

OCENA WPŁYWU TOPOGRAFII POWIERZCHNI GŁADZONEGO CYLINDRA NA WŁAŚCIWOŚCI UŻYTKOWE SILNIKA SAMOCHODU POLONEZ 1500

Jacek MICHALSKI

W artykule przedstawiono wybór kryteriów oceny profilu chropowatości i falistości oraz oceny wyglądu powierzchni i wyglądu strefy mikroskopowej warstwy wierzchniej cylindrów silników spalinowych. Propozycja bazuje na normie GÖETZE. Przeprowadzono ocenę cylindrów czterech silników samochodu POLONEZ 1500 oraz badania stanowiskowe tych silników. Stwierdzono, iż ocena jakości chropowatości i falistości gładzi cylindra jest silnie skorelowana ze zużyciem tribologicznym cylindrów, pierścieni tłokowych i tłoków silników. Natomiast ocena jakości wyglądu powierzchni i wyglądu strefy mikroskopowej warstwy wierzchniej z zużyciem paliwa, sprawnością ogólną, mocą i momentem obrotowym. Na podstawie dodatkowych badań stwierdzono, dla 75% silników MITSUBISHI, NISSAN, OPEL, RENAULT, PEUGEOT i VOLKSWAGEN, silne skorelowanie zużycia systemu tłokowo cylindrowego z oceną jakości chropowatości i falistości gładzi cylindra.

1. WPROWADZENIE

Konstrukcje współczesnych silników spalinowych są zdeterminowane przez przepisy dotyczące emisji toksycznych składników spalin CO, HC, NO_x oraz zapylenie PM, jak również emisję CO₂. Postęp konstrukcyjny i technologiczny spowodował, że współczesne silniki mają trwałość około miliona kilometrów przebiegu samochodu, zmniejszone zużycie oleju silnikowego, do poniżej 0,07 dm³/1000 km - co odpowiada jednostkowemu zużycia oleju wynoszącego poniżej 0,060 g/kWh, oraz zwiększoną sprawność ogólną, do wartości około 0,40. Inne parametry operacyjne silników spalinowych samochodów uległy także znacznej poprawie: pojemnościowy wskaźnik mocy silnika o zapłonie iskrowym osiągnął wartość 159 kW/dm³, a moc uzyskiwana z jednego cylindra 94 kW/cyl. (KOENIGSEGG CCXR v8 4,7 dm³). Natomiast największe średnie ciśnienie użyteczne silnika o zapłonie samoczynnym osiągnęło wartość 3,0 MPa, przy znacznie zmniejszonym ciśnieniu maksymalnym. Polepszenie jakości przetwarzania energii osiągnięto, pomimo zaostrzających się wymagań dotyczących toksyczności spalin. Także bardzo intensywnym pracą rozwojowym podlega system tłokowo cylindrowy silnika spalinowego. Udoskonalenia tego systemu wynikają z faktu, iż naprawa główna silnika zwykle limitowana jest jego trwałością, może on być odpowiedzialny za zużycie oleju silnikowego w 97% oraz za straty mechaniczne silnika, około 45%. Ważne znaczenie w systemie tłokowo cylindrowym ma powierzchnia gładzi cylindra. Powszechnie uważa się, iż topografia powierzchni cylindra limituje trwałość systemu tłokowo cylindrowego, opory ruchu i zużycie oleju silnikowego. W zależności od odstepu pomiędzy głębokimi rysami gładzenia, ich szerokości, głębokości i kąta skrzyżowania, wyznacza się grubość filmu olejowego, jego ciśnienie oraz przepływ. Szczelność systemu tłokowo cylindrowego najczęściej uzależnia się od jego cech, w tym także od tolerancji i odchyłek kształtu powierzchni walcowej gładzi cylindra.

2. PROPONOWANA OCENA POWIERZCHNI GŁADZONYCH CYLINDRÓW SILNIKÓW SPALINOWYCH

Podstawą oceny jakości użytkowej cylindrów jest ich dokładność wymiaru i kształtu, charakterystyka gładzonej powierzchni oraz jakość materiału. Ocenę topografii powierzchni cylindra po gładzeniu opracowano na podstawie: badań silników spalinowych na hamowni, badań trakcyjnych samochodów z silnikami badawczymi Ośrodka Badawczo-Rozwojowego

Samochodów Osobowych w Warszawie oraz badań eksploatacyjnych samochodów i silników [1,2]. Korzystano także ze znanych opracowań - zwłaszcza firmy GÖETZE.

Powierzchnię gładzonego cylindra oceniano według dwóch niezależnych wzajemnie ocen. Oceniano wygląd powierzchni gładzonej i wygląd strefy mikroskopowej warstwy wierzchniej (tabela 1) oraz profil chropowatości i falistości powierzchni (tabela 2). Pierwszą ocenę przeprowadzano na podstawie wyników badań mikroskopowych odbitki przezroczystej fax film jak i wyników badań zglądu metalograficznego poprzecznego. Opracowano własne kryteria i metodykę badań. Ocena według firmy GÖETZE była, bowiem nie jednoznaczna i uciążliwa.

