

Przemysław Tyczewski*

ANALIZA ZUŻYCIA WĘZŁÓW TARCIA SPRĘŻAREK CHŁODNICZYCH PRACUJĄCYCH W WYSOKIEJ TEMPERATURZE I CIŚNIENIU

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badania zużycia węzłów tarcia rzeczywistej sprężarki chłodniczej pracującej w wysokiej temperaturze i ciśnieniu. Badania wykonano na stanowisku badawczym składającym się z rzeczywistych elementów chłodniczych. Na urządzeniu tym można symulować niekorzystne prace sprężarki, między innymi pracę w wysokiej temperaturze i ciśnieniu. Do analizy zużycia wybrano następujące elementy ruchowe sprężarki: panewkę korbowodu, łożysko ślizgowe, czop wału korbowego i cylinder tłoka. Analiza zużycia polegała na porównaniu profili chropowatości powierzchni przed i po próbie badawczej. Dodatkowo produkty zużycia poddano mikroanalizie rentgenowskiej w skaningowym mikroskopie elektronowym.

Słowa kluczowe: badania, sprężarka chłodnicza, zużycie

Wstęp

Elementy ruchowe sprężarek chłodniczych narażone są na różnego rodzaju procesy zużycia w zależności od stosowanych olejów i czynników chłodniczych [3, 4, 5]. Przyczynami mechanicznych uszkodzeń sprężarek jest brak oleju, przegrzanie sprężarki, uderzenie cieczowe, rozruch zalanej sprężarki oraz zalanie ciekłym czynnikiem. Niewłaściwe smarowanie spowodowane jest najczęściej stosowaniem nieodpowiednio dobranego oleju do czynnika chłodniczego. Tworzy się wówczas mieszanina olej – czynnik chłodniczy.

Olejom stosowanym w układach chłodniczych oprócz podstawowych wymagań (smarowania oraz chłodzenia sprężarki) stawia się wymóg odporności na krzepnięcie w niskich temperaturach występujących w parowniku oraz mieszalność i kompatybilność z czynnikami chłodniczymi. Oleje muszą posiadać odpowiednie właściwości smarne zapewniające tworzenie się filmu olejowego na elementach trących, jak również zdolność powrotu z układu chłodniczego do sprężarki [2].

W instalacji chłodniczej, układ olej – czynnik chłodniczy cechuje się złożonymi zależnościami. W przypadku przekroczenia wzajemnej mieszalności część czynnika jest zaabsorbowana przez olej. Rozpuszczalność czynnika w oleju uzależniona jest między innymi od bazy oleju. W zależności od składu mieszaniny, temperatury i ciśnienia mieszanina oleju z czynnikiem może mieć charakter jednofazowy lub dwufazowy. Złożone zależności w przypadku mieszaniny olej – czynnik chłodniczy powodują, iż właściwości smarne i przeciwzużyciowe

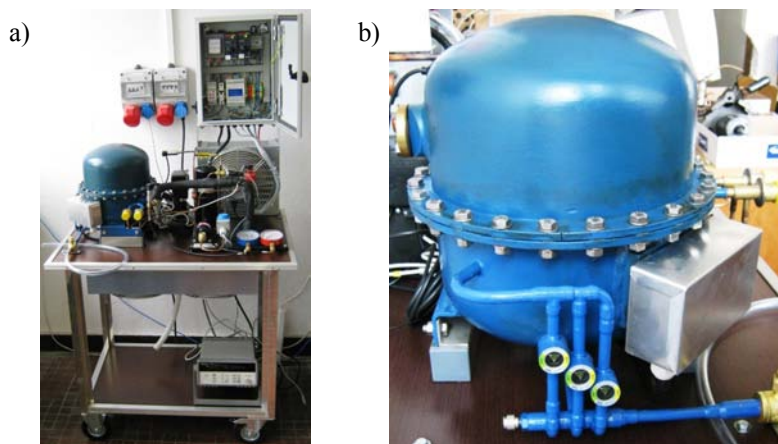
* *Instytut Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych, Politechnika Poznańska, przemyslaw.tyczewski@put.poznan.pl*

są dużo gorsze niż oleju czystego. Ze względu na możliwość rozcieńczania oleju czynnikiem chłodniczym stosuje się oleje o zwiększonej lepkości.

