

Andrzej Posmyk*, Stanisław Witaszek

Politechnika Śląska, Wydział Transportu, ul. Krasińskiego 8, 40-019 Katowice, Poland
e-mail: *andrzej.posmyk@polsl.pl

Otrzymano (Received) 01.02.2007

WPŁYW PODZESPOŁÓW WYKONANYCH Z KOMPOZYTÓW AIMC NA EKSPLOATACJĘ SILNIKA SPALINOWEGO

Przedstawiono wpływ zastosowania podzespołów silników spalinowych małej mocy wykonanych z kompozytów AIMC na ich eksploatację. Opisano podstawowe wymagania stawiane kompozytowym tworzywom konstrukcyjnym przeznaczonym na wybrane części silnika spalinowego. Zaprezentowano wyniki badań tribologicznych skojarzenia EN-GJL-350/W6D.22A w temperaturach pracy tłoka oraz wyniki badań wpływu zastosowania tłoka wykonanego z materiału kompozytowego W6A.22A na eksploatację silnika spalinowego. W badaniach określano zużycie paliwa przez jednocylindrowy silnik dwusuwowy oraz zużycie jego tłoków i tulei cylindrowych. W silniku zastosowano tłok fabryczny, wykonany z odlewniczego stopu aluminium (EN-AC-47000), oraz tłok wykonany z kompozytu W6D.22A (EN-AW-6061+22% Al₂O₃). Wyniki badań wykazały, że zastosowanie tłoka kompozytowego w analizowanym silniku zmniejsza zużycie paliwa oraz zużycie tłoka i zwiększa zużycie tulei cylindrowej.

Słowa kluczowe: kompozyty na osnowie stopów aluminium, tłok, tuleja cylindrowa, zużycie, zużycie paliwa

THE INFLUENCE OF SUB-ASSEMBLYS PRODUCED OF COMPOSITE MATERIALS ON OPERATING OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE

In this work the influence of sub-assemblies made of a composite materials AIMC on an internal combustion engine operating has been presented. The basic requirements for composite construction materials destined for chosen combustion engine parts were presented. The results of tribological investigations of pairing EN-GJL-350/W6D.22A on testing stand "pin-on-disc" in temperature of piston using as well as motor test results of composite material piston influence on small combustion engine operating were described. On tribological investigation basis it was stated, that the composite material with EN-AW-6061 matrix may be used only up to 160°C. At 220°C that material deforms plastically such extent, that its using is impossible. Composite discs and cast iron pins wear rates at temperature 160°C were smaller then at temperature 20°C. In the motor researches the fuel consumption of a two-stroke, one cylinder engine and wear of its pistons and cylinder liners have been determined. Two series of tests, each in 10 replications, have been carried out. In the first one a standard piston, made of an aluminium alloy EN-AC-47000, has been used in the second one a composite piston has been used. The results of the experiments show that use of composite piston in investigated engine reduces its fuel consumption and decreases piston wear but increases wear of cylinder liner.

Keywords: composites with aluminium alloy matrix, piston, cylinder liner, wear, fuel consumption

WPROWADZENIE

Materiały kompozytowe o osnowie ze stopów metali lekkich (Al, Mg) stosowane są w budowie pojazdów ze względu na mniejszą gęstość i większą przewodność cieplną niż stopy żelaza, niższy współczynnik rozszerzalności cieplnej i lepsze właściwości tribologiczne niż osnowa (większa odporność na zużycie) [1-4]. Z materiałów tych są wykonywane między innymi: tłoki lub fragmenty tłoków silników spalinowych, gładzie tulei cylindrowych, korbowody, sworznie tłokowe, zawory dolotowe, tarcze, bębny oraz zaciski hamulcowe, wały napędowe, obudowy pomp oleju, obudowy skrzyni

biegów, ramiona wahaczy, wirniki turbosprężarek oraz koła pasowe [2, 3].

Zastosowanie materiałów kompozytowych w denkach tłoków i na gładzie tulei cylindrowych spowodowało zmniejszenie strumienia ciepła odprowadzanego od spalin, co stwarza warunki do lepszego spalania paliwa oraz zapobiega pękaniu denka tłoka. Zastosowanie kompozytów na gładzie tulei cylindrowych i na płaszcze tłoków zmienia warunki współpracy ślizgowej, w tym istotnie smarowanie grupy tłokowej, co może zmniejszyć straty silnika spowodowane tarcieniem. W pra-

cy przeprowadzono badania wpływu zastosowania wybranego materiału kompozytowego do wytwarzania tłoków na pracę silnika spalinowego.