Stosowano pięć kryteriów oceny: stopień odsłonięcia płatów grafitu, kąt gładzenia, równomierność szerokości rys głębokich gładzenia, równomierność odstepu rys głębokich, wysokość makrofalistości (prostoliniowości krawędzi zglądu metalograficznego). Obserwacja wyglądu powierzchni gładzonej dokonywana była, w różnych etapach prac badawczych, bezpośrednio na powierzchni cylindrów jak i na wyciętych z niej próbkach, oraz na jej odbitkach negatywowych, pozytywowych, które były przezroczyste i nieprzezroczyste. Ostatecznie przyjęto metodykę oceny mikroskopowej repliki negatywowej przezroczystej fax film. Ta ocena umożliwia między innymi; ocenę: kąta gładzenia i jego zmianę na wysokości cylindra, położenia rys gładzenia do osi cylindra dla dwu ich kierunków, pola powierzchni zaniku struktury krzyżowej i struktury płasko wierzchołkowej, odległości między rysami jak i ich szerokości dla dwu kierunków gładzenia, ostrości wykonania rys gładzeniem (stopnia odkształcenia, wyrazistości, wyglądu boków rys gładzenia, naderwań), równoległości boków rys gładzenia, zanieczyszczenia i obecności ciał obcych. Ocenic można również odkształcenia plastyczne nazywane strukturą płaszcza blaszanego, łusek rybich czy marmurku oraz stopień zaokrąglenia rys w obszarach zmiany zwrotu osełek. Są to czynniki najczęściej wymieniane, jako niekorzystne pod względem oddziaływania silnika spalinowego na środowisko. Oceny takie należy przeprowadzić, dla co najmniej czterech charakterystycznych obszarów cylindra, o polu powierzchni minimum 2 mm². Natomiast badania zglądu metalograficznego trawionego i nietrawionego, wyciętego najlepiej z obwodu cylindra, o długości nie mniejszej niż 25 mm, pozwalają oprócz analizy metalograficznej najczęściej zweryfikować ocenę stopnia odkształceń plastycznych. Przeprowadza się to na podstawie zmian położenia płatków perlitu, grafitu, wykruszeń eutektyki fosforowej oraz wykruszeń węglików, azotków i innych faz kruchych. Można też określić zmiany mikrotwardości oraz określić wysokość nierówności wyrwań i makrofalistość.

Przyjęte kryteria oceny wyglądu powierzchni gładzonej i strefy mikroskopowej warstwy wierzchniej były następujące (tabela 1):

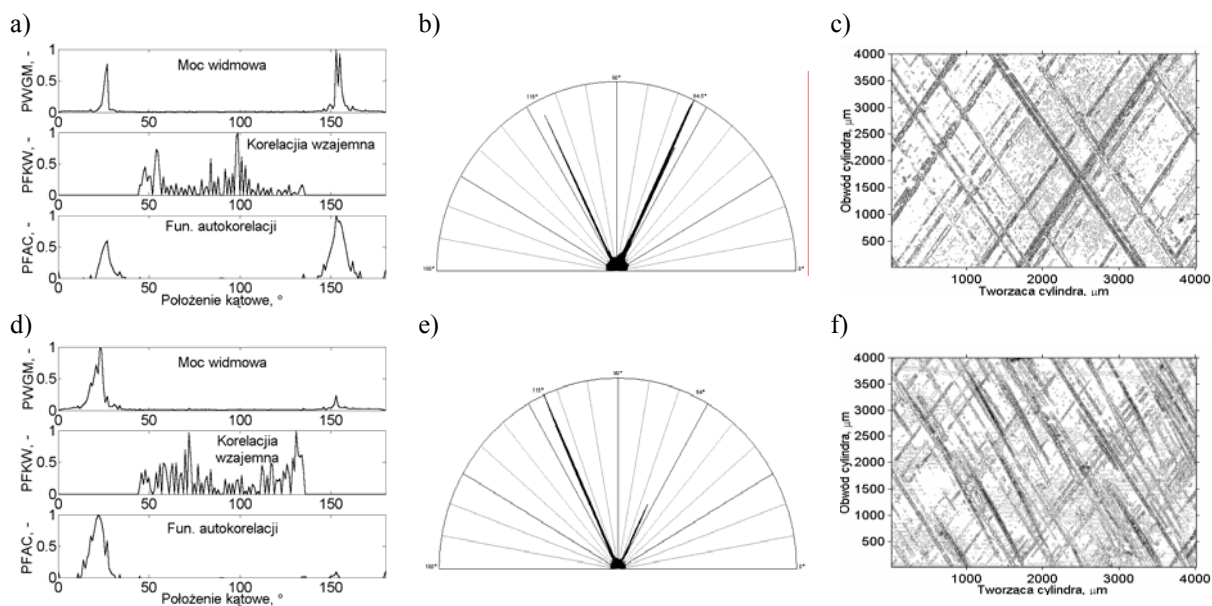
1. Stopień odsłonięcia płatków grafitu jest stosunkiem liczby płatków otwartych do całkowitej liczby płatków grafitu, wyrażony procentowo,

2. Kąt gładzenia jest średnią wartością skrzyżowania rys gładzenia na wysokości cylindra, w płaszczyźnie prostopadłej do osi cylindra,

3. Uformowanie określa równomierność szerokości rys smarnych, co wyznaczono przez iloraz większej do mniejszej średniej szerokości rys, dla dwu kierunków gładzenia, w obszarze analizy,

4. Orientacja jest ilorzem większej ilości rys jednego z kierunków gładzenia do mniejszej ilości rys smarowych drugiego kierunku obróbki, w obszarze analizy (równomierność odstepu rys głębokich, dla pola analizy),

5. Wysokość makrofalistości jest wartością odległości pomiędzy styczną wzniesień krawędzi zglądu metalograficznego do prostej do niej równoległej i stycznej do wgłębień. Pomocnym są również wykresy katowe funkcji widmowych powierzchni i wykres izotropowości powierzchni cylindra w układzie trójwymiarowym (rys. 1). Wykresy katowe gęstości widmowej mocy i funkcji autokorelacji miały zbliżoną przydatność i okazały się

