

Piotr ADAMIEC

Henryk TRAJDOS

OCENA I PROGNOZOWANIE ZUŻYCIA WYBRANYCH CZĘŚCI SILNIKÓW 359 I SW 680

Streszczenie. W publikacji przedstawiono metodę prognozowania trwałości elementów pojazdów samochodowych. Wytypowano jeden z zespołów pojazdu samochodowego jakim jest silnik. Do analizy wybrano elementy silników 359 i SW 680 takie jak: tłok, tuleja cylindrowa, sworzeń tłokowy, wał rozrządu, wał korbowy. Dla tych elementów wykonano pomiary mikrometryczne ich zużycia w zależności od przebiegu. Wykorzystując model matematyczny obliczono parametry prognozowanej trwałości ww. elementów. Metoda ta pozwala na wyznaczanie słabych ogniw w badanych zespołach pojazdów.

1. WSTĘP

W czasie eksploatacji pojazdów samochodowych występuje starzenie fizyczne będące wynikiem nieodwracalnych procesów fizycznych i chemicznych o różnej intensywności, które oddziałują w sposób ciągły od momentu wyprodukowania pojazdu do jego kasacji. Procesy te mają miejsce w makro- i mikrootoczeniu, gdzie widmo wymuszające prowadzi do starzenia się elementów pojazdu.

Znajomość wpływu tych procesów umożliwia wyznaczenie charakterystyk eksploatacyjnych, a w szczególności:

- charakterystyk trwałościowych pojazdu,
- charakterystyk niezawodnościowych pojazdów,
- charakterystyk ekonomicznej efektywności eksploatacji,
- charakterystyk użytkowania i odnowienia.

Szczególnie interesujące jest zagadnienie prognozy trwałości pojazdów samochodów samochodowych, dla których ograniczenie tej trwałości wynika głównie z zużycia trybologicznego w zasadniczych węzłach konstrukcyjnych.

W pracy [1] przeprowadzono analizę występujących uszkodzeń w trzech grupach pojazdów, a mianowicie:

- samochodach osobowych,
- samochodach ciężarowych,
- autobusach.

Z analizy uszkodzeń ww. pojazdów stwierdzono, że jednym z zespołów decydujących o trwałości pojazdu są elementy silnika, które przedstawiono w dalszej części niniejszej publikacji.

2. MODEL MATEMATYCZNY OCENY TRWAŁOŚCI ELEMENTÓW POJAZDÓW SAMOCHODOWYCH

Oceny trwałości elementów pojazdów samochodowych można dokonać za pomocą modelu matematycznego. Uwzględniając propozycje zawarte w pracach: [1], [2], [3] i [4] oraz wyniki podane w pracy badawczej [1] zakłada się w modelu, że przebieg zużywania się $\Delta D(L)$ jest procesem stochastycznym uzależnionym od przebiegu według zależności liniowej:

$$\Delta D(L) = \Delta D_0 + v L \quad (1)$$

gdzie:

- ΔD_0 - zużycie początkowe,
- v - średnia intensywność zużywania.

Model matematyczny oceny trwałości opisują następujące wskaźniki:

- Wartość średnia zużycia ΔD_{sr} :

$$\Delta D_{\text{sr}} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta D}{n}, \quad (2)$$

- gdzie: ΔD - wartość zużycia,
- n - ilość pomiarów.

- Średnia intensywność zużycia

$$\bar{v} = \frac{\Delta D_{\text{sr}} - \Delta D_0}{L}, \quad (3)$$

- gdzie: ΔD_0 - wartość zużycia początkowego,
- L - przebieg.

- Średnie odchylenie standardowe intensywności zużycia

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta D - \Delta D_{\text{śr}})^2} \quad (4)$$

Natomiast parametrami prognozowanej trwałości poszczególnych elementów silnika będą:

- średnia trwałość elementu

$$T_{\text{śr}} = \frac{\Delta D_{\text{max}} - \Delta D_0}{\bar{v}}, \quad (5)$$

- trwałość modalna (dominująca)

$$T_{\text{mod}} = \frac{\sqrt{9\sigma_v^2 + 4\bar{v}^2 (\Delta D_{\text{max}} - \Delta D_0)^2} - 3\sigma_v^2}{2\bar{v}^2}, \quad (6)$$

