

THE WEAR RESULTS OF THE PROTOTYPE PISTON RINGS AFTER THE DURABILITY TESTS

Andrzej Kaźmierczak

*Division of Vehicles and Combustion Engines
Institute of Machine Design
Wroclaw University of Technology
Lukasiewicza 7/9, 50-370 Wroclaw, Poland
Phone: +48713477918, Fax: +48713227645
Email: andrzej.kazmierczak@pwr.wroc.pl*

Abstract

The results of durability test in article were described was conducted on engine Seicento 900. The investigation were subjected the piston rings of production FPT "Prima" S. A. It was applied as a first sealing ring prototype nitride steel ring rolled up from tape. Second ring was applied standard cast-iron. Third oil ring was gathering also prototype with spatial springy element. It after test was execution measurements were passed was investigative elements, and analysis their results of durability in Otto engine. The got results of investigative works testify on thing the starting the serial production the studied prototype rings profitably. Test results showed that rings performed according to the technology to roll up from the steel tape had not shown waves of their surfaces, views of the cooperation with piston shelves suggests the small ability of the ring brushing aside of the oil lubricant for oil pan, significant values the wears of the radial thickness of second rings sealing up. - they there are a result of used design, the internal undercut on lower edge and minutely ring. These results are confirmed decreases of the mass of second rings sealing up. In the case of of third oil-rings small values of wears were measured both thicknesses as and heights upper and bottom paths those rings.

Keywords: *transport combustion engine, piston ring, steel piston ring, wear*

ANALIZA WYNIKÓW ZUŻYCIA SKŁADANYCH PIERŚCIENI OLEJOWYCH PO PRÓBIE TRWAŁOŚCI ZESPOŁOWEJ

Streszczenie

W artykule omówiono wyniki próby trwałości zespołowej przeprowadzonej na silniku Seicento 900. W szczególności badaniom poddano pierścienie tłokowe produkcji FPT „Prima” S.A. Przy czym jako pierwszy pierścień uszczelniający zastosowano prototypowy pierścień stalowy zwijany z taśmy poddany procesowi azotowania „Nitrem”. Drugi pierścień zastosowano standardowy żeliwny. Trzecim pierścieniem zgarniającym był również prototypowy składany wieloczęściowy pierścień z przestrzennym elementem sprężystym. Po przeprowadzeniu próby elementy badawcze podano pomiarom, a ich wyniki zanalizowano w świetle ich trwałości w silniku o zapłonie iskrowym. Uzyskane wyniki prac badawczych świadczą korzystnie na rzecz uruchomienia produkcji seryjnej badanych prototypowych pierścieni. Wyniki badań wykazały, że pierścienie wykonane według technologii zwijania z taśmy stalowej nie wykazały falistości ich powierzchni, obraz współpracy z półkami tłoka nasuwa wniosek o małej zdolności pierścienia zgarniania oleju smarującego do miski olejowej; znaczące wartości zużycia grubości promieniowej drugich pierścieni uszczelniających. - są one wynikiem zastosowanej konstrukcji; podcięcie wewnętrzne na dolnej krawędzi oraz pierścienia minutowego. Wyniki te są potwierdzone ubytkami masy drugich pierścieni uszczelniających. W wypadku trzecich pierścieni olejowych zmierzono małe wartości zużycia zarówno grubości jak i wysokości górnych i dolnych bieżni tych pierścieni

Słowa kluczowe: *silnik spalinowy, stalowy pierścień tłokowy, zużycie,*

1. Cel i zakres pracy

Celem prac badawczych było sprawdzenie trwałości zespołowej i zużycia silnika spalinowego o zapłonie iskrowym wyposażonego w nowe uszczelniające pierścienie tłokowe oraz składane prototypowe pierścienie zgarniające z elementem sprężystym typu Niflex. Przy czym jako pierwsze pierścienie uszczelniające użyto pierścieni wykonanych w technologii zwijania z taśmy stalowej, podane procesowi azotowania. Zakres pracy obejmował wykonanie 300 godzinnej próby trwałości zespołowej silnika, pomiary geometryczne grubości, wysokości i wagi pierścieni tłokowych oraz badania organoleptyczne powierzchni tulei cylindrowych i tłoków, z którymi one współpracowały. Niniejsze prace stanowią kontynuację cyklicznych badań trwałości zespołu TPC silnika spalinowego, których wyniki opublikowano w pracach [1, 2]. Tym razem zwiększono czas trwania próby do 300 godzin.

