

Zbigniew STANIK  
Kazimierz WITASZEK  
Mirosław WITASZEK

## BADANIA ŻUŻYCIA KRZYWEK WAŁKÓW ROZRZĄDU

**Streszczenie.** W artykule omówiono wyniki badań zużycia krzywek wałków rozrządu silników samochodów Cinquecento 700. Określono zależność liniowej intensywności zużycia od kąta obrotu krzywki. Stwierdzono występowanie dwóch maksimum tej zależności, dla których określono dla nich rozkład prawdopodobieństwa intensywności zużycia za pomocą rozkładu Weibulla.

## WEAR TESTS OF CAMS OF CAMSHAFTS

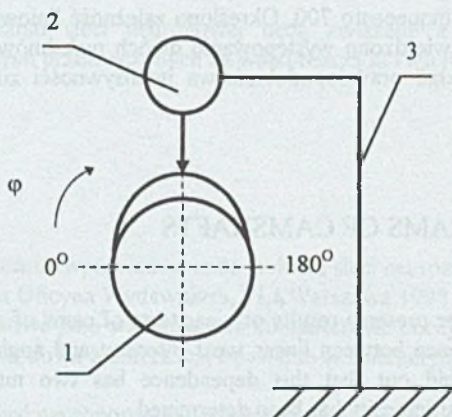
**Summary.** This paper presents results of wear tests of cams of camshafts from Cinquecento 700 engines. A dependence between linear wear intensity and angle of cam rotation has been determined. It was found out that this dependence has two maxims. For them Weibull's didtribution of linear wear intensity has been determined.

### 1. WPROWADZENIE

Nadmierne zużycie krzywek wałka rozrządu jest awarią występującą niejednokrotnie zarówno w silnikach samochodów produkowanych w kraju, jak i za granicą. Wpływa ono niekorzystnie na pracę silnika spalinowego. W pracach poświęconych temu zagadnieniu [1] koncentrowano się na ustaleniu jego możliwych przyczyn, ograniczając się tylko do stwierdzenia występowania tego zjawiska. Dlatego w niniejszej pracy dokonano ilościowej oceny nadmiernego zużycia krzywek wałków rozrządu. Wyniki badań zużycia krzywek posłużyły do określenia zależności intensywności zużycia od kąta obrotu krzywki. Następnie dla punktów, w których zależność ta wykazywała maksimum określono rozkład prawdopodobieństwa intensywności zużycia. Wykorzystano w tym celu rozkład Weibulla szeroko stosowany przy analizie trwałości i niezawodności [2,3].

## 2. BADANIA ZUŻYCIA KRZYWEK

Badania zużycia krzywek wałków rozrządu obejmowały pomiary zużycia liniowego krzywek 40 wałków rozrządu wymontowanych z silników samochodów Cinquecento 700. Wałki te wykazywały nadmierne zużycie materiału krzywek. Przebiegi  $L_E$  samochodów z tymi wałkami wahały się od 1250 do 48 500 km. Pomiarów dokonano za pomocą czujnika zegarowego o dokładności 0,01 mm, w układzie jak na rys. 1. Kąt  $\varphi$  zmieniano w zakresie od 0 do  $190^\circ$  co  $5^\circ$  tak, że maksymalny wznios krzywki występował przy kącie równym ok.  $90^\circ$ . W wyniku pomiaru otrzymywano zatem wznios krzywki.



Rys. 1. Schemat pomiaru zużycia krzywek: 1 - krzywka, 2 - czujnik zegarowy, 3 - statyw  
 Fig. 1. Scheme of measuring of cam's wear: 1 - cam, 2 - dial indicator, 3 - stand

## 3. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ ZUŻYCIA KRZYWEK WAŁKÓW ROZRZĄDU

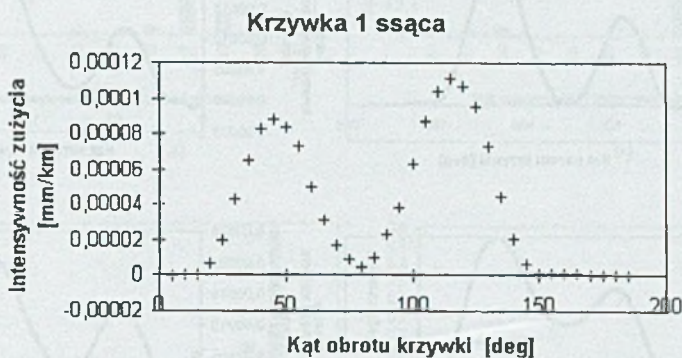
W pierwszym etapie analizy wyników ww. badań obliczono zużycie liniowe  $z$  krzywki, odejmując zmierzony wznios krzywki  $h$  od teoretycznego wzniosu krzywki nowej  $h_i$ :