- trwałość z prawdopodobieństwem k

$$T_{p=k} = \frac{2\bar{v}(\Delta D_{\text{max}} - \Delta D_0) + L^2\sigma_v^2 - L\sigma_v \sqrt{4(\Delta D_{\text{max}} - \Delta D_0)\bar{v} + L^2\sigma_v^2}}{2\bar{v}^2} \quad (7)$$

k - prawdopodobieństwo poprawnej pracy

$$k = 0,5 + \Phi(L) \quad (8)$$

$$\Phi(L) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^L e^{-\frac{\Delta D^2}{2}} d\Delta D, \quad (9)$$

- odchylenie standardowe rozkładu trwałości

$$\sigma_t = \sqrt{\frac{(\Delta D_{\text{max}} - \Delta D_0)^2 \sigma_v^2}{\bar{v}^3}}, \quad (10)$$

3. PROGNOZOWANIE TRWAŁOŚCI NA PODSTAWIE WYBRANYCH WYNIKÓW

Wykorzystując powyższą metodę prognozowania trwałości przeprowadzono próbę prognozowania trwałości, niektórych części silnika 358 oraz SW 680 [1].

Danymi wyjściowymi były wyniki pomiarów mikrometrycznych silników 359 i SW 680 po różnych przebiegach [1]. Silniki te pracowały w pojazdach w trudnych warunkach eksploatacyjnych, na różnych, dużych budowach przemysłowych.

Wartości zużyć dopuszczalnych przyjęto na podstawie zaleceń producentów i doświadczeń własnych.

Pomiary i obliczenia przeprowadzono dla części, które przedstawiono w tablicy 1.

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów dokonano obliczeń średnich wartości zużycia oraz prognozy trwałości. Wyniki obliczeń przedstawiono w tablicach 2 i 3.

Natomiast przykładowe przebiegi zużycia oraz prognozy trwałości przedstawiono na przykładzie tłoka i tulei cylindrycznej silnika SW 680 na rys.1 i 2.

Tabela 1

Wykaz elementów silnika i sposób ich pomiaru

Lp.	Element pomiaru	Sposób pomiaru
1	Tłok silnika	mierzono średnice tłoka na trzech wysokościach oraz średnice piasty sworznia tłokowego
2	Tuleja cylindrowa	mierzono średnice na trzech jego wysokościach
3	Sworzeń tłokowy	mierzono średnice na trzech jego długościach
4	Wał rozrządu	mierzono średnice czopów wału rozrządu
5	Wał korbowy	mierzono średnice czopów głównych i korbowych wału korbowego

Tabela 2

Obliczanie prognozy trwałości silnika 359

Tłok silnika 359 $\Delta D_{max}=0,25$ mm

Par.	ΔD_o	ΔD_s	Przeb.	V	G	T_s	T_{od}	$T_p=0,84$	σ_t
	[mm]	[mm]	tyś.km	[mm/tyś.km]	[mm]	tyś.km	tyś.km	tyś.km	tyś.km
D1	0	0,1	137	0,0007	0,0057	428	307	290,8	167,2
D2	0	0,19	137	0,0013	0,005	300	202	197,7	86,6
D3	0	0,25	137	0,0018	0,01	166	131	105,4	71,72
Ds	0	0,012	137	0,00008	0,003	250	219	187,8	59,2

Tuleja cylindrowa silnika 359 $\Delta D_{max}=0,25$ mm

Par.	ΔD_o	ΔD_s	Przeb.	V	v	T_s	T_{od}	$T_p=0,9$	σ_t
	[mm]	[mm]	tyś.km	[mm/tyś.km]	[mm]	tyś.km	tyś.km	tyś.km	tyś.km
D1	0	0,22	137	0,0016	0,008	187,5	142,3	119,1	68,4
D2	0	0,15	137	0,001	0,0069	300	201,5	187,4	119,5
D3	0	0,11	137	0,0008	0,007	375	294,2	211,3	169,4

Sworzeń tłokowy silnika 359 $\Delta D_{max}=0,06$ mm

Par.	ΔD_o	ΔD_s	Przeb.	V	G	T_s	T_{od}	$T_p=0,87$	σ_t
	[mm]	[mm]	tyś.km	[mm/tyś.km]	[mm]	tyś.km	tyś.km	tyś.km	tyś.km
Ds	0	0,025	137	0,00018	0,005	1670	1461	1321	358

Wał rozrządu 359 $\Delta D_{max}=0,12$ mm

Par.	ΔD_o	ΔD_s	Przeb.	V	G	T_s	T_{od}	$T_p=0,84$	σ_t
	[mm]	[mm]	tyś.km	[mm/tyś.km]	[mm]	tyś.km	tyś.km	tyś.km	tyś.km
Dcz	0	0,1	147	0,00068	0,003	167,5	132,2	111,7	58,6

