

## CHROPOWATOŚĆ POWIERZCHNI WĘZŁÓW TARCIA SPRĘŻAREK CHŁODNICZYCH PRACUJĄCYCH W NIEKORZYSTNYCH WARUNKACH EKSPLOATACJI

*Przemysław Tyczewski*

*Instytut Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych, Politechnika Poznańska*

**Streszczenie.** Celem pracy jest porównanie powierzchni węzłów tarcia sprężarek chłodniczych, pracujących w niekorzystnych warunkach eksploatacji. W pracy przedstawiono wyniki badania zużycia węzłów tarcia sprężarki chłodniczej. Badania wykonano na stanowisku eksperymentalnym, składającym się z rzeczywistych elementów chłodniczych. Na urządzeniu tym symulowano różne niekorzystne warunki pracy. Sprężarka chłodnicza pracowała w wysokiej temperaturze i ciśnieniu, w obecności mieszaniny oleju i ciekłego czynnika chłodniczego oraz w obecności gorących gazów czynnika chłodniczego. Po próbach za pomocą profilometru uzyskano profile chropowatości powierzchni. Profile te porównano z profilem chropowatości powierzchni nowego elementu. Przy ocenie otrzymanych profili nie stwierdzono istotnych zmian w chropowatości powierzchni pracujących w symulowanych warunkach pracy.

**Słowa kluczowe:** badanie, sprężarka chłodnicza, zużycie

### Wprowadzenie

Elementy ruchowe sprężarek chłodniczych mogą być narażone na różnego rodzaju procesy zużywania w zależności od stosowanych olejów i czynników chłodniczych (Cannaday i in., 2005; De Melloa i in., 2009; Górny i in., 2010a, 2010b). Przyczynami mechanicznych uszkodzeń sprężarek może być brak oleju, przegrzanie sprężarki, uderzenie cieczone, rozruch zalanej sprężarki oraz zalanie ciekłym czynnikiem. Niewłaściwe smarowanie spowodowane jest najczęściej stosowaniem nieodpowiednio dobranego oleju do czynnika chłodniczego.

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 (Bonca i in., 2004).

Układ olej-czynnik chłodniczy w instalacji chłodniczej 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 mieszaniny są dużo gorsze niż oleju bez czynnika chłodniczego.

Czynniki chłodnicze z olejami sprężarkowymi tworzą mieszaniny powodujące przyspieszone zużycie sprężarek chłodniczych (Allison i in., 2006; Hong-Gyu Jeon i in., 2009; Górny i in., 2010c; Suha, 2006). Ze względu na złożoność problemów obecnie nie ustalono międzynarodowych norm, dotyczących wymagań stawianych olejom, stosowanym w sprężarkach chłodniczych. W obecnym czasie nie ma uniwersalnego oleju do sprężarek chłodniczych. Olej należy dobierać dla odpowiedniej sprężarki i czynnika chłodniczego.

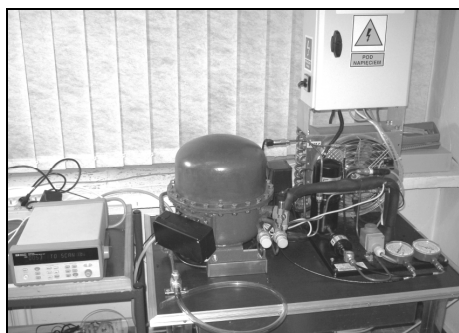
## Cel i zakres pracy

Celem pracy jest porównanie profili chropowatości powierzchni węzłów tarcia sprężarek chłodniczych, pracujących w wysokiej temperaturze i ciśnieniu, w obecności mieszaniny oleju i ciekłego czynnika chłodniczego oraz w obecności gorących gazów czynnika chłodniczego.

Praca zawiera porównanie powierzchni przed i po próbach badawczych. Do analizy wybrano profil chropowatości powierzchni cylindra tłoka sprężarki chłodniczej.

