

# ANALIZA WPLYWU ZUŻYCIA GŁADZI CYLINDROWEJ NA PARAMETRY TERMODYNAMICZNE PRZY ROZRUCHU SILNIKA O ZAPŁONIE SAMOCZYNNYM W OBNIŻONYCH TEMPERATURACH OTOCZENIA

## 1. Wstęp

W warunkach niskich temperatur zasadniczą rolę odgrywają właściwości rozruchowe silników o zapłonie samoczynnym. Jak dotychczas brak jest modeli termodynamicznych, które ujmowałyby proces rozruchu silnika o zapłonie samoczynnym, a zwłaszcza w obniżonych temperaturach otoczenia na parametry termodynamiczne procesu sprężania.

Ponadto, jak wiadomo, w miarę eksploatacji następuje zużycie układu tłok - pierścienie - cylinder. Powiększający się luz między tłokiem a cylindrem będzie powodował w procesie sprężania utratę części zasysanego ładunku. Zbyt duże zużycie może spowodować, że rozruch silnika będzie utrudniony, a w niskich temperaturach wręcz niemożliwy. W związku z tym zachodzi konieczność określenia dla danego silnika dopuszczalnego zużycia układu tłok - pierścienie - cylinder, przy którym możliwy jest jeszcze rozruch przy danej temperaturze otoczenia.

Niniejsza praca stanowi fragment badań we wspomnianej tematyce. Jej zasadniczym celem jest opracowanie wykonanych w Katedrze Eksploatacji Pojazdów Samochodowych obliczeń maksymalnych ciśnień i temperatur w zależności od temperatury otoczenia, prędkości obrotowej wału korbowego i zużycia układu tłok - pierścienie - cylinder.

## 2. Przedmiot badań

Przedmiotem badań był silnik typu 359 o zapłonie samoczynnym.

## 3. Sposób prowadzenia badań

Silnik został umieszczony w komorze niskich temperatur i napędzany był silnikiem elektrycznym.

Pomiary przedmuchiów i ciśnienia w cylindrze prowadzono w temperaturach otoczenia: 253, 258, 263, 273 i 293 K dla prędkości obrotowej wału korbowego: 0.83, 1.66, 2.50, 3.33, 4.16 i 5.00 s<sup>-1</sup> przy trzech stanach technicznych silnika, którym odpowiadało maksymalne sumaryczne zużycie gładzi cylindrowych: 0,000 (silnik nowy), 0,105, 0,210 mm.

## 4. Obliczenia

Podstawy teoretyczne metody obliczeniowej  $p = f(\alpha)$  i  $T = f(\alpha)$  zostały przedstawione w pracach [1,2].

Obliczenia  $p = f(\alpha)$  i  $T = f(\alpha)$  przeprowadzono stosując następujące wzory na współczynnik przejmowania ciepła:

- wzór Nusselta,
- wzór Wochni,
- wzór Rau [3].

W celu rozwiązania równań różniczkowych  $\frac{dT}{d\alpha}$  i  $\frac{dp}{d\alpha}$  wykorzystano program komputerowy.

## 5. Omówienie wyników

Ze względu na szczupłość miejsca przedstawiono tylko niektóre wykresy i wnioski.

### 5.1 Wpływ temperatury otoczenia na ciśnienie maksymalne czynnika roboczego w cylindrze

Wpływ temperatury otoczenia na wielkość ciśnień maksymalnych w rozważanym zakresie temperatur otoczenia od 253 °K do 293 °K i prędkości obrotowej wału korbowego od  $n = 0.83s^{-1}$  do  $n = 5.00s^{-1}$ , jest niewielki bez względu na zastosowany do obliczeń wzór na współczynnik przejmowania ciepła przez ścianki i zużycie gładzi cylindrowych. W przypadku wzorów Woschni i Rau obniżenie temperatury otoczenia z 293 °K do 253 °K powoduje wzrost ciśnień maksymalnych o około 0.03 MPa, a w przypadku wzoru Nusselta o około 0.08 MPa. Tendencje do wzrostu ciśnień maksymalnych w miarę obniżania temperatury otoczenia można wyjaśnić wzrostem masowego napełnienia cylindra.