$$z = h_i - h. \quad (1)$$

Następnie wyznaczano liniową, eksploatacyjną intensywność zużycia krzywek  $I_E$ , dzieląc liniowe zużycie  $z$ , wyrażone w mm przez przebieg  $L_E$  samochodu podczas pracy danego wałka rozrządu (w km):

$$I_E = \frac{z}{L_E} \left[ \frac{\text{mm}}{\text{km}} \right]. \quad (2)$$

Przykładowe wyniki tych obliczeń przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Zależność eksploatacyjnej, liniowej intensywności zużycia przykładowej krzywki wałka rozrządu od kąta  $\varphi$

Fig. 2. An example of dependence of service, linear wear intensity of cam on angle  $\varphi$

Z rys. 2 wynika, że intensywność zużycia krzywki nie jest stała, lecz jest funkcją kąta  $\varphi$ . Wykazuje ona dwa maksima: dla kątów  $\varphi$  równych ok.  $45^\circ$  i  $115^\circ$ . Intensywność zużycia poszczególnych krzywek różnych wałków, oczywiście, była różna. Aby dokonać jej oceny, dla wszystkich wałków obliczono wartości średnie tej intensywności dla poszczególnych krzywek ze wzoru:

$$\overline{I_E}(\varphi) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{Ei}(\varphi), \quad (3)$$

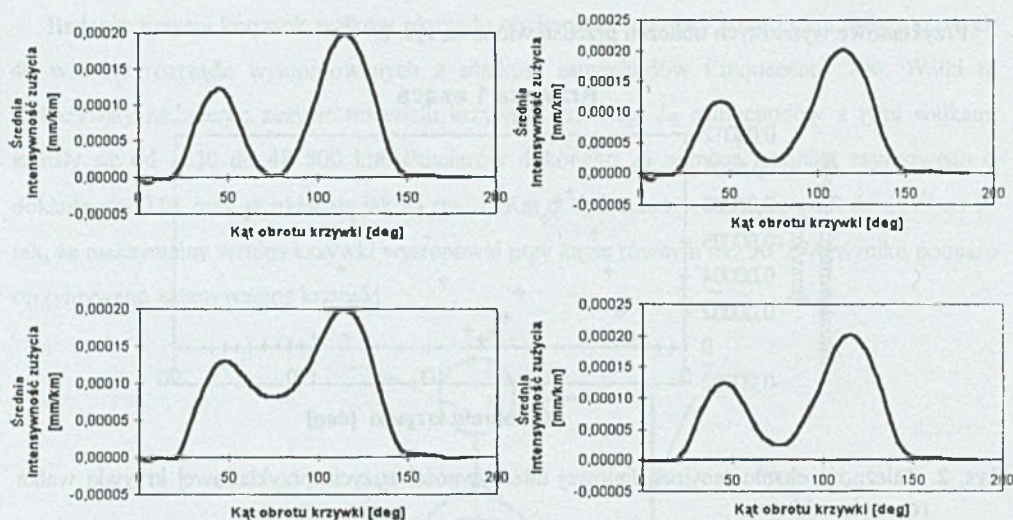
gdzie:  $\overline{I_E}(\varphi)$  - średnia intensywność zużycia danej krzywki dla kąta  $\varphi$ ,  $n$  - ilość badanych wałków.  $I_{Ei}(\varphi)$  - intensywność zużycia danej krzywki  $i$ -tego wałka, dla kąta  $\varphi$ .

Zależność średniej intensywności zużycia poszczególnych krzywek od kąta obrotu krzywki  $\varphi$  przedstawiono na rys. 3. Z rysunku tego wynika, że zaobserwowany na rys. 2 charakter zależności intensywności zużycia od kąta  $\varphi$  występuje w przypadku wszystkich krzywek.