## Metoda i warunki badań

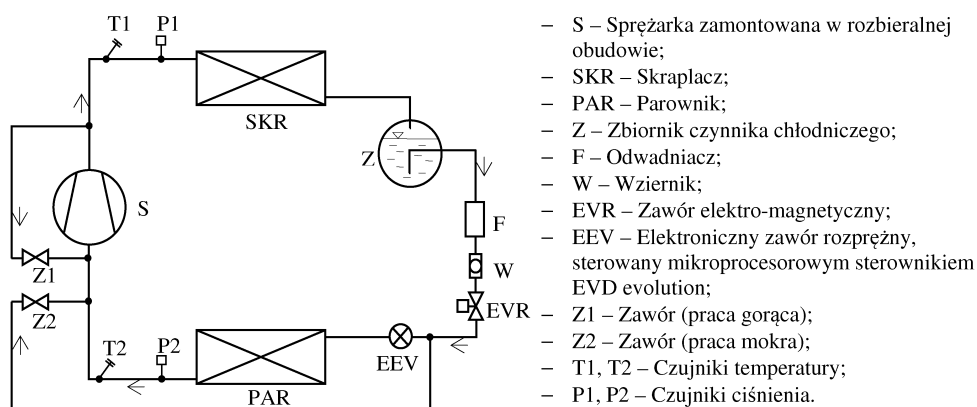
W celu zbadania wpływu niekorzystnych warunków pracy instalacji chłodniczej na zużycie tribologiczne powierzchni elementów ruchowych sprężarki wykonano stanowisko badawcze (rys. 1).



*Rysunek 1. Stanowisko do badania procesów zużycia sprężarek chłodniczych*  
*Figure 1. A stand for testing wear and tear process of refrigeration compressors*

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 rozbieralnym korpusie. Semihermetyczna obudowa umożliwia wymianę sprężarki w celu oceny stopnia zużycia jej elementów ruchomych. 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.



Rysunek 2. Schemat stanowiska badawczego  
 Figure 2. Diagram of the test rigs

Na stanowisku można symulować różne niekorzystne warunki pracy instalacji – między innymi pracę w wysokiej temperaturze i ciśnieniu, zalewanie sprężarki ciepłym czynnikiem czy doprowadzenie gorących gazów do sprężarki (Tyczewski, 2011).

Przedstawione stanowisko badawcze wykorzystano w celu zbadania wpływu niekorzystnych warunków pracy na powierzchnie ślizgowe rzeczywistych elementów sprężarki. Dokonano badania wpływu wysokiej temperatury i ciśnienia, wpływu mieszaniny oleju i ciepłego czynnika chłodniczego oraz wpływu obecności gorących gazów czynnika chłodniczego w sprężarce na zużycie powierzchni ślizgowych elementów sprężarki.

Badania w wysokiej temperaturze i ciśnieniu przeprowadzono w temperaturze tłoczenia 380 K, temperaturze ssania 281 K, ciśnieniu tłoczenia 2,74 MPa, ciśnieniu ssania 0,12 MPa. W trakcie badania z mieszaniną oleju i ciepłego czynnika chłodniczego temperatura tłoczenia wynosiła 362 K, ssania 299 K, ciśnienie tłoczenia 1,42 MPa, ssania 0,54 MPa. Badanie wpływu obecności gorących gazów czynnika chłodniczego w sprężarce na zużycie powierzchni ślizgowych elementów sprężarki wykonano przy temperaturze tłoczenia 382 K, ssania 296 K, ciśnieniu tłoczenia 2,51 MPa oraz ciśnieniu ssania 0,19 MPa. Czas bada-

nia wynosił 30 dni. Instalacja chłodnicza była napełniona czynnikiem R407C (ZEO) oraz olejem syntetycznym, poliestrowym, na bazie estrów polioili (POE). W badaniu wykorzystano hermetyczną sprężarkę tłokową Aspera NE9213GK. Powierzchnie ślizgowe sprężarki to: czopy wału korbowego, pokrywa łożyska korbowodu, powierzchnia tłoka oraz powierzchnia cylindra.

## Wyniki badań

Po przeprowadzonych testach porównano profile chropowatości powierzchni po próbach z elementami nowymi. W tabeli 1 zamieszczono wybrane parametry chropowatości. Na rysunku 3 przedstawiono profile chropowatości porównywanych powierzchni cylindra.