WARUNKI PRACY GRUPY TŁOKOWEJ SILNIKA SPALINOWEGO

W silniku spalinowym około 20% strat energii wynika ze współpracy ślizgowej grupy tłokowej, tj. pierścieni tłoka i płaszczka tłoka z gładzią tulei cylindrowej [5]. Tak znaczne straty są efektem m.in.:

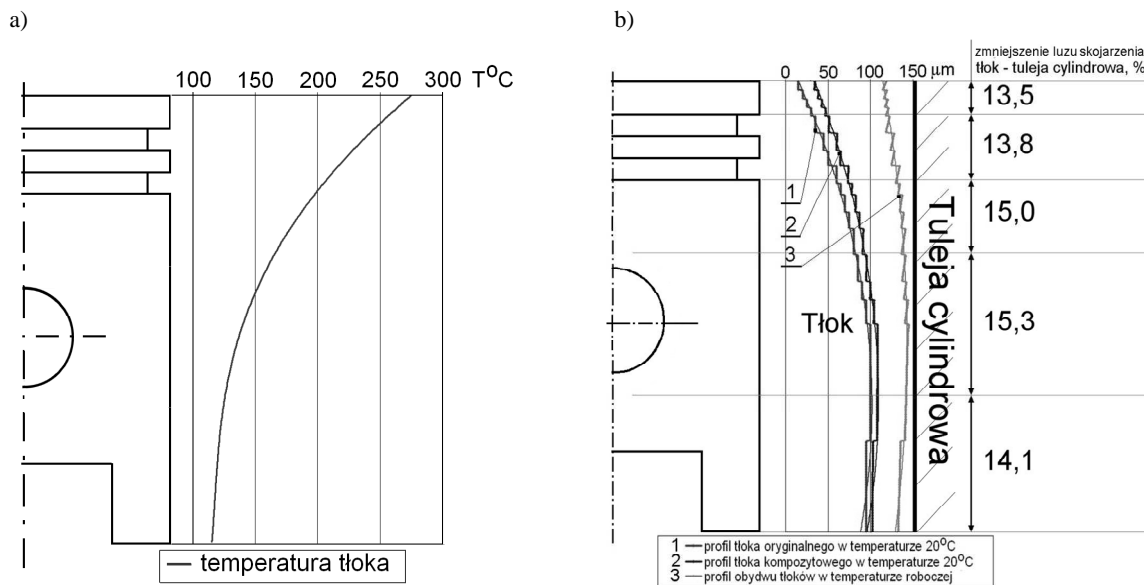
- niedostatecznego smarowania ww. skojarzeń podczas zimnego rozruchu silnika,
- braku warunków do zapewnienia smarowania hydrodynamicznego przy małych prędkościach względnych w pobliżu punktów zwrotnych tłoka,
- zróżnicowania temperatury tłoka wzdłuż denka oraz płaszczka.

Poza dużymi oporami tarcia skutkiem ww. zjawisk jest większe zużycie tulei cylindrowej w pobliżu górnego martwego punktu, co zwiększa przedmuchy i zużycie paliwa przez silnik. Zastosowanie materiałów kom-

Zmiany współczynnika rozszerzalności cieplnej zależą od ilości fazy zbrojącej i dla kompozytu na osnowie stopu A359 mogą dochodzić do 15% przy 20% Al_2O_3 . Dzięki mniejszej rozszerzalności cieplnej kompozytu tłok wykonany z AIMC może mieć większe wymiary niż z siluminu stanowiącego osnowę. Przykład obliczonych luzów między tłokiem a tuleją cylindrową silnika spalinowego DEZAMET 023 o mocy 1,25 kW dla tłoka wykonanego z dwóch materiałów, tj. A359 i A359+20% Al_2O_3P , przedstawiono na rysunku 1b. Obliczeń dokonano na podstawie zgromadzonych z literatury [7-9] danych dotyczących rozkładu temperatury wzdłuż tworzącej płaszczka tłoka (rys. 1a) bez uwzględnienia odkształceń wskutek zmian temperatury wzdłuż promienia denka tłoka.