Z uwagi na zmieniające się przepisy dotyczące stosowania substancji zubożających warstwę ozonową wprowadzane są nowe czynniki chłodnicze do urządzeń i instalacji chłodniczych. Czynniki chłodnicze z olejami sprężarkowymi tworzą mieszaniny powodujące przyspieszone zużycie sprężarek chłodniczych [1, 6, 7]. Ze względu na złożoność problemów obecnie nie ma ustalonych międzynarodowych norm dotyczących wymagań olejów stosowanych w sprężarkach chłodniczych. W obecnym czasie nie ma uniwersalnego oleju do sprężarek chłodniczych. Olej należy dobierać dla odpowiedniej sprężarki i czynnika chłodniczego.

1. Stanowisko badawcze

W celu zbadania wpływu niekorzystnych warunków pracy instalacji chłodniczej na zużycie tribologiczne powierzchni elementów ruchowych sprężarki wykonano stanowisko badawcze (rys. 1a).

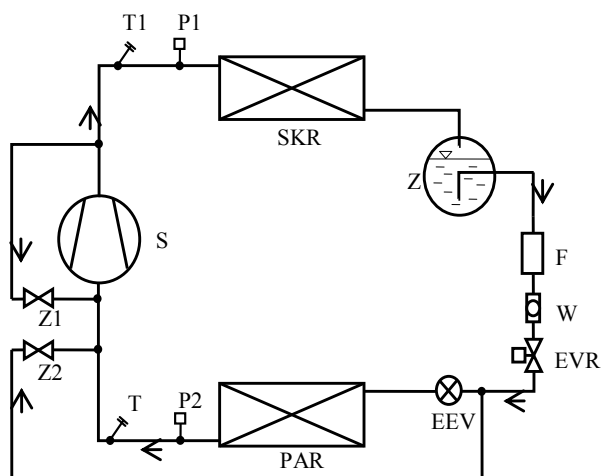


Rys. 1. Stanowisko do badania procesów zużycia sprężarek chłodniczych, a) widok stanowiska, b) korpus

Stanowisko zbudowano jako rzeczywisty układ chłodniczy składający się ze sprężarki, parownika, filtra, wzierników, elektronicznego zaworu rozprężnego, zaworu elektromagnetycznego i skraplacza. Za pomocą układu regulacji można sterować obrotami wentylatorów na parowniku i skraplaczu, wartością przegrzania oraz stopniem otwarcia zaworu rozprężnego. Najistotniejszym elementem stanowiska jest sprężarka chłodnicza znajdująca się w rozbiernalnym korpusie (rys. 1b). Semihermetyczna obudowa umożliwia wymianę sprężarki w celu oceny stopnia zużycia jej elementów ruchowych. Zestawem wzierników można kontrolować ilość oleju w korpusie. Elementy stanowiska zostały tak dobrane, aby zapewnić jak najbardziej uniwersalną instalację dla różnych czynników chłodniczych i różnych olejów.

Schemat stanowiska pokazano na rysunku 2. Na stanowisku można symulować następujące niekorzystne warunki pracy instalacji:

- praca sprężarki we wysokiej temperaturze i ciśnieniu,
- zalewanie sprężarki ciekłym czynnikiem,
- doprowadzenie gorących gazów do sprężarki,
- praca układu z powietrzem i wilgocią,
- praca sprężarki w różnych ilościach oleju,
- praca sprężarki przy braku oleju,
- praca z różnymi czynnikami chłodniczymi,
- praca z różnymi olejami.



