

**Paweł PAWLUS\***, **Jacek MICHALSKI\*\***, **Andrzej DZIERWA\***

## **PRZYCZYNA ZATARCIA TŁOKÓW PODCZAS BADANIA NIEZAWODNOŚCI SILNIKA SPALINOWEGO**

### **REASON FOR PISTON SEIZURE DURING RELIABILITY TESTING OF AN IC ENGINE**

#### **Słowa kluczowe:**

tłok silnika spalinowego, starzenie, puchnięcie materiału, zatarcie

#### **Key words:**

piston, ageing, swelling of the material, seizure

#### **Streszczenie**

W artykule opisano przyczynę zatarcia tłoków silnika CE o zapłonie iskrowym, pojemności 1,6 dm<sup>3</sup>, podczas przeprowadzania próby jego niezawodności. Analizowano mikrostrukturę, wydłużenie trwałe, twardość oraz wymiary i kształt tłoków wykonanych ze stopu AlSi12. Trwałe zmiany wymiarowe materiału tłoka pozwoliły określić technologiczną temperaturę starzenia na niższą niż

---

\* Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Katedra Technologii Maszyn i Inżynierii Produkcji, ul. Powstańców Warszawy 8, 35-959 Rzeszów, Polska, tel.: +17 865 11 83; fax: +17 865 11 84, e-mail: ppawlus@prz.edu.pl (P. Pawlus), adktmiop@prz.edu.pl (A. Dzierwa).

\*\* Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Katedra Silników Spalinowych i Transportu, ul. Powstańców Warszawy 8, Polska, 35-959 Rzeszów, tel.: +17 865 15 70; e-mail: jmichals@prz.edu.pl.

200°C. Zatarcie tłoka nastąpiło wskutek puchnięcia materiału. Z kolei analiza zmiany mikrostruktury, twardości i średnicy pozwoliła przyjąć 225–230°C jako najwyższą temperaturę pracy tłoków. Pierwotne zmiany materiałowe tłoka rozpoczynają się w części koronowej, a zatarcie płaszcza tłoka jest efektem wtórnym.

## WPROWADZENIE

Spośród wszystkich części silnika spalinowego elementem najbardziej narażonym na uszkodzenia cieplne jest tłok [L. 2]. Tłoki podlegają zużyciu ściernemu, adhezyjnemu, korozyjnemu, kawitacji, cieplnemu, doraźnemu, zmęczeniowemu i zacierananiu.

Zatarcie to zatrzymanie ruchu węzła ślizgowego wskutek dominacji tarcia zlokalizowanego w głębi warstwy wierzchniej i powodującego trwałe jego uszkodzenie [L. 8]. Z kolei zacieranie to zbiór zjawisk występujących w węźle ślizgowym, zlokalizowanych głównie w głębi warstwy wierzchniej, powodujących zwiększone i niestabilne tarcie, których rozwój może doprowadzić do zatarcia. Głównymi osobliwościami zacierania jest zaburzenie smarowania, wysoka temperatura, kinetyka reakcji fizykochemicznych w krótkim czasie, odkształcenie plastyczne jednej z powierzchni z powstawaniem połączenia zgrzewanego (adhezyjnego) obydwu powierzchni. Teksturowanie powierzchni zwiększa odporność na zatarcie [L. 5].

Właściwości tłoków można skutecznie poprawić poprzez procesy starzenia, utwardzenia wydzieleniowego, umacniania granicy ziaren jak również zgniot [L. 9].

Tłoki są dość trwałymi elementami silnika. Podczas normalnej eksploatacji zużywają się one znacznie wolniej niż cylinder silnika [L. 6]. Najczęstszą przyczyną uszkodzeń tłoków silników jest zerwanie się napędu rozrządu. Ruchy tłoków i zaworów tracą wtedy synchronizację, następuje ich kolizja i uszkodzenie elementów. Uszkodzenie tłoka silnika może również powodować nagły wzrost jego temperatury oraz ciśnienia wewnątrz cylindra. Podobne objawy może też powodować zbyt mała ilość oleju w węźle tłok–cylinder, jak również utrata jego właściwości smarnych. Innym typem uszkodzeń tłoków silnika jest ich zakleszczenie się w cylindrach ze względu na zbyt mały luz montażowy. Do zakleszczenia się tłoków w cylindrach doprowadza również zbyt duże dociągnięcie śrub głowicy. Powstają wtedy zbyt duże odchyłki cylindra uniemożliwiające właściwą pracę tłoka. Do stopniowego zniszczenia tych elementów silnika doprowadzają również zanieczyszczenia oleju i powietrza.

Mikrostruktura tłoka odlewanego grawitacyjnie do metalowej kokili jest określona wzorcami wielkości i rozmieszczeniem kryształów krzemu pierwotnego i eutektycznego oraz wzorcami roztworu stałego i faz międzymetalicznych. Stabilność wymiarowa tłoka, najczęściej za pomocą wartości czterech średnic, jest sprawdzana w wyniku 15 h wygrzewania w temperaturze 240°C.

