

Оптимизиране процеса на ускорено сработване на ремонтирани двигатели чрез многофакторно изследване

Митко Николов Митко Стоянов Нина Господинова

Optimization of the Running-in Process for Repaired Engines by Multiple-factor Experiment:

Optimization of the running-in process with friction modifiers has been done by multiple-factor experiment. Zinc oleate was the used friction modifier. The optimal running-in conditions with friction modifiers have been established, namely: zinc oleate concentration in the oil – 0.2 %, running-in time – 30 min, oil temperature - 20 °C, sliding rate - 150 m/min.

Key words: Optimization, Running-in, Friction modifiers, Repaired engines.

ВЪВЕДЕНИЕ

Сработването е един от най-сложните, трудопоглъщащи и продължителни процеси при ремонта на автотракторните двигатели и се явява заключителен етап от производствения процес на ремонт, като оказва съществено влияние върху надеждността на ремонтираната автотракторна техника и разходите за поддържането ѝ [1].

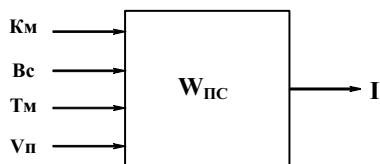
Върху процеса на сработването оказват влияние много фактори, като свойствата на триещите се повърхности, тяхното качество, а също външните въздействия и условия. Всички фактори са взаимно свързани и поради това изучаването на тяхното влияние върху процеса на сработването и неговите триботехнически характеристики представлява значителна трудност. За преодоляването на тази трудност спомогат методите на многофакторното изследване, приложени при процеса на сработване на триещите се повърхности с модификатори на триенето.

Целта на настоящата работа е да установи оптималния режим на сработване на ремонтирани двигатели с модификатори на триенето при които се получава минимално износване.

ИЗЛОЖЕНИЕ

В качеството на основни фактори на въздействие в локалната област на многофакторния експеримент [1...4] са приети основните параметри от режима на сработване на ремонтирани двигатели с модификатори на триенето, които оказват съществено влияние върху формирането на трибологическите характеристики на триещите се повърхности (фиг. 1):

- концентрация на модификатора в маслото (K_m);
- времетраене на сработването (V_c);
- температура на маслото при сработване (T_m);
- скорост на плъзгане (V_p).



Фиг. 1. Кибернетичен модел на многофакторния експеримент

K_m - концентрация на модификатора в маслото; V_c - времетраене на сработването; T_m - температура на маслото при сработване; V_p - скорост на плъзгане; I - големината на износването на двоицата

В качеството на критерий за оптимизация беше приета големината на износване на двоицата (I).

На изследване са подложени двойки образци от СТ 45, закалена при нагряване с ТВЧ и антифрикционна сплав от оловен бронз БО 30. При комплектоването на ролките и секторите в двоици е извършван селективен подбор на образците по твърдост, грапавост и отклонения на размерите за постигане на по-

добра възпроизводимост на експерименталните резултати. Ролките след закаляване и отпускане са с твърдост 55 ± 2 HRC и $HV_5 = 6100 \pm 400$ МПа, а антифрикционния слой на секторите е – $HV_5 = 490 \pm 50$ МПа.

Опитите са проведени, на машина СМЦ-2 по схемата ролка-сектор в условията на течно мазане. Сработването на образците е извършено при постоянно натоварване от 100 daN, като натоварването е извършено безстепенно със скорост 1 МПа/min. Смазочната среда представлява базово масло М10Д₂/Е₁ с добавка на цинков олеат.

Провеждането на многофакторния експеримент е свързано най-вече с математическото планиране на опитите. За разработването на такъв план е необходимо първо да се избере локалната област на факторното пространство и матрицата на планиране на експеримента. Избирането на локалната област за провеждане на експеримента се заключава в определянето на основното ниво и интервалите на вариране за изучаваните фактори. Построяването на плана на експеримента се свежда до избора на експерименталните точки, симетрично разположени спрямо основното ниво, и те да отговарят на основните изисквания за оптималност.