### 5.2 Wpływ prędkości obrotowej wału korbowego na ciśnienie maksymalne czynnika roboczego w cylindrze

W miarę wzrostu prędkości obrotowej wału korbowego bez względu na zastosowany do obliczeń wzór na współczynnik przejmowania ciepła przez ścianki, następuje wzrost ciśnień maksymalnych. Wynika to stąd, że w miarę wzrostu  $n$  zmniejsza się ucieczka ładunku.

Wpływ prędkości obrotowej wału korbowego na ciśnienie maksymalne jest większy w przypadku wzoru Nusselta niż wzorów Woschni i Rau, szczególnie w zakresie prędkości obrotowej  $n = 0.83s^{-1}$  do  $n = 5.00s^{-1}$  (50 – 300  $min^{-1}$ ). Dla nowego silnika w tym zakresie prędkości obrotowej ciśnienia maksymalne wzrastają o około:

– Według wzorów Woschni i Rau: - 0.5 MPa, co stanowi 50% w stosunku do całego wzrostu ciśnienia w wyniku zwiększenia  $n$  z  $0.83s^{-1}$  (50  $min^{-1}$ ) do  $5.00s^{-1}$  (300  $min^{-1}$ ).

– Według wzoru Nusselta: - 0.8 MPa, co stanowi 68% w stosunku do całego wzrostu ciśnienia w wyniku zwiększenia  $n$  z  $0.83s^{-1}$  (50  $min^{-1}$ ) do  $5.00s^{-1}$  (300  $min^{-1}$ ).

### 5.3 Wpływ temperatury otoczenia na temperatury maksymalne czynnika roboczego w cylindrze

Zależność temperatury maksymalnej czynnika roboczego od temperatury otoczenia, przy danej prędkości obrotowej  $n$  wału korbowego jest prostoliniowa, bez względu na zastosowany do obliczeń wzór na współczynnik przejmowania ciepła i stan techniczny silnika. Taki przebieg znajduje potwierdzenia w badaniach doświadczalnych.

Spadek temperatury otoczenia o jeden K powoduje w przypadku wzorów Woschni i Rau obniżenie temperatury maksymalnej o 2.2 do 2.5 K (niższa wartość dla mniejszych  $n$ ), a w przypadku wzoru Nusselta o 1.8 do 2.4 K (niższa wartość dla mniejszych  $n$ ).

#### 5.4 Wpływ prędkości obrotowej wału korbowego na temperatury maksymalne czynnika roboczego w cylindrze

Ze wzrostem prędkości obrotowej wału korbowego następuje wzrost temperatur maksymalnych. Należy tłumaczyć to tym, że ze wzrostem  $n$  zmniejsza się ucieczka ładunku. W miarę zwiększania się  $n$  przyrosty temperatur są mniejsze. Wynika to stąd, że ze wzrostem  $n$  następuje tendencja do stabilizacji przedmuchów. Zwiększenie prędkości obrotowej wału korbowego z  $n = 0.83\text{s}^{-1}$  do  $n = 5.00\text{s}^{-1}$  (50 do  $300\text{mm}^{-1}$ ) przy temperaturze otoczenia ( $T_o$ ) równej 273 K powoduje wzrost temperatury maksymalnej o:

Nowy silnik:

- wzór Woschni: 65 K,
- wzór Rau: 86 K,
- wzór Nusselta: 113 K,

Zużycie gładzi cylindrowej ( $z$ ) równe 0.105 mm:

- wzór Woschni: 75 K,
- wzór Rau: 102 K,
- wzór Nusselta: 140 K.

