

Janusz LUBAS
Uniwersytet Rzeszowski

ZASTOSOWANIE POWŁOK PVD W ŚLIZGOWYCH WĘZŁACH CIERNYCH

W pracy przedstawiono wyniki badań porównawczych wpływu warstwy powierzchniowej jednorodnej z TiN i CrN oraz o strukturze pasmowej TiN – stal 46Cr2 i CrN – stal 46Cr2 na próbce pierścieniowej na warunki tarcia w parze ciernej, w warunkach smarowania obszaru tarcia olejami silnikowymi Lotos Syntetyk 5W/40 i Castrol Magnatec 5W/40. W parze ciernej przeciwpróbka została wykonana ze stopu łożyskowego AlSn20. Badania przeprowadzono na testerze trybologicznym T-05. Wyniki badań potwierdziły możliwość zastosowania warstw powierzchniowych o strukturze pasmowej w parach ślizgowych, które pracują w warunkach tarcia mieszanego. Badania wykazały, że siła tarcia, temperatura w obszarze tarcia i zużycie materiału łożyskowego zależą od warunków tarcia i kompozycji współpracujących warstw powierzchniowych pary ciernej. Zaobserwowano korzystne parametry tarcia w parach ciernych z próbkami z warstwą powierzchniową o strukturze pasmowej CrN – stal 46Cr2 i jednorodnej CrN.

Słowa kluczowe: obróbka powierzchniowa, PVD, tarcie mieszane, zużycie

1. Wprowadzenie

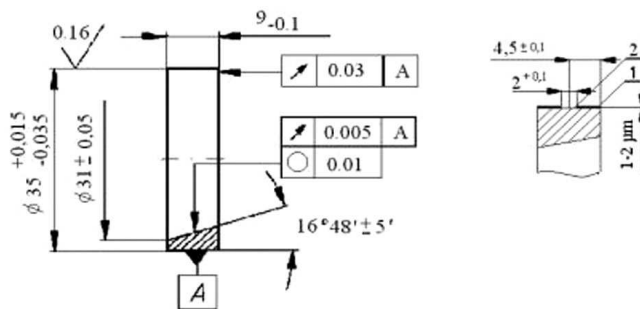
Niezawodność maszyn jest efektem poprawnej pracy węzłów łożyskowych, a szczególnie łożyskowych węzłów ślizgowych. W projektowaniu i wytwarzaniu tych elementów konstrukcyjnych wykorzystuje się dostępne metody umożliwiające zmniejszenie intensywności zużycia oraz zapewniające korzystne parametry pracy elementów węzła ciernego. Szczegółowa analiza warunków pracy tych węzłów i badania modelowe dają podstawę do tworzenia nowych konstrukcji i technologii spełniających rosnące wymagania eksploatacyjne. W przypadku specyficznych warunków pracy węzłów ślizgowych (np. rozruchu, przeciążenia układu, zanieczyszczenia oleju produktami zużycia, zatrzymania) konieczne jest stosowanie nowych metod obróbki powierzchniowej, zapewniających korzystne warunki pracy przy występującym tarcu mieszanym [1].

W pracy łożyska ślizgowego, w warunkach tarcia mieszanego istotne znaczenie mają warstwy powierzchniowe wytworzone na elementach węzła ciernego i rodzaj czynnika smarnego. Eksploatacja i badania wykazują, że w tych warunkach tarcia zachodzą istotne korelacje między warstwami powierzchniowymi

elementów wężła ciernego a czynnikiem smarnym tworzącym warstwy graniczne ograniczające niekorzystne warunki pracy. Na podstawie zaleceń eksploatacyjnych czopy łożysk ślizgowych powinny charakteryzować się: dużą odpornością na zużycie, odpornością na korozyjne oddziaływanie czynnika smarnego, niskim współczynnikiem tarcia. Korzystne właściwości tribologiczne charakteryzują warstwy wierzchnie uzyskane w procesach PVD – duża odporność na korozję, duża odporność na zużycie tribologiczne, duża mikrotwardość czy znaczna wytrzymałość [2-5].

