

**Janusz LUBAS**

Uniwersytet Rzeszowski, Instytut Techniki

## **WŁASNOŚCI TRIBOLOGICZNE DWUSKŁADNIKOWYCH WARSTW POWIERZCHNIOWYCH PRACUJĄCY W WĘZŁACH CIERNYCH**

### **Słowa kluczowe**

Łożysko ślizgowe, warstwa wierzchnia, obróbka powierzchniowa, niezawodność, smarowanie.

### **Key words**

Slide bearing, surface layer, surface treatment, reliability, lubrication.

### **Streszczenie**

W pracy przedstawiono wyniki badań porównawczych wpływu ukształtowanej warstwy wierzchniej jednoskładnikowej z TiN i CrN oraz dwuskładnikowej TiN–stal i CrN–stal czopa na warunki tarcia w łożysku ślizgowym. W warunkach smarowania obszaru tarcia olejami silnikowymi Lotos Syntetyk 5W/40 i Castrol Magnatec 5W/40. W parze ciernej przeciwpróbka wykonana została ze stopu łożyskowego CuPb30. Badania przeprowadzono na testerze trybologicznym T-05. Wyniki badań potwierdziły możliwość zastosowania dwuskładnikowych warstwy powierzchniowych w parach ślizgowych, które pracują w warunkach tarcia mieszanego. Badania wykazały że siła tarcia, temperaturze w obszarze tarcia i zużycie materiału łożyskowego zależy od warunków tarcia i kompozycji współpracujących warstw powierzchniowych pary czop–panew. Zaobserwowano korzystne parametry tarcia w parach ciernych z czopami z warstwą powierzchniową dwuskładnikową CrN–stal.

### **WPROWADZENIE**

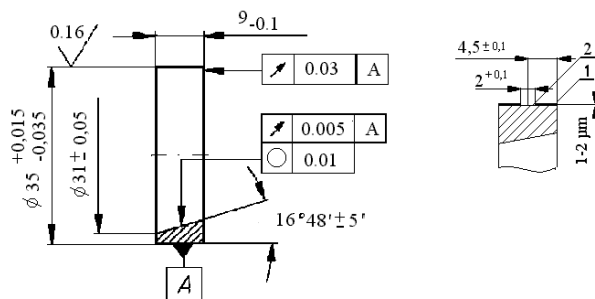
Istotny wpływ na niezawodną pracę maszyn i urządzeń technicznych mają węzły łożyskowe, a szczególnie łożyskowe węzły ślizgowe. W projektowaniu

i wytwarzaniu tych elementów konstrukcyjnych wykorzystuje się dostępne metody umożliwiające zmniejszenie intensywności zużycia oraz zapewniających korzystne parametrów 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), koniecznym jest zastosowanie nowych metod obróbki powierzchniowej zapewniających korzystne warunki pracy przy występującym tarcia mieszanym [1, 2].

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 węzła 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 czynnikiem smarnego, niskim współczynnikiem tarcia [1, 2, 3, 4].

## OPIS BADAŃ

Celem pracy jest określenie wpływu technologicznie ukształtowanych warstw powierzchniowych czopa i gatunku oleju silnikowego na parametry tarcia w parze kinematycznej czop–panew w warunkach tarcia mieszanego. W badaniach zastosowano czopy z warstwą powierzchniową po azotowaniu jonizacyjnym oraz z powłokami jednoskładnikowymi (TiN, CrN) i dwuskładnikowymi (TiN–stal 45H CrN–stal 45H) (Rys. 1).



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

Fig. 1. Shape and dimensions of two components ring samples 1–coating, 2–material of ring

Czopy współpracowały w parze ciernej z przeciwpróbką ze stopu łożyskowego CuPb30, a obszar tarcia smarowano olejami silnikowymi Lotos Syntetyk 5W/40 i Castrol Magnatec 5W/40. Badania porównawcze współpracy czopa i panwi przeprowadzono na maszynie trybologicznej produkcji MCNEMT w Radomiu typu T-05.