BADANIA TRIBOLOGICZNE

W celu sprawdzenia przydatności kompozytu W6D.22A do wytwarzania tłoków i tulei cylindrowych silników spalinowych małej mocy wykonano badania tribologiczne na testerze laboratoryjnym w warunkach



Rys. 1. Rozkład temperatury wzdłuż tłoka silnika spalinowego samochodu osobowego (a) i odpowiadające temu rozkładowi luzy między tłokiem a tuleją cylindrową (b)

Fig. 1. Distribution of temperature along piston of car combustion engine (a) and equal distribution of clearance between piston and cylinder liner (b)

pozytowych na osnowie stopów aluminium może ograniczyć zużycie tłoka i tulei cylindrowej oraz poprawić warunki smarowania grupy tłokowej, co może zmniejszyć zużycie paliwa i zwiększyć sprawność silnika. Dodatkowym aspektem wynikającym z wykonania tłoka z kompozytów zawierających ceramiczną fazę zbrojącą jest możliwość zmniejszenia strat przedmuchu wynikających z luzu pomiędzy tłokiem a tuleją cylindrową. Dodanie ceramicznej fazy zbrojącej, np. tlenku aluminium, zmniejsza rozszerzalność cieplną materiału osnowy.

cieplnych, odpowiadających warunkom pracy grupy tłokowej w silniku spalinowym. W badaniach przyjęto, że tłok kompozytowy będzie współpracował z żeliwną tuleją cylindrową oraz z kompozytową gładzią tulei cylindrowej będą współpracowały żeliwne pierścienie tłokowe. Dlatego próbki wykonano z żeliwa EN-GJL-350, z którego wykonuje się pierścienie tłokowe i tuleje cylindrowe. Wartości prędkości i nacisków dobrano tak, żeby odpowiadały pracy grupy tłokowej silnika samochodowego o mocy 100 kW. Warunki badań zestawiono w tabeli 1. Badania wykonano na testerze T-11

w ruchu obrotowym z regulowaną temperaturą w pobliżu strefy tarcia. Węzeł tarcia testera stanowią nieruchomy trzpień i ruchoma tarcza.

TABELA 1. Warunki badań tribologicznych

TABLE 1. Tribological tests conditions

Nr badania	Czynniki sterowane		
	v , m/s	p , MPa	T , °C
1	0,1	0,4	160
2	1	0,4	20
3	0,1	1	20
4	1	1	160
5	0,1	0,7	90
6	1	0,7	90
7	0,55	0,4	90
8	0,55	1	90
9	0,55	0,7	20
10	0,55	0,7	160
11	0,55	0,7	90

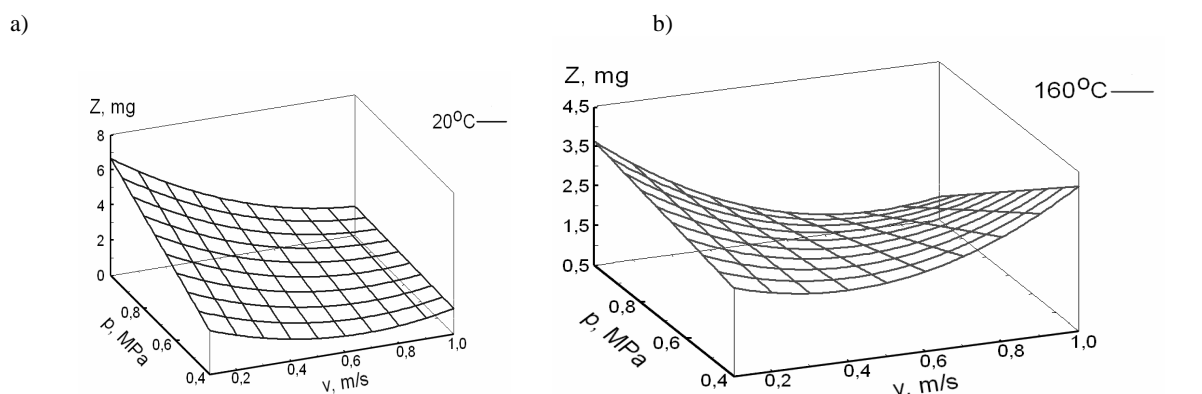
WYNIKI BADAŃ TRIBOLOGICZNYCH

Podczas współpracy ślizgowej mierzono współczynnik tarcia i ubytki masy trzpienia oraz tarczy. Uzyskane wyniki badań przeprowadzonych na planie poliselekcyjnym, D- optymalnym, pozwoliły opisać badane zależności wielomianami drugiego stopnia, których interpretacje graficzne przedstawiono na rysunkach 2-5.