2. Kompletacja zespołów pierścieni tłokowych

Do badań użyto pierścienie tłokowe, które zostały zamontowane wg następującej kompletacji: 1, 2, 3, 4, cylinder:

- I rowek tłoka – pierścień tłokowy uszczelniający prostokątny stalowy z baryłką symetryczną azotowany w technologii „Nitrex”.
- II rowek tłoka – pierścień tłokowy uszczelniający minutowy z fazą wewnętrzną dolną z żeliwa sferoidalnego S-14
- III rowek tłoka – pierścień tłokowy olejowy stalowy składany z bieżniami chromowanymi i elementem sprężystym typu Niflex.

3. Przeprowadzenie próby trwałości zespołowej

Po wykonaniu prac pomiarowych grubości, wysokości oraz masy pierścieni, przeprowadzono montaż badanych pierścieni tłokowych i innych elementów silnikowych z nimi współpracujących w silniku spalinowym o zapłonie iskrowym typu 1170A1 046 900 SPI CF2 ”BASIC S” POLONIA samochodu Seicento 900. Silnik zamontowano na stanowisku hamownianym w laboratorium Zakładu Pojazdów Samochodowych i Silników Spalinowych Instytutu Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Wrocławskiej. Silnik w trakcie trwania próby był zasilany benzyną bezołowiową PB 95 Eurosuper o ciężarze właściwym $0,755 \text{ g/cm}^3$. Jako środka smarującego użyto oleju SELENIA VS MAX 15W/40. Środkiem chłodzącym był płyn chłodzący PARAFU 11.

Próba silnikowa składała się z 50-cio godzinnego cyklu *docierania silnika* oraz godzinnego cyklu *trwałości zespołowej*, który został powtórzony 250 razy. W ten sposób osiągnięto łączny czas trwania próby równy 300 godzin. *Docieranie silnika* było prowadzone według zamieszczonego poniżej w tabeli 1 zestawienia.

Tabela 1. Cykl docierania silnika
Table 1. Test of reaching the engine

Lp.	Czas %	Czas h	Moc %	Moc KW	Obroty %	Obroty Obr/min
1	0-5	2,5	0	0	30	1650
2	5-8	1,5	13	4	40	2200
3	8-25	8,5	35	10	60	3300
4	25-50	12,5	50	14,5	70	3850
5	50-80	15	70	20	90	4950
6	80-90	5	75	22	95	5220
7	90-100	5	100	29	100	5500

Po zakończeniu cyklu docierania stwierdzono, że silnik osiąga moc 29 kW przy obrotach równych 5500 obr/min oraz maksymalny moment obrotowy równy około 65 Nm w zakresie od 2800 do około 3300 obr/min. Dane te były zgodne z danymi fabrycznymi silnika i pozwoliły na wyznaczenie wartości punktów cyklu trwałości zespołowej przedstawionego w tabeli 2. *Cykl trwałości zespołowej* jest to godzinny cykl zawierający fazy ruchu silnika pod obciążeniem maksymalnym przy obrotach momentu maksymalnego i maksymalnej mocy oraz fazy ruchu pod obciążeniem częściowym i na biegu luzem.

Tabela 2. Cykl trwałości zespołowej
Table2. Team durability test

Lp.	Czas %	Czas Min	Moc %	Moc KW	Moment %	Moment Nm	Obroty %	Obroty obr/min	Pomiar
1	11	10	0	0	0	0	100%	5500	Tak
2	25	15	68	20	100	65	Mom. Max	3000	Tak
3	11	10	50	14	70	45,5	75%	4120	Tak
4	11	10	100	29	90	58,5	Mocy max.	5500	Tak
5	11	15	0	0	0	0	Bieg jałowy	950	Tak

W trakcie pomiaru były mierzone podstawowe wskaźniki pracy silnika; wartości zużycia paliwa, temperatury cieczy chłodzącej i oleju smarującego oraz ciśnienia oleju smarującego. W trakcie trwania próby po okresie docierania wymieniono olej smarujący wraz z filtrem oleju. Przebieg próby był bezawaryjny.

