdot M = 0, \\ 787{,}404 \cdot K + 0 \cdot L + 5M = 63{,}85. \end{cases}$$

Розв'язавши цю систему, отримаємо: $K = 0{,}083743082$; $L = 0$; $M = -0{,}41793572$.

Отже,

$$y = 0{,}083743082x^2 - 0{,}41793572. \tag{5}$$

Додатні значення y отримуємо при

$x \in (-\infty; -2,23) \cup (2,23; +\infty)$. Тобто дана залежність має інтервал $(-2,23;\ 2,23)$, де $y < 0$, що не підходить для досліджень.

Проаналізуємо ще три залежності виду $y = Dx^2$.

1) Якщо розглядувана парабола проходить через точку $A(9,162;\ 6,325)$

$$D = \frac{6,325}{9,162^2} = 0,0775349427.$$

Тоді

$$y = 0,075349427x^2. \tag{6}$$

2) Якщо розглядувана парабола проходить через точку $B(17,6;\ 25,6)$

$$D = \frac{25,6}{17,6^2} = 0,082644628.$$

Тоді

$$y = 0,082644628x^2. \tag{7}$$

3) Середнє значення коефіцієнта D, що знаходиться між точками A і B:

$$D = \frac{0,075349427 + 0,082644628}{2} = 0,078997028.$$

Тоді

$$y = 0,078997028x^2. \tag{8}$$

Всі отримані формули зведемо до таблиці з ціллю їх аналізу.

Таблиця 2 – Зведені дані.

№п/п	Формула	$x=0$	$x=9,162$	$x=17,6$	$\sum(y_i - Y)^2$
1	$y = 0,055 \cdot x^{2,1416}$	0	6,31773	25,57	0,00095
2	$y = 0,055x^2$	0	4,61682	17,04	76,246
3	$y = 0,090565383x^2 - 0,139405286x$	0	6,38	25,6	0,003025
4	$y = 0,083743082x^2 - 0,41793572$	0	6,61164	25,52	0,08853
5	$y = 0,83743082x^2$	0	7,02958	25,94	0,612033
6	$y = 0,75349427x^2$	0	6,325	23,34	5,1065
7	$y = 0,082644628x^2$	0	6,9374	25,6	0,375
8	$y = 0,078997028x^2$	0	6,631	24,47	1,3703

Аналізуючи одержані залежності, вважаємо, що базовою є залежність $y=0,055\cdot x^{2,142}$, оскільки вона має найменше відхилення в розрахункових точках. Для цього порівняємо її площу з площею, яку дають криві 3, 4 і 7 на ділянці [0; 17; 6] (ці криві мають найкращі оціночні результати) (рис. 2).

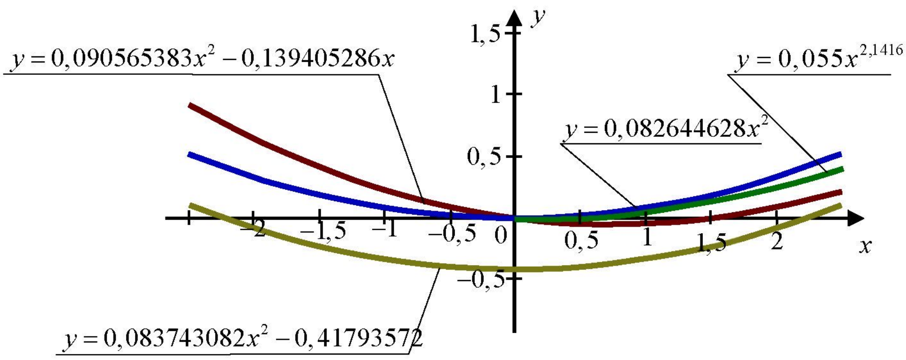

Рисунок 2 – Розташування кривих біля початку координат.

