ISSN 1232-3829
tts
10/2013
Technika Transportu Szynowego koleje ▪ tramwaje ▪ metro

NAPADŁEK Wojciech, CHRZANOWSKI Wojciech

WYBRANE ASPEKTY ZUŻYWANIA SIĘ WIELKOGABARYTOWYCH ŁOŻYSK TOCZNYCH

Streszczenie

W artykule przedstawiono analizę wyników badań laboratoryjnych procesów zużywania warstwy wierzchniej elementów łożysk tocznych, wykonanych ze stali łożyskowej 100CrMnSi6-4. Badano rzeczywiste wielkogabarytowe łożyska toczne, po ich eksploatacji w wagonach kolejowych (o przebiegu ~ $6x10^8$ m). Podczas badań procesów zużywania skupiono się głównie na skojarzeniu tribologicznym bieżnia - wałeczek w strefie powierzchniowej, w której podczas eksploatacji występują duże i zmienne naciski jednostkowe oraz różne mechanizmy zużycia. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono na bieżni pierścienia wewnętrznego oraz wałeczka następujące rodzaje zużycia: ścierne, ścierno – adhezyjne, złuszczanie i pitting. Na powierzchni bocznej bieżni i wałeczka stwierdzono ślady występowania korozji wżerowej, a także zużycie spowodowane przez fretting.

WSTĘP

Wielkogabarytowe łożyska toczne stosowane są od prawie 80 lat do łożyskowania węzłów elementów maszyn pracujących w ruchu obrotowym oraz dźwigów. Obecnie łożyska te w zasadzie wyparły inne rozwiązania techniczne. Są one powszechnie stosowane w maszynach podstawowych górnictwa odkrywkowego, w których osiągają największe średnice [1, 2]. Koszt ich stanowi od kilku dziesiątych do kilku procent wartości nowej maszyny, jednak ich awaria prowadzi do zatrzymania całej maszyny i często znacznie większych kosztów, związanych z długotrwałym przestojem maszyny. Niezbędny jest zatem taki dobór parametrów węzła łożyskowego, aby zapewnić odpowiednio długą eksploatację oraz opracowanie metody prognozowania trwałości użytkowej łożyska [2].

Podstawowym mechanizmem zużycia w silnie obciążonych łożyskach tocznych o bieżniach normalizowanych lub ulepszonych cieplnie jest zużycie odkształceniowe zachodzące przez płynięcie plastyczne materiału bieżni. Podczas eksploatacji łożyska następuje cykliczne obciążanie bieżni, w wyniku przetaczania się elementów tocznych. Trwałość takich łożysk jest ograniczana zazwyczaj nie przez zmęczenie materiału lecz na skutek utraty podstawowych parametrów geometrycznych łożyska. Zjawisko zużycia odkształceniowego ma w przeciwieństwie do mechanizmów zmęczeniowych mniej gwałtowny charakter, co umożliwia jego prognozowanie, pod warunkiem znajomości dystrybucji obciążeń oraz charakterystyk materiałowych (rysunek nr 1) [1].

Rys. 1. Przebiegi zużycia łożyska wielkogabarytowego o bieżni normalizowanej i hartowanej [1]

Do wykonania pierścieni łożyskowych i elementów tocznych stosuje się głównie stal chromową wysokowęglową. Na łożyska poddawane bardzo dużym obciążeniom udarowym powszechnie stosowane są niskowęglowe stopowe stale do nawęglania, takie jak: stale chromowe, Cr-Mo, Ni- Cr-Mo, itp. Takie stale po nawęglaniu oraz hartowaniu na odpowiednią głębokość, posiadają wystarczającą powierzchniową twardość, są bardziej odporne na udarowe obciążenia niż normalne (stale łożyskowe hartowane na wskroś), ponieważ stale te posiadają plastyczny rdzeń pochłaniający energię.