Wał korbowy silnika 359 $\Delta D_{max}=0,12$ mm

Par.	ΔD_o	ΔD_s	Przeb.	V	G	T_s	T_{od}	$T_p=0,9$	σ_t
	[mm]	[mm]	tyś.km	[mm/tyś.km]	[mm]	tyś.km	tyś.km	tyś.km	tyś.km
Dg	0	0,045	147	0,0003	0,00049	400	348	252	326
Dk	0	0,055	147	0,00037	0,0052	324	291	231	253

Tabela 3

Obliczanie prognozy trwałości silnika SW 680

Tłok silnika SW 680 $\Delta D_{\max}=0,2$ mm

Par.	ΔD_o	ΔD_s	Przeb.	V	G_v	T_s	T_{mod}	$T_p=0,8$	G_t
	[mm]	[mm]	[tyś.km]	[mm/tyś.km]	[mm]	[tyś.km]	[tyś.km]	[tyś.km]	[tyś.km]
D1	0	0,043	123	0,00034	0,0047	588	514	498	335
D2	0	0,030	123	0,00024	0,013	833	701	752	1563
D3	0	0,032	123	0,00026	0,013	769	751	842	1386
Ds	0	0,003	123	0,00002	0,007	3000	1531	1221	1917

Tuleja cylindrowa silnika SW 680 $\Delta D_{\max}=0,2$ mm

Par.	ΔD_o	ΔD_s	Przeb.	V	G_v	T_s	T_{mod}	$T_p=0,8$	G_t
	[mm]	[mm]	[tyś.km]	[mm/tyś.km]	[mm]	[tyś.km]	[tyś.km]	[tyś.km]	[tyś.km]
D1	0	0,15	123	0,0012	0,005	166	152	141	53,8
D2	0	0,077	123	0,0006	0,02	333	301	284	608
D3	0	0,04	123	0,0004	0,014	500	447	401	782

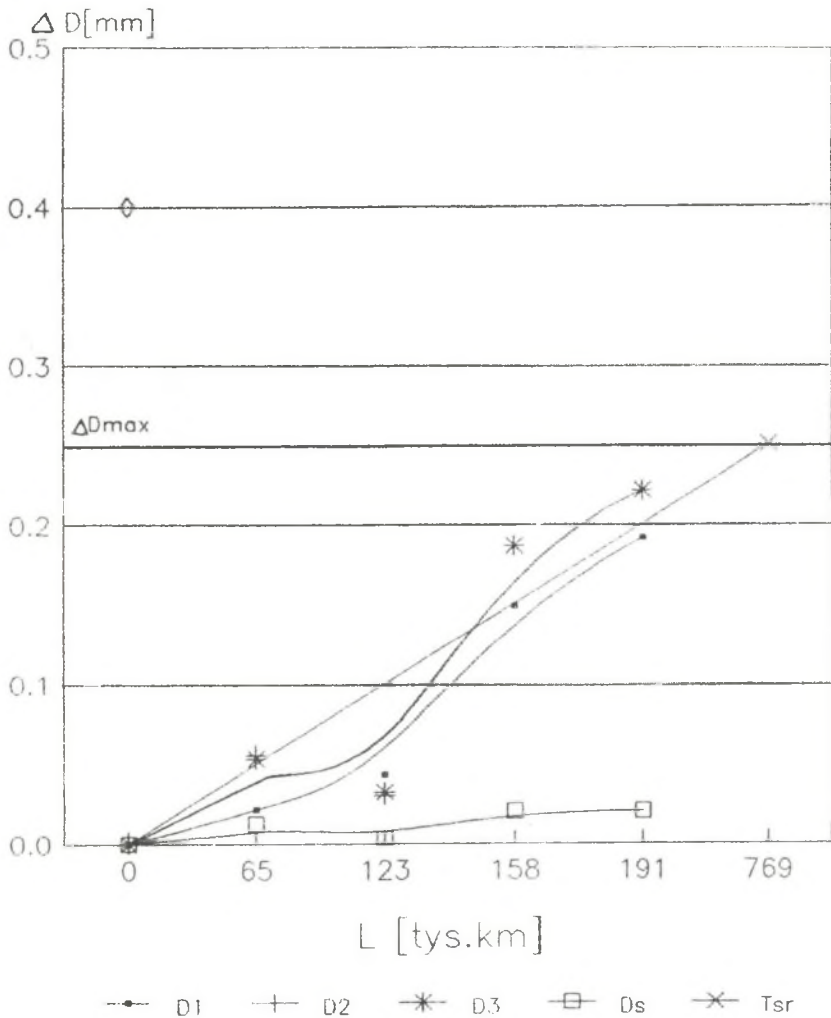
Sworzeń tłokowy silnika SW 680 $\Delta D_{\max}=0,06$ mm