$$S_1=\int_0^{17,6}0,055069616\cdot x^{2,141550214}dx=0,055069616\cdot\frac{x^{3,141550214}}{3,141550214}\Bigg|_0^{17,6}=143,4196408;$$

$$S_2=\int_0^{17,6}\left(0,090565383x^2-0,1394052864x\right)dx=\left(0,090565383\cdot\frac{x^3}{3}-0,1394052864\cdot\frac{x^2}{2}\right)\Bigg|_0^{17,6}=$$

$$=\left(0,090565383\cdot\frac{x^3}{3}-0,1394052864\cdot\frac{x^2}{2}\right)\Bigg|_0^{17,6}=164,5807272-21,5910907=142,9896365;$$

$$S_3=\int_0^{17,6}\left(0,083743082x^2-0,41793572\right)dx=0,083743082\cdot\frac{x^3}{3}\Bigg|_0^{17,6}-0,41793572x\Bigg|_0^{17,6}=$$

$$=152,1828415-7,355668672=144,8271728;$$

$$S_4=\int_0^{17,6}0,082644628x^2dx=0,082644628\frac{x^3}{3}\Bigg|_0^{17,6}=150,1866665.$$

$$|S_1-S_2|=0,4300043;\quad |S_1-S_3|=1,407532;\quad |S_1-S_4|=6,7670257.$$

$$\Delta_1=\sqrt{\frac{S_1-S_2}{S_1}}=\sqrt{\frac{0,4300043}{143,4196408}}\approx 0,017315;$$

$$\Delta_2=\sqrt{\frac{S_1-S_3}{S_1}}=\sqrt{\frac{1,407532}{143,4196408}}\approx 0,099066;$$

$$\Delta_3=\sqrt{\frac{S_1-S_4}{S_1}}=\sqrt{\frac{6,7670257}{143,4196408}}\approx 0,217217.$$

Отримані результати розрахунків підтверджують табличні розрахунки. За розрахункову залежність беремо $y=0,082644628x^2$, яка має середнє квадратичне відхилення від залежності $y=0,055\cdot x^{2,142}$

приблизно рівне $0{,}217$ мм.

Знаючи форму кривої напікання, потрібно ще зробити розрахунок товщини прошарку порошку (рис. 3.).

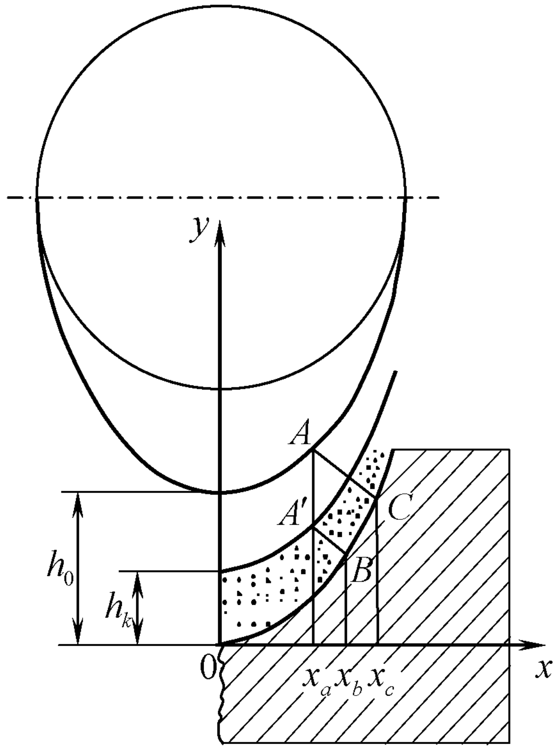

Рисунок 3 – Товщина прошарку порошку.

Рівномірність ущільнення можна встановити аналізуючи змінення відношення h_k / h_0 по периметру напікання. Якщо в любій точці цього відношення отримаємо одне й теж (або близькі) значення, то форма профілю електрода-пуансона прийнята вірно. З розрахункової схеми ущільнення порошкового матеріалу поверхні кулачка (рис. 3.) маємо

$$\frac{h_k}{h_0} = \left|\frac{A'B}{AC}\right| = \left|\frac{x_b - x_a}{x_c - x_a}\right|,$$

де AC – нормаль до профілю кулачка в довільній точці в початковому положенні; $A'B$ – нормаль до тієї ж точки профілю кулачка після напікання прошарку; x_a, x_b, x_c – абсциси точок A, B, C відповідно.

