

Kasper GÓRNY*, Przemysław TYCZEWSKI*, Wiesław ZWIERZYCKI*

**OCENA WPŁYWU MIESZANIN OLEJÓW
SPRĘŻARKOWYCH I CZYNNIKÓW
CHŁODNICZYCH NA TRWAŁOŚĆ WĘZŁÓW
TARCIA W SPRĘŻARKACH CHŁODNICZYCH**

**THE ESTIMATION OF THE INFLUENCE OF MIXTURE
COMPRESSOR OILS AND REFRIGERANTS
ON THE DURABILITY OF NODES OF FRICTION
IN COLLING COMPRESSORS**

Słowa kluczowe:

węzły tarcia, sprężarki chłodnicze, oleje sprężarkowe, zużycie i tarcie

Key-words:

nodes of friction, cooling compressors, compressor oil, wear and friction

Streszczenie

Obecnie trwa proces wymiany starych czynników chłodniczych (freonów zawierających chlor) na nowe, bardziej przyjazne środowisku. Oprócz istotnego znaczenia mieszalności olejów z czynnikami chłodniczymi w szerokim zakresie temperatur i ciśnień konieczne jest również zapewnienie wspomnianym mieszaninom odpowiednich własności przeciwtar-

* Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań.

ciowych i przeciwzużyciowych. Dlatego w referacie przeanalizowano informacje literaturowe dotyczące rezultatów badań ilościowej oceny zużycia elementów sprężarek chłodniczych w środowisku oleju zanieczyszczonego czynnikiem chłodniczym. Podjęto próbę określenia wpływu mieszanin olej–czynnik chłodniczy na zużywanie elementów stalowych i żeliwnych.

WPROWADZENIE

Ograniczenia w produkcji, stosowaniu, a także eksploatacji instalacji chłodniczych i klimatyzacyjnych z chlorowcopochodnymi czynnikami grup CFC i HCFC stały się powodem poszukiwania nowych czynników chłodniczych przyjaznych dla warstwy ozonowej. Podejmowane są próby z nowymi, niestosowanymi dotąd czynnikami syntetycznymi, których własności termodynamiczne pozwoliłyby na bezpośrednią zamianę czynnika w instalacjach już pracujących. Istotnym problemem, bezpośrednio związanym z wprowadzaniem substytutów dotychczas stosowanych czynników, jest też rozpuszczalność czynnika w oleju smarnym (nowe czynniki wykazują niekiedy brak możliwości tworzenia roztworów z olejami mineralnymi) [L. 1]. Problematyka współpracy mieszaniny czynników chłodniczych z olejami sprężarkowymi, w zakresie ich wpływu na warstwę wierzchnią współpracujących materiałów węzłów tarcia w sprężarkach chłodniczych, nie jest zagadnieniem nowym. Istnieje jednak potrzeba sprawdzenia jakości współpracy olejów zanieczyszczonych nowymi czynnikami chłodniczymi z materiałami wykorzystywanymi w węzłach ruchowych sprężarek.

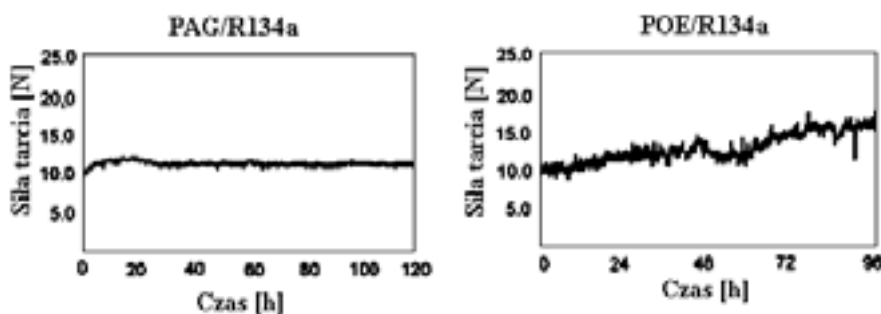
ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ STANOWISKOWYCH WĘZŁÓW TARCIA W SPRĘŻARKACH CHŁODNICZYCH DLA ELEMENTÓW STALOWYCH ORAZ ŻELIWNYCH