Par.	ΔD_o	ΔD_s	Przeb.	V	G_v	T_s	T_{mod}	$T_p=0,91$	G_t
	[mm]	[mm]	[tyś.km]	[mm/tyś.km]	[mm]	[tyś.km]	[tyś.km]	[tyś.km]	[tyś.km]
Ds	0	0,012	123	0,0001	0,0037	600	572	548	906

Wał rozrządu SW 680 $\Delta D_{\max}=0,1$ mm

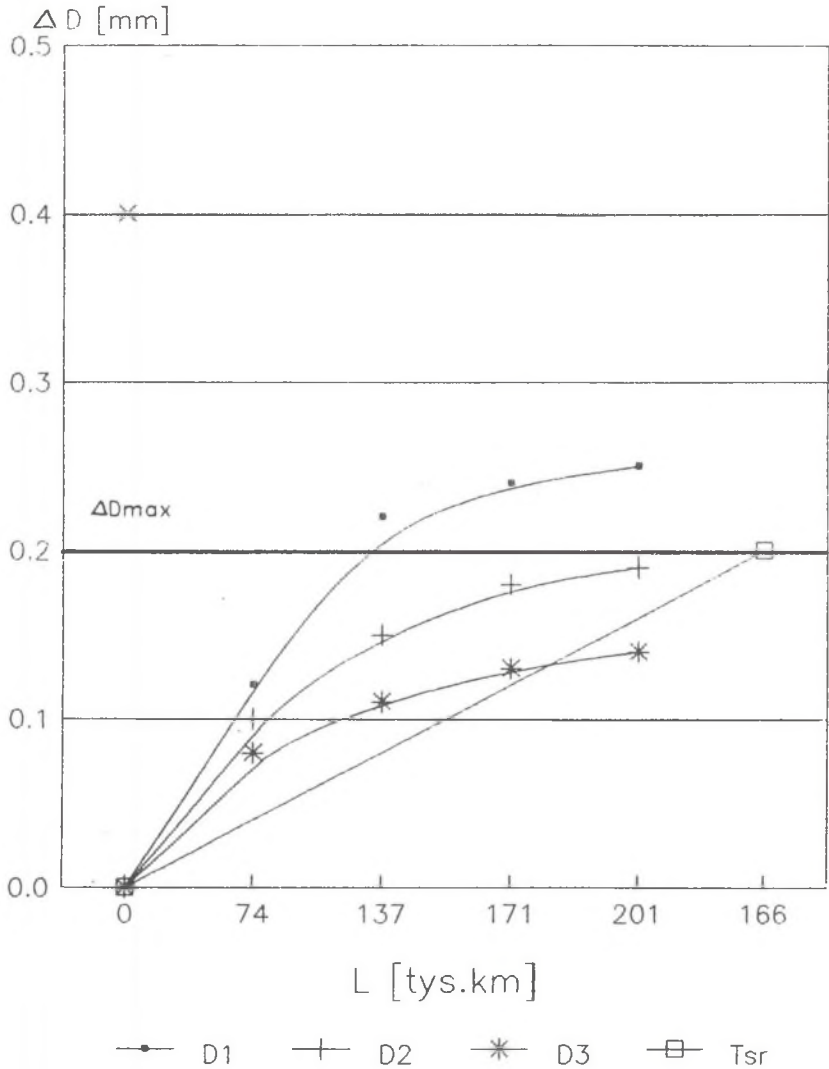
Par.	ΔD_o	ΔD_s	Przeb.	V	G_v	T_s	T_{mod}	$T_p=0,91$	G_t
	[mm]	[mm]	[tyś.km]	[mm/tyś.km]	[mm]	[tyś.km]	[tyś.km]	[tyś.km]	[tyś.km]
Dcz	0	0,011	123	0,00009	0,0001	222	204	192	274

PRZEBIEG ZUŻYCIA TŁOKA SILNIKA
SW 680 ORAZ PROGNOZY TRWAŁOŚCI



Rys. 1. Przebieg zużycia tłoka silnika SW 680 oraz prognozy jego trwałości
Fig. 1. Wear diagram of the SW 680 engine piston and forecasts of its service life

PRZEBIEG ZUŻYCIA TULEI CYLINDROWEJ
SILNIKA SW 680 ORAZ PROGNOZY TRWAŁOŚCI



Rys. 2. Przebieg zużycia tulei cylindrowej silnika SW 680 oraz prognozy jej trwałości

Fig. 2. Wear diagram of the SW 680 engine piston sleeve and forecasts of its service life

4. ANALIZA WYNIKÓW

Przeprowadzone pomiary zużywania się elementów typowych złożeń silnika w funkcji przebiegu umożliwiły określenie wielkości bezwzględnego zużycia oraz prognozowania trwałości dla części wymienionych w tablicy 1.