Товщина порошку визначається довжиною нормалі до поверхні. Формула нормалі в точці C:

$$y - y_i = -\frac{1}{y'(x_i)} \cdot (x - x_i) \quad \text{або} \quad y = y_i + \frac{x_i}{y'(x_i)} - \frac{x}{y'(x_i)},$$

$$y_i = 0{,}082644628 x_i^2 + \frac{x_i}{y'(x_i)} - \frac{x}{y'(x_i)} + h_0.$$

де

Нехай $k=-\frac{1}{y'(x_i)}$; $l=0{,}082644628x_i^2+\frac{x_i}{y'(x_i)}+h_0$.

$$y=kx+l,\quad y=mx^2,$$

де $m=0{,}082644628$.

$$\begin{cases} y=kx+l, \\ y=mx^2. \end{cases}\qquad kx+l=mx^2,\ mx^2-kx-l=0,\ D=k^2+4ml.$$

$(x_1)_c=\frac{k-\sqrt{k^2+4ml}}{2m}$ – не підходить, оскільки під коренем стоїть вираз більший за k, а $(x_1)_c$ не може бути від'ємним.

$(x_2)_c=\frac{k+\sqrt{k^2+4ml}}{2m}$ або з урахуванням того, що корінь тільки один можна записати $x_c=\frac{k-\sqrt{k^2+4ml}}{2m}$.

Для знаходження координат точки $B(x_b;\,y_b)$ складемо аналогічну систему рівнянь, як і для отриманої точки $C(x_c;\,y_c)$.

$$y-y_i=-\frac{1}{y'(x_i)}\cdot(x-x_i)\quad \text{або}\quad y=y_i+\frac{x_i}{y'(x_i)}-\frac{x}{y'(x_i)},$$

де $y_i=0{,}082644628x_i^2+\frac{x_i}{y'(x_i)}-\frac{x}{y'(x_i)}+h_k$.

Нехай $k=-\frac{1}{y'(x_i)}$; $l_1=0{,}082644628x_i^2+\frac{x_i}{y'(x_i)}+h_k$.

$$y=kx+l,\quad y=mx^2,$$

де $m=0{,}082644628$.

$$\begin{cases} y=kx+l_1, \\ y=mx^2. \end{cases}\qquad kx+l_1=mx^2,$$

$$mx^2-kx-l_1=0,\ D=k^2+4ml_1.$$

$(x_1)_b=\frac{k-\sqrt{k^2+4ml_1}}{2m}$ – не підходить, оскільки під коренем стоїть вираз більший за k, а $(x_1)_b$ не може бути від'ємним.

$(x_2)_b=\frac{k+\sqrt{k^2+4ml_1}}{2m}$ або з урахуванням того, що корінь тільки один можна записати $x_b=\frac{k+\sqrt{k^2+4ml_1}}{2m}$.

Знайдемо аналітично різницю $l-l_1$.

$$l - l_1 = h_0 - h_k \text{ або } l_1 = l - h_0 + h_k,$$

і тоді

$$x_b = \frac{k + \sqrt{k^2 + 4m(l - h_0 + h_k)}}{2m}.$$

Підставляючи отримані значення в рівняння

$$\frac{h_k}{h_0} = \left|\frac{A'B}{AC}\right| = \left|\frac{x_b - x_a}{x_c - x_a}\right|,$$

матимемо

$$\frac{h_{k_i}}{h_{0_i}} = \frac{\left|\dfrac{k + \sqrt{k^2 + 4ml_1}}{2m} - x_a\right|}{\left|\dfrac{k + \sqrt{k^2 + 4ml}}{2m} - x_a\right|}.$$