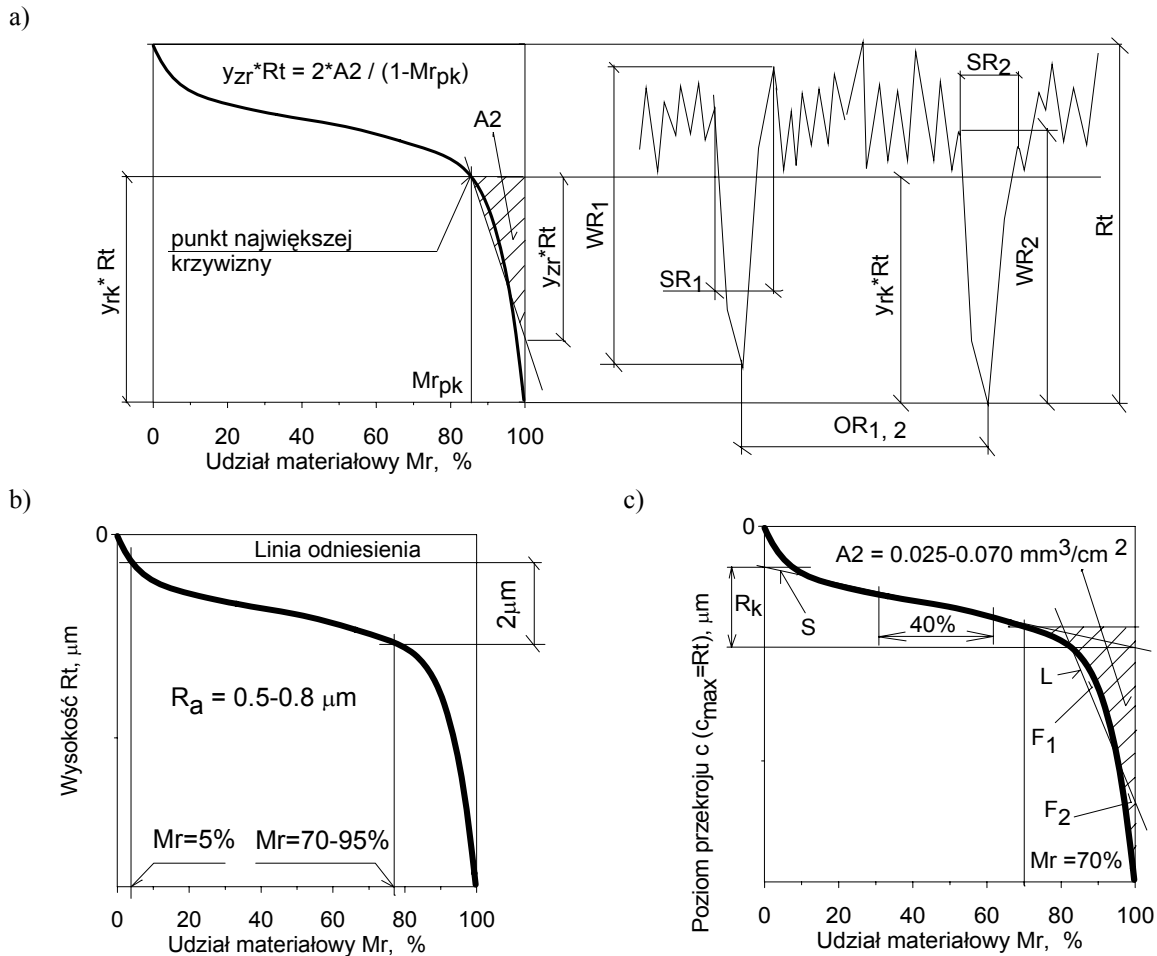


Rys. 1. Charakterystyka powierzchni cylindra obrobionego gładzeniem płasko wierzchołkowym za pomocą: a, d) kątowych wykresów powierzchni - widmowej mocy PWGM, korelacji wzajemnej PFKW i funkcji autokorelacji PFAC; b, e) róży anizotropowości; c, f) map konturowych; a, b, c) $Sa=0,56 \mu\text{m}$, $Str=0,0129$, izotropowość 2,86%; d, e, f) $Sa=0,55 \mu\text{m}$, $Str=0,0038$, izotropowość 3,83%

korzystniejsze od wykresu kątownego korelacji wzajemnej. Umożliwiły one łączą ocenę ukierunkowania i orientacji zarówno powierzchni nośnej jak i głębokich rys gładzenia, poprzez parametry widmowe. Jednoznaczność wyników wymaga jednak jednakowego pola powierzchni oceny i jednakowych odstępów dokonywanych pomiarów w układzie trójwymiarowym. Analogiczną przydatność miał wykres (róża) anizotropowości powierzchni. Obrazuje on gęstość orientacji motywów liniowych 2D, dla kątów od 0 do 180°. Motywy zbudowano na podstawie wyodrębnienia trójwymiarowych szczytów i dolin powierzchni cylindra gładzonego. Motywy lokalne mają: wysokość wynikającą z różnicy wysokości sąsiednich szczytów i dolin, pochylenie wyznaczone na podstawie ich odległości i wysokości oraz orientację (kierunek). Róża anizotropii daje informacje o ukierunkowaniu rys głębokich dla dwóch kierunków gładzenia (kształt, długość, szerokość morfologii (prażka) oraz jego położenie kątowne), jak i ukształtowania powierzchni nośnej (kształt i wielkość wykresu kątownego w centrum dla ukierunkowania przypadkowego, z przedziału kątownego 0-180°). Miał on zaletę - możliwość poprawnej i porównywalnej oceny powierzchni zmierzonych z odmiennymi krokami pomiaru. Akceptowalne powierzchnie cylindrów miały wartość izotropowości poniżej 3%. Wysokie wartości izotropowości ($\geq 35\%$), świadczą o jednokierunkowej, a nie dwukierunkowej powierzchni. Akceptowalne powierzchnie gładzonych cylindrów, dla małych wartości izotropowości ($\leq 3\%$) powinny mieć równocześnie małą wartość wskaźnika tekstury ($Str \leq 0,03$). Tylko w takim przypadku występowała powierzchnia o ukierunkowaniu skrzyżowanym i akceptowalnym uformowaniu oraz orientacji. Na tym etapie oceny powierzchni cylindra, nie uwzględniono wartości i wariacji szerokości rys gładzenia i wariacji ich odstępu. Postępowanie takie wynikało z faktu, że szerokość rys gładzenia powinna być możliwie mała i o zbliżonym odstępie. Jej precyzyjne kształtowanie w technologii gładzenia jest ograniczone (sterujemy jej wartością poprzez - rodzaj materiału ściernego, wielkość ziaren i ich koncentracje oraz nacisk jednostkowy gładzenia).