Rys. 2. Schemat stanowiska badawczego, S – sprężarka zamontowana w rozbiornym obudowie; SKR – skraplacz; PAR – parownik; Z – zbiornik czynnika chłodniczego; F – odwadniacz; W – wziernik; EVR – zawór elektromagnetyczny; EEV – elektroniczny zawór rozprężny, sterowany mikroprocesorowym sterownikiem EVD evolution; Z1 – zawór (praca gorąca); Z2 – zawór (praca mokra); T1, T2 – czujniki temperatury; P1, P2 – czujniki ciśnienia

Praca sprężarki w wysokiej temperaturze i ciśnieniu. Niekorzystne warunki pracy sprężarki to praca na możliwie niskim ciśnieniu, praca na możliwie wysokim ciśnieniu oraz wysokie przegrzanie czynnika. Odpowiednio sterując obrotami wentylatorów można uzyskać wysoką temperaturę tłoczenia, a więc wysoką, niekorzystną temperaturę, w której pracuje sprężarka. Podczas próby przy zamkniętych zaworach Z1 i Z2 i odpowiednich nastawach układ będzie pracował na wysokich parametrach pracy.

Zalewanie sprężarki ciekłym czynnikiem. W celu uzyskania na stanowisku sytuacji, w której do sprężarki na stronę ssawną dostaje się czynnik chłodniczy w formie ciekłej (praca mokra) należy otworzyć zawór Z2. Przez zawór następuje przepływ czynnika w fazie ciekłej do sprężarki powodując, że na elementy ruchowe sprężarki działa mieszanina oleju i ciekłego czynnika.

Doprowadzenie gorących gazów do sprężarki. Doprowadzenie gorących gazów do sprężarki ma za zadanie stworzenie niekorzystnych warunków pracy, poprzez podniesienie temperatury pracy sprężarki. Otwarcie zaworu Z1 powodują wprowadzenie gorących gazów na stronę ssawną sprężarki.

Praca układu z powietrzem i wilgocią. Praca układu z powietrzem i wilgocią prowadzi do istotnego zanieczyszczenia układu. W celu dostania się do układu powietrza wraz z wilgocią należy zassać do instalacji powietrze wraz z wodą z otoczenia.

Praca sprężarki przy braku oleju. Kolejna próba to praca przy braku oleju. Niewielką ilość oleju w sprężarce można otrzymać zlewając olej z obudowy za pomocą króćca spustowego.

Praca sprężarki w różnych ilościach oleju. Zastosowany układ wżerników przy rozbiornalnej obudowie sprężarki umożliwia kontrolę ilości oleju, w którym pracuje sprężarka. Ilość oleju można regulować poprzez spuszczenie oleju za pomocą króćca z zaworem zakończonym przewodem elastycznym. Zbyt wysoki poziom może zaburzać pracę sprężarki i powodować wzrost przerzutu oleju do instalacji chłodniczej. Zbyt niski poziom może przyczynić się do złego smarowania, co może stać się przyczyną jej uszkodzenia [8].

Praca z różnymi czynnikami chłodniczymi. Elektroniczny zawór rozprężny wraz z elektronicznym sterownikiem firmy Carel zapewnia możliwość współpracy instalacji z różnymi czynnikami chłodniczymi. Zmianę pracy zaworu, zależną od zastosowania czynnika, należy zmienić w sterowniku wybierając odpowiedni czynnik chłodniczy.

