

УДК 621.893
UDC 621.893

WŁAŚCIWOŚCI SMARNE OLEJU SILNIKOWEGO PO EKSPLOATACJI W WĘZŁACH CIERNYCH Z ELEMENTAMI BOROWANYMI

NOWAK Justyna, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, Polska
LUBAS Janusz, Prof. dr hab. inż, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, Polska

ЗМАЩУВАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ МОТОРНОЇ ОЛИВИ ПІСЛЯ ВИКОРИСТАННЯ У ВУЗЛАХ ТЕРТЯ З БОРОВМІСТНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ

НОВАК Юстина, Жешовська Політехніка, Жешув, Польща
ЛЮБАС Януш, доктор хабілітований, Жешовська Політехніка, Жешув, Польща

LUBRICATING PROPERTIES OF ENGINE OIL AFTER USE IN FRICTION PAIRS WITH ELEMENTS WITH BORON

NOWAK Justyna, Rzeszow University of Technology, Rzeszow, Poland
LUBAS Janusz, Prof. DSc, Rzeszow University of Technology, Rzeszow, Poland

WPROWADZENIE

Trwałość i niezawodność konstrukcji urządzeń, maszyn czy środków transportu jest wynikiem przede wszystkim doboru odpowiedniej technologii w procesie kształtowania warstw wierzchnich elementów konstrukcyjnych oraz podzespołów należących do układów kinematycznych. Zapewnienia to przenoszenia znacznych nacisków jednostkowych, przy stosunkowo wysokich prędkościach względnego przemieszczania się elementów oraz wysokich temperaturach współpracy układów kinematycznych [1, 2]. Procesy wprowadzania boru do warstwy powierzchniowej są technologiami, które zapewniają odpowiednie właściwości tribologiczne dla elementów par ciernych. Technologie te realizowane są za pomocą różnych procesów jak dyfuzja, przetopienie, implantacja jonów, fizyczne osadzanie lub chemiczne osadzanie z fazy gazowej, galwaniczne, itp. Właściwości powstałych w ten sposób warstw zależą zarówno od stanu fizycznego używanego w procesie źródła boru, czasu trwania obróbki, temperatury borowania, właściwości borowanego materiału, ale także od ewentualnej obróbki cieplnej wykonywanej po procesie borowania [1, 4, 6]. Obecnie stosowane procesy borowania metali umożliwiają osiągnięcie warstwy powierzchniowej odznaczającej się wysoką twardością, odpornością na ścieranie i korozję, brakiem skłonności do pęknięcia oraz niską kruchością. Dodatkowo warstwy te, w pewnych warunkach obciążenia, wykazują skłonność do zmniejszenia współczynnika tarcia, co powoduje, że zwiększa się zainteresowanie wykorzystywaniem tych warstw jako powłok elementów narażonych na zachodzące procesy zużycia [1, 4].

Istotnym elementem współpracy smarowanych par ciernych jest oddziaływanie czynnika smarującego na procesy tarcia przebiegające w obszarze tarcia, ale również zmiana właściwości smarnych czynnika smarującego podczas eksploatacji [3, 5, 7]. Na procesy tarcia kształtowane w obszarze tarcia istotny wpływ wykazuje obciążenie węzła tarcia, które wpływa na kształtowanie warstw przeciwzużyciowych i przeciwzatarciowych. Podjęty problem obejmuje wyznaczenie parametrów tarcia w obszarze tarcia z elementem zawierającym bor, oraz jego wpływ na zmianie właściwość przeciwzatarciowych w czynniku smarnym.

OPIS BADAŃ

Obiektem badań jest węzeł cierny składający się z próbki pierścieniowej i przeciwpróbki (Rys. 1). Próbka pierścieniowa wykonana została ze stali 46Cr2 i poddana procesowi borowania w proszku a przeciwpróbka wykonana była ze stopu łożyskowego AlSn20 (Tabela 1). Proces borowania przeprowadzono w proszku w temperaturze 950°C przez 8 godzin a następnie próbki poddano hartowaniu izotermicznemu. Zastosowany w procesie proszek składał się z następujących substancji (30%), Al₂O₃ (68%), NH₄Cl, and NaF. Naborowane warstwy powierzchniowe stali wyróżniają się dużą twardością (~ 2000HV) i strukturze o charakterystycznym igłowym układzie borków.