## PRZEGLĄD LITERATURY

W siluminach tłokowych duże, kruche, nierównomiernie rozłożone wydzielania kryształów pierwotnych krzemu utrudniają obróbkę mechaniczną odlewów, a stop charakteryzuje się niską odpornością na zużycie ściernie oraz niską wytrzymałością zmęczeniową [L. 9]. Skutecznym sposobem rozdrobnienia struktury siluminu jest szybkie chłodzenie stopu celem wymuszenia efektu przechłodzenia. Jedną z niekonwencjonalnych metod jest przetapianie plazmą łuku elektrycznego metodą Gas Tungsten Arc Welding [L. 10].

Szybkość odprowadzenia ciepła w procesie odlewania jak i temperatura wygrzewania inicjują charakterystyczne zmiany wydzielenia faz międzymetalicznych w roztworze stałym  $\alpha$  stopu Al-Mn (Fe,Cr)-Si [L. 11]. Stwierdzono, że żaroodporny stop AlSi5Cu2Mg, mogący pracować do temperatury  $\sim 250^\circ\text{C}$  ma jeden rodzaju fazy międzymetalicznej  $\alpha$ -AlFeMnSi [L. 12]. Ma on charakterystyczną zmianę morfologii wydzielenia fazy międzymetalicznej w procesie przesycań i starzenia P6, zależną od parametrów obróbki cieplnej oraz procesu krystalizacji.

Chwilowa temperatura denka tłoka oraz powierzchni bocznej nad pierwszym pierścieniem tłokowym silnika spalinowego może osiągnąć wartość nawet do  $350^\circ\text{C}$  [L. 2]. Tłok najszybciej nagrzewa się w pierwszych 5 sekundach pracy silnika, gdzie szybkość przyrostu temperatury osiąga wartość  $17^\circ\text{C/s}$ . Największe obciążenie cieplne tłoka występuje w początkowym okresie rozruchu silnika w komorze spalania tłoka. Poprzez zwiększenie recyrkulacji spalin ERG istnieje możliwość zmniejszenia rozprzestrzeniania się płomienia, ograniczenia obszaru występowania wysokiej temperatury oraz zmniejszenie obciążenia cieplnego tłoka.

Na 95% powierzchni kontaktu płaszczka tłoka i gładzi cylindra może wystąpić tarcie graniczne lub/i mieszane, a grubość filmu olejowego wynosi około  $1,6\ \mu\text{m}$  [L. 1]. Z kolei na długości płaszczka tłoka 25 mm największe ciśnienie wynosiło  $29,21\ \text{MPa}$ . Natomiast na obwodzie  $180^\circ$  ciśnienie, dla strony czynnej tłoka, osiągnęło w warunkach badań wartość  $13\ \text{MPa}$ .

Tłoki silników wysokoprężnych samochodów osobowych ulegają uszkodzeniom pomimo poprawnego składu chemicznego materiału i technologii wytwarzania [L. 4]. Inicjacja pęknięć następuje od zbyt dużych ziaren krzemu pierwotnego i następnie poprzez rozwój mikropęknięć w pozostałych strukturach metalu. Niezależnie od wartości normalnego obciążenia, stosowanego w testach stanowiskowych, współczynnik tarcia płaszczka tłoka z powłoką grafitową był niższy niż dla powłoki diamentowej DLC [L. 3]. Jednak powłoka grafitowa nie była skuteczna w ochronie powierzchni płaszczka tłoka.

Chropowatość powierzchni płaszczka tłoka, o wysokości  $1,2\ \mu\text{m}$ , w porównaniu z jego wysokością falistości powierzchni  $10\ \mu\text{m}$ , powoduje o rząd mniejszą siłę tarcia z cylindrem silnika spalinowego [L. 7]. Na wartość siły kontaktu

powierzchni i wypór hydrodynamiczny złożenia tłok–cylinder większy wpływ wywiera kształt profilu tworzącej płaszczka tłoka niż jego falistość.

Mniejsza siła tarcia, temperatura oraz większa odporność na zatarcie ma miejsce w przypadku współpracy cylindra o mniejszej wysokości chropowatości ( $R_a = 0,5\text{--}0,7 \mu\text{m}$  w porównaniu z  $R_a = 0,8\text{--}1,0 \mu\text{m}$ ) z tłokiem także o mniejszej wysokości chropowatości [L. 13].

## METODYKA BADAŃ

Badaniom poddano tłok nowy oraz tłoki, które podczas próby niezawodności pracy silnika spalinowego uległy zatarciu: jeden lekkiemu, drugi bardzo silnemu. Silnik CE o zapłonie iskrowym, pojemności  $1,6 \text{ dm}^3$  podlegał badaniom niezawodności w 3-godzinnych cyklach pracy zgodnych z normą BN-79/1374-04 (praca odpowiednio w warunkach maksymalnej mocy oraz maksymalnego momentu obrotowego). Zatarcie stwierdzono po 100 cyklach pracy silnika o łącznym czasie trwania 300 godzin. Analizowano również tłoki, które uległy zatarciu po 1002 godzinach pracy na hamowni oraz po przebiegu samochodu 217 km.