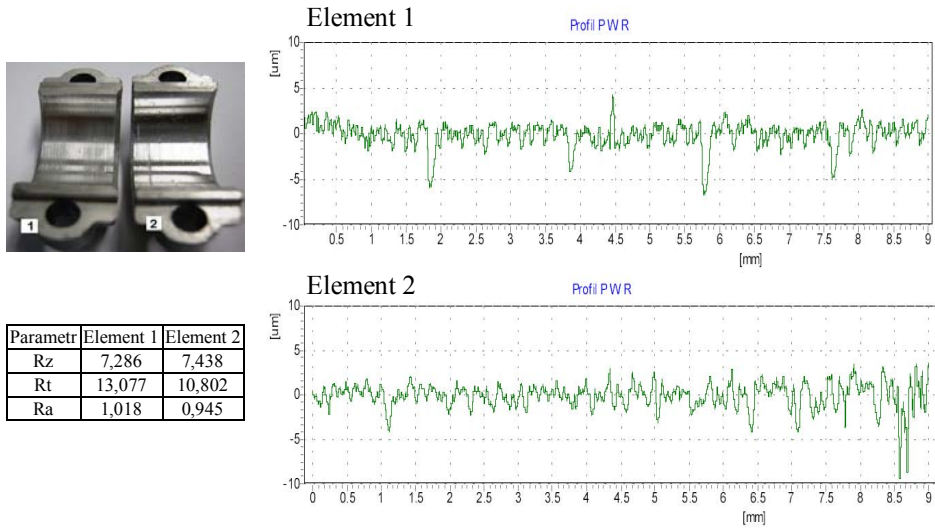
Praca z różnymi olejami. Obowiązkowa wymiana w instalacjach starych czynników na nowe, które najczęściej pracują z olejami syntetycznymi, skutkuje możliwością pozostawienia niewielkich ilości starego, najczęściej mineralnego oleju w instalacji. Zatem w instalacji może znajdować się mieszanina różnych olejów.

2. Wyniki badań

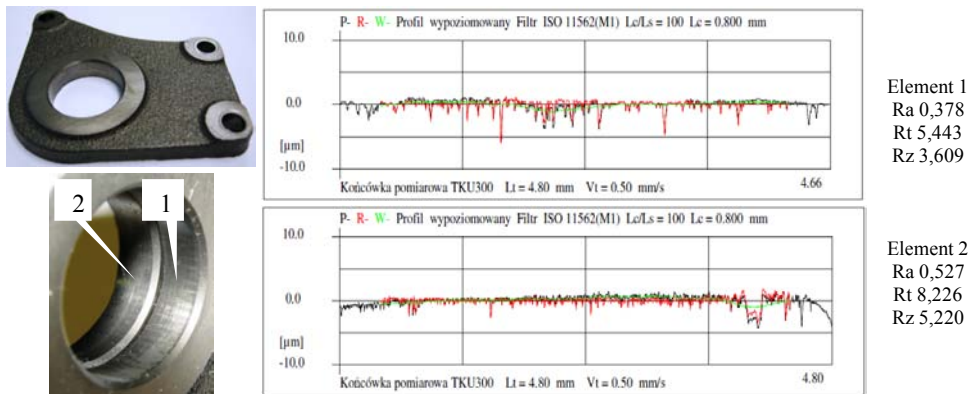
Przedstawione stanowisko badawcze wykorzystano w celu zbadania wpływu niekorzystnych warunków pracy na rzeczywiste powierzchnie ślizgowe elementów sprężarki. Badania przeprowadzono podczas 30 dniowego testu, w którym temperatura tłoczenia wynosiła 380 T, temperatura ssania 281 T, ciśnienie tłoczenia 2,74 MPa, ciśnienie ssania 0,12 MPa. Do badań wykorzystano olej do sprężarek chłodniczych tłokowych TOTAL PLANETELF ACD 32. Jest to olej syntetyczny poliestrowy na bazie estrów polioili (POE). Instalacja chłodnicza była napełniona czynnikiem R407C (ZEO) o składzie: 23% R32 (CH_2F_2), 25% R125 (C_2HF_5) i 52% R134 ($\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_4$).

Hermetyczna sprężarka tłokowa Embraco Aspera NE9213GK ma kilka węzłów ruchomych. Powierzchnie ślizgowe to: czopy wału korbowego, pokrywa łożyska korbowodu, powierzchnia tłoka, powierzchnia cylindra.