Badaniami zużycia elementów w atmosferze czynnika chłodniczego przy obecności oleju smarnego zajmowano się w wielu pracach. W ramach niniejszego opracowania ograniczono się do badań tribologicznych na stanowiskach typu trzpień–tarcza, które umożliwiają realizację ruchu obrotowo-pulsacyjnego i dotyczą elementów węzłów ruchowych ze stali i żeliwa [L. 2–9]. Próby tarciove polegały na umieszczeniu próbek w kształcie trzpienia i tarczy w kąpielii olejowej zanieczyszczonej czynnikiem chłodniczym. Węzeł umieszczany był w komorze wysokociśnienie-

niowej, która umożliwiała kontrolę ciśnienia czynnika chłodniczego, a co za tym idzie stopień jego nasycenia w oleju, oraz temperaturę kąpieli olejowej. Stanowiska badawcze umożliwiały płynną regulację obciążeń próbek oraz względnych prędkości obrotowych.

Autorzy prac [L. 2, 3] badali wpływ zastosowania ekologicznych czynników chłodniczych takich jak R134a, R600a i CO₂ na siłę tarcia, współczynnik tarcia oraz wielkość zużycia współpracujących materiałów ze stali. Badania prowadzone były na stanowisku typu trzpień–tarcza.

W pracy [L. 2] materiał próbki trzpienia stanowiła stal narzędziowa, natomiast tarcza wykonana była ze stali konstrukcyjnej. Porównywano wyniki badań na maszynie tarciowej dla mieszanin z różnymi olejami czynnika R134a i wycofywanego wówczas czynnika R12. Wstępne badania autorów dotyczące mieszalności pozwoliły wskazać przewagę olejów PAG (oleje polialfaglikolowe) oraz POE (oleje estrowe) nad olejami MO (oleje mineralne), PAO (oleje polialfeolefinowe) oraz AB (oleje alkilobenzenowe) przy współpracy z R134a. Wstępna selekcja materiałów smarowych pozwoliła na przeprowadzenie badań skojarzenia stal konstrukcyjna/stal narzędziowa w mieszaninie R134a/PAG i R134a/POE, co zostało przedstawione na Rys. 1.