Celem badań było określenie przyczyn zatarcia się tłoków. Zakres badań obejmował: badania mikroskopowe, badania dylatometryczne stabilności wymiarowej, pomiar twardości, pomiary wymiarów i kształtu.

Badania mikrostruktury prowadzono na przekroju poprzecznym denka każdego z badanych tłoków. Po próbach stabilności cieplnej mikrostrukturę badano na przekrojach poprzecznych próbek dylatometrycznych. Mikrostrukturę ujawniano, trawiąc próbki odczynnikami w 10% wodnym roztworze NaOH. Obserwację mikrostruktury materiału próbek przeprowadzono na mikroskopie optycznym NEOPHOT 2.

Pomiar twardości wykonano metodą Brinella, w wyniku pięciokrotnego powtórzenia, na podstawie normy PN-91/H-04350. Stosowano kulkę o średnicy  $\varnothing 5 \text{ mm}$  i siłę 625 N od masy 62,6 kg. Pomiary przeprowadzono na próbkach wyciętych z denka tłoków i próbkach po badaniach dylatometrycznych.

Skład chemiczny próbek tłoków wyznaczono spektrometrem emisyjnym ze wzbudzeniem jarzeniowym LECO GDS 850.

Badania stabilności wymiarowej przeprowadzono metodą dylatometryczną na próbkach  $\varnothing 4 \times 20 \text{ mm}$  wyciętych z denka tłoka nowego, po ich umieszczeniu w kwarcowych rurkach. Atmosferą ochronną był argon. Określono trwałe zmiany wymiarów w temperaturze z zakresu  $175\text{--}250^\circ\text{C}$ . W każdej przyjętej temperaturze próbki starzono (stabilizowano) przez 24 godz. Stosowano dylatometr uniwersalny różnicowy z rejestracją wydłużenia czujnikiem indukcyjnym. Wyznaczono współczynnik rozszerzalności cieplnej.

Średnicę tłoka mierzono na wysokości tłoka 17 mm (położenie płaszczyzny nominalnej), 42 mm (obszar pod pierścieniem zgarniającym) i 64 mm (część ogniowa tłoka). Pomiar przeprowadzono nożykami na dużym mikrosko-

pie warsztatowym Carl Zeiss Jena. Taki pomiar zapewniał największą powtarzalność wyników. Pomiary kształtu realizowano na wysokości 45 mm. W płaszczyźnie tej nie występowały bowiem uszkodzenia mechaniczne tłoka. Pomiary przeprowadzono współrzędnościową maszyną pomiarową FN-1106 Mitutoyo. Stosowano kulistą końcówkę trzpienia o średnicy 4 mm. Wartości wyznaczono z 300 punktów pomiarowych.

## Wyniki badań

Skład chemiczny średni metalu, z którego wykonano tłoki zamieszczono w **Tabeli 1**. Skład ten jest zgodny z wymaganym przez PN-76/H-88027 dla gatunku AK12, stopu AlSi12.

Uzyskano następujące wyniki badań twardości tłoków: tłok nowy: 118, 118, 118, 115, 118, średnio HB 2.5/62.5 = 118, tłok lekko zatarty: 112, 112, 112, 112, 112, średnio HB 2.5/62.5 = 112, tłok silnie zatarty: 112, 112, 112, 110, 110, średnio HB 2.5/62.5 = 111. Występuje więc w eksploatacji zmniejszenie twardości denka tłoka, nieco większe dla tłoka silnie zatartego.

**Tabela 1. Skład chemiczny średni materiału tłoków**

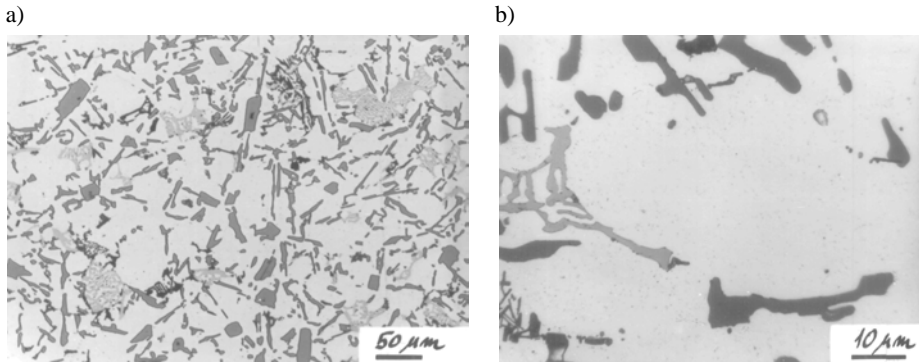
Table 1. Chemical average composition of pistons material