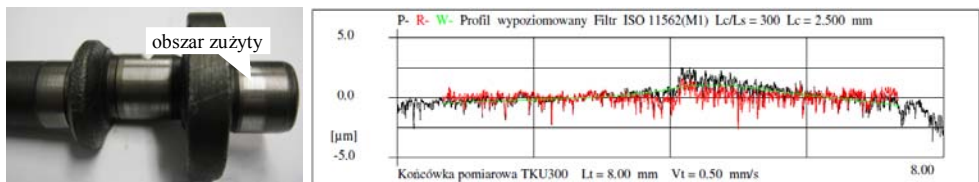
Po przeprowadzonym teście porównano profile chropowatości powierzchni po próbie z elementami nowymi. Na rysunkach 3-6 przedstawiono profile oraz wybrane parametry chropowatości porównywanych powierzchni panewki korbowodu, łożyska ślizgowego, czopu wału korbowego i cylindra tłoka.



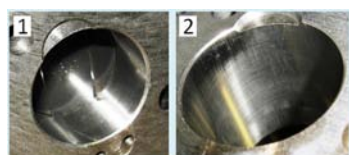
Rys. 3. Porównanie elementów; 1 – element po próbie w trudnych warunkach, 2 – element nowy



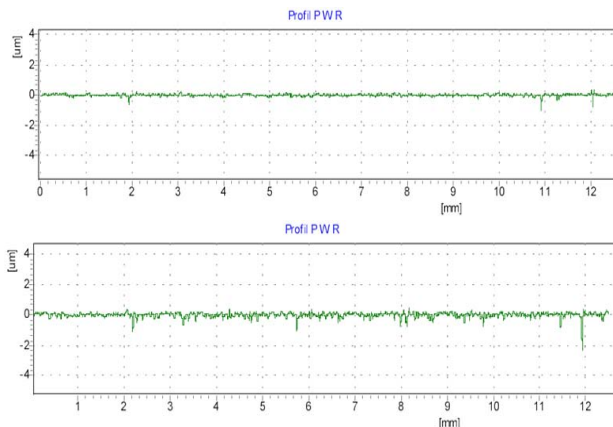
Rys. 4. Porównanie elementów. 1 – element po próbie w trudnych warunkach, 2 – element nowy



Rys. 5. Profil chropowatości czopu wałka korbowego



Parametr	Element 1	Element 2
Rz	0,683	1,574
Rt	1,342	2,807
Ra	0,053	0,108



Rys. 6. Profil chropowości cylindra tłoka; 1 – cylinder nowy, 2 – cylinder po próbie

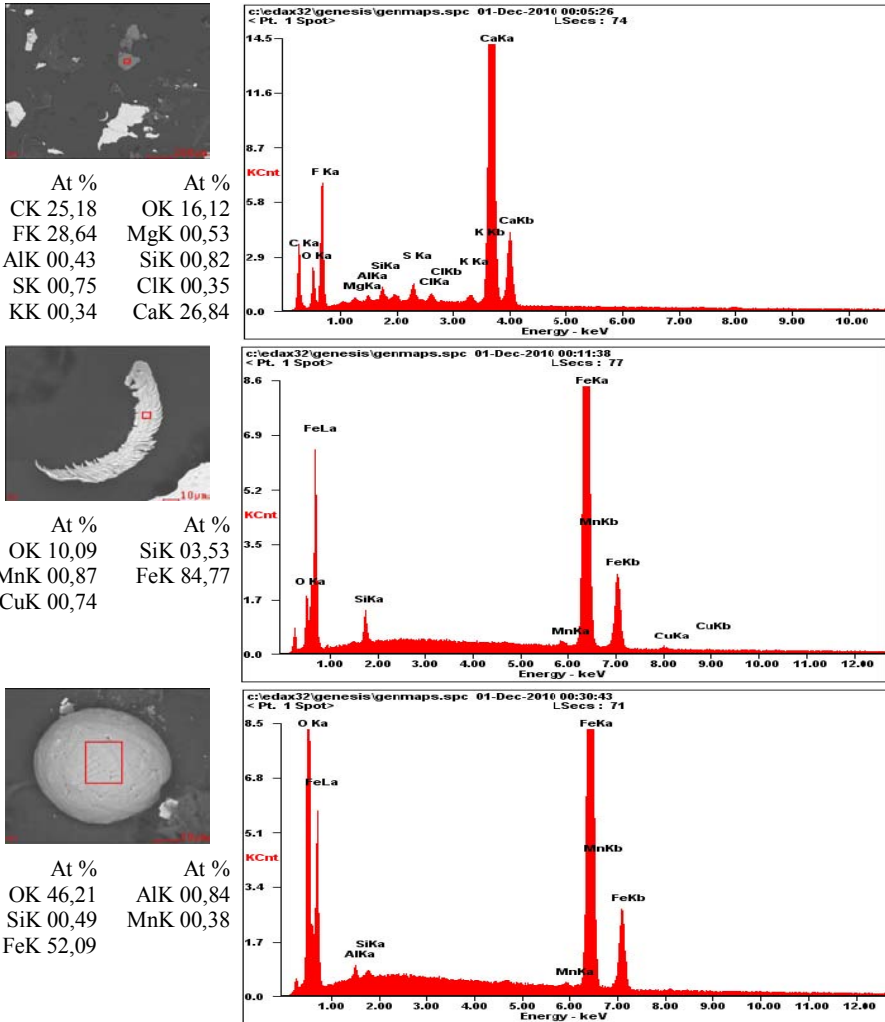
Analizując profile chropowości powierzchni elementów ślizgowych sprężarki pracującej w wysokiej temperaturze i wysokim ciśnieniu można zauważyć małe zużycia. Powierzchnie po teście mają więcej głębszych zarysowań. Powierzchnie po pracy posiadają mniej wystających wzniesień. W przypadku powierzchni cylindra tłoka i łożyska ślizgowego zanotowano wzrost wartości podstawowych parametrów chropowości, Ra o około 70%, Rt 80% i Rz 90%.