Rysunek 1 – Badana para cierna (1 – próbka pierścieniowa, 2 – przeciwpróbka)

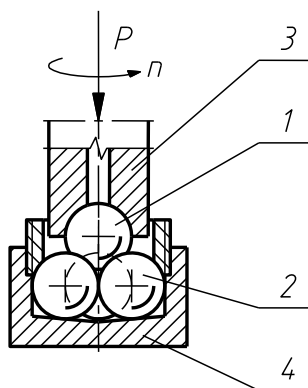
Obszar tarcia pary ciernej podczas testów smarowany był mineralnym olejem silnikowym Lotos mineral 15W/40 (Tabela 2). Badania współpracy pary ciernej i procesy zużycia przeprowadzono na testerze tribologicznym typu rolka – klocek, a badania właściwości przeciwzatarciowych oleju silnikowego przeprowadzono na testerze czterokulowym (Rys. 2).

Tabela 1 – Skład chemiczny i właściwości mechaniczne stopu łożyskowego AlSn20

Pierwiastek (wt. %)	Sn	Cu	Al
	17.5-22.5	0.7-1.3	reszta
Operating temperature T_{max} (°C)	150		
Load P_{max} (N/mm ²)	250		
Tensile strength (N/mm ²)	100		
Sliding speed V-oil lubricated (m/s)	2		
Alloy hardness (HB)	30-40		

Tabela 2 – Charakterystyka oleju silnikowego Lotos mineral 15W/40

Parameter	Value
Kinematic viscosity at 100°C	14,5 mm ² /s
Viscosity index	133
HTHS dynamic viscosity at 150°C	3,8 mPa s
Specification	API SJ/CF ACEA A3-02/B3-98



Rysunek 2 – Węzeł tarcia aparatu czterokulowego, 1-kulka górną, 2-kulki dolne, 3-uchwyt kulki, 4-gniazdo kulek [11]