Stop	Skład chemiczny, % wagowo							
	Si	Mg	Cu	Ni	Fe	Mn	Zn	Al
AlSi12	12,95	0,80	1,50	1,08	0,30	0,10	0,05	84,22

Tłok nowy ma typową dla siluminu eutektycznego AlSi12 strukturę złożoną z pierwotnych ziaren krzemu, eutektycznych kryształów krzemu, tj. fazy  $\beta$  (Si) i ziaren roztworu stałego, fazy  $\alpha$  (**Rys. 1**). Segregacja dendrytyczna kryształów krzemu nie jest duża, co świadczy o poprawności procesów metalurgicznych tłoka. Kształt i rozmiary kryształów są typowe dla eutektycznych siluminów modyfikowanych fosforem. W ziarnach fazy  $\alpha$  (**Rys. 1, 2**) można obserwować powstające podczas starzenia dyspersyjne wydzielenia faz umacniających. Ich nasilenie jest nieduże w tłoku nowym (**Rys. 1b**) i radykalnie zwiększa się w tłokach zatartych (**Rys. 2b, 2d**).

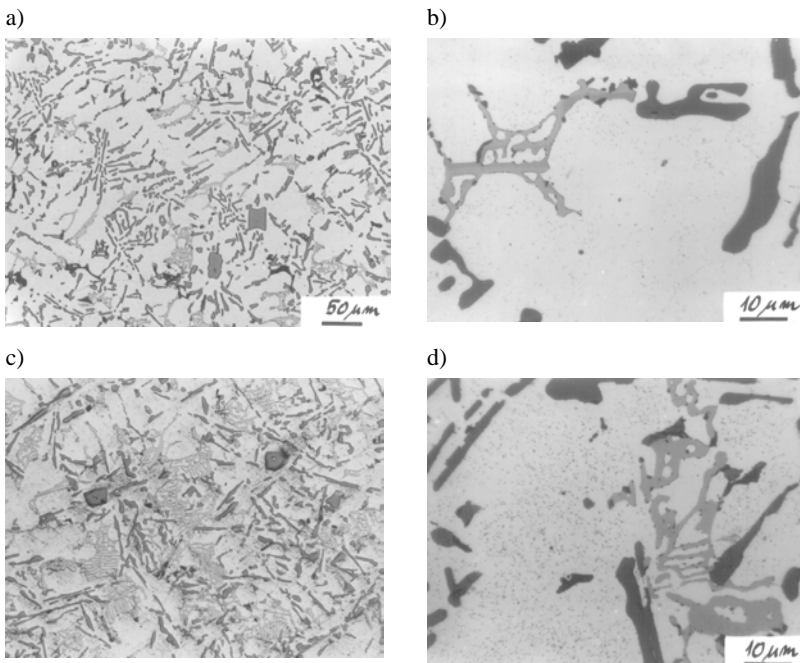
Przeprowadzone badania trwałych zmian wymiarowych wykazały ich brak podczas starzenia w temp. 175°C i 200°C (**Tab. 2**). Wyniki pomiaru średnicy tłoków i ich kształtu zamieszczono w **Tabeli 3**. **Tabele 2 i 3** zawierają również wyniki badań tłoka po pracy 9 h. Starzenie w temperaturze powyżej 200°C wywołuje znaczne, trwałe przyrosty wymiarów. Takie zachowanie się materiału tłoków pozwala wnioskować, że tłoki były starzone w temperaturze nie wyższej niż 200°C. Porównanie faz wydzielającej się podczas starzenia, w piecu mufowym podczas badań dylatometrycznych (**Rys. 5**) z fazami międzymetalicznymi tłoków zatartych (**Rys. 2, 3, 4**), pozwala określić trwałą temperaturę

pracy tłoków zatartych na 200°C–225°C, a więc wyższą od temperatury starzenia. Wskutek tego w materiale denka zachodzi intensywnie proces starzenia, z czym wiąże się puchnięcie tłoka w części koronowej, najsilniej nagrzanej.