Ocena profilu chropowatości i falistości powierzchni gładzonej zawiera następujące kryteria (tabela 2):

1. Współczynnik udziału materiałowego M_r wyznaczony na poziomie $2 \mu\text{m}$, od poziomu przekroju mającego $M_r=5\%$ (rys. 2b).



Rys. 2. Metodyka oceny profilu chropowatości powierzchni: a) numeryczna procedura wyznaczenia rys głębokich gładzeni i ich wymiarów WR, SR, OR, b) sposób wyznaczenia wymaganego udziału materiałowego Mr=70-95% na głębokości 2 μm od linii odniesienia odpowiadającej Mr=5% z podaną wymaganą wartością Ra=0,5-0,8 μm, c) sposób wyznaczania pola powierzchni wgłębień gładzonej powierzchni cylindra o wymaganej wartości A2=0,025-0,070 mm³/cm², dla Mr=70%

2. Właściwą objętość olejowa (pole powierzchni wgłębień krzywej Abbotta) chropowatości powierzchni A2, wyznaczona dla Mr=70% (rys. 2c),

3. Wysokość rdzenia chropowatości Rk, oszacowaną na podstawie krzywej udziału materiałowego, korzystnie zgodnie z metodyką normy EN ISO 13565-2: 1997 (rys. 2c).

4. Wysokość profilu falistości Wt wyznaczona z zastosowaniem filtra Gaussa o granicznej długości fali 2,5 mm,

5. Średni odstęp rys gładzenia OR. Wyznaczony jest na podstawie metodyki przedstawionej na rysunku 2a. Przyjęto, że rysy głębokie znajdują się poniżej punktu największej krzywizny krzywej udziału materiałowego tj. poniżej $y_{rk} \cdot R_t$. Możliwe jest ich zidentyfikowanie w sposób uproszczony - są poniżej wysokości profilu o udziale materiałowym Mr=92%.

Właściwą objętość olejową A2, można wyznaczyć szacunkowo, np. metodą siecznej L, która zapewnia równości pól F1, F2 (rys. 2c) lub dokładnie, całkując funkcję (1) opisującą udział materiałowy w dziedzinie Mr=70-100%.

$$c = R_t \left\langle 0.35 \left\langle \frac{2}{\pi} \cdot \arctg \left[A \cdot \left[\operatorname{tg} \frac{\pi}{2} (2 \cdot Mr - 1) - \operatorname{tg} \frac{\pi}{2} (2 \cdot X_o - 1) \right] \right] + 1 \right\rangle + 0.3 \frac{\operatorname{tg}(B \cdot Mr)}{\operatorname{tg} B} \right\rangle, Mr \in [0, 1] \quad (1)$$

Pomiar jej na podstawie profilu, wzdłuż tworzącej cylindra, wymaga założenia adekwatności pomiaru profilu z pomiarem powierzchni gładzi cylindra. Głębokość rdzenia chropowatości

Rk można wyznaczyć: poprzez styczną S - co jest zgodne z normą EN ISO 13565-2: 1997, lub również ze wspomnianej funkcji $c = f(Mr)$ - znając parametry A, Xo, B. Parametry modelu matematycznego aproksymującego krzywą udziału materiałowego (A, Xo, B) wyznaczono cyfrowo, procedurą iteracyjną.

Udział materiałowy Mr jest powszechnie uznaną wielkością dobrze charakteryzującą styk powierzchniowy, dlatego przyjęto wartość współczynnika ważności 0,45 (tabela 2). Zastosowany sposób wyznaczenia udziału materiałowego Mr (rys. 2b) z jednej strony eliminuje przypadkowe wzniesienia profilu, a z drugiej wyznacza graniczną wartość Mr na głębokości 2 μm , po osiągnięciu, której powierzchnia styku powinna być duża. Złożone warunki występowania filmu smarnego wymagają zapewnienia zarówno odpowiedniej pojemności (poła powierzchni) wgłębień nierówności szczególnie, gdy wysokości nierówności są małe, jak i ich odpowiedniego odstepu. Należy jednak zauważyć, że bardziej uzasadnione fizycznie byłaby pole powierzchni wgłębień profilu chropowatości wyodrębnione dla każdej powierzchni cylindra indywidualnie, na podstawie jej kształtu (rys. 2a). Może do tego celu służyć punkt maksymalnej krzywizny krzywej udziału materiałowego profilu chropowatości lub pole powierzchni trójkąta o długości boków $(100-Mr_{pk})$ oraz $(y_{zr} \cdot Rt)$ (rys. 2a).

Stwierdzono, że zdecydowana większość krzywych udziału materiałowego profilu chropowatości, dla wgłębień chropowatości cylindrów z żeliwa po gładzeniu, ma najmniejszy promień zaokrąglenia krzywej udziału materiałowego dla średniego współczynnika $Mr=92\%$ (zakres zmienności 88-96%). Ten minimalny promień zaokrąglenia charakteryzuje występowanie obszaru rys smarnych struktury płasko wierzchołkowej przechodzących w obszar powierzchni nośnej. Wartość ta umożliwia wyznaczenie odpowiedniego poziomu przekroju profilu $(y_{rk} \cdot Rt)$, dla którego można współczesnymi profilometrami zmierzyć liczbę zliczeń wierzchołków HSC, czyli określić odstęp chropowatości OR. Zastępczo można wyznaczyć OR, dla $Mr=92\%$. Ponieważ szybkość zużycia cylindra w okresie eksploatacji jest jedynie wtedy mała, gdy występują rysy gładzenia, a znacznie wzrasta po ich zaniku, dlatego wzięto pod uwagę właśnie parametr OR, jak również wysokość rdzenia chropowatości Rk. Wybór parametru OR wynika z względnie dużej jego powtarzalności. Parametru Rk umożliwia interpretację fizyczną zużycia, jak również ma bardzo dużą korelację ze wszystkimi parametrami związanymi z rzędnymi profilu chropowatości. Przez parametr Rk można poprawnie wyznaczyć parametry wysokości profilu chropowatości często stosowane w technologii wytwarzania (R_a , R_q , R_p , R_v , R_m , R_p i inne). Dla przykładu aproksymacja liniowa umożliwia uzyskanie zależności: $Rk=0.063+3.051 \cdot Ra$ (współczynnik korelacji liniowej $r=0,93$).