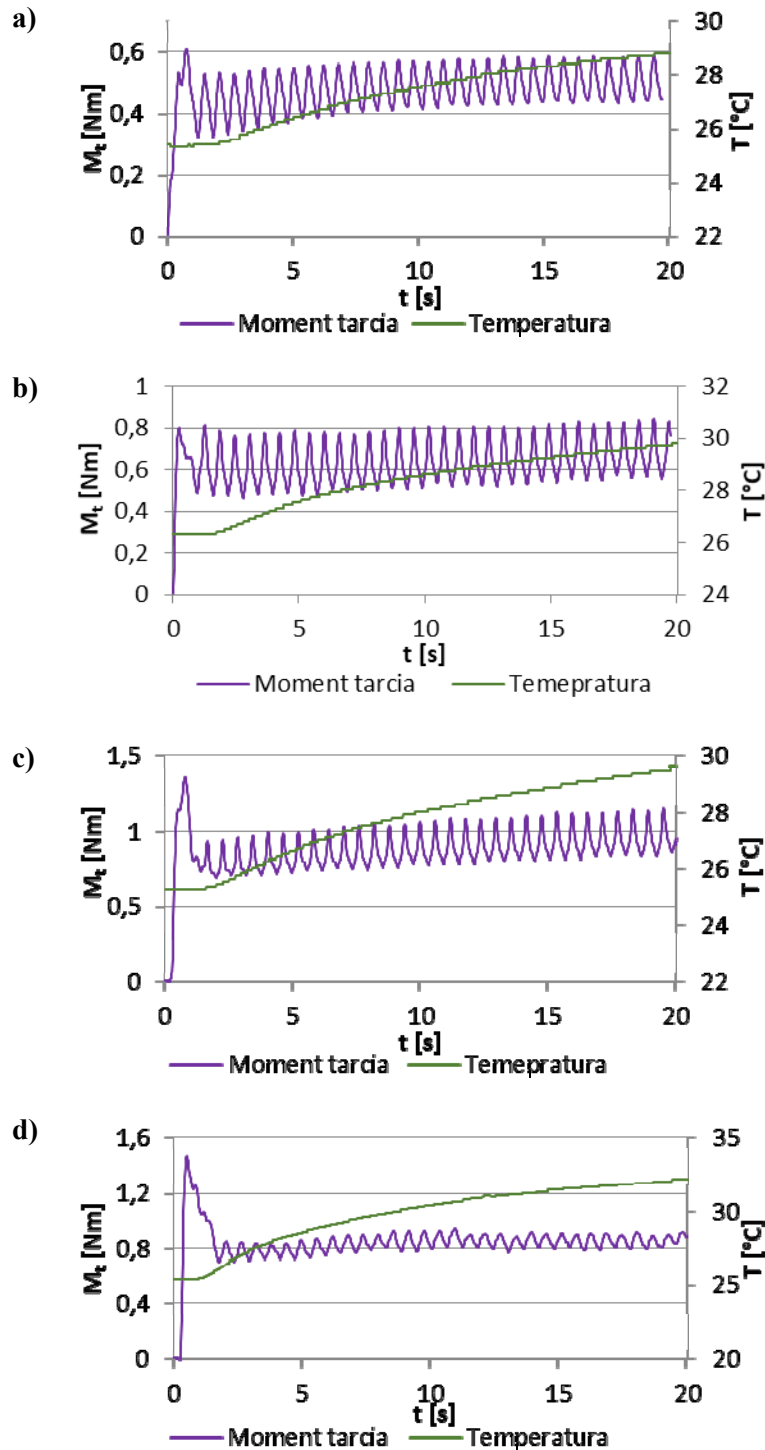
Badania stanowiskowe przeprowadzone zostały według określonego algorytmu, który obejmował docieranie wstępne próbek oraz rzeczywistą współpracę elementów pary trącej przy założonych odpowiednich parametrach. Proces docierania próbki wykonywano na stanowisku badawczym za każdym razem pod takim samym obciążeniem wynoszącym 1 MPa przez okres 30 sekund celem uzyskania wymaganego przylegania przeciwpróbki do próbki pierścieniowej. Wielkościami mierzonymi podczas badania była wartość siły tarcia, temperatura oraz zużycie liniowe. Pomiary parametrów współpracy pary ciernej dokonywano podczas rozruchu pary ciernej w ciągu 20 sekund, oraz prób zużycia trwających 300 sekund. Badania rozruchu pary ciernej przeprowadzono przy obciążeniach 1, 2, 3 i 4 MPa, po 3 próby dla każdego obciążenia, a badania zużycia realizowane zostały pod obciążeniem 1 MPa i 4 MPa.

Do drugiej części badań wykorzystany został aparat czterokulowy T-02U, którego węzeł tarcia składa się z trzech unieruchomionych w uchwycie kulek dolnych, które współpracują z ruchomą jedną kulką górną zamocowaną we wrzecionie, która z obraca się z określoną prędkością. Elementami testowymi w przeprowadzanym badaniu były znormalizowane kulki łożyskowe o średnicy 1/2", wykonane są stali łożyskowej ŁH15 o twardości zawierającej się w granicy 60÷65 HRC. Badania realizowane były przy prędkości obrotowej wrzeciona wynoszącej 500 obr/min i prędkość narastania obciążenia wynoszącym 409 N/s.[7].

Badania smerności przeprowadzono dla dwóch próbek oleju pochodzącego z badań zużycia pary ciernej. Obie próbki oleju były eksploatowane w urządzeniu T – 05 w czasie 300 sekund ale przy różnym obciążeniu. Pierwsza próbka oleju pracowała przy obciążeniu równym 1 MPa, a druga przy obciążeniu 4 MPa. Obie próbki także zawierały zanieczyszczenia w postaci opiłków metalu i boru pochodzącego z powłoki próbki pierścieniowej.