Tabela 1

*Wybrane parametry chropowatości porównywanych powierzchni cylindra*

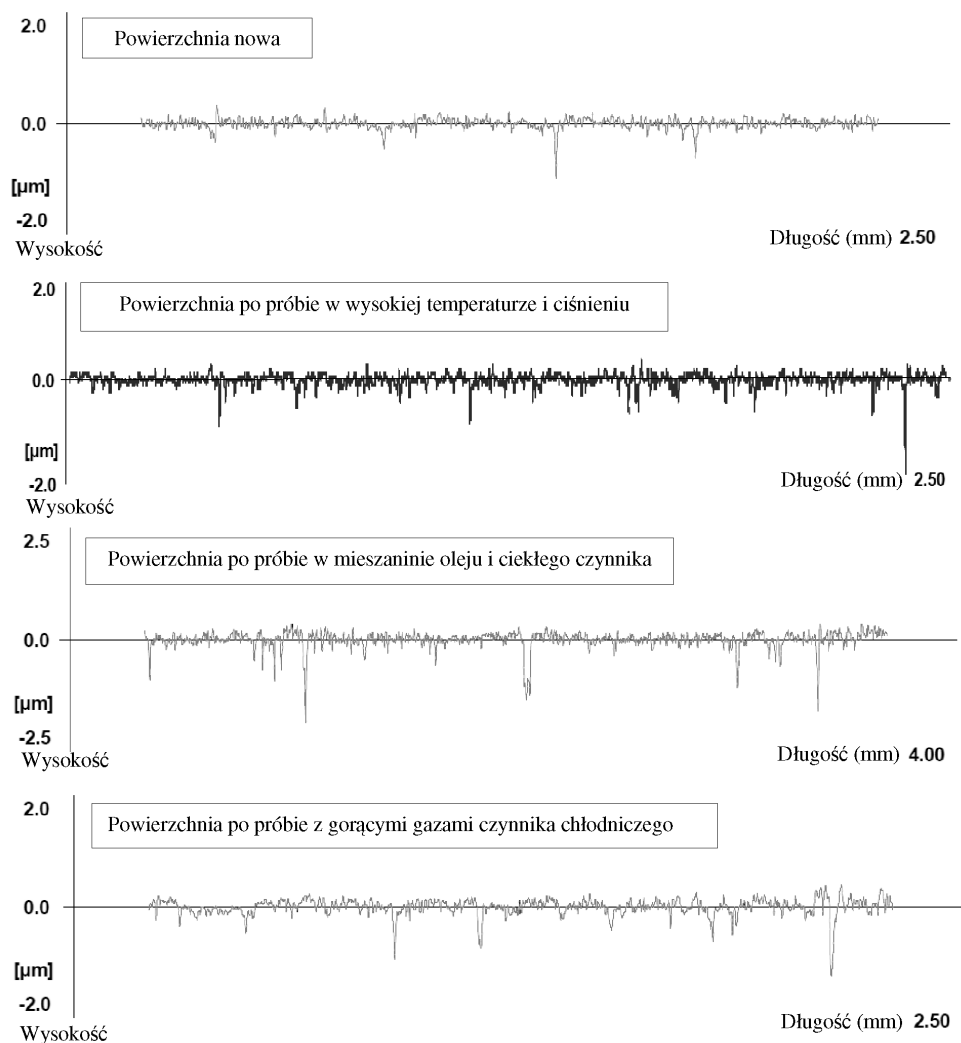
Table 1

*Selected parameters of roughness of the comparable surfaces of a cylinder*

Parametr	Element nowy (μm)	Element po próbie w wysokiej temperaturze i ciśnieniu (μm)	Element po próbie w mieszaninie oleju i ciekłego czynnika (μm)	Element po próbie z gorącymi gazami czynnika chłodniczego (μm)
Rz	0,87	1,57	1,90	1,23
Rt	1,50	2,81	2,51	1,86
Ra	0,08	0,11	0,13	0,12

Analizując profile chropowatości powierzchni cylindra tłoka sprężarki nowej oraz profile powierzchni pracujących w niekorzystnych warunkach eksploatacji, można zauważyć, iż powierzchnie po teście mają więcej głębszych zarysowań. Po każdym teście zanotowano wzrost wartości parametrów chropowatości *Rz* (największa wysokość profilu) i *Ra* (średnia arytmetyczna rzędnych profilu).

Po teście w wysokiej temperaturze i ciśnieniu nastąpił wzrost parametrów *Rz* i *Ra* odpowiednio o 31 i 38%. Po próbie w mieszaninie oleju i ciekłego czynnika nastąpił wzrost parametrów *Rz* i *Ra* o 58 i 63%. Po pracy z gorącymi gazami czynnika chłodniczego wartość parametrów *Rz* i *Ra* wzrosła o 3 i 50%. Natomiast po każdej próbie wartość parametru *Rt* (całkowita wysokość profilu) uległa zmniejszeniu. W przypadku testu w wysokiej temperaturze i ciśnieniu nastąpił spadek wartości parametru *Rt* o 20%. Po próbie w mieszaninie oleju i ciekłego czynnika nastąpił spadek wartości parametru *Rt* o 30%. Natomiast po pracy z gorącymi gazami czynnika chłodniczego wartość parametru *Rt* zmniejszyła się o 50%. Odnotowano małe różnice w profilach chropowatości powierzchni cylindra sprężarki chłodniczej, pracującej w niekorzystnych warunkach eksploatacji. Oddziaływanie wysokiej temperatury i ciśnienia na elementy ruchowe sprężarki powodują podobne skutki, jak obecność mieszaniny oleju i ciekłego czynnika oraz gorących gazów czynnika chłodniczego w karterze sprężarki chłodniczej.