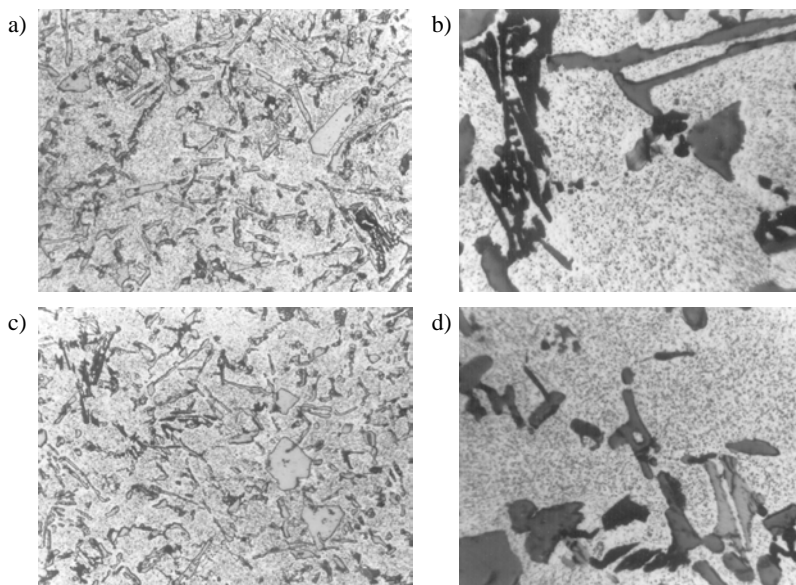
**Rys. 1. Mikrostruktura metalu denka nowego tłoka: a) powiększenie 150×, b) powiększenie 1200×**

**Fig. 1. Microstructure of metal of new piston head: a) magnification 150×, b) magnification 1200×**



**Rys. 2. Mikrostruktura metalu denka tłoka silnika, który uległ zatarceniu po 300 h: a), b) lekkiemu, c), d) silnemu, powiększenie: 150× a), c), 1200× b), d)**

**Fig. 2. Microstructure of metal of piston head used in engine, subjected to seizure after 300 h: a), b) light, c), d) strong, magnification 150× a), c), 1200× b), d)**



**Rys. 3. Mikrostruktura metalu denka tłoka silnika, który uległ zatarciu po 1002 h: a), b) lekkiemu, c), d) silnemu. Powiększenie: 150× a), c), 1200× b), d)**

**Fig. 3. Microstructure of metal of piston head used in engine, subjected to seizure after 1002 h: a), b) light, c), d) strong, magnification 150× a), c), 1200× b), d)**

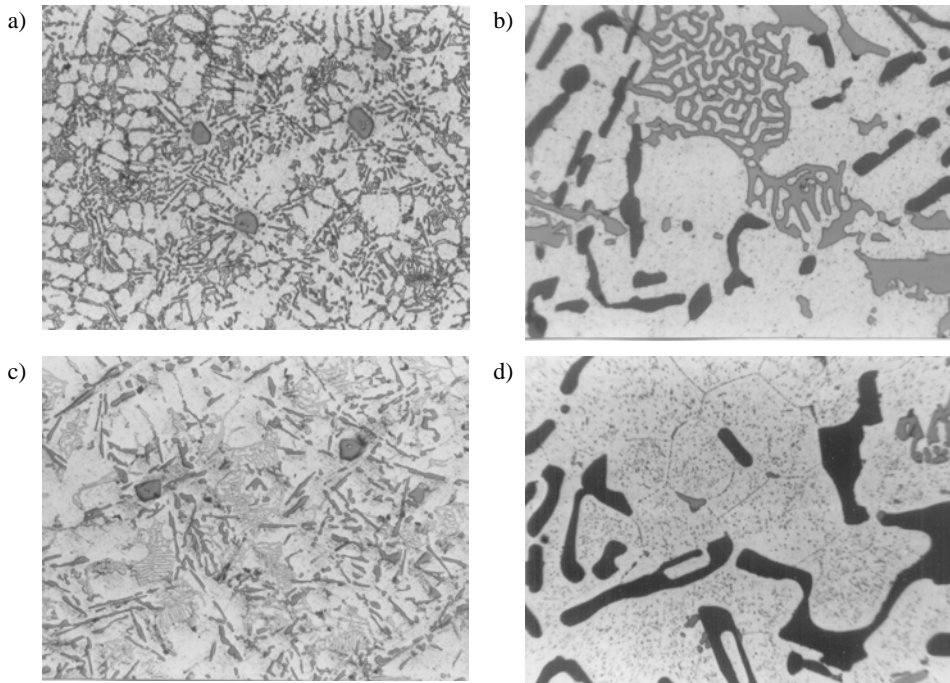
**Tabela 2. Trwale zmiany wymiarów próbek z denka tłoka nowego i badanych silników po 24 h starzeniu w piecu muflowym wraz ze współczynnikiem rozszerzalności cieplnej i twardością**

**Table 2. Stable changes of dimensions of new piston head and piston heads from tested engines after 24 h ageing in muffle furnace with coefficient of thermal expansion and hardness**