2. Opis badań

Celem badań jest określenie wpływu technologicznie ukształtowanych warstw powierzchniowych próbki pierścieniowej i gatunku oleju silnikowego na parametry tarcia w kinematycznej parze cierniej pracującej w warunkach tarcia mieszanego. W badaniach zastosowano próbki z warstwą powierzchniową po azotowaniu jonizacyjnym oraz z powłokami jednorodnymi (TiN, CrN) i ze strukturą pasmową (TiN – stal 46Cr2 i CrN – stal 46Cr2), (rys. 1.). Czopy współpracowały w parze cierniej z przeciwpróbką ze stopu łożyskowego AlSn20, a obszar tarcia smarowano olejami silnikowymi Lotos Syntetyk 5W/40 i Castrol Magnatec 5W/40. Badania porównawcze współpracy pary cierniej przeprowadzono na testerze tribologicznym typu T-05.

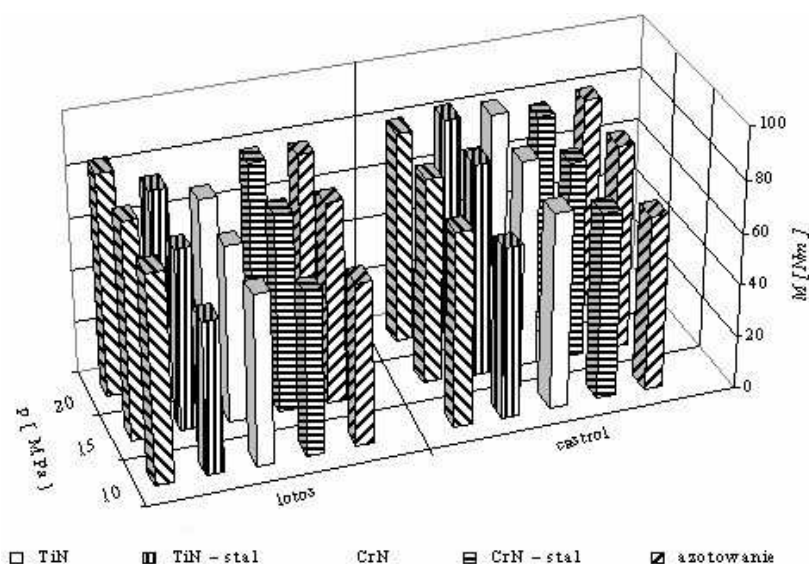


Rys. 1. Kształt i wymiary próbek pierścieniowych: 1 – powłoka, 2 – materiał pierścienia

3. Wyniki badań

Wpływ technologicznych warstw powierzchniowych wytworzonych na próbkach pierścieniowych na procesy tarcia w parze cierniej można opisać na podstawie pomiarów momentu tarcia w chwili rozruchu pary cierniej, siły tarcia i temperatury w obszarze tarcia oraz zużycia elementów pary. W celu wyzna-

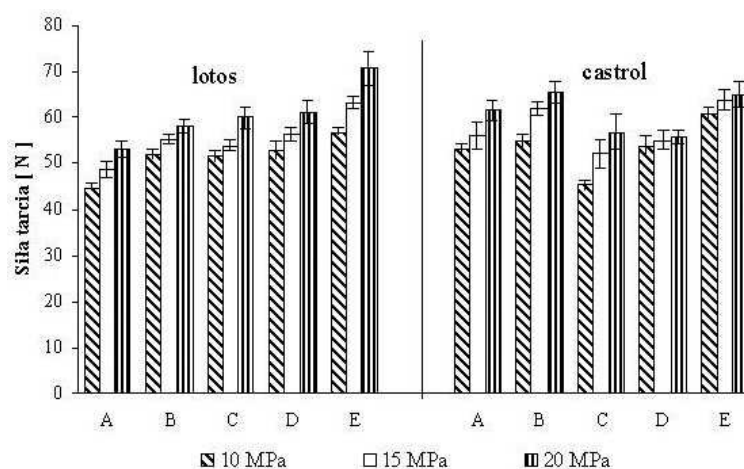
czenia zmian warunków tarcia przeprowadzono pomiary wartości oporów tarcia wstępujących w czasie rozruchu pary ciernej. W chwili startu pary ciernej rejestrowano wartości momentu tarcia w zależności od ukształtowanej warstwy powierzchniowej próbki pierścieniowej, gatunku oleju silnikowego i obciążenia pary kinematycznej (rys. 2.). Zarejestrowane wartości momentu tarcia podczas rozruchu badanych par ciernych pokazały, że nie można określić ogólnych zależności między badanymi wielkościami i są one indywidualne dla badanych par kinematycznych. Zarejestrowane wartości momentu tarcia potwierdziły wzrost oporów ruchów wraz ze wzrostem obciążenia pary ciernej. Najniższe wartości momentu tarcia są charakterystyczne dla par kinematycznych z próbkami z powłoką z azotku chromu, a najwyższe dla par z czopem z powłoką z azotku tytanu (smarowanie olejem lotos). Podczas prób obserwowano niższe wartości momentu tarcia dla par z próbkami z warstwami o strukturze pasmowej (TiN – stal 46Cr2 i CrN – stal 46Cr2) niż dla par z próbkami z powłokami (TiN i CrN). Wartości momentu tarcia podczas rozruchu par z warstwami o strukturze pasmowej są porównywalne z uzyskanymi dla par próbkami z warstwami azotowanymi. Smarowanie par olejem lotos pozwala na uzyskanie niższych wartości momentu tarcia niż w przypadku smarowania olejem castrol.