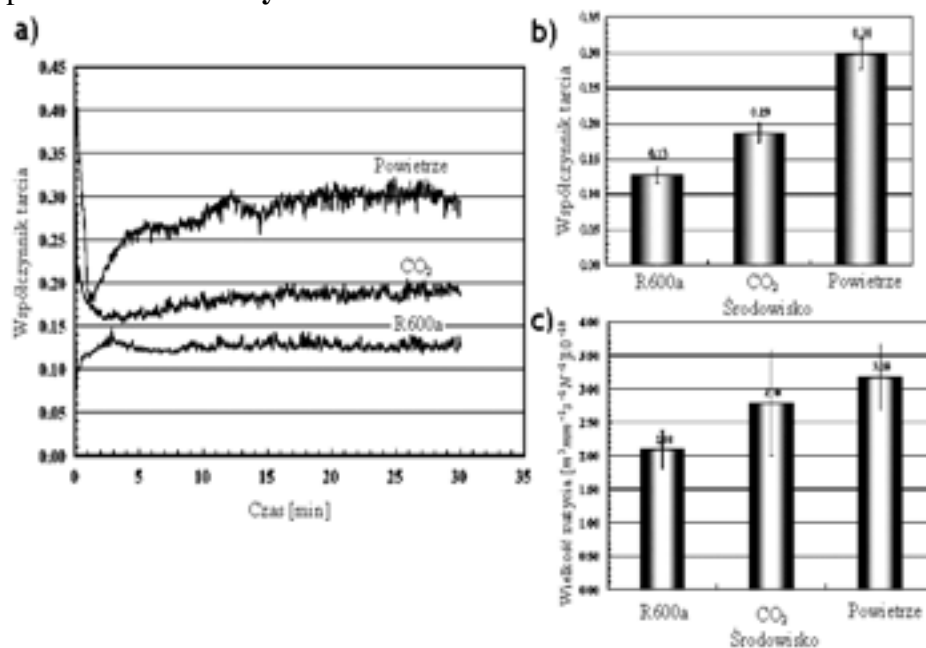


Rys. 1. Zmiana wartości siły tarcia dla skojarzenia stal konstrukcyjna/stal narzędziowa dla mieszanin R134a/PAG oraz R134a/POE przy obciążeniu 2,1 GPa oraz prędkości 0,31 m/s [L. 2]

Fig. 1. Change of friction force of R134a/PAG and R134a/POE mixture for steel/steel nodes of friction on the compressor working condition [L. 2]

Okazało się, że mieszanina R134a/PAG wykazuje doskonałe własności smarne w ekstremalnych warunkach pracy, co sprawia, iż profil zużycia próbki jest bardzo stabilny. Autorzy wskazują na zdecydowaną przewagę mieszaniny R134a/PAG nad R134a/POE w trudnych warunkach pracy sprężarek.

W pracy [L. 3] również zajmowano się skojarzeniem stal konstrukcyjna (stal 52100)/stal narzędziowa (stal 120 z powłoką diamentopodobną) w maszynie tarciowej z komorą wysokociśnieniową typu trzpień tarcza. Autorzy skupili się jednak nad określeniem współczynnika tarcia oraz wielkości zużycia materiałów odpowiednio w powietrzu, CO₂ oraz czynnika R600a. Próby przeprowadzono w warunkach ciśnienie czynnika na poziomie 0,1 MPa i temperatury 20°C. Obciążenie wynosiło 445N, a wzajemne prędkości odpowiednio 0,21 i 0,33 m/s. Uzyskane wyniki przedstawiono na Rys. 2.



Rys. 2. Porównanie wartości współczynnika tarcia (a i b) oraz wielkości zużycia (c) skojarzenia stal konstrukcyjna/stal narzędziowa w powietrzu, CO₂ oraz w czynniku R 600a [L. 3]

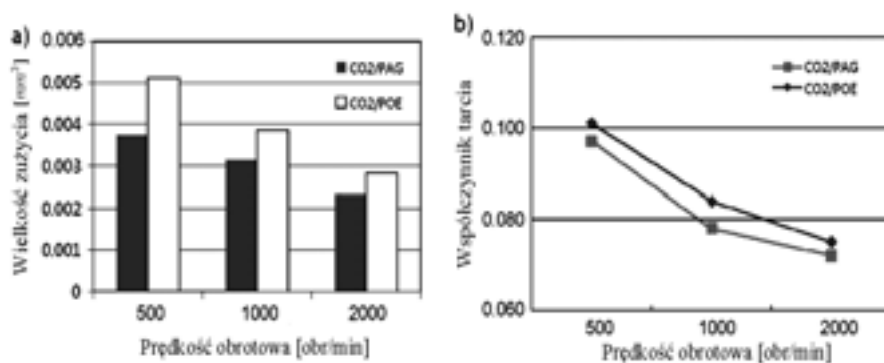
Fig. 2. Influence of chamber atmosphere on friction coefficient (a and b) and wear rate (c) for steel/steel nodes of friction [L. 3]

Współczynnik tarcia na początku badania przyjmował różne wartości, lecz ostatecznie ustabilizował się. W testach przeprowadzonych w R600a początkowo wzrastał, a następnie osiągnął wartość 0,13. Przeciwnie było w obecności CO₂ po szybkim spadku, współczynnik tarcia zmienił się stopniowo i osiągnął stosunkowo stałą wartość ok. 0,19. W powietrzu, po szybkim wstępnym spadku współczynnik tarcia zaczął stopniowo wzrastać do stałej wartości ok. 0,30.