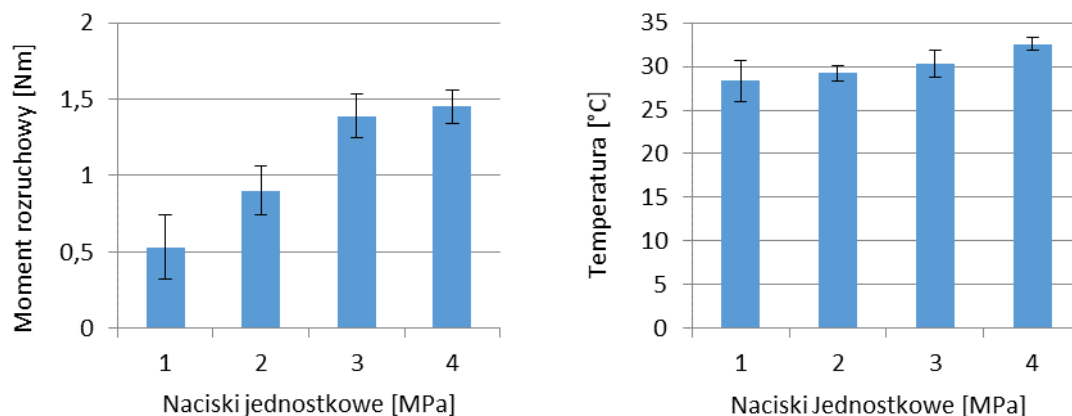
Wyniki badań

W procesie tarcia występują istotne procesy kształtujące warunki tarcia, które można opisać za pomocą momentu tarcia, temperatury, zużycia współpracujących elementów pary ciernej jak również zmian właściwości użytkowych czynnika smarnego (Rys. 3).



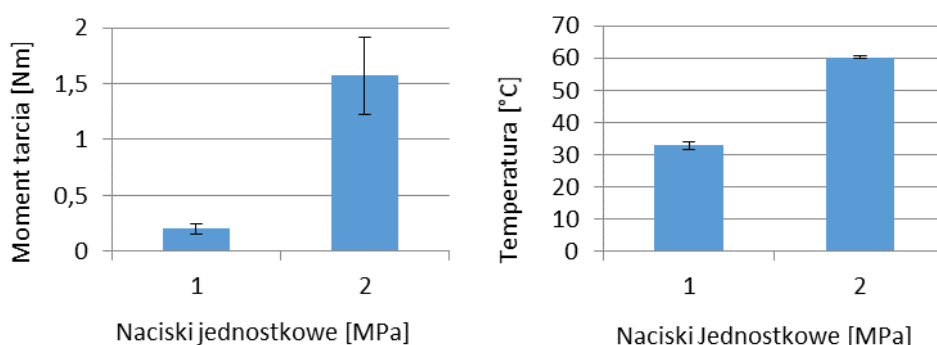
Rysunek 3 – Przebieg momentu tarcia M_T i temperatury T w funkcji czasu rozruchu pary ciernej i obciążenia a) 1 MPa, b) 2 MPa, c) 3 MPa, d) 4 MPa

Badania rozruchu pary ciernej wykazały, że dla każdego obciążenia badanych par ciernych podczas ich rozruchu występował intensywny wzrost momentu rozruchowego. Przy obciążeniu 1MPa moment ten wyniósł ok 0,6 Nm potem się obniżył i z czasem trwania próby zaczął wolno wzrastać. Przy obciążeniu 2 MPa, wartość momentu rozruchowego wyniosła 0,8 Nm i praktycznie nie uległa zmianie przez cały czas procesu współpracy. Przy obciążeniu 3 MPa moment startowy osiągnął 1,4 Nm, a następnie znacznie się obniżył i z upływem czasu wykazywał powolny wzrost wartości. Przy obciążeniu 4 MPa moment rozruchowy wyniósł 1,5 Nm, następnie znacznie się obniżył i z upływem czasu utrzymywał się na stałym poziomie (Rys. 3). Wraz ze wzrostem obciążenia wzrastała wartość momentu rozruchowego. Największa różnica między ich wartością pojawiła się pomiędzy obciążeniem 2 a 3 MPa. Biorąc pod uwagę czas w jakim rozpoczynała się stabilizacja procesu można zaobserwować że wzrost obciążenia w obszarze styku powodował przedłużanie się tego okresu. Przy niskim obciążeniu stabilizacja zaczynała się po upływie około 1 sekundy natomiast już przy większym obciążeniu czas ten wynosił około 2,5 s, co może być spowodowane tym, że para ma trudniejsze warunki rozruchu i potrzebuje więcej czasu na stabilizację. Temperatura próbki na końcu każdego biegu zawierała się w granicach od 29 do 33 °C (Rys. 3).