BADANIA STANOWISKOWE W SILNIKU

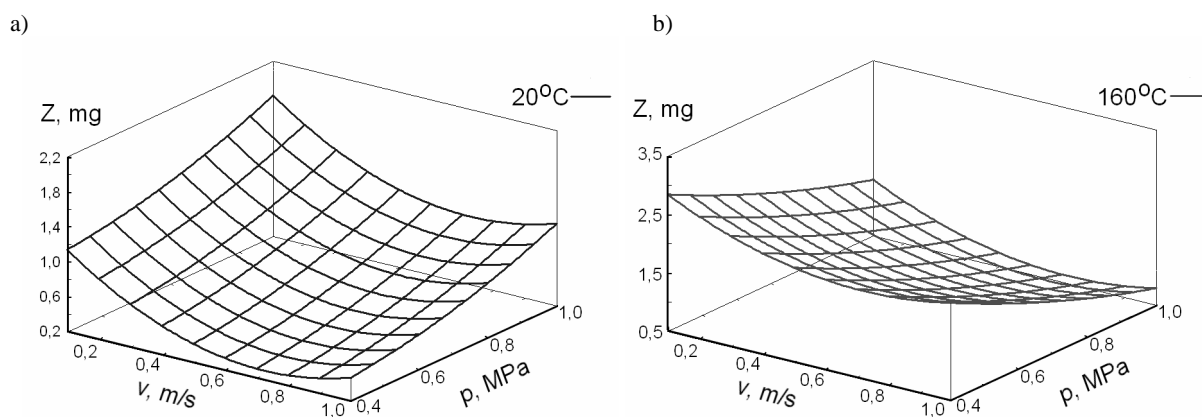
Badania silnikowe obejmowały porównanie wybranych parametrów pracy małowadźowego, dwusuwowego silnika spalinowego, wyposażonego w tłoki wykonane z kompozytu W6D.22A i stopu EN-AC-47000.

Osnowę kompozytu stanowi stop aluminium 6061. Fazą zbrojącą są cząstki Al_2O_3 , których udział wynosi 22%. Skład chemiczny stopu 6061 zamieszczono w tabeli 2, a właściwości kompozytu w pracach [10, 11]. Tłoki wykonano z zachowaniem podobieństwa wymiarowego, tj. o jednakowych średnicach i masach.



Rys. 2. Zależność ubytku masy tarczy wykonanej z W6D.22A od prędkości i nacisku po współpracy ślizgowej z trzpieniem żeliwnym w temperaturze 20°C (a) i 160°C (b)

Fig. 2. Mass loss of W6D.22A disc after rubbing against cast-iron pin at 20°C (a) and 160°C (b) vs. sliding velocity and pressure



Rys. 3. Zależność ubytku masy trzpienia wykonanego z EN-GJL-350 od prędkości i nacisku po współpracy ślizgowej z tarczą kompozytową w temperaturze 20°C (a) i 160°C (b)

Fig. 3. Mass loss of EN-GJL-350 pin after rubbing against composite disc at 20°C (a) and 160°C (b) vs. sliding velocity and pressure

Fotografie badanych tłoków przedstawiono na rysunku 6. Dla sprawdzenia, mającego istotny wpływ na właściwości tribologiczne, rozkładu fazy zbrojącej w płaszczu tłoka wykonano zglądy metalograficzne (rys. 7).