4. Wartości zużycia pierścieni tłokowych

W celu obliczenia wartości zużycia pierścieni tłokowych policzono różnicę pomiarów ich grubości i wysokości przed i po próbie 300 godzinnej. Wyniki tych obliczeń przedstawiono w tabeli 3 oraz w tabeli 4.

Tabela 3. Zużycie grubości promieniowej pierścieni tłokowych
Table3. The wear of radial thickness of piston rings

Nr Pierś.	Wartość zużycia; różnica pomiaru grubości przed i po badaniach, mm.										Z _{sr} Mm
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1/1	0,002	0	0	0,002	0,004	0,001	0,002	0,001	0,003	0	0,0015
2/1	0	0	0,002	0,002	0,002	0,001	0,004	0,003	0,003	0,004	0,0021
3/1	0,005	0,002	0,005	0,003	0,003	0,003	0,005	0,006	0,004	0,004	0,004
4/1	0,001	0,002	0,002	0	0,001	0	0,002	0,001	0	0,002	0,0011
1/2	0,01	0,005	0,004	0,007	0,003	0,004	0,006	0,005	0,004	0,008	0,0056
2/2	0,006	0,001	0,001	0,005	0,003	0,001	0	0,006	0,009	0,008	0,004
3/2	0,009	0,007	0,006	0,005	0,009	0,006	0,007	0,006	0,009	0,007	0,0071
4/2	0,018	0,002	0,005	0,008	0,003	0,002	0,004	0,008	0,005	0,009	0,0064
1G/3	0,008	0,005	0,007	0,005	0,005	0,007	0,009	0,007	0,005	0,006	0,0064
1D/3	0,004	0,009	0,002	0,005	0,005	0,009	0,004	0,009	0,001	0,006	0,0054
2G/3	0,007	0,011	0,004	0,005	0,005	0,003	0,005	0,005	0,003	0,005	0,0053
2D/3	0,002	0,004	0	0,001	0,002	0,002	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002
3G/3	0,005	0	0,003	0,007	0,002	0,003	0,002	0,006	0,006	0,002	0,0036
3D/3	0,004	0,002	0,004	0,004	0,001	0,001	0,004	0,003	0,004	0,004	0,0031
4G/3	0,004	0,001	0,004	0,005	0,005	0,013	0,003	0,005	0,004	0,006	0,005
4D/3	0,003	0,006	0,003	0,004	0,003	0,013	0,006	0,005	0,001	0,006	0,005

5. Analiza wyników pomiarów badań zużycia pierścieni

Przebieg godzinowego cyklu trwałości zespołowej został tak zaprogramowany, aby silnik pracował na takich nastawach, aby w maksymalny, możliwy do uzyskania, sposób, spowodować jego wyczerpanie. Przykładowo, podczas pracy na mocy maksymalnej (punkt 4. cyklu) cały układ wydechowy, łącznie z tłumikiem końcowym, osiągał temperatury czteronowego żaru i wyższe w przypadku kolektora wydechowego. W związku z powyższym zanotowano mieralne wartości

zużycia wszystkich pierścieni tłokowych zarówno uszczelniających, jak i bieżni pierścieni zgarniających.

Badania organoleptyczne pierścieni tłokowych wykazały dla wszystkich pierścieni prawidłową ich współpracę z tłokami i tulejami cylindrowymi, będącą wynikiem nadania im odpowiednich cech konstrukcyjnych. W szczególności stwierdzono, co następuje:

5.1. Pierwsze pierścienie uszczelniające

Pierwsze pierścienie uszczelniające wykonane zostały w technologii zwiłania z taśmy stalowej oraz poddane procesowi azotowania (rys. 1).