Uwzględnienie wpływu niekorzystnych przemieszczeń promieniowych pierścieni tłokowych w rowkach tłoka, uzyskano poprzez wzięcie pod uwagę wysokości falistości W_t , na tworzącej cylindra. Określono wartości graniczne jej wysokości (tabela 2). Wszystkie wytypowane parametry powinny być wyznaczone w wyniku, co najmniej trzykrotnego powtórzenia pomiaru cylindrów, w tym jednego ze strefy zwrotu zewnętrznego pierwszego pierścienia uszczelniającego. Dla zalecanych zakresów liczbowych wytypowanych kryteriów przyjęto skalę punktową - wskaźnik jakości kryterium od 1 do 10 z krokiem 1. Największa wartość kryterium oceny jest wyznaczona wskaźnikiem jakości 10, najgorsza 1. Gdy wartości odbiegają, od podanych w tabelach 1, 2, to należy przyjąć dla niej wskaźnik jakości równy jeden. Przyjęto również współczynniki - wagi (ważności) kryteriów oceny dla rozpatrywanych właściwości funkcjonalnych silnika. Suma współczynników ważności równa się jedności. Iloczyn odpowiednich współczynników ważności i wskaźników jakości poszczególnych kryteriów tworzy iloczyny oszacowania. Suma iloczynów oszacowania pięciu kryteriów jest kryterium oceny punktowej - wskaźnikiem jakości ocen topografii powierzchni. Jeżeli wskaźnik jakości wynosi 1, to jakość jest zła. Wartość 5, jest dopuszczalną poprawną wartością. Wartość 10 świadczy o bardzo dobrej topografii powierzchni według przyjętych zasad oceny.

3. ZWIĄZEK ZUŻYCIA SYSTEMU TŁOKOWO CYLINDROWEGO I CHARAKTERYSTYKI SILNIKÓW SAMOCHODU POLONEZ 1500 Z WYGLĄDEM POWIERZCHNI I WYGLĄDEM STREFY MIKROSKOPOWEJ WARSTWY WIERZCHNIEJ GŁADZI CYLINDROWYCH ORAZ Z CHROPOWATOŚCIĄ I FALISTOŚCIĄ ICH POWIERZCHNI

Badania przeprowadzono dla czterech silników samochodu POLONEZ 1500 (typ FIAT 115.DB.6A.0000.76). Silniki miały cylindry gładzone różnymi metodami. Pierwsze dwa silniki gładzono jednozabiegowo. Cylindry pierwszego silnika ośłkami z warstwą diamentową, a drugiego ośłkami z węglika krzemu zielonego. Użyto ośłek z warstwą diamentową S 9200 50x5x5 D64 75 M. Ośłki zaś z węglika krzemu zielonego miały spoiwo ceramiczne. Ośłki były typu 9011, o oznaczeniu 01 10x100 99C-180-J-8-V, także produkcji firmy FTS Grodzisk Mazowiecki. Natomiast dwa pozostałe silniki gładzono trzyczabiegowo z ukształtowaniem topografii płasko wierzchołkowej chropowatości powierzchni. Po gładzeniu wstępnym ośłkami z warstwą diamentową, gładzenie bazowe wykonano ośłkami z ziarnami węglika krzemu zielonego SC100H14 VD 187 40904 firmy ATLANTIC oraz 99C-120-J-8-V firmy FTS Grodzisk Mazowiecki. Operację gładzenia ostatecznego przeprowadzono ośłkami ze spoiwem ceramicznym, z ziarnami węglika krzemu zielonego, oznaczonych 02 8x10x150 99C-320-N-8-V. Nastawy gładzarki SZS150 firmy WMW były następujące: prędkość obwodowa gładzenia 19-23 m/min, prędkość średnia liniowa skoku w ruchu posuwisto-zwrotnym gładzenia 10-12 m/min. Naddatek obróbkowy gładzenia wynosił 0,17 mm, średnicowo. Nacisk jednostkowy ośłek i czas gładzenia były odmienne i zróżnicowane. W gładzeniu ośłkami diamentowymi nacisk jednostkowy wynosił 1 MPa, oraz ośłkami z węglika krzemu od 0,2 do 0,5 MPa. Czas gładzenia z kolei miał wartość od 10 do 75 s.

Odchyłki średnicy cylindrów nie przekraczały 10 μm . Odchyłki okrągłości miały wartość do 5 μm , zaś odchyłki zarysu przekroju nie przekraczały 6 μm . Cylindry nie miały odchyłek graniastości po obróbce. Ocenę topografii powierzchni cylindrów badanych silników zamieszczono w tabelach 1 i 2. Kadłuby badanych silników tulejowano. Tuleje cylindrowe wykonano z żeliwa szarego o strukturze perlitycznej i siatce eutektyki fosforowej dobrze ukształtowanej. Granica wytrzymałości na rozciąganie wynosiła 280 MPa, a twardość 240 MPa. Zapewniono tym sposobem dużą powtarzalność właściwości materiału cylindra.

Silniki z takimi cylindrami po docieraniu na hamowni przez 30 h, poddano intensywnemu zużyciu ściernemu przez 21 h, na skutek doprowadzenia do ich gaźników powietrza zanieczyszczonego pyłem, głównie kwarcowym, w ilości 1,3 g/h (odpowiada to koncentracji zapylenia około 8 mg/m³ [1]).