TABELA 2. Skład chemiczny stopu osnowy EN-AW-6061 [8]

TABLE 2. Chemical composition of EN-AW-6061 [8]

Graniczna zawartość pierwiastków stopowych, %	
Si	0,4÷0,8
Fe	0÷0,7
Cu	0÷0,7
Mn	0÷0,15
Mg	0,8÷1,2
Zn	0÷0,25
Ti	0÷0,15
Cr	0,04÷0,35
inne	0÷0,05

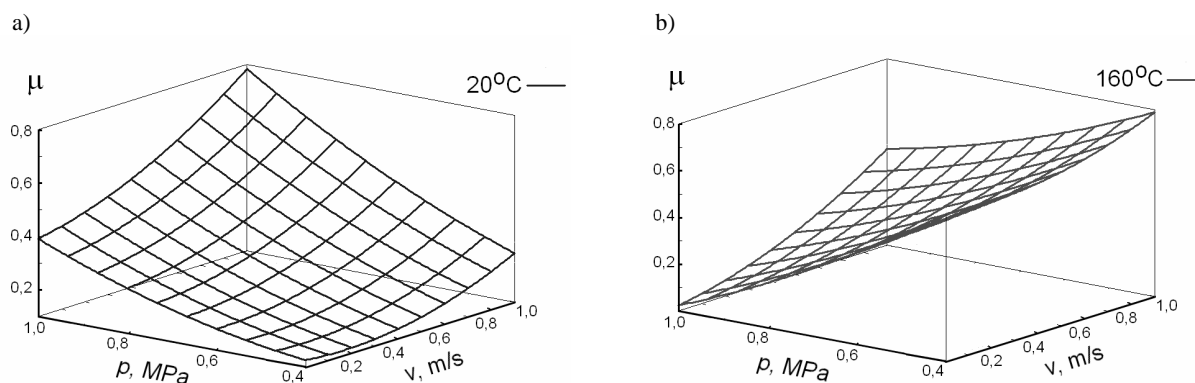
Badania w ramach testu „jednego litra” przeprowadzono na jednocylindrowym silniku dwusuwowym DEZAMET 023. Test polegał na zasilaniu silnika jednym litrem paliwa i pomiarze czasu jego pracy oraz ilości obrotów wykonanych przez wał korbowy. Wybrane parametry silnika zestawiono w tabeli 4. Silnik

ten zamontowano na stanowisku zapewniającym chłodzenie strumieniem powietrza odpowiadającym warunkom jazdy. Podczas prób silnik był obciążany tylko prądnicą prądu stałego podłączoną do akumulatora i zestawu żarówek. Czas pracy silnika na jednym litrze paliwa zależy od warunków tarcia grupy tłokowej, ponieważ zmieniano tylko tłoki, pozostawiając inne podzespoły. Dodatkowy pomiar ilości obrotów daje informację o wartości oporów tarcia w grupie tłokowej. Wyniki pomiarów zestawiono na rysunku 8.

TABELA 3. Skład chemiczny żeliwa EN-GJL-350

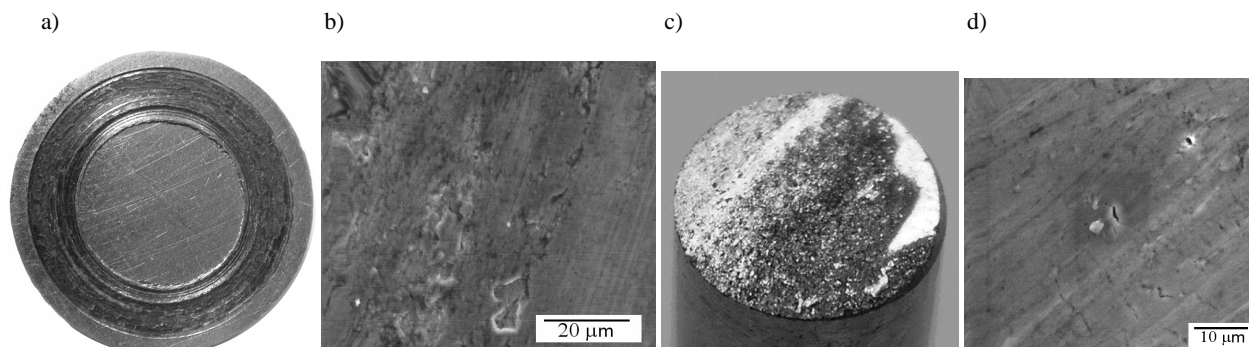
TABLE 3. Chemical composition of EN-GJL-350 cast iron