Trwale zmiany wymiarów próbek [%], w temperaturze	Nowy	Po pracy 9 h	Po 300 h zatarty		Po 1002 h zatarty		Po 217 km zatarty	
			lekko	silnie	lekko	silnie	denko	poniżej piasty
175°C	0	0	0	0	0	0	0	0
200°C	0	+ 0,05	+ 0,04	+ 0,02	+ 0,03	+ 0,02	0	0
215°C	+ 0,19	+ 0,18	+ 0,19	+ 0,19	+ 0,11	+ 0,11	0	+ 0,41
225°C	+ 0,20	+ 0,19	+ 0,20	+ 0,20	+ 0,13	+ 0,13	0	+ 0,53
235°C	+ 0,25	+ 0,12	+ 0,25	+ 0,45	+ 0,14	+ 0,14	0	+ 0,22
250°C	- 0,29	- 0,23	- 0,29	- 0,28	- 0,21	- 0,20	0	- 0,08
265°C	–	–	–	–	–	–	0	–
Współczynnik rozszerzalności cieplnej 20÷250°C, K <sup>-1</sup>	2,3·10 <sup>-5</sup>	2,2·10 <sup>-5</sup>	2,45·10 <sup>-5</sup>	2,4·10 <sup>-5</sup>	2,1·10 <sup>-5</sup>	2,0·10 <sup>-5</sup>	2,5·10 <sup>-5</sup>	2,45·10 <sup>-5</sup>
Twardość, HB	119–121	115–119	112	110–112	86–90	81–84	68–76	80–90

**Tabela 3. Średnice i odchyłki okrągłości badanych tłoków silników spalinowych**  
**Table 3. Diameters and roundness deviations of tested pistons of IC engines**

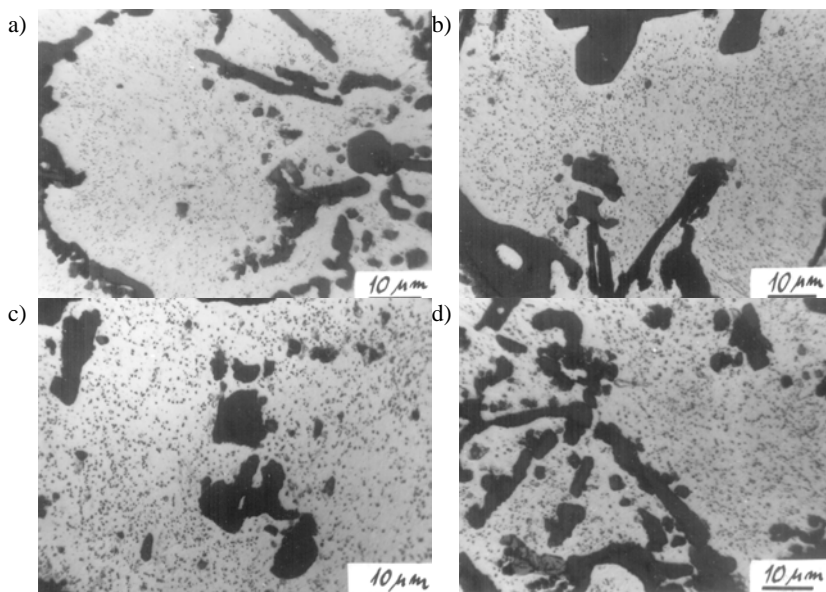
Tłok	Nowy	Po pracy 9 h	Po 300 h zatarty		Po 1002 h zatarty		Po 217 km zatarty
			lekko	silnie	lekko	silnie	
Średnica na wysokości 17 mm	79,975 – 79,978	79,976	79,956	79,925	79,954	79,956	79,952
Średnica na wysokości 45 mm	79,112 – 79,114	79,123	79,117	79,141	79,138	79,153	79,081
Odchyłka okrągłości na wysokości 45 mm	0,0677 – 0,0694	0,0719	0,1537	0,1878	0,0797	0,0704	0,0667



**Rys. 4. Mikrostruktura metalu tłoka zatartego po przebiegu samochodu 217 km: zatarty płaszcz tłoka pod piastą sworznia tłokowego a), b). Tłok zatarty w obszarze denka c), d). Powiększenie 150×, a), c). Powiększenie 1200× b), d)**

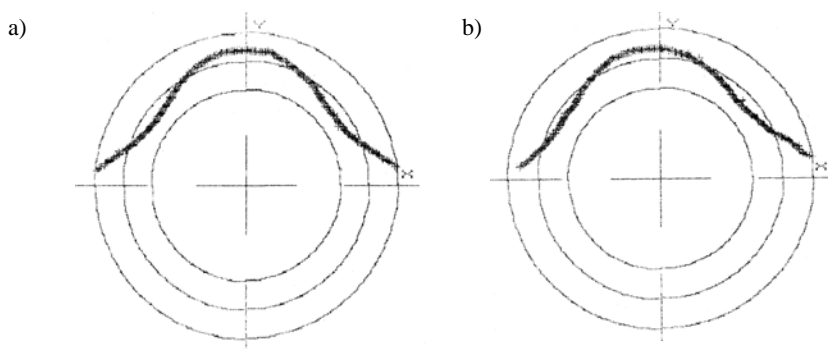
**Fig. 4. Microstructure of metal of piston head used in engine, subjected to seizure after mileage of 217 km: seized piston skirt under hub of piston pin a), b). Piston seized in the head region c), d). Magnification 150× a), c), 1200× b), d)**