Rysunek 3 – Moment rozruchowy i temperatura w obszarze tarcia podczas próby rozruchu pary ciernej

Analiza wpływu obciążenia na rejestrowane parametry pracy pary ciernej moment rozruchowy i temperatura w obszarze tarcia wykazała, że moment rozruchowy zwiększał się przy wzroście obciążenia, a różnica pomiędzy największym a najmniejszym momentem rozruchowym dla każdego obciążenia wraz z wzrostem obciążenia się zmniejszała. Podobnie przebieg wykazują pomiary temperaturą – wzrastała ze wzrostem obciążenia, a różnica pomiędzy końcowymi wartościami w kolejnych próbach wraz ze wzrostem obciążenia zmniejszała się (Rys. 6).

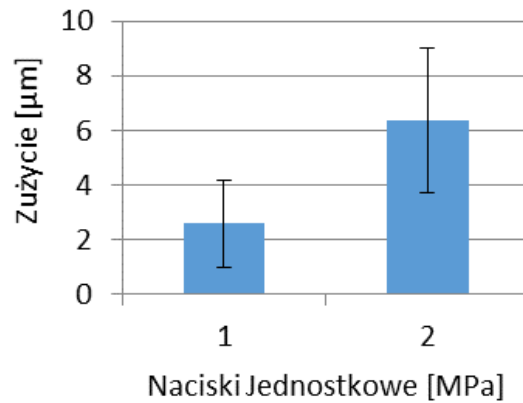


Rysunek 4 – Moment tarcia i temperatura w obszarze tarcia (100 obr/min, 300 s)

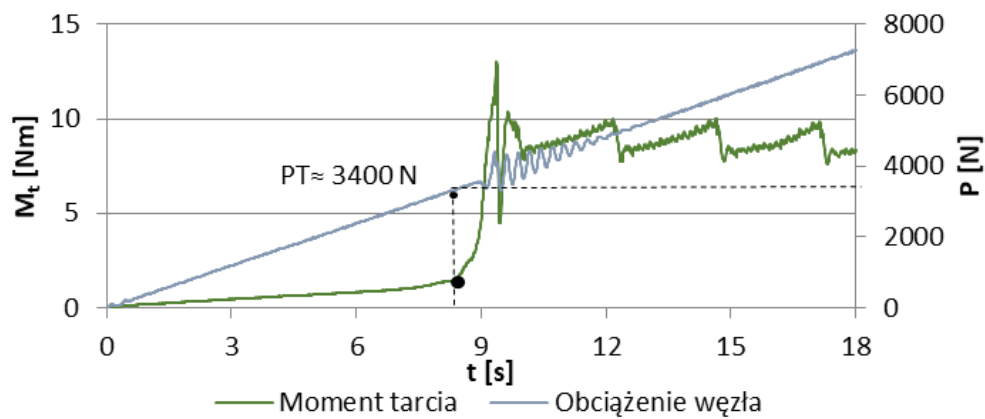
Wyniki badań z prób zużycia przy obciążeniu 1 i 4 MPa wykazały istotny wpływ na mierzone parametry tarcia i zużycia (Rys. 4, 5). Średni moment tarcia dla 1 MPa wyniósł 0,20 Nm, a rozrzut pomiędzy jego maksymalną a minimalną wartością 0,05. Dla 4 MPa moment miał wartość 1,57 Nm, a rozrzut 0,34. W próbie zużycia temperatura próbek w obszarze tarcia jest 2 razy większa przy obciążeniu 4 MPa w stosunku do temperatury rejestrowane przy obciążeniu 1 MPa (Rys. 4). Zużycie pary ciernej wykazuje

również istotny wzrost wzrostu zużycia liniowego przy zwiększającym się obciążeniu węzła. Dla obciążenia 1 MPa wyniosło ono 2,59 również, a dla 4 MPa – 6,37 μm (Rys. 5).