Dla trwałości krzywek najistotniejsza jest maksymalna intensywność zużycia, dlatego dla każdej badanej krzywki określono ją ze wzoru:

$$I_{E_{\max}} = \max_{\varphi} \{I_E(\varphi)\}, \quad (4)$$

oraz odczytywano kąt  $\varphi$  przy której ta intensywność występuje.

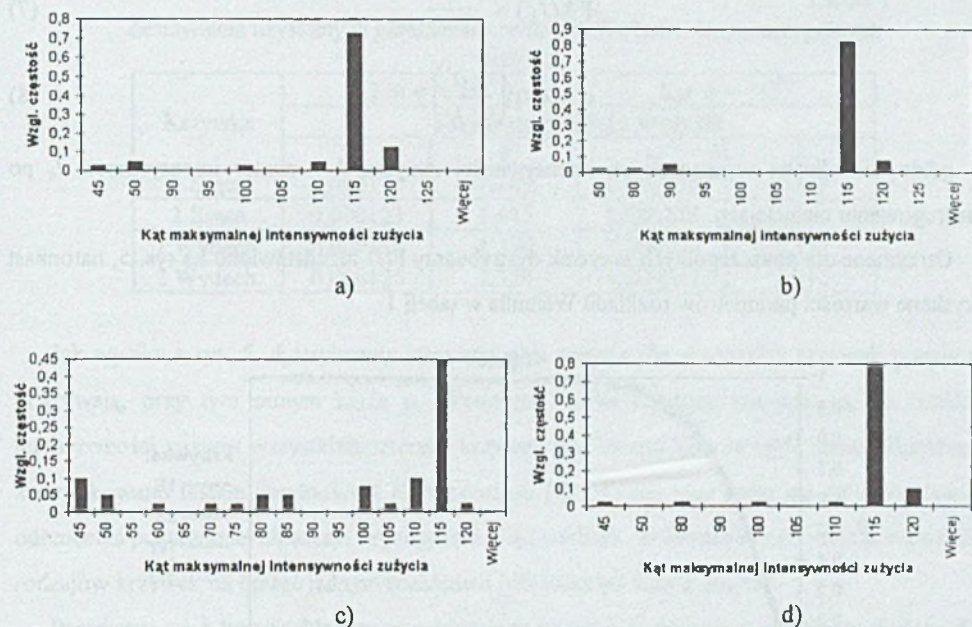


Rys. 3. Zależność średniej intensywności zużycia poszczególnych krzywek wałka rozrządu od kąta  $\varphi$  dla: a) pierwszej krzywki ssącej (1S), b) drugiej krzywki ssącej (2S), c) pierwszej krzywki wydechowej (1W), d) drugiej krzywki wydechowej (2W)

Fig. 3. The dependence of average wear intensity on angle  $\varphi$  for the following cams: a) first cam of suction valve (1S), b) second cam of suction valve (2S) c) first cam of exhaust valve (1W), d) second cam of exhaust valve (2W)

Następnie sporządzono histogramy ukazujące częstość występowania maksymalnej intensywności zużycia krzywki dla poszczególnych kątów, czyli ilość krzywek, dla których maksymalna intensywność zużycia wystąpiła przy danym kącie  $\varphi$ . W celu ułatwienia analizy zaobserwowane częstości podzielono przez liczbę badanych wałków otrzymując tzw. względną częstość (rys. 4).

Z rysunku 4 wynika, że najczęściej zużycie maksymalnej intensywności występuje przy kącie  $\varphi = 115^{\circ}$ . Choć w nielicznych przypadkach zdarza się, że intensywność zużycia w „pierwszym” maksimum występującym dla kątów 45 - 50 $^{\circ}$  jest większa niż w „drugim” - przy kącie 110-120 $^{\circ}$ . Z tych powodów w dalszej analizie zwrócono szczególną uwagę na intensywność zużycia występującą przy kątach 45 i 115 $^{\circ}$ .