#### 5.5 Wpływ zużycia układu tłok – pierścienie – cylinder na ciśnienia maksymalne czynnika roboczego w cylindrze

Zużycie wymienionego układu scharakteryzowano za pomocą średniego maksymalnego zużycia gładzi cylindrowych. Wpływ zużycia na ciśnienia maksymalne sprężania przedstawiano na przykładowym wykresie (rys. 1) sporządzonym w oparciu o obliczenia maksymalnych ciśnień przy zastosowaniu współczynnik przejmowania ciepła wzoru Woschni przy temperaturze otoczenia ( $T_o$ ) równej 273 K. Z analizy wymienionego wykresu wynika, że ze wzrostem zużycia gładzi cylindrowych następuje spadek ciśnień maksymalnych, przy czym spadek ten jest większy w zakresie zużycia 0.105 – 0.210mm niż w zakresie 0.000 – 0.105mm. Jak wynika z badań przeprowadzonych w Katedrze Eksploatacji Pojazdów Samochodowych przy średnim maksymalnym zużyciu gładzi cylindrowych około 0.150mm następuje zużycie warstwy chromu na pierwszym pierścieniu uszczelniającym. Powoduje to znaczne zwiększenie szczeliny zamka na pierwszym pierścieniu uszczelniającym. Następuje istotny wzrost przedmuchów.

Przy wzroście średniego maksymalnego zużycia gładzi cylindrowych do 0.210mm ciśnienie maksymalne przy  $T_o = 273$  K obniża się o:

Przy  $n = 0.83\text{s}^{-1}$  ( $50 \text{ min}^{-1}$ )

- wzór Woschni: 0.7 MPa, (25%),
- wzór Rau: 0.6 MPa, (23%),
- wzór Nusselta: 0.6 MPa, (22%).

Przy  $n = 5.00\text{s}^{-1}$  ( $300 \text{ min}^{-1}$ )

- wzór Woschni: 0.6 MPa, (16%),
- wzór Rau: 0.6 MPa, (16%),
- wzór Nusselta: 0.6 MPa, (16%).

## 5.6 Wpływ zużycia układu tłok – pierścienie – cylinder na temperatury maksymalne czynnika roboczego w cylindrze

Wpływ zużycia gładzi cylindrowych na temperatury maksymalne przedstawiono na wykresie przestrzennym (rys. 2). Z wykresu tego można określić temperatury maksymalne sprężania w zależności od zużycia i prędkości obrotowej wału korbowego. Wpływ zużycia gładzi cylindrowych na temperatury maksymalne jest szczególnie istotny przy  $n < 2.500s^{-1}$  ( $150 \text{ min}^{-1}$ ). Wynika to stąd, że w tym zakresie wzrostu zużycia gładzi cylindrowych wpływ zużycia na przedmuchy jest największy. Zwiększenie średniego maksymalnego zużycia gładzi cylindrowych do 0.210mm powoduje zmniejszenie temperatur maksymalnych przy temperaturze otoczenia  $T_o = 273 \text{ K}$  o następujące wartości:

Dla  $n = 0.833s^{-1}$  ( $50 \text{ min}^{-1}$ ):

- wzór Woschni: 78 K, (12%),
- wzór Rau: 70 K, (11%),
- wzór Nusselta: 60 K, (10%).

Dla  $n = 5.000s^{-1}$  ( $300 \text{ min}^{-1}$ ):