## WYNIKI BADAŃ

Wpływ ukształtowanych własności technologicznych warstw powierzchniowych czopa na warunki tarcia jest istotnym zagadnieniem przy projektowaniu pary ciernej czop-panew. Wyznaczenie wpływu tych czynników na warunki tarcia w parze ciernej w warunkach smarowania możliwe jest na podstawie pomiarów momentu tarcia i temperatury w obszarze tarcia pary ślizgowej. Badania te wykazały, że technologiczne warstwy powierzchniowe i gatunek oleju silnikowego wpływają na parametry tarcia pary ciernej. W celu określenia tych zmian przeprowadzono pomiary wartości oporów tarcia wstępujących w czasie rozruchu pary ciernej. W chwili startu pary ciernej rejestrowano wartości siły tarcia w funkcji ukształtowania warstwy powierzchniowej czopa, gatunku oleju silnikowego i obciążenia pary kinematycznej ( tablica 1 ).

**Tablica 1. Średnie wartości siły tarcia w momencie rozruchu.**

**Table 1. Average values of friction force in moment of starting.**

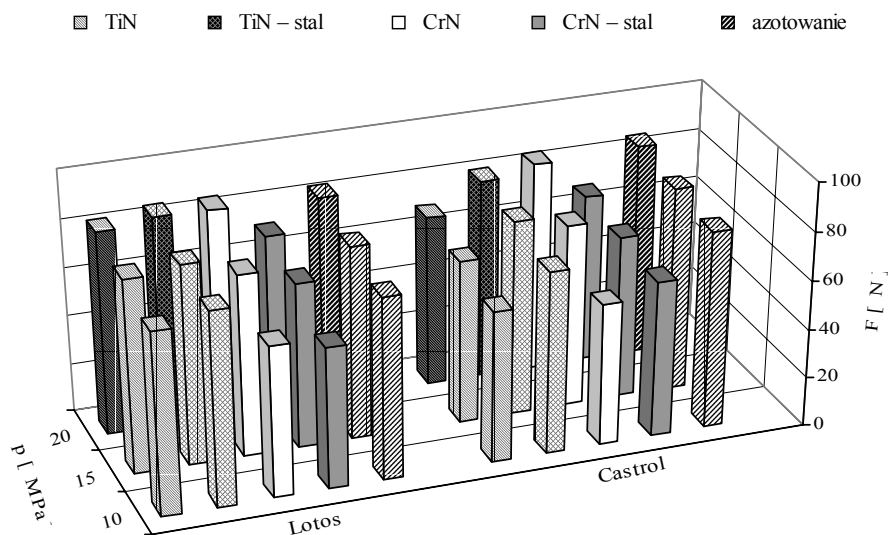
Warstwa powierzchniowa czopa	Gatunek oleju silnikowego					
	Lotos Syntetyk			Castrol Magnatec		
	Naciski jednostkowe [ MPa ]					
	10	15	20	10	15	20
Azotek tytanu	74,5	79,4	83,1	61,8	66,5	69,7
Azotek tytanu – stal	79,4	81,7	85,6	74,3	79,6	81,5
Azotek chromu	62,0	74,5	85,3	57,6	74,5	85,2
Azotek chromu – stal	57,9	67,9	71,7	63,6	66,3	68,8
Azotowana jonizacyjnie	74,2	79,2	83,9	80,6	83,0	86,4

Zarejestrowane wyniki ujawniły występowanie istotnych różnic w wielkości wartości siły tarcia w momencie rozruchu badanych parach ciernych czop-panew (Rys. 2). Obserwowane zmiany siły tarcia wykazały, że nie można określić ogólnych zależności między badanymi wielkościami. Uzyskane przebiegi siły tarcia, jak również jej wartości są indywidualne dla badanej pary kinematycznej czop-panew. Zarejestrowane wartości siły tarcia