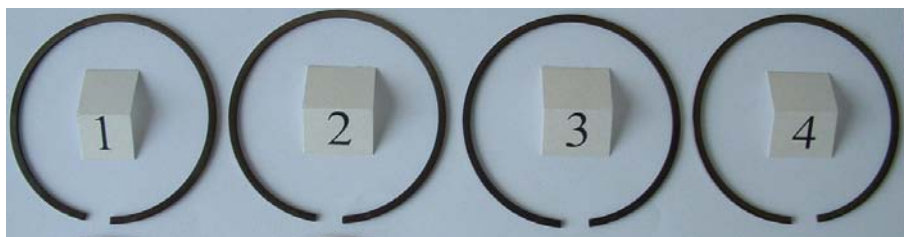
Tabela 4. Zużycie wysokości osiowej pierścieni tłokowych
Table3. The wear of axial high of piston rings

Nr Pierś.	Wartość zużycia; różnica pomiaru wysokości przed i po badaniach, mm.										Z _{sr} mm
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1/1	0,001	0	0	0	0	0	0	0	0,001	0	0,0002
2/1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3/1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4/1	0	0	0,001	0	0	0	0	0	0	0	0,0001
1/2	0	0,001	0	0	0	0	0,002	0,002	0,002	0,002	0,0009
2/2	0	0	0	0	0	0,001	0	0,001	0	0,002	0,0004
3/2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4/2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1G/3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1D/3	0	0	0,001	0	0	0	0	0	0,001	0,001	0,0003
2G/3	0	0	0	0	0,001	0	0	0	0	0	0,0001
2D/3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3G/3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3D/3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4G/3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4D/3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

W podobny sposób, jak wartości zużycia grubości i wysokości pierścieni wyliczono ubytek ich masy. Wyniki tych obliczeń zestawiono w tabeli 5.

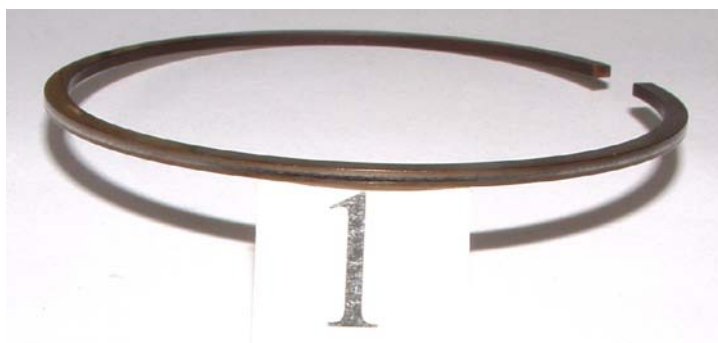
Tabela 5. Zmiana masy pierścieni tłokowych
Table5. Change of mass of piston rings

Nr pierścienia.	Ubytek masy, g
1/1	0,0007
2/1	0,0015
3/1	0,0010
4/1	0,0025
1/2	0,0042
2/2	0,0025
3/2	0,0036
4/2	0,0060
1G/3	0,0031
1D/3	0,0028
2G/3	0,0030
2D/3	0,0034
3G/3	0,0014
3D/3	0,0039
4G/3	0,0038
4D/3	0,0028



Rys. 1. Widok pierwszych pierścieni uszczelniających po próbie
Fig.1 The view of surface of first sealing rings after the durability test

We wszystkich pierścieniach ślady współpracy na górnej półce są skupione na całym obwodzie przy krawędzi wewnętrznej (rys. 1). Dolna półka wykazuje ślady współpracy na całej szerokości na całym obwodzie powierzchni.



Rys. 2. Widok powierzchni pierwszego pierścienia uszczelniającego cylindra nr 1
Fig.2 The view of surface of first sealing rings of sleeve No. 1

Boczna powierzchnia współpracy z tuleją cylindrową dla wszystkich pierścieni wykazuje prawidłowy jej obraz (rys. 2). Jej powierzchnia w części środkowej jest równomiernie wybliszczona na całym obwodzie. Pierścienie te wykazują prawidłowy charakter pracy, rokujący duże trwałości zespołu tłok – pierścien – tuleja cylindrowa.

Nie stwierdzono falistości powierzchni górnej i dolnej tych pierścieni.