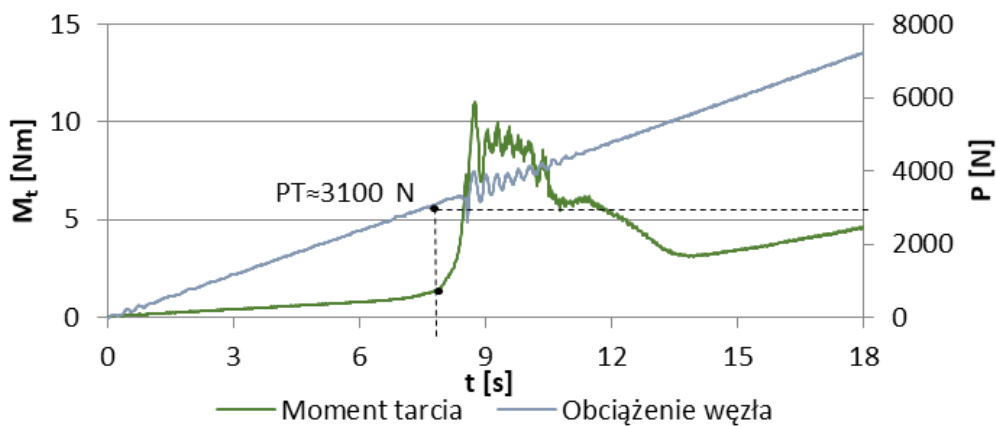
Zarejestrowane w czasie badań olejów na aparacie czterokulowym przebiegi siły obciążającej węzeł tarcia oraz momentu tarcia pozwalają na wyznaczenie momentu zacierania pary ciernej w zależności od rodzaju czynnika smarującego. Na rysunkach oznaczona została wartość siły obciążenia zacierającego, która w tej metodyce badań jest decydującym kryterium oceny smarności oleju (Rys. 6-8).



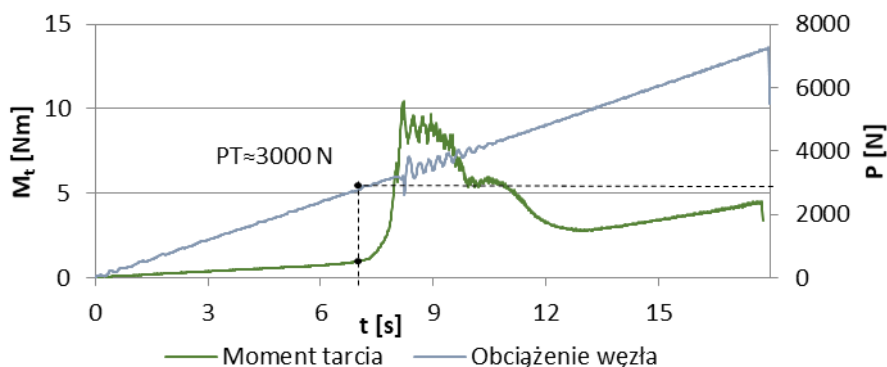
Rysunek 5 – Zużycie liniowe elementów pary ciernej



Rysunek 6 – Przebieg siły obciążenia węzła tarcia P i momentu tarcia MT dla nieeksploatowanego oleju silnikowego 15W/40; PT - siła obciążenia zacierającego



Rysunek 7 – Przebieg siły obciążenia węzła tarcia P i momentu tarcia MT dla eksploatowanego oleju przy obciążeniu 1 MPa; PT - siła obciążenia zacierającego



Rysunek 8 – Przebieg siły obciążenia węzła tarcia P i momentu tarcia MT dla eksploatowanego oleju przy obciążeniu 4 MPa; PT - siła obciążenia zacierającego

Tabela 3 – Wyników badań na aparacie czterokulowym

Próbka	Obciążenie zacierające P_T [N]
Nieeksploatowany olej silnikowy	~ 3400
Eksploatowany przy obciążeniu 1 MPa	~ 3100
Eksploatowany przy obciążeniu 4 MPa	~ 3000