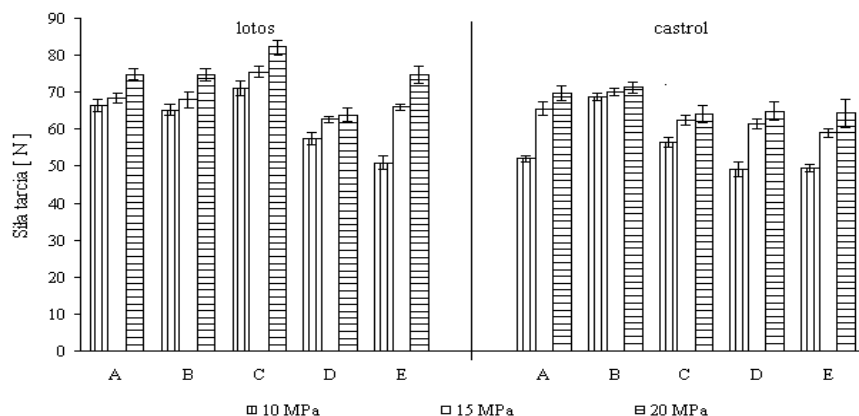
potwierdziły, że jej wartość wzrasta wraz ze wzrostem obciążenia pary ciernej. Najniższe wartości siły tarcia i to niezależnie od zastosowanego oleju silnikowe, są charakterystyczne dla pary kinematycznej z czopami dwuskładnikowymi azotek chromu-stal. Podobny przebieg zarejestrowano dla pary z czopem z warstwą azotek tytanu, ale tylko w przypadku zastosowania do smarowania oleju castrol. Pary z czopami z warstwą azotek chromu w stosunku do pozostałych badanych skojarzeń wykazują gwałtowniejszy przyrost wartości siły tarcia wraz ze wzrostem obciążenia. W przypadku pozostałych badanych par rejestrowane wartości siły tarcia dla badanych układów czop-panew są porównywalne i nie obserwuje się istotnego wpływu modyfikacji warstwy powierzchniowej i oddziaływania czynnika smarnego.

W celu wyznaczenia wpływu badanych czynników na siłę tarcia w parze kinematycznej czop-panew i temperaturę w obszarze tarcia, przeprowadzono badania przy założonych warunków obciążenia; stała prędkość obrotowa czopa  $n = 100$  obr/min i zmienne naciski jednostkowe  $p = 10-20$  MPa. Uzyskane wyniki posłużyły do opracowania wykresów zmian siła tarcia i temperatury w obszarze tarcia w funkcji obciążenia pary kinematycznej czop-panew (Rys. 3 i 4).

W tak ustalonych warunkach pracy pary kinematyczne czop-panew uzyskano istotne różnice w wartości rejestrowanej siły tarcia w zależności od struktury badanej pary ciernej



**Rys. 2. Średnie wartości siły tarcia w momencie rozruchu pary ciernej**  
**Fig. 2. Average values of friction force in moment of starting friction pair**



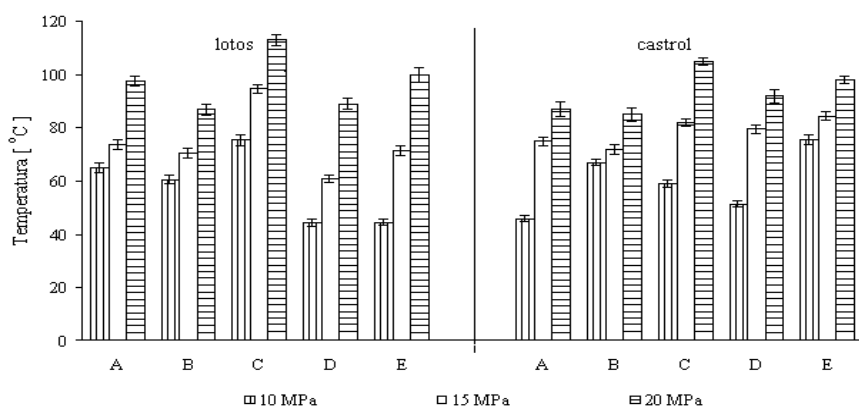
Rys. 3. Zmiany siły tarcia w funkcji obciążenia pary kinematycznej czop–panew;