Rys. 5. Mikrostruktura metalu próbki pobranej z denka tłoka nowego, po starzeniu w piecu muflowym przez 24 godziny w temperaturze: a) 200°C, b) 215°C, c) 235°C, d) 250°C. Powiększenie 1200×

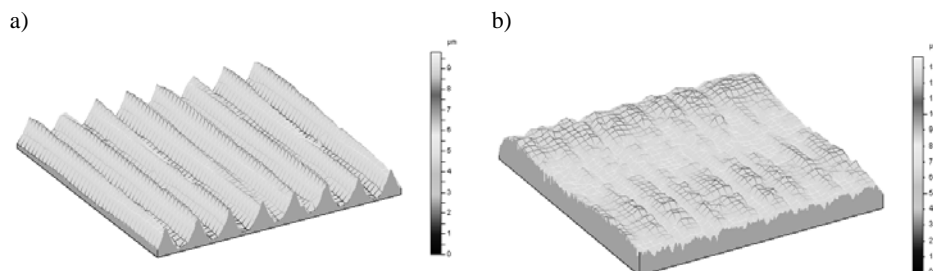
Fig. 5. Microstructure of metal of sample from new piston head after 24 h ageing in muffle furnace in temperature a) 200°C, b) 215°C, c) 235°C, d) 250°C. Magnification 1200×



Rys. 6. Wykres kształtu tłoka, dla jednego boku, wyznaczony na wysokości 45 mm: a) tłok nowy – średnica 79,113 mm, odchyłka okrągłości 0,0685 mm, odległość maksymalna od linii średniej do największego wymiaru promieniowego tłoka 0,0478 mm, odległość minimalna od linii średniej do najmniejszego wymiaru promieniowego tłoka -0,0207 mm, b) tłok po pracy 1002 h, zatarty silnie – średnica 79,153 mm, odchyłka okrągłości 0,0704 mm, odległość maksymalna od linii średniej do największego wymiaru promieniowego tłoka 0,0540 mm, odległość minimalna od linii średniej do najmniejszego wymiaru promieniowego tłoka -0,0164 mm. Oś X jest osią otworu piast tłoka dla sworznia tłokowego

Fig. 6. Diagram of piston shape, for one side on 45 mm height: a) new piston, b) strongly seized piston after 1002 h operating

Po pracy tłoki zwiększyły średnicę w części ogniowej, nieco więcej tłok silnie zatarty. Z kolei tłoki po próbie niezawodności silnika, w części o niższej temperaturze na wysokości 17 mm i 42 mm, mają mniejszą średnicę od tłoka nowego. Wynika to z procesu puchnięcia metalu tłoka, odpowiednio. Odchyłka okrągłości tłoków uszkodzonych poprzez zatarcie, na wysokości 45 mm (**Rys. 6**), uległa znacznemu zwiększeniu w porównaniu z jej wartością dla tłoka nowego. Wynika to z ich odkształceń trwałych. Puchnięcie materiału tłoków wywołuje zróżnicowane zmiany wymiarowe, ze względu na różny rozkład temperatury, masy oraz sztywności kształtu. Termiczne przyrosty wymiarów tłoka są szczególnie duże w strefie ogniowej, w stałych miejscach na obwodzie, i w nich rozpoczyna się proces zacierania. Obserwowane ślady zatarcia na powierzchni płaszcza są skutkiem wtórnym. **Rysunek 7** przedstawia chropowatość powierzchni płaszcza tłoka nowego oraz po pracy 1002 h, bez uszkodzeń.



**Rys. 7.** Chropowatość powierzchni płaszcza tłoka: nowego a), po pracy 1002 h, bez uszkodzeń b). Parametry chropowatości powierzchni toczzonej a):  $S_a = 1,92 \mu\text{m}$ ,  $S_q = 2,22 \mu\text{m}$ ,  $S_z = 8,95 \mu\text{m}$ ,  $S_{sk} = 0,52$ ,  $S_{ku} = 2,01$ ,  $S_{ds} = 635 \text{ 1/mm}^2$ ,  $S_{al} = 0,0509 \text{ mm}$ ,  $S_{fd} = 2,31$ ,  $S_k = 3,3 \mu\text{m}$ ,  $S_{pk} = 3,96 \mu\text{m}$ ,  $S_{vk} = 0,14 \mu\text{m}$ ,  $S_{r1} = 31,7\%$ ,  $S_{r2} = 99,1\%$ . Parametry chropowatości powierzchni po eksploatacji b):  $S_a = 1,05 \mu\text{m}$ ,  $S_q = 1,41 \mu\text{m}$ ,  $S_z = 10,32 \mu\text{m}$ ,  $S_{sk} = -1,08$ ,  $S_{ku} = 6,17$ ,  $S_{ds} = 1504 \text{ szczytów/mm}^2$ ,  $S_{al} = 0,127 \text{ mm}$ ,  $S_{fd} = 2,33$ ,  $S_k = 2,12 \mu\text{m}$ ,  $S_{pk} = 0,56 \mu\text{m}$ ,  $S_{vk} = 1,21 \mu\text{m}$ ,  $S_{r1} = 6,01\%$ ,  $S_{r2} = 87,2\%$

Fig. 7. Surface roughness of new piston a), after 1002 h operating, without damage b)

## WNIOSKI

Zatarcie tłoków nastąpiło wskutek puchnięcia materiału. Jest to wynikiem niepoprawnie przeprowadzonego procesu starzenia tłoków.