Wielkości bezwzględnego zużycia po okresie docierania potwierdzają przyjęcie liniowego modelu opisanego równaniem (1).

Analiza zużycia w złożeniu tłok-cylinder wskazuje na jego maksymalne ubytki w górnej części tulei cylindrowej oraz dolnej części tłoka i zużycie to często decyduje o trwałości całego silnika. Niebezpiecznymi miejscami o dużym zużyciu są również czopy wałka rozrządu oraz piasta sworznia tłokowego. Analiza prognozowanej trwałości poszczególnych części pozwala na uszeregowanie tych części według rosnącej lub malejącej trwałości, co umożliwia wyznaczenie słabego ogniwa w badanym zespole, którego zużycie warunkuje trwałość i niezawodność całego zespołu.

Porównując prognozowane trwałości elementów silników 359 i SW 680 (tabl. 2 i 3), że jakość silników SW 680 jest wyraźnie wyższa w porównaniu do silników 359.

5. WNIOSKI

1. Stwierdzono na podstawie prognozowanej trwałości elementów silników 359 i SW 680 (tabl. 2 i 3), że jakość silnika SW 680 jest wyraźnie wyższa w porównaniu do silnika 359.

2. O trwałości silnika decyduje przede wszystkim zużycie tulei cylindrowej w jej górnej części oraz zużycie tłoka w jego dolnej części.

3. Metoda oceny prognozowanej trwałości elementów na podstawie zużycie części może być wykorzystana do wyznaczania słabych ogniw w badanych zespołach pojazdów.

4. Dokładność prognozowania trwałości elementów pojazdów zależy głównie od dokładności pomiarów zużycia części, którą można zwiększyć poprzez stosowanie bardzo dokładnych metod pomiarowych lub przez zwiększenie liczby pomiarów.

LITERATURA

- [1] A. Adamiec i inni: Opracowanie charakterystyki zużycia części pojazdów samochodowych. Instytut Transportu Politechniki Śląskiej (niepublikowane) Katowice 1990
- [2] V. Pieper, H. Thum: Zuverlässigkeitsuntersuchungen unter Anwendung der mathematischen Modellierung des Verschleißprozesses. Schmirungstechnik 10 (1979) 5
- [3] V. Pieper: Statische Auswertung von Verschleißmessungen und ihre Anwendung zur Batriebsdouerprognose. Schmirungstechnik 12 (1981) 8
- [4] A. Niewczas, W. Rosiński, R. Ludew: Metoda oceny wyników pomiarów zużycia części silnika oraz jej zastosowanie w prognozowaniu trwałości. V Kongres eksploatacyjny. Warszawa 1983

Recenzent: Doc.dr hab.inż. Władysław Śliwiński

Wpłynęło do Redakcji 14.03.1990 r.

EVALUATION AND TECHNICAL FORECASTING OF WEAR OF SELECTED ELEMENTS IN THE ENGINES 359 AND SW 680

S u m m a r y

A method of forecasting the service life of automotive vehicles' elements has been presented in the paper. An engine - one of the assemblies of an automotive vehicle has been chosen. Such elements of the engines 359 and SW 680 as: piston, cylinder sleeve, piston pin, cam shaft and crankshaft have been selected for the analysis.

Micrometric measurements of their wear depending on the mileage have been taken of forecasted service life of these elements have been calculated using the mathematical model the parameters. This method allows to find weak elements in the tested assemblies of vehicles.

ОЦЕНКА И ПРЕДСКАЗАНИЕ ИЗНОСА ИЗБРАННЫХ ДЕТАЛЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ 359
И SW 680

Р е з ю м е

В статье представлен метод прогнозирования прочности элементов автомобилей. Выдвинут один из узлов автомобиля - двигатель. Для анализа избраны такие элементы двигателей 359 и SW 680 как: поршень, втулка цилиндра, шатунный палец, газораспределительный вал и коленчатый вал. Для этих элементов проведены микрометрические измерения износа в зависимости от пробега. Используя математическую модель рассчитаны параметры прогнозируемой прочности вышеуказанных элементов. Метод позволяет определить слабые звена исследуемых узлов автомобилей.