Або

$$\alpha(x_i) = \frac{h_{k_i}}{h_{0_i}} = \frac{2mx_i - k - \sqrt{k^2 + 4m(l - h_0 + h_k)}}{2mx_i - k - \sqrt{k^2 + 4ml}}.$$

Зробимо розрахунок $\alpha(x_i)$ на ділянці $x \in [1;9]$, беручи $m = 0{,}082644628$, $h_0 = 0{,}005$ ì, $h_k = 0{,}0018$ ì ($h_0 = 0{,}003$ ì, $h_k = 0{,}0015$ ì) з 50 % ущільненням. Результати розрахунків зведені до таблиць.

1 варіант $h_0 = 0{,}005$ ì і $h_k = 0{,}0018$ ì

x_i	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\alpha(x_i)$	0,3624	0,3679	0,3735	0,3775	0,3797	0,38	0,3799	0,379	0,3778

2 варіант $h_0 = 0{,}003$ ì і $h_k = 0{,}0015$ ì

x_i	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\alpha(x_i)$	0,5015	0,5052	0,5091	0,5118	0,5134	0,5138	0,5136	0,514	0,51

Результати розрахунків обох варіантів показують, що коефіцієнт $\alpha(x_i)$, який характеризує ущільненість прошарку, практично однаковий для всіх точок профілю кулачку. Є деякі змінення по 1 варіанту від 0,36 до 0,38, та для 2 варіанту від 0,50 до 0,51. Але ці зміни не зроблять якогось впливу, оскільки змінення менші за розміри частить порошку.

Висновки.

В результаті вибору, аналізу та обґрунтуванню математичної залежності форми контактної поверхні електрода-пуансона для електроконтактного напікання кулачків розподільного валу двигуну КАМАЗ-740.10, отримали теоретичну можливість забезпечення рівномірного ущільнення порошкового матеріалу за периметром напікання, що дозволяє отримувати якісне покриття в процесі електроконтактного напікання порошкових матеріалів на криволінійну поверхню кулачка. Отримані результати бажано підтвердити експериментально.

Література

1. *Меркулов А.Ф.* Восстановление кулачков распределительных валов ДВС электроконтактным напеканием металлических порошков в условиях сельскохозяйственных ремонтных предприятий.– дис. канд. техн. наук. / *А.Ф. Меркулов.* – М, 1969.-270 с.
2. *Смелов А. А.* Повышение межремонтного ресурса распределительных валов ДВС электромеханической обработкой в условиях сельскохозяйственных предприятий (на примере двигателя ЗМЗ-53).– дис. канд. техн. наук. / *А. А. Смелов.* – Москва, 1984. – 182с.
3. *Лазуренко А.С.* Аналіз зношень кулачків розподільних валів двигуну КАМАЗ-740.10/А.С. Лазуренко//Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2009. – Вип. 9. т. 1. – с. 125-131.

РАСЧЕТ ПРОФИЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И ОЦЕНКА ТОЛЩИНЫ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ИЗНОШЕННОГО КУЛАЧКА РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО ВАЛА ДВИГАТЕЛЯ КАМАЗ-740.10

Рубцов М.О., Лазуренко А.С.

Аннотация

Работа посвящена обоснованию формулы расчета для восстановления электроконтактним навариванием металлических материалов и количественной оценке изменения толщины покрытия по периметру кулачка.

CALCULATION FOR RESTORATION OF THE WEAR’S SHAPE AND QUANTITATIVE ESTIMATION’S CHANGING OF LAYER FOR SHAPE'S CAM OF CAMSHAFT’S ENGINE’S OF KAMAZ-740.10

N. Rubtcov., A. Lazurenko.

Character of wear’s shape of the camshaft’s cam is lighted. The mathematical formula for the wear’s shape of the camshaft cam of engine KAMAZ -740.10 is represented. The quantitative estimation’s changing of layer for shape’s cam of camshaft’s engine of KAMAZ 740.10 is resulted.