A) TiN, B) TiN–stal, C) CrN, D) CrN–stal, E) azotowanie jonizacyjne

Fig. 3. Changes of friction force in function of load of kinematics pair journal and bearing;

A) TiN, B) TiN–steel, C) CrN, D) CrN–steel, E) ion nitriding

i zastosowanego oleju silnikowe. Uzyskane w czasie prób wyniki pomiarów wykazały, że pary cierne smarowane olejem castrol charakteryzują niższe wartości siły tarcia niż pary smarowane olejem lotos. Istotne różnice zarejestrowano dla par z czopami z warstwami jednoskładnikowymi azotek chromu i dwuskładnikowej azotek chromu-stal.



Rys. 4. Zmiany temperatury w funkcji obciążenia pary kinematycznej czop–panew; A) TiN,

B) TiN–stal, C) CrN, D) CrN–stal, E) azotowanie jonizacyjne

Fig. 4. Changes of temperature in function of load of kinematics pair journal and bearing;

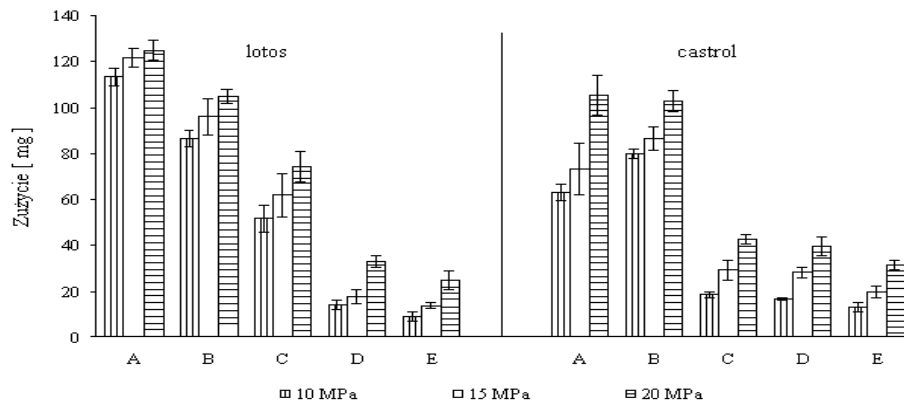
A) TiN, B) TiN–steel, C) CrN, D) CrN–steel, E) ion nitriding

Zarejestrowane wartości i przebiegi temperatury w obszarze tarcia nie wykazują znaczących różnic w zależności od zastosowanego w parze ciernej

metody modyfikowania warstwy powierzchniowej czopa, czy też gatunku oleju silnikowego smarującego parę cierną (Rys. 4). Wśród zarejestrowanych wartości temperatury można jedynie dla pary z czopem z powłoką z azotku tytanu zaobserwować znacznie wyższe wartości temperatury. Dla pozostałych czopów zarejestrowane różnice wartości temperatury dotyczą zakresu wartości w funkcji nacisku jednostkowego.

Otrzymane wyniki badań siły tarcia i temperatury można tłumaczyć właściwościami olejów, własnościami fizycznymi warstw powierzchniowych o odmiennych strukturach metalograficznych, strukturą warstwy jednoskładnikowej i dwuskładnikowej jak również własnościami stopu łożyskowego. W przypadku badanych struktur 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. Istotnym zagadnieniem w przypadku warstw dwuskładnikowych są możliwości występowania zakłóceń w przepływie czynnika smarnego w obszarze styku współpracujących powierzchni, możliwości magazynowania oleju w mikroobszarach warstwy powierzchniowej, występowanie gradientu temperatury na szerokości styku współpracujących elementów, oddziaływanie produktów zużycia i powstałych związków chemicznych będących efektem reakcji tribochemicznych w obszarze tarcia.