Produkty zużyciowe znajdujące się w oleju poddano mikroanalizie rentgenowskiej w skaningowym mikroskopie elektronowym przy wykorzystaniu algorytmów korekcji macierzowych ZAF. Na rysunku 7 przedstawiono zdjęcia produktów zużycia wraz z analizą jakościową i ilościową pierwiastków znajdujących się w analizowanych produktach. Produktami zużycia były elementy metalowe „opiłki” i „kulki” oraz powierzchnie płaskie „łuski”. W większości były to produkty metalowe z zawartością Fe około 52 – 95%. Znaleziono również pierwiastki C (25%), F (28%), O (16%), Ca (27%), które mogły pozostać na produktach zużycia z wykorzystywanego czynnika chłodniczego R407C.

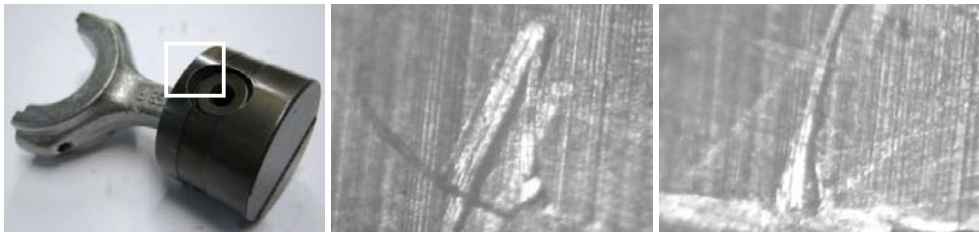
Zawartość cząstek metalu wskazuje na ścieranie lub pokruszenie elementów metalowych. Produkty zużycia stanowią zagrożenie dla powierzchni ruchowych sprężarki, ale mogą również być przyczyną awarii lub niewłaściwej pracy innych elementów układu chłodniczego jak np. zaworu rozprężnego. Na rysunku 8 przedstawiono zdjęcia tłoka w miejscu smarowania powierzchni tłoka przez otwór smarowniczy.

3. Podsumowanie

Ze względu na złożoność problemów oddziaływania oleju i czynnika chłodniczego na powierzchnie robocze sprężarki nie ma obecnie ustalonych międzynarodowych norm dotyczących wymagań olejów stosowanych w sprężarkach chłodniczych w zakresie właściwości tribologicznych.