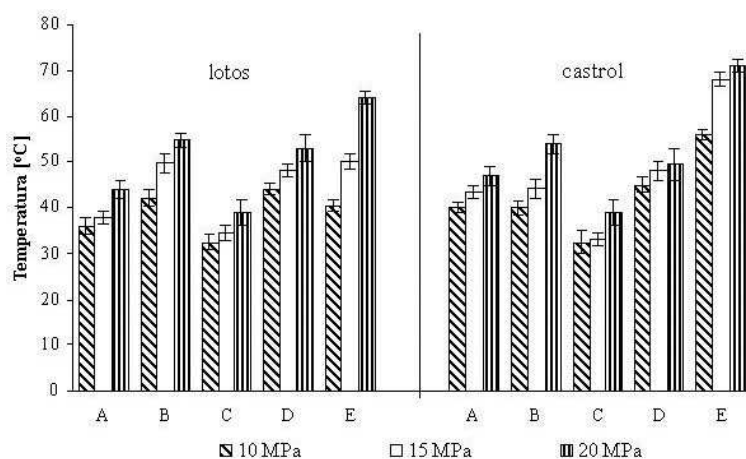
Rys. 2. Średnie wartości momentu tarcia w momencie rozruchu pary ciernej

W celu wyznaczenia wpływu badanych czynników na siłę tarcia w parze kinematycznej i temperaturę w obszarze tarcia, przeprowadzono badania przy założonych warunkach obciążenia: stała prędkość obrotowa próbki pierścienio-

wej $n = 100$ obr./min i zmienne naciski jednostkowe $p = 10 - 20$ MPa. Na podstawie uzyskanych wyników opracowano wykresy zmian siły tarcia i temperatury w obszarze tarcia w funkcji obciążenia pary (rys. 3. i 4.).



Rys. 3. Zmiany siły tarcia w funkcji obciążenia pary ciernej: A) TiN, B) TiN – stal, C) CrN, D) CrN – stal, E) azotowanie jonizacyjne



Rys. 4. Zmiany temperatury w funkcji obciążenia pary ciernej: A) TiN, B) TiN – stal, C) CrN, D) CrN – stal, E) azotowanie jonizacyjne

W tak ustalonych warunkach prób uzyskano w parach ślizgowych istotne różnice w wartości rejestrowanej siły tarcia w zależności od struktury badanej pary ciernej i zastosowanego oleju silnikowego (rys. 3.). W parach ciernych z warstwami jednorodnymi (TiN i CrN) i o strukturze pasmowej (TiN – stal

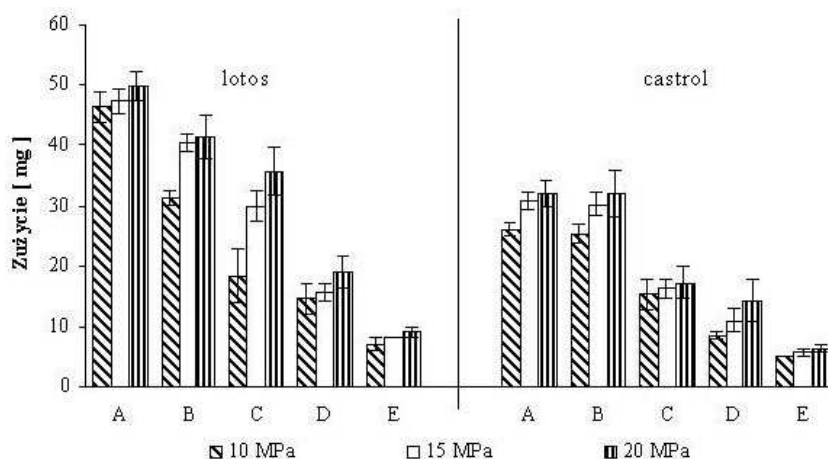
46Cr2 i CrN – stal 46Cr2) smarowanych olejem lotos siły tarcia zmniejszyły się w stosunku do próbek z warstwą azotowaną. Natomiast najwyższe wartości siły tarcia zmierzono w parach z próbkami z warstwami powierzchniowymi z azotkiem tytanu. Pary z próbkami z warstwami z azotkiem tytanu i azotowane jonizacyjne, smarowane olejem castrol wykazują zbliżone wartości siły tarcia. W tych warunkach tarcia niższe wartości siły tarcia rejestrowano w parach z warstwami zawierającymi azotek chromu.