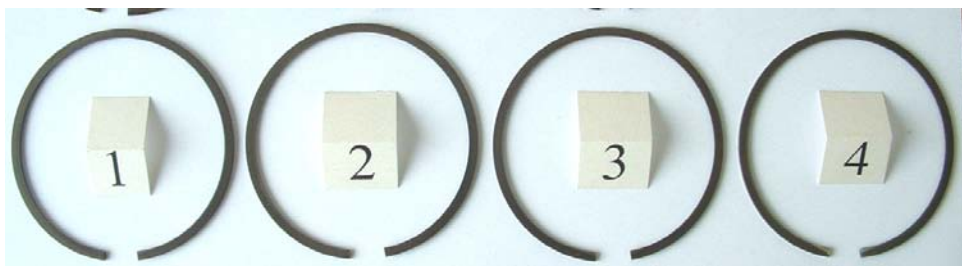
Podsumowując stwierdzono małe wartości zużycia grubości promieniowej pierwszych pierścieni uszczelniających. Pierścienie te bardzo dobrze rokują jako pierścienie uszczelniające stosowane w silniku o zapłonie iskrowym.

5.2. Drugie pierścienie uszczelniające

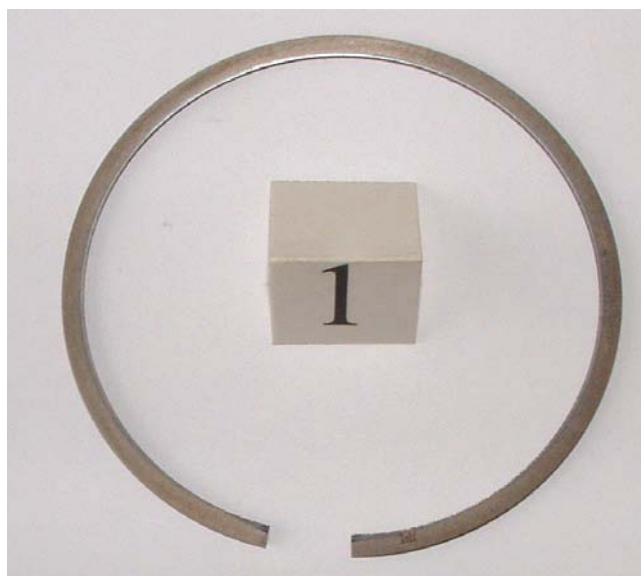
Drugie pierścienie uszczelniające zostały wykonane w technologii pierścieni minutowych z podcięciem wewnętrznym dolnym. Zastosowanie podcięcia wewnętrznego dolnego powoduje obrót pierścienia wokół osi swobodnej, pomniejszając kąt pomiędzy powierzchnią roboczą pierścienia, a powierzchnią tulei cylindrowej. W sumie zmniejsza to efekt zgarniania oleju smarującego do miski olejowej powodując jednocześnie współpracę półek pierścienia krawędziami z powierzchniami rowka tłoka. Potwierdzeniem tej sytuacji jest obraz drugich pierścieni uszczelniających (rys. 3).

Wszystkie te pierścienie współpracowały z rowkami tłoka na górnej powierzchni krawędzią wewnętrzną (rys. 4), a na dolnej powierzchni ślady współpracy skupiają się w pobliżu krawędzi zewnętrznej. Jednakże wyraźnie widoczna jest strefa granicy współpracy z dolną powierzchnią rowka w tłoku w pobliżu krawędzi w odległości około 0,3 mm od niej.

Granica ta jest w przypadku wszystkich pierścieni widoczna prawie na całym obwodzie. Ponadto wyraźnie widoczne jest zużycie dolnej półki właśnie na tej powierzchni.



Rys. 3. Widok drugich pierścieni uszczelniających po próbie
Fig.3 The view of second rings after the durability test



Rys. 4. Widok powierzchni górnej półki drugiego pierścienia uszczelniającego cylindra 1
Fig.4 The view upper shelf of second sealing ring of the sleeve No. 1