Możliwe rodzaje uszkodzeń elementów łożysk tocznych, to:

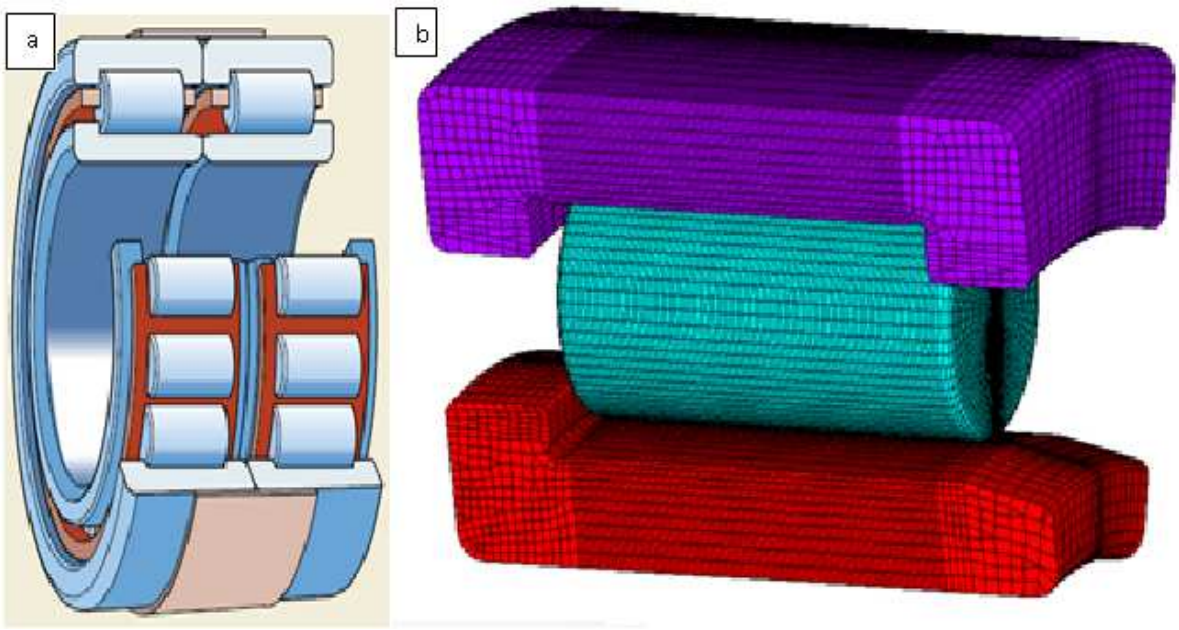
- zatarcie lub przytarcia smugowe bieżni i powierzchni tocznych,
- złuszczenie bieżni i powierzchni tocznych w łożyskach walcowych,
- pęknięcie w pierścieniu zewnętrznym lub wewnętrznym, elemencie tocznym lub koszyku,
- wgniecenia w bieżni i elementach tocznych,
- zużycie cierno-korozyjne,
- zakleszczenie,
- przypalenie,
- pitting, fretting,
- korozja i rdza na powierzchniach pasowanych i wewnątrz łożyska.

Mogą one powstać nie tylko na skutek nadmiernego obciążenia łożysk czy starzenia się jego elementów, ale także w wyniku niewłaściwego montażu lub smarowania. Dlatego układ: wał maszyny wirującej – łożysko – obudowa łożyska – konstrukcja wsporcza jest najbardziej odpowiedzialnym zespołem odzwierciedlającym stan dynamiczny maszyny. Układy nadzoru diagnostycznego maszyn ukierunkowane są na sygnały płynące z węzłów łożyskowych zespołów maszyn. Konieczne jest jak najczęstsze rozpoznawanie zmian stanu dynamicznego maszyn, stopnia zużycia, rodzaju i poziomu uszkodzeń po to, aby w przyszłości zapobiec ich skutkom i wcześniej podjąć odpowiednie działania zapobiegawcze [3, 4].

1. OBIEKT I METODYKA BADAŃ

Podczas diagnozowania oraz badania łożysk, należy w pierwszej kolejności sprawdzić i zapisać dane, dotyczące wyglądu zewnętrznego badanych łożysk oraz ilości i stanu pozostałości środka smarnego. Jako środek myjący stosuje się często naftę. Zdemontowane łożyska poddaje się najpierw myciu wstępnemu, a następnie przepłukaniu ostatecznemu. Po całkowitym wymyciu, łożyska poddaje się badaniu w celu oceny stanu ich bieżni oraz powierzchni zewnętrznych, wielkości zużycia koszyka, przyrostu luzu promieniowego oraz degradacji tolerancji. Badania laboratoryjne łożysk z maźnic wagonów kolejowych po

eksploatacji wymagało rozebrania ich na elementy, aby możliwe było określenie zużycia powierzchnie bieżni, wałeczków, powierzchni styku oparcia bocznego wałeczków oraz koszyka. Badania laboratoryjne przeprowadzono na rzeczywistych elementach łożyska tocznego wykonanego że stali łożyskowej 100CrMnSi6-4, stosowanego w tzw. maźnicach wagonów kolejowych (rysunku nr 2 i 3). Badane łożyska pracowały w maźnicach zestawów wagonowych, których przebieg wynosił 600 tys. km.