Wartości i przebiegi temperatury dla warunków smarowania olejem lotos i olejem castrol są zbliżone (rys. 4.). Zmiany temperatury są efektem zastosowanego sposobu modyfikacji warstwy powierzchniowej próbki. W parach ciernych z próbkami z warstwami jednorodnymi (TiN i CrN) i o strukturze pasmowej (TiN – stal 46Cr2 i CrN – stal 46Cr2) zmierzone wartości temperatury są niższe w stosunku do par z próbkami z warstwą azotowaną. Zastosowanie powłoki z azotku chromu w parze ciernej istotnie wpłynęło na znaczne obniżenie temperatury w obszarze tarcia. Uzyskane wyniki pomiaru temperatury wykazały, że najniższe wartości temperatury rejestrowano podczas prób dla par z próbkami z warstwami jednoskładnikowymi azotku tytanu i azotku wartości chromu.

Otrzymane wyniki siły tarcia i temperatury można tłumaczyć właściwościami fizycznymi warstw powierzchniowych o odmiennych strukturach metalograficznych, strukturą warstwy powierzchniowej jednorodnej (TiN i CrN) i strukturą pasmową (TiN – stal 46Cr2 i CrN – stal 46Cr2), jak również właściwościami stopu łożyskowego i olejów silnikowych. W przypadku badanych struktur kinematycznych istotne zmiany mogą być spowodowane adsorpcją oleju, która jest uzależniona od zwilżalności współpracujących warstw powierzchniowych, jak również podatności tych struktur na oddziaływanie powierzchniowo aktywnych dodatków zawartych w oleju. Poważnym zagadnieniem w przypadku warstw o strukturze pasmowej są możliwości występowania zakłóceń w przepływie czynnika smarnego, możliwości magazynowania oleju w mikroobszarach warstwy powierzchniowej, występowanie gradientu temperatury na szerokości styku, wpływ produktów zużycia i powstanie nowych struktur metalograficznych jako mieszanin materiałów stanowiących budowę pary [6].

Pomiary zużycia elementów pary ciernej wykazały, że nie wystąpiło mieralne zużycie próbek pierścieniowych, natomiast analiza zużycia stopu łożyskowego pozwala stwierdzić, iż zastosowanie warstwy powierzchniowej o strukturze pasmowej wprowadza istotne zmiany w procesie tarcia (rys. 5.). Najmniejsze zużycie stopu łożyskowego uzyskano w parach ciernych współpracujących z czopem z warstwą powierzchniową po azotowaniu jonizacyjnym (niezależnie od zastosowanego gatunku oleju silnikowego). Istotne zmniejszenie zużycia stopu łożyskowego zaobserwowano dla par z próbką z warstwą powierzchniową o strukturze pasmowej w stosunku do par z próbką z warstwą jednorodną. W przypadku par z próbką z warstwą zawierającą azotek chromu zaobserwowano istotne zmniejszenie zużycia stopu. Przy zastosowaniu w parze ciernej próbki z warstwą o strukturze pasmowej z azotku chromu (stal) zużycie panwi jest oko-

ło dwukrotnie mniejsze. Również dla czopów z warstwami z azotkiem tytanu (stal) obserwuje się zmniejszenie zużycia o około 10-20% w stosunku do par z próbką z warstwą jednorodną z azotku tytanu (smarowanie olejem lotos). W parach ciernych smarowanych olejem castrol obserwuje się mniejsze różnice w wartości zużycia panwi w funkcji ukształtowanej warstwy jednorodnej (TiN i CrN) i o strukturze pasmowej (TiN – stal 46Cr2 i CrN – stal 46Cr2) warstwy powierzchniowej próbki. Próby wykazały również zmniejszenie zużycia stopu łożyskowego w skojarzeniu z próbką pierścieniową z jednorodną warstwą z azotkiem chromu.