Определянето на основното ниво и интервалите на вариране изисква внимателно анализиране на априорната информация за изменението на параметрите на оптимизация, за кривите на повърхността на отклика и за границите на изменение на факторите.

След анализа на литературните данни [1] и проведените от нас предварителни изследвания [3..5] е избрана локална област на факторното пространство (табл.1), която да отговаря на всички изисквания за екстремален експеримент.

В качеството на математически модел за описване обекта на изследване е

Таблица 1.

Характеристика на локалната област на факторното пространство.

№	Характеристики	Фактори				
	Наименование	кодovo означение	Км	Вс	Тм	Вп
			%	min	°C	m/min
1	Основно ниво	0	0,6	60	40	100
2	Интервал на вариране	l	0,4	30	20	50
3	Горно ниво	+	1,0	90	60	150
4	Долно ниво	-	0,2	30	20	50
5	Кодовo означение	x_j	X_1	X_2	X_3	X_4

приет квадратичен модел (полином от втора степен) във вида на уравнението на регресия:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_4 \cdot x_4 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + b_{14} \cdot x_1 \cdot x_4 + b_{11} \cdot x_1^2 + b_{22} \cdot x_2^2 + b_{33} \cdot x_3^2 + b_{44} \cdot x_4^2$$

където y е функцията на отклик (параметър на оптимизация);

x_1, x_2, x_3, x_4 - кодово обозначение на факторите на експеримента;

$b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_{12}, b_{13}, b_{14}, b_{11}, b_{22}, b_{33}, b_{44}$ - коефициенти на факторите и взаимодействията.

За намаляване броя на опитите е проведен дробен факторен експеримент с полуреплика 2^{4-1} разширена със звездните точки на отделните фактори. Матрицата за планиране на експеримента и средните стойности от опитите са представени в табл.2. Оценката на големината на износването при сработване с модификатори на триенето е получена от трикратно повторение на всеки опит.

Таблица 2.

Разширена матрица, план на експеримента и опитни стойности

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	X0	X1	X2	X3	X4	X1X2	X1X3	X1X4	Y	X11	x22	X33	X44
1	1	1	1	1	1	1	1	1	9,287	1	1	1	1
2	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	2,687	1	1	1	1
3	1	-1	1	-1	1	1	-1	1	3,917	1	1	1	1
4	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	4,547	1	1	1	1
5	1	-1	1	1	1	-1	-1	1	10,863	1	1	1	1
6	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	10,547	1	1	1	1
7	1	1	1	1	-1	-1	1	-1	11,647	1	1	1	1
8	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	4,247	1	1	1	1
9	1	1	0	0	0	0	0	0	11,027	1	0	0	0
10	1	-1	0	0	0	0	0	0	4,846	1	0	0	0
11	1	0	1	0	0	0	0	0	8,848	0	1	0	0
12	1	0	-1	0	0	0	0	0	6,756	0	1	0	0
13	1	0	0	1	0	0	0	0	9,896	0	0	1	0
14	1	0	0	-1	0	0	0	0	5,697	0	0	1	0
15	1	0	0	0	1	0	0	0	3,015	0	0	0	1
16	1	0	0	0	-1	0	0	0	7,216	0	0	0	1
17	0	0	0	0	0	0	0	0	4,553	0	0	0	0

Получените опитни данни са обработени с помощта на програмата „STATISTICS“, като стойности на коефициентите на регресия **B**, коефициента на определеност **R**? и критерия на Фишер **F** (11;5) са представени в табл.3.

Интерполационното уравнение на модела, съдържащо само значимите коефициенти на регресия и има вида:

$$Y = 6,65 + 2,05 \cdot x_1 + 1,58 \cdot x_2 + 1,32 \cdot x_3 - 2,11 \cdot x_4 - 1,88 \cdot x_4^2$$

Критичната стойност на критерия на Фишер е $F_{кр} = 6,2164$.