Analiza uzyskanych wyników zużycia stopu łożyskowego pozwala stwierdzić, że zastosowanie dwuskładnikowej warstwy powierzchniowej czopa powoduje zmian w procesie tarcia (Rys. 5). Istotne zmniejszenie zużycia stopu łożyskowego podczas współpracy z warstwą powierzchniową dwuskładnikową w stosunku do warstwy jednoskładnikowej zaobserwowano dla czopa z warstwą z azotku chromu. Zużycie panwi w tym układzie kinematycznym jest około dwukrotnie mniejsze, przy zastosowaniu w parze cierniej czopa z warstwą dwuskładnikową azotek chromu – stal (niezależnie od gatunku oleju silnikowego).



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

Fig. 5. Wear of bearing metal; A) TiN, B) TiN-steel, C) CrN, D) CrN-steel, E) ion nitriding

Również dla czopów z warstwami z azotkiem tytanu – stal obserwuje się zmniejszenie zużycia o około 10–20% w stosunku do para z czopem z warstwą jednoskładnikową azotek tytanu. W parach ciernych smarowanych olejem castrol zarejestrowane zostały mniejsze różnice w wartości zużycia panwi w funkcji ukształtowanej jedno i dwuskładnikowej warstwy powierzchniowej czopa. Jednak istotna jest cecha warstwy z azotkiem chromu, która, wykazuje zbliżone wartości zużycia do występującego podczas współpracy pary z czopem z warstwą powierzchniową po azotowaniu jonizacyjnym.

Występujące zmiany w zużyciu stopu łożyskowe można tłumaczyć wzajemnym oddziaływaniem współpracujących warstw powierzchniowy na siebie, jak również występowaniem zjawisk fizyko-chemicznych na ich powierzchniach w wyniku wymuszeń zewnętrznych. Istotne znaczenie odgrywa tutaj oddziaływanie czynnika smarnego, który ulegając przemianom może tworzyć korzystne lub niekorzystne warunki tarcia. Zachodzące zmiany w oleju mogą prowadzi to powstawania warstw granicznych na wytworzonych warstwach powierzchniowych o dużej odporności na przerywanie lub ulegające szybkiemu zniszczeniu. W wyniku procesu tarcia mogły zachodzić zjawiska przenoszenia materiału panwi na powierzchnie czopa lub wbijania się twardych cząstek zużycia materiału czopa w powierzchnie stopu łożyskowego. Wyjaśnienie zachodzących zjawisk wymaga przeprowadzenia dodatkowych badań zmierzających do określenia produktów zużycia, określenia składu chemicznego powierzchni czopów i panwi, zmian składu chemiczne oleju, niejednorodności warstw powierzchniowych oraz ich ciągłości, wyznaczenia własności fizykochemicznych wytworzonych powłok.

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

## **WNIOSKI**

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

1. Sposób ukonstytuowania warstw powierzchniowych czopa 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 sił tarcia od nacisku jednostkowego.
2. Na podstawie doświadczeń stwierdzono wpływ ukształtowanej warstwy powierzchniowej czopa na zużycie stopu łożyskowego panwi. Wykazano, że przy współpracy czopów z warstwą powierzchniową dwuskładnikową azotek chromu–stal i azotowanej jonizacyjnie występuje najmniejsze zużycie stopów łożyskowych. Natomiast największe zużycie zarejestrowano dla par z czopami z warstwą powierzchniową z azotkiem tytanu.
3. Współpraca pary kinematycznej czop – panew wykazała korzystny wpływ oleju silnikowego castrol GTX magnatec 5W/40 w stosunku do oleju lotos syntetic 5W/40 na zmniejszenie zużycia stopów łożyskowych.