Wyniki badań wpływ chropowatości i falistości badanych silników, określone punktową ich oceną, na zużycie gładzi cylindrowych, pierścieni tłokowych i tłoków przedstawiono na rysunku 3. Również na tym rysunku zamieszczono wpływ wyglądu gładzi i wyglądu jej strefy mikroskopowej, określonych punktową ich oceną, na jednostkowe minimalne zużycie benzyny, sprawność ogólną, moment obrotowy maksymalny i moc maksymalną. Zamieszczono wyniki po docieraniu silników oraz ich pracy w warunkach umownych. Różnice zużycia, zastosowanych w silnikach tulei cylindrowych o odmiennej topografii powierzchni, wynosiły do 61%, różnice maksymalnego zużycia płaszczy tłoków, ocenionych ich średnicą, wynosiły do 42%. Zużycie cylindrów, określono zmianą średnicy, średnią z maksymalnych jej zmian dla czterech cylindrów oraz średnią zmianą średnicy cylindrów po pracy w stosunku do wartości po docieraniu. Zmiany sprawności ogólnej badanych silników, dochodziły do 12%, przy prędkości 3500 obr/min. Różnice minimalnego jednostkowego zużycia paliwa były do 14%, sprawności mechanicznej do 5%, momentu obrotowego maksymalnego do 4%, przy prędkości 3500 obr/min. Moc efektywna maksymalna uległa zmianie do 15%, przy prędkości 5200 obr/min. Po próbie pracy silniki wymagały naprawy głównej, przede wszystkim, z uwagi na zużycie pierścieni tłokowych zgarniających. Zdecydowanie mniejsze zużycie systemu tłokowo cylindrowego uzyskano dla silników o płasko wierzchołkowej topografii powierzchni cylindrów.

Tabela 1. Wartości współczynników ważności dla wybranych kryteriów oceny wyglądu powierzchni gładzonej i oceny wyglądu strefy mikroskopowej warstwy wierzchniej oraz wartości wskaźników jakości dla wartości tych kryteriów ocenianych silników OBR SO (samochodu POLONEZ 1500), na podstawie odbitki przezroczystej fax film oraz oceny wyglądu zglądu metalograficznego poprzecznego

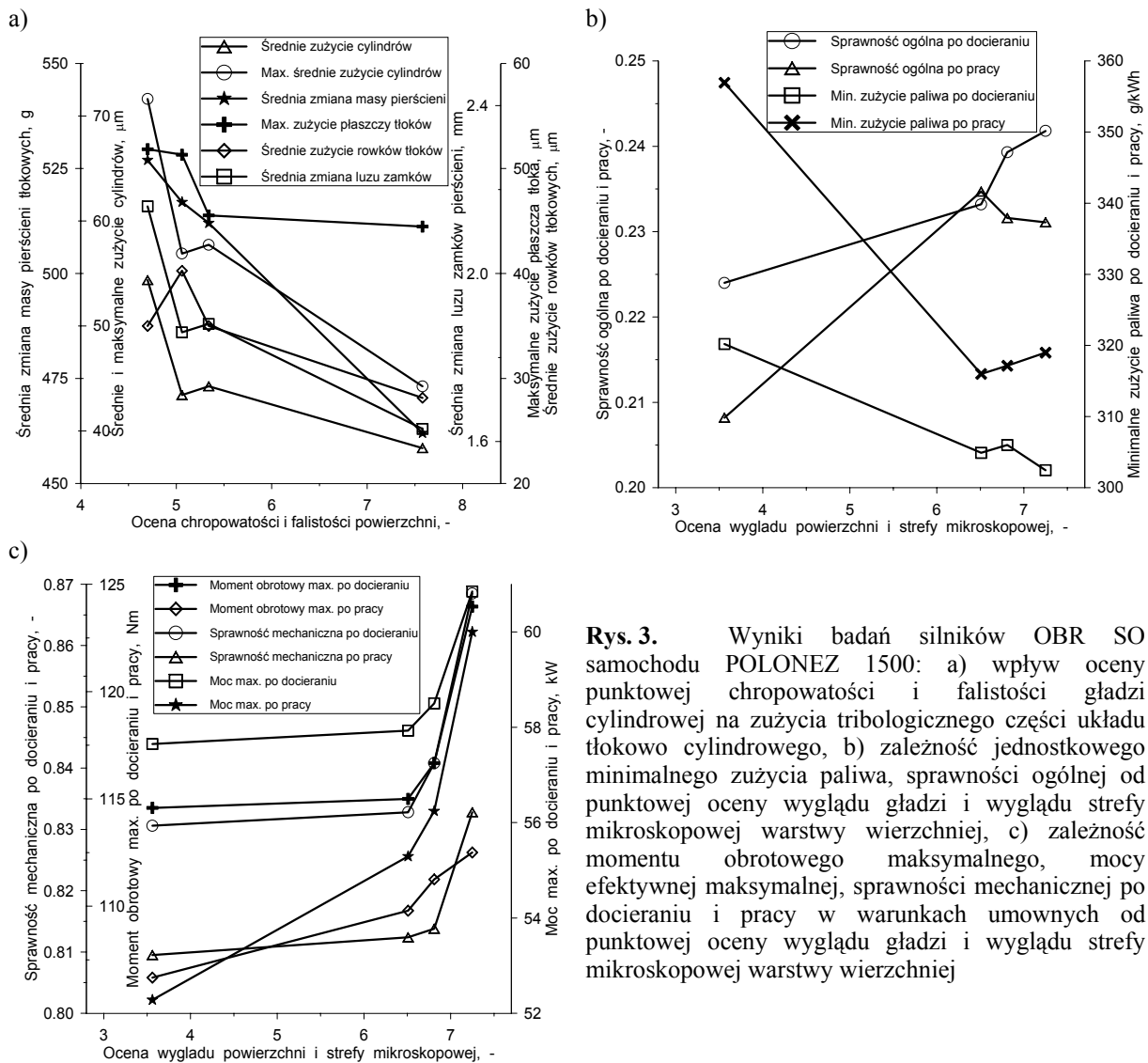
Wskaźnik jakości kryterium oceny	Kryteria oceny					
	Stopień odslonięcia płatów grafitu, %	Kąt gładzenia, °		Uformowanie: równomierność szerokości rys głębokich	Orientacja: równomierność odstępu rys głębokich, -	Wysokość makrofalistości zglądu metalograficznego, μm
	Współczynniki ważności dla kryteriów oceny					
	0.40	0.20		0.20	0.15	0.05
1	20	25	75	2.8-3.6	2.8-3.6	5
2	28	30	70	2.6	2.6	4.5
3	36	35	65	2.4	2.4	4
4	43	40	60	2.2	2.2	3.5
5	51	42		2	2	3
6	58	45		1.8	1.8	2.5
7	66	48		1.6	1.6	2
8	75	50		1.4	1.4	1.5
9	82	52		1.2	1.2	1
10	90 i więcej	55		1	1	0.5 i mniej
Nr silnika i wskaźnik oceny	Wartości liczbowe kryteriów oceny dla silników OBR SO (POLONEZ 1500)					
1 (3.6)	32	42		2.1	1.8	2.2
2 (6.8)	80	45		1.7	1.6	2.5
3 (6.6)	70	43		1.6	1.4	1.8
4 (7.3)	80	45		1.5	1.6	1.1