Rys. 5. Zużycie stopu łożyskowe: A) TiN, B) TiN – stal, C) CrN, D) CrN – stal, E) azotowanie jonizacyjne

Wytworzone warstwy powierzchniowe charakteryzują się dużą odpornością na zużycie ściernie i w pewnych określonych warunkach tarcia mają korzystne cechy tribologiczne. Badania modelowe wykazały, że istnieje możliwość stworzenia par ciernych z próbkami o strukturze pasmowej, które są w stanie pracować w istniejących węzłach tarcia. Pary te mogą mieć korzystniejsze charakterystyki tribologiczne niż stosowane obecnie. Przy czym zmiana ta może wymagać zastosowania nowej generacji olejów smarujących (umożliwiających wytworzenie bardziej trwałych warstw granicznych) lub opracowania nowej generacji materiałów łożyskowych o zwiększonej odporności na zużycie ściernie.

4. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań eksperymentalnych i analizy ich wyników można wyciągnąć następujące wnioski:

- 1) Sposób ukonstytuowania warstw powierzchniowych próbki pierścieniowej w procesie obróbki powierzchniowej wpływa na zmianę oporu tarcia w parze cierniej. Uzyskane na podstawie prób eksperymentalnych wartości siły tarcia pozwoliły określić istotną zależność przebiegu zmian oporów tarcia od nacisku jednostkowego.
- 2) Stwierdzono wpływ ukształtowanej warstwy powierzchniowej próbki pierścieniowej na zużycie stopu łożyskowego przeciwpróbki. Wykazano, że przy współpracy próbek z warstwą powierzchniową o strukturze pasmowej z azotku chromu – stal 46Cr2 i azotowanej jonizacyjnie występuje najmniejsze zużycie stopu łożyskowego AlSn20. Natomiast największe zużycie przeciwpróbki zarejestrowano dla par z próbkami z warstwą powierzchniową z azotkiem tytanu.
- 3) W parach ciernych smarowanych olejem silnikowym Castrol GTX Magnatec 5W/40 wystąpiło mniejsze zużycia stopów łożyskowych w stosunku do par smarowanych olejem Lotos Syntetyk 5W/40.

Literatura

1. Kula P.: Inżynieria warstwy wierzchniej. Politechnika Łódzka, Łódź 2000.
2. Polcara T., Kubartb T., Novak R., Kopecky L., Siroky P.: Comparison of tribological behaviour of TiN, TiCN and CrN at elevated temperatures. *Surf. & Coat., Technol.*, 193 (2005), 192.
3. Wierzchon T.: Structure and properties of multicomponent and composite layers produced by combined surface engineering methods. *Surf. & Coat., Technol.*, 180-181 (2003), 458.
4. Santner E.: Comparison of wear and friction measurements of TiN coatings. *Tribologia*, 1 (1995).
5. Chena H., Wu P., Quaeys P.Q., Xu K.W., Stals L.M, He J.W., Celis J.-P.: Comparison of fretting wear of Cr-rich CrN and TiN coatings in air of different relative humidities. *Wear*, 253 (2002), 527.
6. Sep J., Kucaba-Pietal A.: Experimental testing of journal bearings with two-component surface layer in the presence of an oil abrasive contaminant. *Wear*, 249 (2001), 1090.

APPLICATION TWO COMPONENTS SURFACE LAYERS WORKING IN FRICTIONAL PAIRS

Summary

The study has determined influence of coatings (TiN, CrN) and surface layers with ring structure (TiN and 46Cr2 steel, CrN and 46Cr2 steel) on parameters of friction in sliding pairs. During the research ring samples worked with segment of bearing sleeve made of AlSn20 alloy. The kinematics pair lubricated motor oils lotos syntetyk 5W-40 and castrol magnatec 5W/40. The research performed on test machine T-05. Change of moment of friction was individual for investigated sliding. The researches showed that moment of friction had the lowest values for pairs with

surface layer CrN. Values of friction forces of pair with surface layer TiN was the highest, by only during lubrication lotos oil. The researches showed that friction force and temperature of contact area and wear depended on load condition and structure of sliding. On base of experiences one ascertained influence formed surface layers on wear of bearing alloy. Cooperation surface layer CrN-46Cr2 steel and ion nitriding surface layer characterized least wear bearing alloys. Instead greatest wear registered for pairs with coating TiN. The researches showed profitable influence of motor oil castrol GTX magnatec 5W/40 in relation to oil lotus synthetic 5W/40 on decrease of wear of bearing alloy.

Złożono w redakcji w październiku 2010 r.