Graniczna zawartość pierwiastków stopowych, %	
C	3,0÷3,8
Si	2,6÷3,5
Mn	0,3÷1,0
P	≤ 53,0
S	≤ 1,0
Cr	0,3÷0,8
V	≤ 3,0
Mo	≤ 2,1
Ni	≤ 0,1
Cu	0,3÷1,2



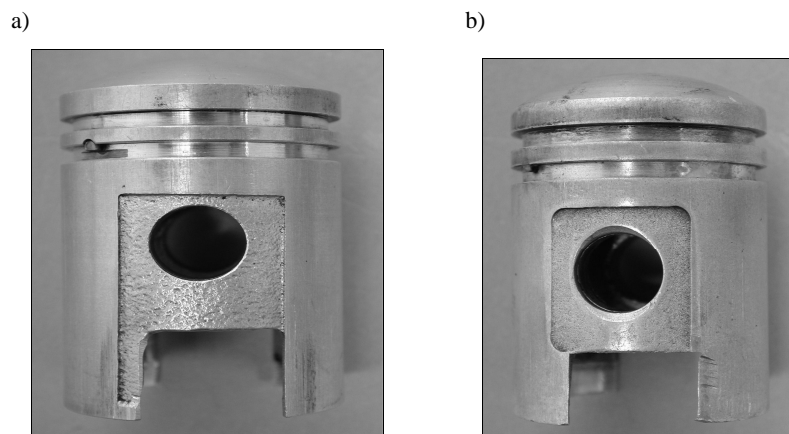
Rys. 4. Zależność współczynnika tarcia od prędkości i nacisków w skojarzeniu EN-GJL-350/ W6D.22A podczas tarcia technicznie suchego w temperaturze 20°C (a) i 160°C (b)

Fig. 4. Dependence of friction coefficient from sliding velocity and pressure in pairing EN-GJL-350/ W6D.22A during friction in air at 20°C (a) and 160°C (b)



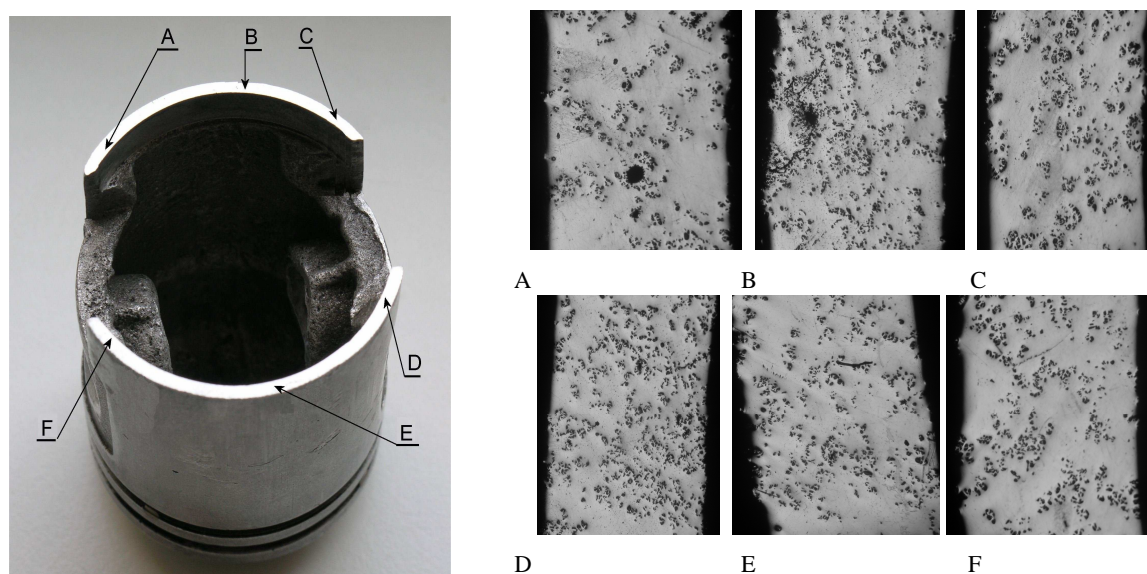
Rys. 5. Widok powierzchni wykonanych z W6D.22A tarcz (a, b, d) i wykonanego z EN-GJL-350 trzpienia po współpracy ślizgowej w warunkach tarcia technicznie suchego w temperaturze 160°C