Wskaźnik zużycia próbek w kształcie dysku w atmosferze R600a był najniższy, a dla CO₂ i powietrza był większy odpowiednio o 33% i 52%. Podobnie było dla próbek w kształcie łopatki, dla CO₂ i powietrza wartość tego wskaźnika była większa odpowiednio o 175% i 266%.

Przeprowadzono również wiele badań par tarciovych ze stali i żeliwa w atmosferze mieszaniny olej–czynnik chłodniczy [L. 4–7]. W artykule [L. 4] przedstawiono badania wykonane na urządzeniu typu łopatka–tarcza w atmosferze olejów PAG i POE zmieszanych z CO₂.

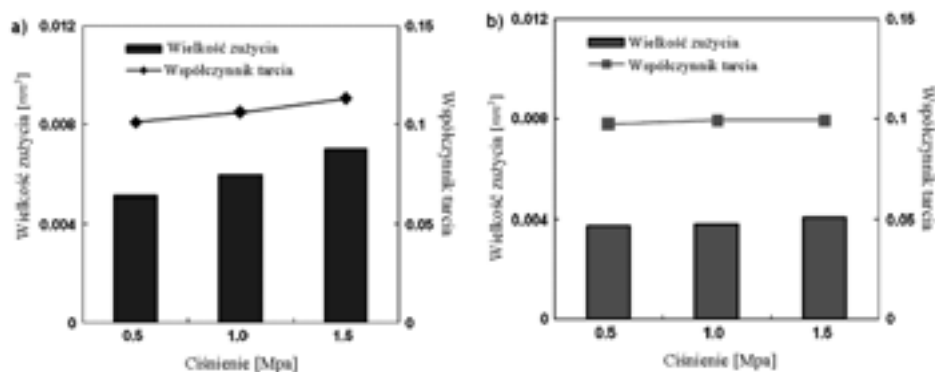
Olej PAG pod wpływem CO₂ wykazywał lepszą smarność aniżeli olej POE. Uważa się, że ilość CO₂ rozpuszczonego w oleju POE była większa niż ilość rozpuszczona w oleju PAG. W rezultacie lepkość oleju PAG zmieniła się mniej niż oleju POE. Zmniejszenie lepkości oleju wiązało się z powstawaniem stosunkowo cienkich warstw smarowych, które powodowały wyższe siły tarcia i szybsze zużycie. Zwiększenie prędkości obrotowej doprowadziło do zmniejszenia wartości zużycia pomimo narastającej drogi tarcia (Rys. 3a). Wartość współczynnika tarcia również malała wraz ze wzrostem prędkości (Rys. 3b).



Rys. 3. Wielkość zużycia (a) oraz współczynnik tarcia (b) w funkcji prędkości obrotowej [L. 4]

Fig. 3. Wear rate (a) and friction coefficient (b) as a function of rotating speed [L. 4]

Siła tarcia i wielkość zużycia są niemal niezależne od ciśnienia mieszaniny CO₂/PAG, natomiast dla CO₂/POE zużycie rośnie ze wzrostem ciśnienia (Rys. 4). Taki brak wrażliwości na zmiany ciśnienia medium smarującego stanowią pożądaną cechę dla skojarzeń materiałowych w sprężarkach chłodniczych. Możliwość płynnej regulacji ciśnienia czynnika chłodniczego w takich układach stanowi o łatwości sterowania wydajnością, co zwiększa ich funkcjonalność.



Rys. 4. Wielkość zużycia oraz współczynnik tarcia w funkcji ciśnienia dla mieszanki CO₂/POE (a) oraz CO₂/PAG (b) [L. 4]

Fig. 4. Wear rate and friction coefficient as a function of pressure for CO₂/POE (a) and CO₂/PAG (b) mixture [L. 4]

W pracy [L. 5] również badaniu poddano skojarzenie żeliwo szare/stal narzędziowa, przy czym używano również stali z powłoką azotku tytanu TiN. Próbkę współpracowały w atmosferze mieszanki R410A/POE, a badanie przeprowadzono do momentu zatarcia.