Rys. 7. Analiza produktów zużycia po próbie w temperaturze tłoczenia 380 T i ciśnieniu tłoczenia 2,74 MPa



Rys. 8. Powierzchnia tłoka z rysami utworzonymi przez mikroskrawanie i bruzdowanie produktami zużycia znajdującymi się w mieszaninie olej – czynnik chłodniczy. Powiększenie x120

Na skonstruowanym stanowisku można symulować różne ekstremalne warunki pracy rzeczywistych sprężarek. Porównując rzeczywiste powierzchnie ślizgowe elementów sprężarki po próbie w trudnych warunkach pracy z powierzchniami nowymi można zauważyć, że powierzchnie nie uległy dużym zmianom. Zaobserwowany wzrost parametrów chropowatości Ra, Rt, Rz oraz zauważone produkty zużycia mogą świadczyć o występowaniu procesów ściernych, które doprowadziły do małych zmian powierzchni ślizgowych. Świadczy to może o odpowiednio dobranym materiałom na powierzchnie ślizgowe, które nie ulegają zużycia podczas pracy sprężarki w temperaturze 380 T i ciśnieniu 2,74 MPa przy obecności oleju syntetycznego POE i czynnika R407C. Zatem można stwierdzić, że wzrost temperatury i ciśnienia tłoczenia sprężarki nie wpływa na istotne zużycie tribologiczne powierzchni ślizgowych tłokowej sprężarki chłodniczej.

Literatura

1. Allison Y. Suh, Jayesh J. Patel, Andreas A. Polycarpou, Thomas F. Conry: Scuffing of cast iron and Al390-T6 materials used in compressor applications. *Wear*, 260 (7-8), 2006, s. 735-744.
2. Bonca, Butrymowicz D., Targański W., Flajduk T.: Poradnik – Nowe czynniki chłodnicze i nośniki ciepła. Własności cieplne, chemiczne i użytkowe. IPPU MASTA, Gdańsk 2004.
3. De Melloa J.D.B., Binderb R., Demasc N.G.: Polycarpouc A.A., Effect of the actual environment present in hermetic compressors on the tribological behaviour of a Si-rich multifunctional DLC coating. *Wear* 267 (2009) 907–915.
4. Górny K., Tyczewski P., Zwierzycki W.: Characteristics of stands for wear tests of materials for refrigeration compressors elements. *Tribologia*, 3/2010, s. 75-84.
5. Górny K., Tyczewski P., Zwierzycki W.: Ocena wpływu mieszanin olejów sprężarkowych i czynników chłodniczych na trwałość węzłów tarcia w sprężarkach chłodniczych. *Tribologia*, 4/2010, s. 117-128.
6. Górny K., Tyczewski P., Zwierzycki W.: Specification of lubricating oil operation in refrigeration compressors. *Tribologia*, 3/2010, s. 63-73.
7. Hong-Gyu Jeon, Se-Doo Oh, Young-Ze Lee: Friction and wear of the lubricated vane and roller materials in a carbon dioxide refrigerant. *Wear* 267 (2009) 1252–1256.
8. Kalinowski K.: Amoniakalne urządzenia chłodnicze. Instalacje. Zastosowania. Bezpieczeństwo. Tom 2. IPPU MASTA, Pruszczyk Gdański, 2005.

THE ANALYSIS OF FRICTION NODES OF THE REFRIGERATION COMPRESSORS OPERATING AT HIGH PRESSURES AND TEMPERATURES

Summary. The paper presents some results of the friction nodes wear examinations for the real refrigeration compressor operating under high pressure and temperature conditions. The examinations were performed on the test stand consisting of the real refrigeration elements. On this stand some disadvantageous compressor operating conditions can be simulated, namely, among others, the compressor

operation at high temperatures and high pressures. To analyse wear the following moving elements of the compressor were selected: the connecting rod bearing shell, slide bearing, crankshaft pin and piston cylinder. The analysis of wear consisted in a comparison of the surface roughness profiles before and after the test. In addition, the products of wear were subjected to X-ray microanalysis in a scanning electron microscope.

Key words: examinations, refrigeration compressor, wear