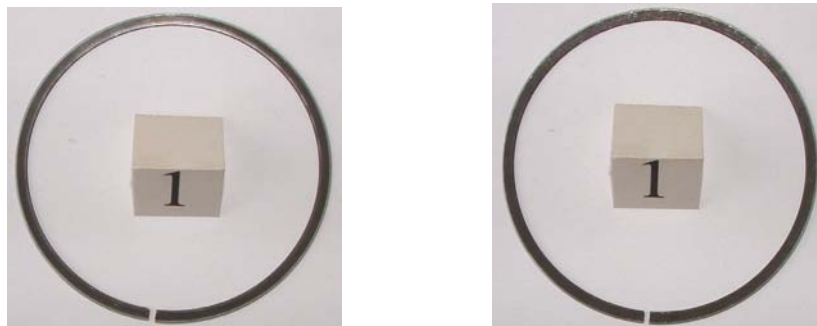
5.3. Trzecie pierścienie zgarniające

Jako pierścienie olejowe zamontowano składane, trzyczęściowe pierścienie z elementem sprężystym typu Niflex (rys. 5).

Oznaczono je jako 1/3, 2/3, 3/3, 4/3 i zamontowano odpowiednio w gniazdach 1., 2., 3. i 4. silnika. We wszystkich pierścieniach stwierdzono współpracę górnej powierzchni górnej bieżni z rowkiem pierścieniowym tłoka na całej powierzchni. Wyraźnie współpraca jest skupiona w pobliżu krawędzi wewnętrznej (rys. 6). W przypadku dolnej bieżni jej dolna powierzchnia również nosi ślady współpracy na całej powierzchni. Przy czym jest ona skupiona przy krawędzi wewnętrznej. Dla każdego z pierścieni stwierdzono, że dolna powierzchnia bieżni górnej oraz górna powierzchnia bieżni dolnej stykała się z elementem sprężystym w sposób spoczynkowy. Świadczy o tym ich wygląd przedstawiony również na rys. 6. Na rys. 7 oraz rys. 8 przedstawiono fotografie złożonych pierścieni olejowych w stanie swobodnym.



Rys. 5. Widok trzecich olejowych pierścieni składanych po próbie
Fig.5 The view of oil rings after the durability test



Rys. 6. Widok górnej powierzchni górnej półki (po lewej) oraz górnej powierzchni dolnej półki (po prawej) olejowego pierścienia składanego cylindra nr 1
Fig.6 The view of upper surface of the upper shelf (left) and upper surface of the bottom shelf of oil ring of sleeve No.1

Nie stwierdzono falistości powierzchni górnej i dolnej obu bieżni tych pierścieni, a bieżnie pierścieni wykazują ślady współpracy na całej swojej powierzchni. Elementy sprężyste noszą jedynie ślady prawidłowej współpracy z bieżniami.

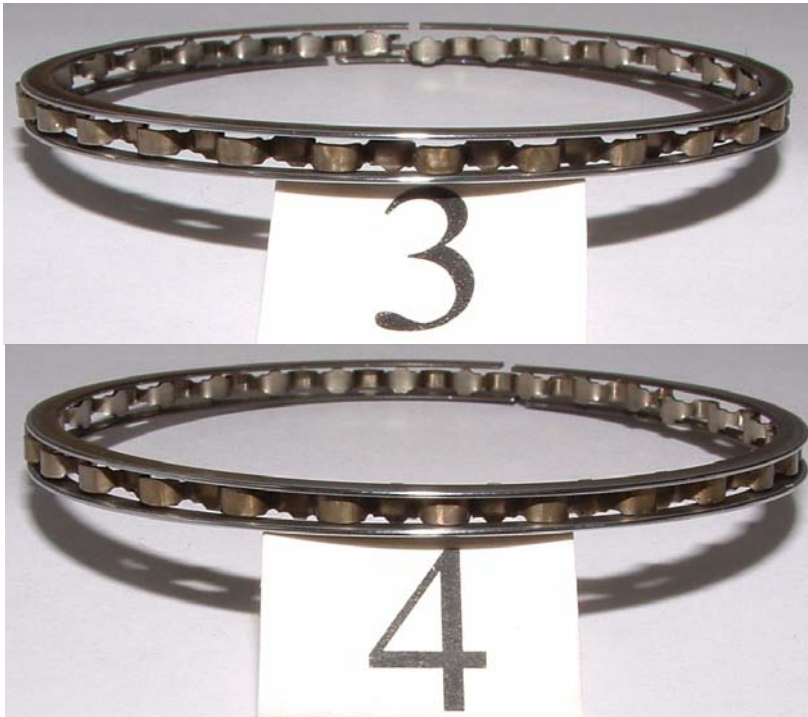
Podsumowując trzecie pierścienie olejowe wykazują prawidłowy obraz współpracy.