Z przedstawionych wyników można zauważyć, że trwałość smarowej warstwy granicznej mineralnego oleju silnikowego o klasyfikacji lepkościowej 15W/40 po przepracowaniu 900 sekund przy obciążeniu 1 MPa oraz 4 MPa jest bardzo zbliżona (Tabela 3). Zarejestrowane dla tych olejów obciążenie zacierające P_T sięga odpowiednio około 3100 i 3000 N. Z wyników zacierania pary tribologicznej wynika, że oleje po eksploatacji charakteryzują się niższymi wartościami obciążenia zacierającego dla obu olejów w stosunku do oleju bazowego, nie eksploatowanego. Wykazują to że nawet krótki czas eksploatacji wpływa na pogorszenie właściwości przeciwzatarciowych oleju pracującego pod obciążeniem. Smarność eksploatowanego oleju w istotnie zależy od jego składu chemicznego i struktury pary cieńszej.

Wnioski

Na podstawie analizy przeprowadzonych badań zużycia par ciernych z elementami zawierającymi bor i badań właściwości przeciwzatarciowych oleju można przedstawić następujące wnioski:

1. Zwiększenie nacisku jednostkowego w styku badanego węzła ciernego w czasie rozruchu pary powoduje wzrost wartości momentu rozruchowego i temperatury w obszarze tarcia. Jednak wzrost obciążenia pary nie powoduje znaczącego przyrostu różnicy wartości momentu rozruchowego i temperatury pomiędzy badanymi wartościami nacisków jednostkowych.

2. W badaniach zużycia rejestrowane wartości moment tarcia, temperatury oraz zużycia pary cieńszej wykazują istotne wzrosty przy wzroście obciążenia pary cieńszej. Przy obciążeniu 4 MPa wartość momentu tarcia wzrosła około 6 krotnie, a temperatury i zużycie około 2 krotnie w stosunku do wartości uzyskanych przy obciążeniu 1 MPa.

3. W badaniach przeciwzatarciowych olejów większą zdolność do tworzenia trwałej smarowej warstwy granicznej wykazuje nieeksploatowany olej mineralny w stosunku do oleju eksploatowanego, a używane mineralne oleje silnikowe odznaczają się zbliżonymi właściwościami przeciwzatarciowymi.

LITERATURA

1. Dobrzański L., Kształtowanie struktury i własności powierzchni materiałów inżynierskich, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2013 r.
2. Dobrzański L., Kształtowanie struktury i własności powierzchni materiałów inżynierskich i biomedycznych, Wyd. International Ocsco World Press Gliwice, 2009 r.

3. Jakóbiec J., Wądrzyk M., Cieślowski B., Rola i znaczenie badań eksploatacyjnych w zakresie oceny użytkowej olejów silnikowych, *Czasopismo Logistyka*, nr 6, 2014 r.
4. Lubas J., Tribologiczne właściwości stali z borem w węzłach ciernych smarowanych olejami silnikowymi, *Czasopismo Techniczne*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, 2012 r.
5. Nowak J., Smarowanie węzłów kinematycznych urządzeń transportowych, Praca dyplomowa, Rzeszów, 2015 r.
6. Przybyłowicz K., Teoria i praktyka borowania stali, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach, Kielce 2009 r..
7. Szczypiński – Sala W., Lubas J., Zastosowanie warstw powierzchniowych modyfikowanych borem w węzłach ciernych smarowanych olejami silnikowymi, *Czasopismo Logistyka*, nr 6, 2015 r.
8. T-02U. Aparat czterokulowy – instrukcja obsługi. Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji. Radom 2011 r.
9. T – 05 typu rolka – klocek – instrukcja obsługi. Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji, Radom.

STRESZCZENIE

NOWAK Justyna. Właściwości smarne oleju silnikowego po eksploatacji w węzłach ciernych z elementami borowanymi / NOWAK Justyna, LUBAS Janusz // *Wisnyk Narodowego Uniwersytetu Transportu*. – K. : NTU, 2017. – № 39.