Pomiarów dokonywano dla trzech prędkości obrotowych trzpienia, odpowiednio 100, 500 i 1000 obr/min. Z badań wynika, iż system smarowania zmienił swój charakter z granicznego na mieszany przy prędkości obrotowej 1000 obr/min, gdyż dla mniejszych prędkości zużycie powierzchni łopatek stopniowo rosło, a po przekroczeniu tej wartości zaczęło spadać.

Autorzy wnioskują, iż nie istnieje optymalna początkowa chropowatość powierzchni, która gwarantuje zmniejszenie zużycia współpracujących powierzchni. Zastosowanie powłoki TiN na powierzchni próbek ze stali narzędziowej zwiększa jej oporność na zużycie, lecz powoduje zwiększenie szybkości zużycia współpracujących elementów z żeliwa szarego.

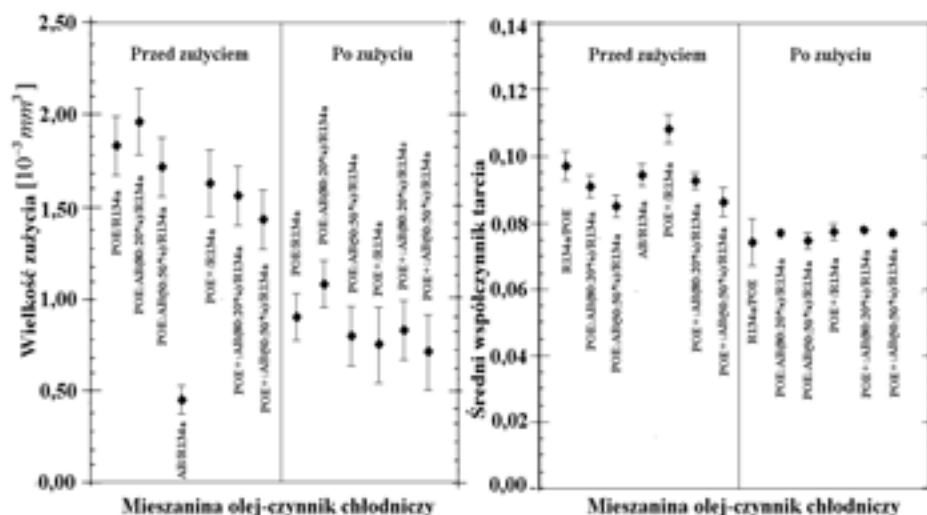
W pracy [L. 6] tarcza wykonana była z żeliwa szarego, natomiast próbki trzpienia były wykonane ze stali SKH51 (wg norm japońskich, polski odpowiednik SW7M): z powłoką TiN, z powłoką TiAlN, z powłoką WC/C, z powłoką DLC, po nawęglaniu oraz po azotowaniu.

Materiały na powłoki powinny posiadać optymalną twardość, dobrą przyczepność między powłoką i materiałem rodzimym oraz zdolność do tworzenia trwałych warstwek ochronnych. Autorzy wskazują, iż powłoka WC/C wykazała najlepsze tribologiczne właściwości spośród bada-

nych powłok, prawdopodobnie przez powstające na jej powierzchni warstewki ochronne. Z kolei bardzo twarde powłoki, takie jak TiN, TiAlN i DLC nie są odpowiednie jako materiał do powlekania, gdyż powodują szybkie zużywanie przeciwpróbek z żeliwa i zwiększają tarcie w węzle. Z drugiej strony azotowanie jonowe nie powinno być stosowane, gdyż warstewka jonów azotu nie jest wystarczająco odporna na cykliczne naprężenia występujące w obszarze styku.