## **LITERATURA**

- [ 1 ] Różniatowski K., Kurzydłowski K., Wierzchoń T.: Cechy geometryczne i właściwości warstw Ti(CN). Inżynieria Materiałowa. Nr 6, 1996.
- [ 2 ] Kula P.: Inżynieria warstwy wierzchniej. Politechnika Łódzka, Łódź, 2000.
- [ 3 ] Santner E.: Comparison of wear and friction measurements of TiN coatings. Tribologia, nr 1, 1995.
- [ 4 ] Sep J., Zielecki W.: Preliminary evaluation of the application possibility of bearing journal with two component surface layer. Tribologia, nr 3, 1995.



## **Tribological properties two components surface layers working in frictional pairs**

### **Summary**

The study has determined influence formed one component surface layers (TiN, CrN) and two components surface layers (TiN and steel, CrN and steel) of journal and on parameters of friction in kinematics pair of journal and bearing sleeve. During the research ring samples worked with segment of bearing sleeve made of CuPb30 alloy. The kinematics pair lubricated motor oils lotos syntetyk 5W-40 and castrol magnatec 5W/40. The research performed on test machine T-05. Results of researches confirmed possibilities of use two components surface layers in sliding pairs, which work under conditions of mixed friction. Purpose of delimitation of changes was made investigation resistances of friction force in moment of starting. In moment of start of friction pair was registered values friction force in function of form of superficial layer of journal, sort of motor oil and charges of kinematics pair. Watching change of friction force and her values were individual for investigated kinematics pairs journal and bearing sleeve. The investigation confirmed that friction force increase together with increase load of friction pairs. The researches showed that friction forces had the lowest values for pairs with two components surface layer CrN and steel of journal. The lowest values friction forces pair with two components surface layer CrN and steel of journal were present during working friction pairs lubricated both motor oil. The pair with surface layer TiN of journal had the lowest values friction forces during lubricated pairs only castrol oil. The next tested the kinematics pair during steady-state conditions: constant rotational speed journal  $n=100$  r.p.m., and change unit pressure  $p=10-20$ MPa. In this condition were recorded friction force and temperature of contact area. The pairs lubricated castrol motor oil had lower values friction forces than pairs lubricated lotos motor oil. During lubricated castrol oil pairs with surface layer CrN, CrN-steel and ion nitriding of journal record similar values of friction force and only differ in ranges of values. Registered values and courses of temperature in area of friction do not show significant to differ in dependences from used in friction pair methods of modifying superficial layers of journal, or else of sort of motor oil oiling a friction pair.

Analysis results of wear of material bearing alloy permits to ascertain, that used two components surface layer of journal made important changes in process of friction. Important decrease wear of material bearing alloy observed for journal with layer from CrN during cooperation with two components surface layers in relation to one component layers of journal. Wear material of bearing in this kinematics systems were about twice smaller in friction pair with two component layer CrN-steel of journal. It doesn't depend on sort of motor oil. Also for journal with layers from TiN – steel observed oneself diminution

of wear about 10 – 20% in relation to pairs with journal with one component layer TiN. In friction pairs lubricate castrol oil observed smaller differences in values of wear bearing metal in function formed one and two component layers of journal. However essential is feature of layer from CrN, which, shows nearing waste to stepping out during cooperation of pair with ion nitriding journal.

The researches showed that friction force, temperature of contact area and wear depended on load condition and structure of kinematics pair journal and bearing. On base of experiences one ascertained influence formed superficial layers journal on wear of bearing alloy. Cooperation two component surface layer CrN-steel of journal and ion nitriding surface layer of journal characterized least wear bearing alloys. Instead greatest wear registered for pairs with layer TiN of journal. 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.