Analiza mikrostruktury materiału tłoków zatartych pozwala określić największą temperaturę ich pracy na  $200^\circ\text{C}$  do  $225^\circ\text{C}$ , co oznacza, że tłoki nie uległy przegrzaniu podczas próby niezawodności silnika (nie występuje proces kureczenia metalu tłoka).

Pierwotne zmiany materiałowe tłoka rozpoczynają się w części koronowej, a zatarcia w innych fragmentach tłoka są efektem wtórnym.

Wyniki badań pozwalają stwierdzić, że metalurgiczna część procesu wytwarzania tłoka (mikrostruktura, skład chemiczny, proces modyfikowania i odlewania) została zrealizowana poprawnie.

Twardość tłoka nowego (118 HB) jest znacznie większa niż wymagana przez dokumentację materiałową. Sugeruje to możliwość zwiększenia temperatury starzenia o 10–30°C, co zwiększyłoby temperaturę wymiarowej stabilności tłoków. Zapewniłoby to poprawną pracę złożenia tłok–cylinder dla nominalnego luzu 0,03 mm.

## LITERATURA

1. Balakrishnan S., Howell-Smith S., Rahnejat H.: Investigation of reciprocating conformal contact of piston skirt-to-surface modified cylinder liner in high performance engines, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 219 (11), 1235–1247, 2005.
2. Budzik G., Jaskólski J.: Obciążenia cieplne tłoków silników spalinowych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2004.
3. Cho D.H., Lee S.A., Lee Y.Z.: The effects of surface roughness and coatings on the tribological behavior of the surfaces of a piston skirt, *Tribology Transactions*, 53, 137–144, 2010.
4. Floweday G., Petrov S., Tait R.B., Press J.: Thermo-mechanical fatigue damage and failure of modern high performance diesel pistons, *Engineering Failure Analysis*, 18, 1664–1674, 2011.
5. Gałda L., Dzierwa A., Sęp J., Pawlus P.: The effect of oil pockets shape and distribution on seizure resistance in lubricated sliding, *Tribology Letters*, 37 (2), 301–311, 2010.
6. Krzyżak Z., Pawlus P.: Piston skirt surface topography modelling during a low wear process, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 225 (4), 229–241, 2011.
7. Mansouri S.H., Wong V.W.: Effects of piston design parameters on piston secondary motion and skirt-liner friction, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 219 (6), 435–449, 2005.
8. Markov D., Kelly D.: Mechanisms of adhesion-initiated catastrophic wear: pure sliding, *Wear*, 239 (2), 189–210, 2000.
9. Pietrowski S.: Krystalizacja, struktura i właściwości siluminów tłokowych, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej. Monografie Nr 950, Łódź 1999.
10. Orłowicz W., Tupaj M., Mróz M.: Wpływ szybkości chłodzenia na strukturę siluminu AlSi7Mg0,3, *Archiwum Odlewnictwa*, 6/18 (1/2), 125–130, 2006.
11. Warmuzek M., Sieniawski J., Wicher K., Mrówka G.: The study of the distribution of the transition metals and Si during primary precipitation of the intermetallic phases in Al-Mn-Si alloys, *Journal of Materials Processing Technology*, 175 (1 3), 421–426, 2006.
12. Wierzbińska M., Mrówka-Nowotnik G.: Identification of phase composition of AlSi5Cu2Mg aluminium alloy in T6 condition, *Archives of Material Science and Engineering*, 30 (2), 85–88, 2008.
13. Ye Z., Zhang C., Wang Y., Cheng H.S., Tung S., Wang Q.J., He X.: An experimental investigation of piston skirt scuffing: A piston scuffing apparatus, experiments, and scuffing mechanism analyses, *Wear*, 257 (1–2), 8–31, 2004.

### Summary

**This paper describes the reason of seizure of the pistons of a CE engine with spark ignition, 1.6 liter capacity, during reliability test. We analysed the microstructure, operation life, hardness and size and shape of the pistons made of an alloy AlSi12. Durable piston material dimensional changes helped to determine the technological ageing temperature lower than 200°C. The seizure of the piston was due to swelling of the material. The analysis of changes in the microstructure, hardness, and size made it possible to adopt 225–230°C as the maximum operating temperature of the pistons. The initial seizure of the piston starts at the crown and the piston skirt, and seizure is a secondary effect.**