Przeprowadzona analiza, za pomocą współczynników korelacji liniowej, pozwoliła stwierdzić, że na zużycie cylindrów najczęściej wpływa udział materiałowy, wysokość rdzenia chropowatości i orientacja ($r=0,81-0,99$). W mniejszym natomiast stopniu; skazy strefy mikroskopowej i uformowanie ($r=0,66-0,82$). Również te wielkości są podobnie skorelowane ze średnim zużyciem pierścieni tłokowych. Zużycie natomiast płaszczyzny tłoków zależy od wysokości rdzenia chropowatości cylindra i makrofalistości zglądu metalograficznego ($r=0,64-0,81$). Natomiast największą korelację ze zużyciem rowków tłoka pod pierścienie miało pole powierzchni wgłębień chropowatości i orientacja ($r=0,89-0,98$). Z kolei na sprawność ogólną silnika i jednostkowe zużycie paliwa największy wpływ miał stopień odslonięcia płatków grafitu i uformowanie ($r=0,88-0,98$) oraz mniejszy wpływ, udział materiałowy, pole powierzchni wgłębień chropowatości, odchyłka falistości i orientacja

Tabela 2. Wartości współczynników ważności dla proponowanych kryteriów oceny profilu chropowatości i falistości powierzchni gładzonej oraz wartości wskaźników jakości dla wartości tych kryteriów analizowanych silników OBR SO (samochodu POLONEZ 1500)

Wskaźnik jakości kryterium oceny	Kryteria oceny				
	Współczynnik Mr na poziomie 2 μm od poziomu przekroju mającego Mr=5%, %	Właściwa objętość olejowa chropowatości A2 dla Mr=70%, mm ³ /cm ²	Wysokość rdzenia chropowatości Rk, μm	Wysokość profilu falistości Wt, μm	Średni odstęp rys gładzenia OR, μm
	Współczynniki ważności dla kryteriów oceny				
	0.45	0.15	0.15	0.10	0.15
1	20	0.010	4.5	5	30
2	30	0.014	4.1	4.5	48
3	40	0.018	3.7	4	65
4	50	0.021	3.3	3.5	82
5	70	0.025	2.9	3	325
6	75	0.034	2.6	2.5	295
7	80	0.043	2.2	2	265
8	85	0.052	1.8	1.5	235
9	90	0.061	1.4	1	205
10	95	0.070	1.0 i mniej	0.5 i mniej	175
Nr silnika i wskaźnik oceny	Wartości liczbowe kryteriów oceny dla silników OBR SO (POLONEZ 1500)				
1 (4.7)	35.5	0.0234	3.07	1.7	160
2 (5.4)	40.2	0.0310	3.33	2.1	162
3 (7.6)	82.6	0.0251	1.95	1.8	167
4 (5.1)	54.5	0.0328	2.43	2.0	364

($r=0,56-0,82$). Sprawność mechaniczna jest najbardziej skorelowana z orientacją, polem powierzchni wgłębień i makrofalistością zglądu metalograficznego ($r=0,69-0,97$). Moc efektywna maksymalna i moment obrotowy maksymalny jest również najsilniej skorelowany z orientacją, polem powierzchni wgłębień i makrofalistością zglądu metalograficznego, jednak w większym stopniu ($r=0,78-0,95$). Stwierdzono istnienie wieloczynnikowego, złożonego, równoczesnego i odmiennego wpływ rozpatrywanych cech topografii powierzchni cylindrów, oraz ich parametrów, na właściwości użytkowe silników. Zaproponowana punktowa ocena chropowatości i falistości jest: silniej skorelowana ze zużyciem tribologicznym systemu tłokowo cylindrowego silnika spalinowego ($r=0,54-0,88$), natomiast ocena punktowa wyglądu powierzchni i wyglądu strefy mikroskopowej warstwy wierzchniej z charakterystyką energetyczną i operacyjną silników ($r=0,61-0,98$).