Тъй като изчислената стойност на критерия на Фишер е по-малка от критичната, то хипотезата за адекватност на получения регресионен модел се приема, при равнище на значимост $\alpha = 0,1$.

Уравнението на регресия показва, че износването на триещата се двоица нараства при увеличаване концентрацията на цинковия олеат в маслото, времето за сработване и температурата на смазочната среда и намалява с повишаване скоростта на плъзгане при сработване с модификатори на триенето.

За определяне силата на влияние на входните параметри върху износването се извършва последователно изключване на факторите един по един. При това изключване се следи промяната на коефициента на определеност **R**?, като за най-силния фактор ще съответства най-малка стойност на коефициента на

Таблица 3.

Стойности на коефициентите на регресия **B**, коефициента на определеност **R**? и критерия на Фишер **F** (11;5)

Regression Summary for Dependent Variable: Y (Dop 1. sta)						
R= ,96533003 R?=- ,93186207 Adjusted R?=- ,78195863						
F(11,5)=6,2164 p<,02810 Std.Error of estimate: 1,4404						
	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err. of B	t(5)	p-level
N=17						
Intercept			6,64997	0,629535	10,56329	0,000131
X1	0,524738	0,116737	2,04750	0,455502	4,49504	0,006429
X2	0,403850	0,116737	1,57580	0,455502	3,45948	0,018052
X3	0,338421	0,116737	1,32050	0,455502	2,89900	0,033830
X4	-0,540423	0,116737	-2,10870	0,455502	-4,62939	0,005687
X1X2	-0,058051	0,116737	-0,25325	0,509267	-0,49728	0,640082
X1X3	-0,050602	0,116737	-0,22075	0,509267	-0,43347	0,682740
X1X4	0,003610	0,116737	0,01575	0,509267	0,03093	0,976524
X11	0,154099	0,149607	0,93704	0,909725	1,03003	0,350223
X22	0,131980	0,149607	0,80254	0,909725	0,88218	0,418066
X33	0,131076	0,149607	0,79704	0,909725	0,87613	0,421049
X44	-0,309824	0,149607	-1,88396	0,909725	-2,07091	0,093131

определеност и обратното. Стойностите на коефициента на определеност R? за различните входни параметри са съответно:

$$X_1 = 0,63611020;$$

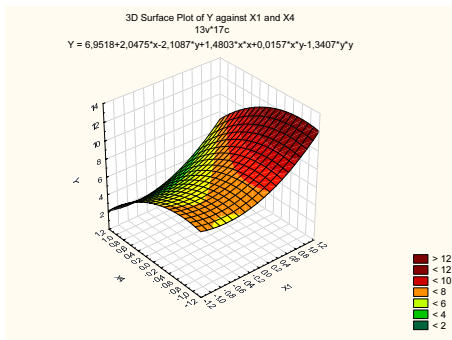
$$X_2 = 0,75479196;$$

$$X_3 = 0,80431221;$$

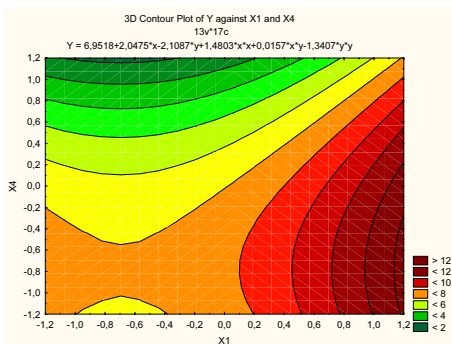
$$X_4 = 0,58134803.$$

От приведените данни за коефициента на определеност се вижда, че най-голямо влияние върху износването има скоростта на плъзгане, следващите по значимост фактори са концентрацията на модификатора и времето за сработване, а с най-слабо влияние е температурата на смазочната среда.