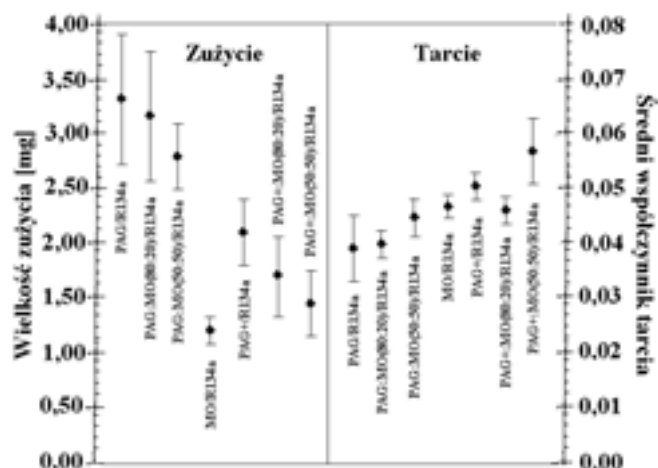
W pracy [L. 7] badano skojarzenie materiałowe żeliwo szare/stal narzędziowa w atmosferze mieszaniny czynnika R134a oraz R12 z MO, AB, PAG oraz POE.

Autorzy sprawdzili właściwości tribologiczne w sytuacji zmieszania olejów stosowanych przy współpracy z R12 (AB, MO) z olejami używanymi dla nowego czynnika R134a (PAG, POE) (Rys. 7). Dowiedziono, iż mieszanina R12/MO może być z powodzeniem zastąpiona przez R134a/PAG, gdyż zużycie zwiększyło się jedynie o 17,4–30% w porównaniu z R12/MO. Oprócz tego w warunkach niedokładnego usunięcia oleju MO mieszanina PAG/MO zanieczyszczona czynnikiem R134a powodowała mniejsze zużycie niż PAG/134a (Rys. 8).



Rys. 7. Objętościowy wskaźnik zużycia (z lewej) i współczynnik tarcia (z prawej) dla mieszanin olejów POE i AB z czynnikiem R134a [L. 7]

Fig. 5. Wear volumes (left) and friction coefficients (right) for R134a/POE and R134a/AB mixture [L. 7]



Rys. 8. Masowy wskaźnik zużycia i współczynnik tarcia dla mieszanin olejów PAG i MO z czynnikiem R134a [L. 7]

Fig. 6. Wear volumes and friction coefficients for R134a/PAG and R134a/MO mixture [L. 7]

Podobnie mieszanina R12/AB może być zastąpiona przez R134a/POE, gdyż zużycie w tym przypadku zwiększyło się jedynie o 5,5–12,3% w porównaniu z R12/AB. Oprócz tego w warunkach niedokładnego usunięcia oleju AB mieszanina POE/AB zanieczyszczona czynnikiem R134a powodowała mniejsze zużywanie niż POE/134a.

W pracach [L. 8, 9] badano skojarzenie materiałowe żeliwo szare/żeliwo szare w atmosferze mieszaniny takich gazów jak CO₂, powietrze, O₂, N₂ i R134a. Utlenianie zostało uznane za najistotniejszą przyczynę zużywania w przypadku O₂, natomiast w przypadku powietrza i R134a badaniu towarzyszyło zużywanie adhezyjne. W przypadku N₂ zużywanie adhezyjne ma dużo większy wpływ. Natomiast w otoczeniu CO₂ zauważono łagodne ślady polerowania będące następstwem chemicznego mechanizmu zużycia. Stwierdzono, że atmosfera CO₂ posiada najlepsze własności tribologiczne. Ze względu na powstawanie węglanów na powierzchniach trących zmniejsza się tarcie i nie występuje nadmierne zużycie.