Fig. 5. View of the produced of W6D.22A discs surfaces (a, b, d) and produced of EN-GJL-350 pin after sliding friction in air at 160°C



Rys. 6. Badane tłoki: a) fabryczny ze stopu EN-AC-47000, b) z kompozytu W6D.22A

Fig. 6. Tested pistons: a) standard one made of the EN-AC-47000 alloy, b) made of composite material W6D.22A



Rys. 7. Rozkład fazy zbrojącej w płaszczu odlewnego tłoka z kompozytu W6D.22A (pow. 50x)

Fig. 7. Distribution of reinforcing phase in skirt of piston produced of W6D.22A composite (magn. 50x)

TABELA 4. Wybrane parametry silnika DEZAMET 023 [14]
TABLE 4. Selected parameters of the DEZAMET 023 engine [14]

Parametr	Wartość
Moc	1,25 kW
Maksymalna prędkość obrotowa	4800 obr/min
Maksymalny moment obrotowy	2,85 Nm
Pojemność skokowa	49,8 cm ³
Średnica cylindra	38 mm
Skok tłoka	44 mm
Stopień sprężania	8

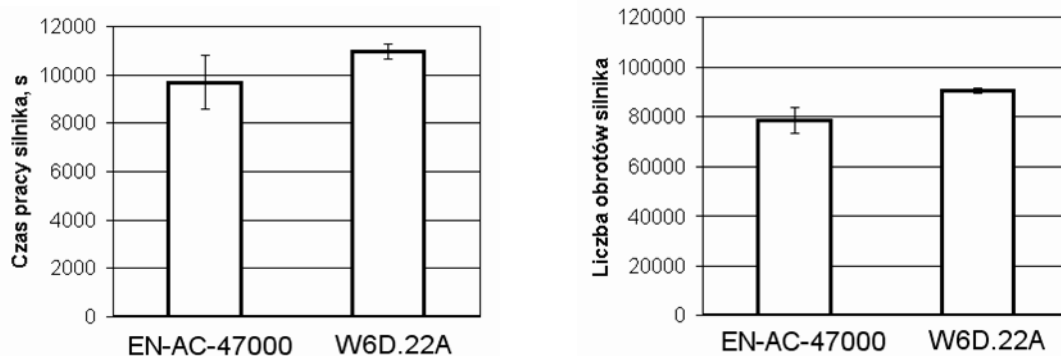
ANALIZA WYNIKÓW I WNIOSKI

Z rysunków 2 i 3 wynika, że w badaniach laboratoryjnych zużycie tarczy i trzpienia w temperaturze 160°C jest mniejsze niż w 20°C, co daje podstawy do założenia,

że badany stop będzie dobrze pracował w silniku. Współczynnik tarcia w temperaturze 160°C jest nieco większy, ale badania wykonano bez środka smarnego. Jedną z przyczyn mniejszego zużycia trzpienia w wyższej temperaturze jest usunięcie z osnowy i zakrycie materiałem osnowy większości cząstek fazy zbrojącej, co pokazano na rysunkach 5b i 5d.

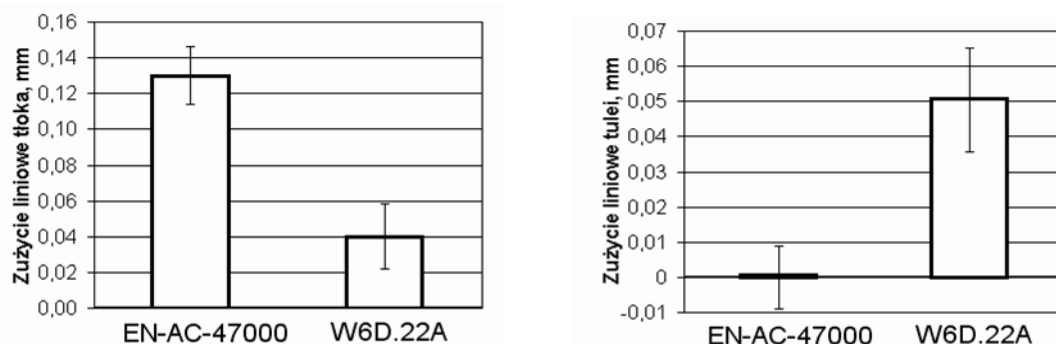
Z rysunku 7 wynika, że faza zbrojąca rozłożyła się równomiernie w cienkich ściankach tłoka, gwarantując dobre właściwości tribologiczne.