Rys. 4. Histogramy ukazujące zależność względnej częstości wystąpienia maksymalnej, liniowej intensywności zużycia krzywki od kąta obrotu dla: a) pierwszej krzywki ssącej (1S), b) drugiej krzywki ssącej (2S), c) pierwszej krzywki wydechowej (1W), d) drugiej krzywki wydechowej (2W)

Fig. 4. Histograms showing dependence of relative frequency of maximum wear intensity on angle  $\varphi$  for the following cams: a) first cam of suction valve (1S), b) second cam of suction valve (2S) c) first cam of exhaust valve (1W), d) second cam of exhaust valve (2W)

Rozrzut intensywności zużycia opisano za pomocą rozkładu Weibulla. Dystrybuanta intensywności zużycia, opisująca prawdopodobieństwo, że intensywność zużycia jest mniejsza niż zadana wartość  $I$  ma następującą postać [4]:

$$F(I) = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{I}{a} \right)^b \right]. \quad (5)$$

Równanie to zawiera dwa parametry:

- parametr skali ( $a$ )
- parametr kształtu ( $b$ ).

Parametry te wyznaczano z następujących równań:

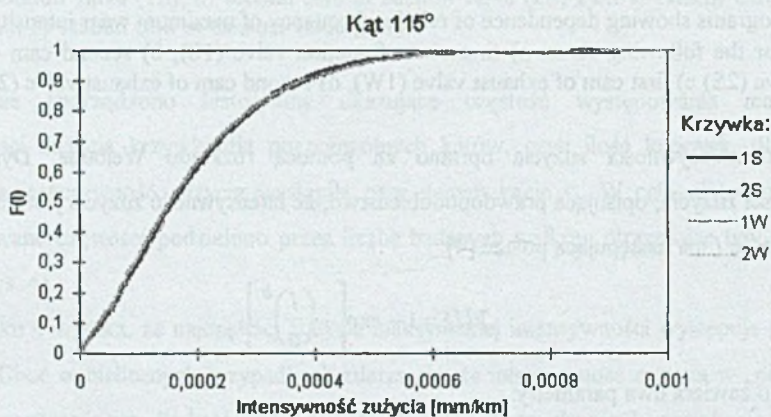
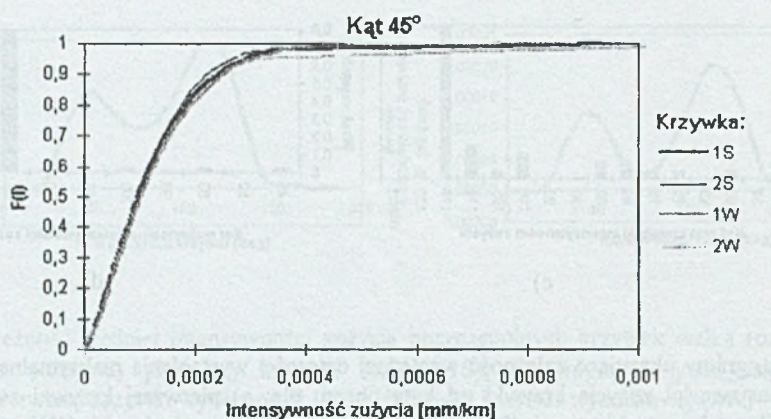
$$\ln \{-\ln[1-F^*(I_i)]\} = -b \cdot \ln a + b \cdot \ln I_i \quad (i = 1, 2, \dots, n). \quad (6)$$

$$F^*(I_k) = \frac{k}{n+1} \quad (7)$$

$$a = \exp\left(-\frac{a'}{b}\right). \quad (8)$$

gdzie:  $n$  - liczba wyznaczonych intensywności zużycia,  $k$  - numer intensywności  $I_k$  po uszeregowaniu niemalejąco.

Otrzymane dla poszczególnych krzywek dystrybuanty  $F(I)$  przedstawiono na rys. 5, natomiast uzyskane wartości parametrów rozkładu Weibulla w tabeli 1.



Rys. 5. Dystrybuanty  $F(I)$  intensywności zużycia poszczególnych krzywek dla kąta  $\varphi$  równego: a) 45°, b) 115°

Fig. 5. Distribution functions  $F(I)$  of wear intensity of cams for cam rotation angle  $\varphi$ : a) 45°, b) 115°

Tabela 1  
Zestawienie uzyskanych parametrów rozkładu Weibulla dla poszczególnych krzywek