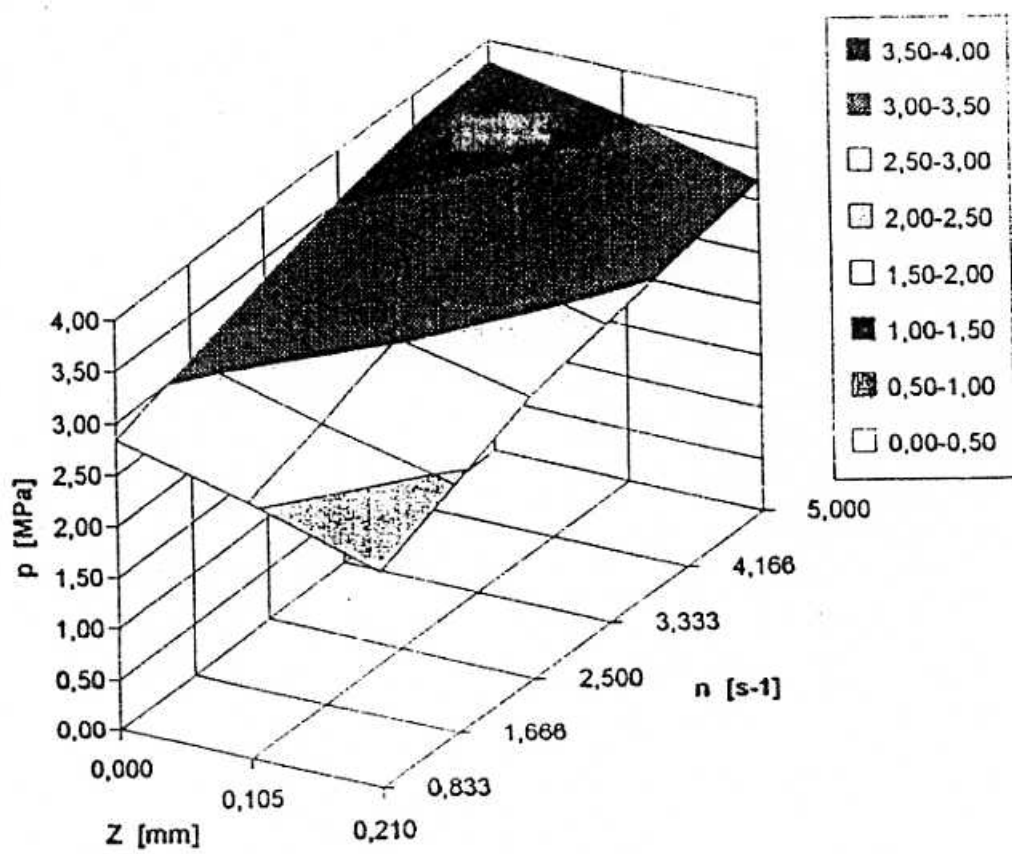
- wzór Woschni: 30 K, (4%),
- wzór Rau: 30 K, (4%),
- wzór Nusselta: 22 K, (4%).

## 6. Zakończenie

Sporządzone w ramach pracy wykresy przestrzenne, na których przedstawiono maksymalne ciśnienia i maksymalne temperatury czynnika roboczego w cylindrze w procesie sprężania w zależności od temperatury otoczenia i prędkości obrotowej wału korbowego oraz średniego maksymalnego zużycia gładzi cylindrowych mają istotne znaczenie praktyczne. Szczególnie jeżeli chodzi o wykresy dotyczące maksymalnej temperatury czynnika roboczego, gdyż decyduje ona o możliwości rozruchu silnika o zapłonie samoczynnym. Z wykresów tych można odczytać jaka musi być prędkość obrotowa wału korbowego, aby w danej temperaturze czynnik roboczy osiągnął odpowiednią temperaturę w końcu suwu sprężania, lub jaka będzie maksymalna temperatura czynnika roboczego w procesie sprężania przy określonej prędkości obrotowej wału korbowego w zależności od temperatury otoczenia i stopnia zużycia układu tłok – pierścienie – cylinder.

### Literatura:

1. Lewicki J.: Próba obliczenia parametrów termodynamicznych przy rozruchu silników z zapłonem samoczynnym w obniżonych temperaturach otoczenia. KONES'89, Wrocław – Polanica Zdrój 1989 s. 228
2. Lewicki J.: Termodynamiczny model parametrów procesu sprężania przy rozruchu silnika. Silniki spalinowe, 1988, nr 2 s. 40
3. Rau B.: Versuche zur Thermodynamik und Gemischbildung beim Kaltstart eines Direkteinspritzenden Viertakt-Dieselmotors. Dissertation Universität Hannover, 1975



Rys. 1 Wykres  $p$ - $n$ - $Z$  dla maksymalnych ciśnień obliczonych wg wzoru *Woschni* przy  $T_0=273$  [K].