Rysunek 3. Porównanie profili chropowatości powierzchni cylindra sprężarki  
Figure 3. Comparison of roughness profiles of the surface of the compressor cylinder

## Podsumowanie

Na skonstruowanym stanowisku można symulować różne niekorzystne warunki pracy rzeczywistych sprężarek. Porównując profile chropowatości powierzchni ślizgowych elementów sprężarki po próbie przeprowadzonej w wysokiej temperaturze i ciśnieniu, w mieszaninie oleju i ciekłego czynnika chłodniczego oraz w obecności gorących gazów czynni-

ka chłodniczego w karterze sprężarki, można zauważyć, że profile nie uległy dużym zmianom. Powierzchnie po teście nie wykazują uszkodzeń. Zatem można stwierdzić, że oddziaływanie wysokiej temperatury i ciśnienia, jak również obecność mieszaniny oleju i ciekłego czynnika oraz gorących gazów czynnika chłodniczego w karterze sprężarki chłodniczej, powoduje tworzenie podobnych profili chropowatości powierzchni cylindra tłoka sprężarki chłodniczej.

## Literatura

- Allison, Y. Suh, Jayesh J. Patel, Andreas ,A. Polycarpou, Thomas F. Conry (2006). Scuffing of cast iron and Al390-T6 materials used in compressor applications, *Wear*, 260 (7-8), 2006, 735-744
- Bonca, Butrymowicz, D.; Targański, W.; Flajduk T. (2004) *Poradnik – Nowe czynniki chłodnicze i nośniki ciepła. Własności cieplne, chemiczne i użytkowe*. IPPU MASTA, Gdańsk, ISBN: 83-91389588
- Cannaday, M.L., Polycarpou, A.A. (2005): *Tribology of unfilled and filled polymeric surfaces in refrigerant environment for compressor applications*, *Tribology Letters*, 19, 4, 2005, 249-262
- De Melloa, J.D.B.; Binderb, R.; Demasc, N.G.; Polycarpouc, A.A. (2009): 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
- Górny, K.; Tyczewski, P.; Zwierzycki ,W. (2010a): Specification of lubricating oil operation in refrigeration compressors, *Tribologia*, 3(2010), 63-73
- Górny, K.; Tyczewski, P.; Zwierzycki ,W. (2010b): Characteristics of stands for wear tests of materials for refrigeration compressors elements, *Tribologia*, 3(2010), 75-84
- Górny, K.; Tyczewski, P.; Zwierzycki, W. (2010c): Ocena wpływu mieszanin olejów sprężarkowych i czynników chłodniczych na trwałość węzłów tarcia w sprężarkach chłodniczych, *Tribologia*, 4(2010), 117-128
- Hong-Gyu, Jeon; Se-Doo, Oh; Young-Ze, Lee (2009): Friction and wear of the lubricated vane and roller materials in a carbon dioxide refrigerant, *Wear* 267 (2009) 1252-1256
- Suha, AY.; Patel, J.J.; Polycarpou ,A.A.; Conry, T.F. (2006) Scuffing of cast iron and Al390-T6 materials used in compressor applications, *Wear* 260 (2006) 735-744
- Tyczewski, P. (2011): Stanowisko do badania uszkodzeń sprężarek chłodniczych, *Problemy Eksploatacji*, 4(2011), 175-183

## **ROUGHNESS OF FRICTION PAIRS SURFACE OF A REFRIGERATION COMPRESSOR OPERATING IN DISADVANTAGEOUS CONDITIONS OF EXPLOITATION**

**Abstract.** The objective of the paper is to compare the surface of friction pairs of a refrigeration compressor operating in disadvantageous conditions of exploitation. Results of the research of wear and tear of friction pairs of a refrigeration compressor were presented in the paper. The research was carried out on an experimental stand composed of real refrigeration elements. Various unfavourable operation conditions were simulated in this device. A refrigeration compressor was operating in a high temperature and pressure in the presence of oil mixture and liquid refrigerating medium and in the presence of hot gases of a refrigerating medium. After tests, with the use of a profilometer, roughness profiles of the surface were obtained. These profiles were compared with the roughness profile of the surface of a new element. At the evaluation of the obtained profiles no significant changes were determined in roughness of the surfaces operating in the simulated conditions of operation.

**Key words:** research, refrigeration compressor, wear and tear

**Adres do korespondencji:**

Przemysław Tyczewski; e-mail: przemyslaw.tyczewski@put.poznan.pl  
Instytut Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych  
Politechnika Poznańska  
ul. Piotrowo 3  
60-965 Poznań