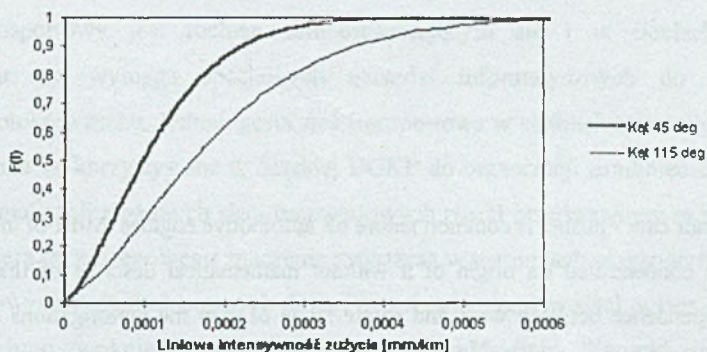
Krzywka	Kąt $\varphi = 45^{\circ}$		Kąt $\varphi = 115^{\circ}$	
	Parametry rozkładu Weibulla			
	$a$	$b$	$a$	$b$
1 Ssąca	0,000127	1,343	0,000205	1,407
2 Ssąca	0,000123	1,445	0,000208	1,340
1 Wydech.	0,000135	1,370	0,000202	1,334
2 Wydech.	0,000126	1,329	0,000211	1,412

Jak wynika z rys. 5, dystrybuanty intensywności zużycia dla wszystkich krzywek prawie się pokrywają, przy tym samym kącie  $\varphi$ . Wysunięto zatem hipotezę statystyczną, że rozkłady intensywności zużycia wszystkich czterech krzywek dla danego kąta są takie same. Hipotezę tę zweryfikowano testem zgodności  $\lambda$  Kolmogorowa [5]. Wyniki tego testu nie dały podstaw do odrzucenia postawionej hipotezy. Wyciągnięto więc wniosek, że intensywność zużycia wszystkich rodzajów krzywek na opisać jednym rozkładem (dla każdego kąta  $\varphi$  innym).

Parametry  $a$  i  $b$  tych rozkładów przedstawiono w tabeli 2, natomiast otrzymane funkcje  $F(I)$  na rys. 6.

Tabela 2  
Zestawienie uzyskanych parametrów rozkładu Weibulla dla krzywek rozpatrywanych łącznie

Kąt $\varphi$	Parametry rozkładu Weibulla	
	$a$	$b$
$45^{\circ}$	0,000126	1,475
$115^{\circ}$	0,000205	1,460



Rys. 6. Dystrybuanty intensywności zużycia krzywek rozpatrywanych łącznie  
Fig. 6. Distribution functions of wear intensity of all cams together

#### 4. WNIOSKI KOŃCOWE

Przeprowadzone badania i obliczenia pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. Intensywność zużycia badanych krzywek wałków rozrzędu jest funkcją kąta obrotu krzywki. Zależność ta charakteryzuje się występowaniem dwóch maksimów dla kątów równych ok.  $45^{\circ}$  i  $115^{\circ}$ . Przyczyny tego stanu rzeczy będzie można ocenić po wykonaniu obliczeń nacisków z uwzględnieniem sił dynamicznych.
2. Intensywność zużycia krzywek w „pierwszym” maksimum jest z reguły niższa niż w „drugim” (rys. 6).
3. Rozkład intensywności zużycia nie zależy od rodzaju krzywki. Występujące różnice nie są statystycznie istotne.

#### Literatura

1. Janik R., Winogrodzki J., Dziendziel A.: Analiza zjawiska nadmiernego zużywania się wału rozrzędu oraz popychaczy zaworów w silnikach typu 170A.000 do samochodów Cinquecento. Sprawozdanie z pracy nr OBR/698/BH/162/93 wykonanej na zlecenie FIAT-Autopoland, Bielsko - Biała 1993.
2. Witaszek M.: Ocena trwałości i niezawodności kół kolejowych. Praca doktorska. Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Materiałowej, Metalurgii i Transportu. Katowice 1999.
3. Magiera J., Piec P.: Ocena zużycia i niezawodności pojazdów szynowych. Część I. Ossolineum, Wrocław, Warszawa, Kraków 1994.
4. Sobczyk M.: Statystyka. PWN, Warszawa 1997.

Recenzent: Dr hab. inż. Stanisław Król  
Profesor Politechniki Opolskiej

#### Abstract

Wear of pair cam - pusher is common failure of automotive engines. Most of investigations of the failure is concentrated on origin of it without mathematical describe of that process. To determine dependence between wear and rotate angle of cam the investigations of wear have been made. On the basis of results of these investigations values of angle  $\varphi$  with maximum wear intensity have been determined. For these angles calculations of Weibull's distribution of the linear wear intensity have been carried out.