Rys. 3. Wyniki badań silników OBR SO samochodu POLONEZ 1500: a) wpływ oceny punktowej chropowatości i falistości gładzi cylindrowej na zużycia tribologiczne części układu tłokowo cylindrowego, b) zależność jednostkowego minimalnego zużycia paliwa, sprawności ogólnej od punktowej oceny wyglądu gładzi i wyglądu strefy mikroskopowej warstwy wierzchniej, c) zależność momentu obrotowego maksymalnego, mocy efektywnej maksymalnej, sprawności mechanicznej po docieraniu i pracy w warunkach umownych od punktowej oceny wyglądu gładzi i wyglądu strefy mikroskopowej warstwy wierzchniej

4. ZWIĄZEK ZUŻYCIA UKŁADU TŁOKOWO CYLINDROWEGO SILNIKÓW O ZAPŁONIE ISKROWYM I SAMOCZYNNYM Z WYGLĄDEM POWIERZCHNI I WYGLĄDEM STREFY MIKROSKOPOWEJ WARSTWY WIERZCHNIEJ ORAZ Z CHROPOWATOŚCIĄ I FALISTOŚCIĄ POWIERZCHNI GŁADZI CYLINDROWYCH

Badania dotyczyły silników o zapłonie samoczynnym: RENAULT 1.6D typ F8M, PEUGEOT 2.3D typ XD2P, OPEL 2.1D typ EB27J, VOLKSWAGEN 1.6D typ CY oraz JK po badaniach niezawodności na hamowni i/lub badaniach eksploatacyjnych, od 5700 do 100000 km, w samochodzie POLONEZ. Badano również silniki o zapłonie iskrowym eksploatowane w samochodach MITSUBISHI Colt, NISSAN Micra Mała i RENAULT 5, o przebiegu od 46000 do 97000 km [2]. Dokonana ocena punktowa profilu chropowatości i falistości zawierała się w granicy 3 do 7. Natomiast ocena wyglądu powierzchni i wyglądu strefy mikroskopowej warstwy wierzchniej w granicach od 4 do 9. Stwierdzono jednoznaczny 100% związek pomiędzy uszkodzeniem cylindra z jego oceną profilu i oceną wyglądu. Dla 75% badanych cylindrów, w tych silnikach, występuje skorelowanie zużycia cylindra, pierścieni tłokowych, płaszczy tłoków z oceną profilu chropowatości i falistości ($r \geq 0,60$). Natomiast dla 50% cylindrów istnieje związek pomiędzy zużyciem tych elementów a oceną wyglądu powierzchni i oceną wyglądu strefy mikroskopowej warstwy wierzchniej. Nie

stwierdzono związek wartości zużycia z oceną profilu i oceną wyglądu dla badanych silników rozpatrywanych łącznie.

5. WNIOSKI

Dokonano subiektywnego wybór kryteriów oceny profilu chropowatości i falistości oraz oceny wyglądu powierzchni i wyglądu strefy mikroskopowej warstwy wierzchniej cylindrów oraz zaproponowano wskaźniki jakości i współczynniki ważności. Umożliwiły one ocenę jakości cylindrów indywidualnego typu silnika spalinowego, dobrze skorelowaną ze zużyciem: cylindrów, pierścieni tłokowych, tłoków oraz ich zużyciem paliwa, sprawnością ogólną, mocą i momentem obrotowym.

Ocena jakości chropowatości i falistości gładzi cylindra jest silniej skorelowana ze zużyciem tribologicznym części systemu tłokowo cylindrowego, wszystkich badanych silników, natomiast ocena jakości wyglądu powierzchni i wyglądu strefy mikroskopowej warstwy wierzchniej z zużyciem paliwa, sprawnością ogólną, mocą i momentem obrotowym silników samochodu POLONEZ 1500.

Stwierdzono jednoznaczny 100% związek pomiędzy uszkodzeniem cylindra a jego oceną profilu i oceną wyglądu, dla silników eksploatowanych w różnych warunkach, a wyprodukowanych przez firmy: MITSUBISHI, NISSAN, OPEL, RENAULT, PEUGEOT i VOLKSWAGEN. Dla 75% badanych cylindrów w tych silnikach występuje skorelowanie zużycia cylindra, pierścieni tłokowych, płaszcza tłoków z oceną profilu chropowatości i falistości. Natomiast dla 50% cylindrów istnieje związek pomiędzy zużyciem tych części a oceną wyglądu powierzchni i oceną wyglądu strefy mikroskopowej warstwy wierzchniej. Nie stwierdzono związku wartości zużycia z oceną profilu i oceną wyglądu dla badanych silników rozpatrywanych łącznie.

6. LITERATURA

- [1] Kościelny E., Michalski J., Pawlus P.: Badania przyspieszone zużycia na pracującym silniku w warunkach sztucznie zwiększonego zapylenia złożenia cylinder-tłok-pierścienie-sworzeń silnika POLONEZ 1500. Umowa U-2077 - nr 1/89, s. 171, nr 2/89, s. 184, nr 16/89, s. 114, nr 16/II/89, s. 150. OBR SO Warszawa 1988-1990.
- [2] Kościelny E., Michalski J., Opiekun Z., Orłowicz W., Wójcik A.: Analiza konstrukcyjna silników spalinowych w celu określenia dokładności wymiarowo-kształtowej, charakterystyki metalograficznej i materiałowej, mechanizmu i wielkości zużycia. Umowa U-2280 - silnik: Renault 5 G1JA/68 D004944, Nissan O1B Micra Malo 281659 A, Mitsubishi Colt DI 19 4G16 DY 486, Renault F8M 1.6 Diesel, VW 1.6 D Turbo, Peugeot 2300 Diesel, Opel 2.1 Diesel. OBR SO Warszawa 1988-1989.

THE EFFECT OF CYLINDER LINER TOPOGRAPHY ON OPERATIONAL FACTORS OF THE POLONEZ 1500 ENGINE

The paper deals with criteria selection for roughness and waviness rating of a cylinder liner surface including the surface appearance in macro- and micro scale. A GÖETZE standard has been adopted here. Next, four POLONEZ 1500 engines have been examined including test bed output parameters research. It has been proved that the cylinder liner roughness and waviness is strongly correlated with tribological wear of the liners, pistons, and piston rings. The surface appearance influences fuel consumption, total efficiency, rated power and torque instead. Additional experiments made for MITSUBISHI, NISSAN, OPEL, RENAULT, PEUGEOT and VOLKSWAGEN engines show also a strong correlation between piston-cylinder assembly wear and cylinder liner roughness and waviness.