Na podstawie testu "jednego litra paliwa" stwierdzono, że silnik z tłokiem kompozytowym pracuje średnio o 13% dłużej niż z tłokiem wykonanym ze stopu EN-AC-47000. Jedną z przyczyn wydłużenia pracy silnika i zmniejszenia zużycia paliwa jest topografia powierzchni kompozytu utrzymująca olej lepiej niż powierzchnia siluminu [11]. W tym miejscu należy przypomnieć, że badany silnik pracował pod obciążeniem tylko prądnicy. Jeżeli obciążenie wzrośnie do



Rys. 8. Średni czas pracy i liczba obrotów wału korbowego silnika podczas testu "jednego litra paliwa"

Fig. 8. Average working time and number of revolutions of engine crankshaft during the "one litre fuel" test



Rys. 9. Średnie zużycie liniowe tłoków i tulei w teście "jednego litra paliwa"

Fig. 9. Average linear wear of pistons and cylinder liners during the "one litre fuel" test

wartości występujących podczas pracy silnika w motorze, to należy się liczyć z krótszym czasem pracy. Dodatkowo istnieje możliwość zmniejszenia zużycia paliwa, gdy tłok kompozytowy zostanie wykonany z większym wymiarem granicznym uwzględniającym mniejszą rozszerzalność cieplną kompozytu.

Zjawiskiem negatywnym zastosowania tłoka kompozytowego jest większe zużycie tulei cylindrowej (rys. 9). Zwiększone zużycie tulei jest spowodowane ściernymi właściwościami tlenku glinu, którego cząstki skrawają mikroobszary tulei żeliwnej.

Analiza wyników przeprowadzonych badań pozwoliła na sformułowanie następującego wniosku: Zastosowanie kompozytu W6D.22A zamiast stopu EN-AC-47000 do wykonania tłoka badanego silnika powoduje:

- zmniejszenie zużycia paliwa odpowiadające średniemu wydłużeniu czasu pracy na jednym litrze paliwa o 13% i zwiększeniu liczby obrotów w tym czasie o 17,4%;
- mniejsze zużycie liniowe tłoka, średnio o 66,7%;
- pojawienie się większego zużycia cylindra.

Praca wykonana w ramach BK-260/RT1/2007.

LITERATURA

- [1] Śleziona J., Podstawy technologii kompozytów, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1998.
- [2] Miracle D.B., Metal matrix composites - From science to technological significance, Composites Science and Technology 2005, 65, 2526-2540.
- [3] Fibrilloy preforms, Ceramic fiber shapes, Thermal Ceramics 2000, August, 114-140.
- [4] Jacob A., Car makers increase their use of composites, Reinforced Plastics 2004, February, 26-32.
- [5] Gaberscik G., Meldt W., Tripolt W., Trzesniowski M., Der Beitrag der Reibungsoptimierung zur Verbrauchsreduktion bei Motoren, Tribosysteme in der Fahrzeugtechnik, Copy and Druck GmbH Verlag Österreichischer Tribologischer Gesellschaft, Wien/Graz 2005, 5-13.
- [6] www.fpt-prima.com.pl
- [7] Röhrle Manfred D., Pistons for Internal Combustion Engines, Fundamentals of Piston Technology, verlag moderne industrie 2002, MAHLE GmbH.
- [8] Gscheidle R., Fahrkunde Kraftfahrzeugtechnik, Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH&Co, Haan-Gruiten 1994.
- [9] Kozaczewski W., Konstrukcja złożeń tłok-cylinder silników spalinowych, WKŁ, Warszawa 1987.
- [10] aluminium.matter.org.uk - baza danych AluSelect.
- [11] Posmyk A., Tribologisches Verhalten der für Autoindustrie bestimmten Verbundwerkstoffe, Reibung und Verschleiß im Spannungsfeld von Fahrzeugherstellern und deren Kunden, Verlag der Österreichischen Tribologischen Gesellschaft, Copy and Druck GmbH, Wien-Seibersdorf 2004, 123-131.