6. Badania organoleptyczne elementów współpracujących z pierścieniami tłokowymi

Po przeprowadzeniu próby silnik poddano badaniom organoleptycznym. Stwierdzono, że elementy współpracujące z pierścieniami tłokowymi uległy niemierzalnemu zużyciu.



Rys. 7. Widok pierścieni olejowych 1 i 2 cylindra
Fig.7 The view of oil ring of the sleeve No.1 and No.2.



Rys. 8. Widok pierścieni olejowych 3 i 4 cylindra
Fig.8 The view of oil ring of the sleeve No.3 and No.4.

6.1. Tuleje cylindrowe

Stwierdzono, że tuleje cylindrowe uległy bardzo małemu zużyciu. Wszystkie tuleje są równomiernie dotarte na całym obwodzie i na całej powierzchni współpracy z pierścieniami tłokowymi. Widoczne są rysy holownicze (rys. 9).

We wszystkich tulejach najmniejsze zużycie zaobserwowano pomiędzy GMP I pierścienia uszczelniającego, a GMP II pierścienia uszczelniającego. Oznacza to, że współpraca pomiędzy pierścieniami azotowanymi i tuleją żeliwną była dobra i dobrze rokuje na przyszłość, wzięwszy pod uwagę niemierzalne wartości zużycia tulei. We wszystkich tulejach pomiędzy GMP III pierścienia, a DMP I pierścienia stwierdzono w kierunku prostopadłym do przekroju poprzecznego silnika występowanie rys wzdłużnych po obu stronach tulei. Należy dodać, że tuleje mają sumaryczny przebieg równy 1100 godzin ruchu silnika (cztery próby trwałości zespołowej). Stan tulei jest wynikiem sumarycznego przebiegu 00 godzin.



Rys. 9. Widok bloku silnika po próbie
Fig.9 The view of the cylinder block after test

6.2. Tłoki

W tej próbie użyto nowe tłoki o standardowej wysokości rowka pierwszego pierścienia uszczelniającego. Badania organoleptyczne tłoków nie wykazały istotnego ich zużycia. Współpraca zarówno z pierścieniami tłokowymi, jak i z tulejami cylindrowymi była prawidłowo. Stwierdzono jedynie niewyczuwalne drobne zarysowania płaszcza wszystkich tłoków w przekroju równoległym do osi sworznia tłokowego (rys. 10).

7. Wnioski po próbie trwałości zespołowej

- oględziny pierścieni wykonanych wg technologii zwijania z taśmy stalowej nie wykazały falistości ich powierzchni. Obraz współpracy z półkami tłoka nasuwa wniosek o małej zdolności pierścienia zgarniania oleju smarującego do miski olejowej; współpraca górną częścią bieżni z tuleją cylindrową,
 - zmierzono znaczące wartości zużycia grubości promieniowej drugich pierścieni uszczelniających. Są one wynikiem zastosowanej konstrukcji; podcięcie wewnętrzne na dolnej krawędzi oraz pierścien minutowy. Wyniki te są potwierdzone ubytkami masy drugich pierścieni uszczelniających,
- w przypadku trzecich pierścieni olejowych zmierzono małe wartości zużycia zarówno grubości jak i wysokości górnych i dolnych bieżni tych pierścieni. Świadczy to o dobrej ich odporności na zużycie oraz prawidłowej współpracy z elementem sprężystym i żeliwną tuleją cylindrową



Rys. 10. Widok tłoków po próbie
Fig.10 The view of the piston after test

Literatura

- [1] Kaźmierczak, A., *Analiza wyników badań trwałościowych prototypowych pierścieni tłokowych silnika o zapłonie iskrowym*, Journal of KONES Internal Combustion Engines, vol.11, No.1-2, s.314-321, 2004.
- [2] Kaźmierczak A., *Badania prototypowych pierścieni tłokowych i analiza wyników zużycia*, Journal of KONES Internal Combustion Engines, vol.12, No.3-4, s.149-158,2005.