PODSUMOWANIE

Podsumowując stan aktualnych badań tribologicznych elementów sprzężek chłodniczych wykonanych z żeliwa i stali należy zwrócić uwagę na jakość współpracy węzłów tarcia smarowanych olejem zanieczyszczonym

nym przez czynnik chłodniczy. Badania na maszynach tarciovych wyposażonych w komory wysokociśnieniowe pozwalają określić wielkość zużycia elementów sprężarek chłodniczych pracujących w środowisku mieszanin olej–czynnik chłodniczy. Zużycie uwarunkowane jest wieloma czynnikami, z których najważniejsze to: rodzaj mieszaniny olej–czynnik chłodniczy, materiały konstrukcyjne współpracujących elementów, warunki panujące w węzłach tarciovych oraz wzajemna prędkość przesuwu elementów węzła.

Węzły tarcia w sprężarkach chłodniczych smarowane są specjalnie przystosowanymi do tego celu olejami. Specyfika układów chłodniczych sprawia, iż oleje smarowe mieszają się z czynnikami chłodniczymi, przez co nie spełniają należycie swoich podstawowych funkcji. Dotychczas wymagania dla olejów do sprężarek chłodniczych nie zostały ustalone normami międzynarodowymi. W tej sytuacji do oceny jakości olejów do sprężarek chłodniczych są ustanawiane wymagania producentów sprężarek lub czynników chłodniczych, a producenci olejów podają właściwości swoich produktów według własnych kryteriów jakościowych i zabiegają o aprobatę producentów sprężarek i czynników chłodniczych.

Obecnie nie ma również ustaleń dotyczących metodologii przeprowadzania badań zużycia elementów tworzących węzły tarcia, które pracują w atmosferze mieszaniny oleju smarowego z czynnikiem chłodniczym. Aktualne prace w Instytucie Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych Politechniki Poznańskiej mają na celu opracowanie uniwersalnej metody badawczej, a w dalszej perspektywie również normy do oceny tribologicznych właściwości zanieczyszczonych olejów smarowych przeznaczonych do sprężarek chłodniczych.

LITERATURA

1. Zwierzycki W.: Oleje paliwa i smary dla motoryzacji i przemysłu. ITeE w Radomiu i RN „Gilmar” S.A., 2001.
2. Byung Chul Na, Keyoung Jin Chun, Dong-Chul Han: A tribological study of refrigeration oils under HFC-134a environment. *Tribology International*, 30(9), 1997, s. 707–716.
3. De Mello J.D.B., Binder R., Demasc N.G., Polycarpou 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. 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 (5–8), 2009, s. 1252–1256.
5. Young-Ze Lee, Se-Doo: Friction and wear of the rotary compressor vane–roller surfaces for several sliding conditions. 255(7–12), 2003, s. 1168–1173.
6. Hoon Choa Sung: Tribological characteristics of various surface coatings for rotary compressor vane. *Wear*, 221(2), 1998, s. 77–85.
7. Sheiretov T., Van Glabbeek W., Cusano C.: Simulative friction and wear study of retrofitted swash plate and rolling piston compressors, *International Journal Refrigeration* Vol. 18, No. 5, 1995, pp. 330-335.
8. 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
9. Nicholaos G. Demas, Polycarpou Andreas A.: Tribological investigation of cast iron air-conditioning compressor surfaces in CO₂ refrigerant. *Tribology Letters*, 22(3), 2006, s. 271–278.

Recenent:
Jan BURCAN

Summary

At present lasts the process of changing an old refrigerating mediums (freon which contain chlorine) for new ones, which are more environmental friendly. Apart from an important matter of oils mixing with refrigerating mediums in a wide range of temperatures and pressures, it's necessary to provide those mentioned mixtures with adequate form of anti-friction and anti-wearing out properties. That's why the report contain of literature informations about the scientific researches of quantitative estimate of wearing out of cooling compressors parts in the oil environment which is polluted by refrigerating mediums. The trial of the definition of the influence of the mixture of oil with the refrigerating medium for wearing out the steel and cast iron parts were made.