Използвайки получените резултати за факторите с най-силно влияние X_1 и X_4 са построени повърхнината на отклика $Y=f(x_1, x_4)$ (фиг.2.) и линиите на еднакъв отклик (фиг.3.).



Фиг. 2. Повърхнина на отклика $Y=f(x_1, x_4)$



Фиг. 3. Линии на еднакъв отклик $Y=f(x_1, x_4)$

За определяне параметрите на оптималния режим на сработване с цинков олеат е използвана програмата „MATCAD” с подпрограмата „MINIMIZATION”. След въвеждане на всички коефициенти на регресия, програмата изчислява координатите (комбинация на входните параметри) и стойността на минимума на функцията.

Трябва да се отбележи, че режима на сработване с цинков олеат при който концентрацията на цинков олеат в маслото е 0,2%, времето за сработване е 30min и температура на маслото е 20 C°, а скоростта на плъзгане е 150 m/min се намира в квазистационарната област на факторното пространство и е търсения оптимален режим на сработване. Стойността на функцията в търсената точка е (-2,29). Отрицателният знак показва, че при тези условия в зоната на триене върху детайлите от двоицата се натрупва слой мек метал (в случая цинк), който осигурява процес на триене без износване. Такива явления бяха наблюдавани при проведените еднофакторни експерименти с цинков и меден олеат [4].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведеното многофакторно изследване за оптимизиране процеса на сработване с модификатори на триенето позволява да се направят следните изводи:

1.Получено е интерполационно уравнение на регресия за големината на износването при сработване с модификатори на триенето.

2.Уравнението на регресия показва, че износването на триещата се двоица нараства при увеличаване концентрацията на цинковия олеат в маслото, времето за

сработване и температурата на смазочната среда и намалява с повишаване скоростта на плъзгане при сработване с модификатори на триенето.

3. Установен е оптималният режим на сработване с модификатори на триене при който концентрацията на цинков олеат в маслото е 0,2%, времето за сработване е 30min и температура на маслото е 20 C°, а скоростта на плъзгане е 150 m/min.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Гаркунов, Д. Н., Триботехника, износ и безызносность, Москва: МСХА, 2001.

[2] Адлер Ю. П. и др. Планирование эксперимента при поиска оптимальных условий. Москва: Наука, 1976.

[3] Nikolov M., Gospodinova N., Pavlov D. i Dimitrov M. Tribological characteristics at running-in of repaired tractor engines using frictions modifiers, Industrial Lubrication and Tribology, 2009, Vol. 61, №4, 209-212.

[4] Николов М., Димитров М., Господинова Н. Повишаване трайността на ремонтирани автотракторни двигатели чрез сработване с цинков олеат, сб. Научна конференция-Русе, 2006, 68-71.

[5] Николов М., Димитров М., Павлов Д. Ускорено сработване на ремонтирани автотракторни двигатели с меден олеат, сб. "Транспорт, екология-устойчиво развитие" ЕКОВАРНА '2006, 2006, 387-391.

Изследванията са извършени по Договор № BG051PO001-3.3.04/28, "Подкрепа за развитие на научните кадри в областта на инженерните научни изследвания и иновациите". Проекта се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма "Развитие на човешките ресурси" 2007-2013, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз".

За контакти:

Доц. д-р инж. Митко Николов, Катедра "Ремонт, надеждност и химични технологии", Русенски университет "Ангел Кънчев", Тел.: 082 888 223, E-mail: mnikolov@ru.acad.bg.

Инж. Митко Димитров, катедра "Техника и технологии", ТК Ямбол, тел.: 046/669-183, E-mail: mitko_1166@mail.bg

Гл. ас. д-р Нина Господинова, Катедра "Ремонт, надеждност и химични технологии", Русенски университет "Ангел Кънчев", Тел.: 082 888 733, E-mail: chimia@ru.acad.bg.

Докладът е рецензиран.