W pracy przedstawiono procesy tarcia w obszarze tarcia węzła ciernego w składzie którego zastosowano element zawierający bor. Badania tribologiczne wykazały istotny wpływ obciążenia na procesy tarcia i zużycia. Przy obciążeniu pary cierniej 4 MPa wartość momentu tarcia wzrosła około 6 krotnie, a temperatura i zużycie około 2 krotnie w stosunku do wartości uzyskanych przy obciążeniu 1 MPa. Badania właściwości przeciwzatarciowych olejów wykazały większą zdolność do tworzenia trwałej smarowej warstwy granicznej przez nieeksploatowany olej mineralny w stosunku do oleju eksploatowanego, a używane mineralne oleje silnikowe odznaczają się zbliżonymi właściwościami przeciwzatarciowymi.

РЕФЕРАТ

НОВАК Юстина. Змашувальні властивості моторної оливи після використання у вузлах тертя з боровмістними елементами / НОВАК Юстина, ЛЮБАС Януш // *Вісник Національного транспортного університету*. Серія “Технічні науки”. Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2017. – Вип. 3 (39).

У статті представлений процес тертя у фрикційних вузлах з використанням боровмістного компонента. Триботехнічні дослідження показали значний вплив навантаження на процеси тертя і зношування. Коли навантаження пари тертя 4 МПа, значення моменту тертя збільшилось приблизно в 6 разів, а температура і споживання оливи приблизно в два рази, у порівнянні із значеннями, отриманими при навантаженні в 1 МПа. Дослідження протизадирних властивостей випробуваних олив показали високу здатність утворювати стабільний приграничний шар мастильного матеріалу у мінеральних олив, що не експлуатувалися на противагу оливи, що була в експлуатації. Мінеральна моторна олива, що була в експлуатації відзначається подібними протизадирними властивостями.

ABSTRACT

NOWAK Justyna, LUBAS Janusz. Lubricating properties of engine oil after use in friction pairs with elements with boron. *Visnyk National Transport University*. Series “Technical sciences”. Scientific and Technical Collection. – Kyiv. National Transport University, 2017. – Issue 3 (39).

The work presents the friction processes in the friction area in friction pairs with element contain the boron. Tribological tests have shown the significant impact of load on friction process and wear. At a load of 4 MPa, the friction moment has increased about 6 times, temperature and wear have increased about 2 times compared to the values obtained at 1 MPa. The anti-seizure properties of oils have shown greater ability to form a lubricant boundary layer by unused mineral oil compared to used oil, and used mineral engine oils have similar anti-seizure properties.

AUTORZY:

NOWAK Justyna, Politechnika Rzeszowska, Katedra Silników Spalinowych i Transportu, Al. Powstańców Warszawy 12, tel.: +48 17 865 1531, 35-959, Rzeszów, Polska

LUBAS Janusz, Prof. dr hab. inż, Politechnika Rzeszowska, Katedra Silników Spalinowych i Transportu, Al. Powstańców Warszawy 12, tel.: +48 17 865 1531, 35-959, Rzeszów, Polska

АВТОРИ:

ЛЮБАС Януш, Професор, Доктор габілітований, Жешовська Політехніка, Кафедра двигунів внутрішнього згорання і транспорту, Бульвар Повстанців Варшави 12, тел.: +48 17 865 1531, 35-959, Жешув, Польща

НОВАК Юстина, Жешовська Політехніка, Кафедра двигунів внутрішнього згорання і транспорту, Бульвар Повстанців Варшави 12, тел.: +48 17 865 1531, 35-959, Жешув, Польща

AUTHORS:

NOWAK Justyna, Rzeszow University of Technology, Department of Internal Combustion Engines and Transport, Warsaw Insurgents Boulevard 12, tel.: +48 17 865 1531, 35-959, Rzeszow, Poland

LEJDA Kazimierz, Prof. DSc, Rzeszow University of Technology, Department of Internal Combustion Engines and Transport, Warsaw Insurgents Boulevard 12, tel.: +48 17 865 1531, 35-959, Rzeszow, Poland

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Посвятенко Е.К., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства, Київ, Україна.

Савін Ю.Х., кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри технічної експлуатації автомобілів та автосервісу, Київ, Україна.

REVIEWERS:

Posvyatenko E.K., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Professor, Department of Manufacture, Repair and Materials, Kyiv, Ukraine.

Savin Yu.F, Ph.D in Technical Science, Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of Technical operation of cars and car services, Kyiv, Ukraine.