Rys. 2. Schemat poglądowy budowy jednorzędowego wałeczkowego łożyska tocznego (a) oraz model MES (wg dr inż. Krzysztofa Manowskiego) węzłów tribologicznych maźnicy koła wagonu z wielkogabarytowymi wałeczkowymi łożyskami tocznymi (b)

Rys. 3. Widok wielkogabarytowego wałeczkowego łożyska tocznego i jego elementów eksploatowanego w maźnicach kół wagonowych (600 tys. km); a – pierścień zewnętrzny łożyska, koszyk i wałeczki, b – widok pierścienia wewnętrznego ze zużytą bieżnią, c – wałeczek po eksploatacji

Obserwacje i zdjęcia do dokumentacji efektów procesów tribologicznych, zachodzących w eksploatacji wielkogabarytowych łożysk tocznych, wykonano przy użyciu mikroskopu optycznego ze światłowodową transmisją obrazu (rysunek nr 4) oraz skaningowego mikroskopu elektronowego. Obserwacje topografii powierzchni elementów łożysk prowadzono przy powiększeniach od 20x ÷ 1000x. Chropowatość powierzchni (głównie

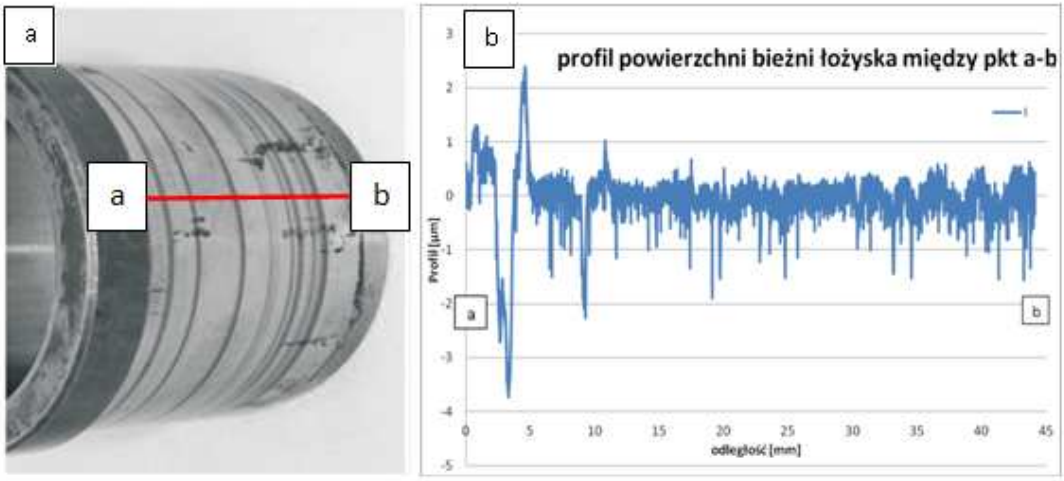
parametr R_a) mierzono wykorzystując przenośny profilometr mechaniczny firmy Hommel-Etamic T1000 Basic z oprogramowaniem Turbo Detawin v1.34.

Rys. 4. Widok mikroskopu optycznego ze światłowodową transmisją obrazu podczas obserwacji topografii powierzchni bieżni pierścienia wewnętrznego wielkogabarytowego łożyska tocznego

2. WYNIKI BADAŃ

Podczas badań łożyska tocznego po eksploatacji stwierdzono m.in.: zużycie ścierne powierzchni bieżni łożyska oraz powierzchni wałeczków spowodowanego udziałem procesu tarcia. W procesach zużycia trybologicznego następuje zmiana masy oraz struktury powierzchni (stereometrii) i własności fizycznych warstw wierzchnich obszarów współpracy. Intensywność zużywania jest funkcją różnego rodzaju oddziaływań oraz odporności obszarów tarcia warstw wierzchnich. Wartość zużycia jest uzależniona od: rodzajów procesów zużywania, od powierzchni współpracujących ze sobą oraz rodzaju środka smarnego. Charakterystyczny przykład zużycia na powierzchni bieżni łożyska wielkogabarytowego uzyskany w analizowanych łożyskach przedstawiono na rysunku nr 5.

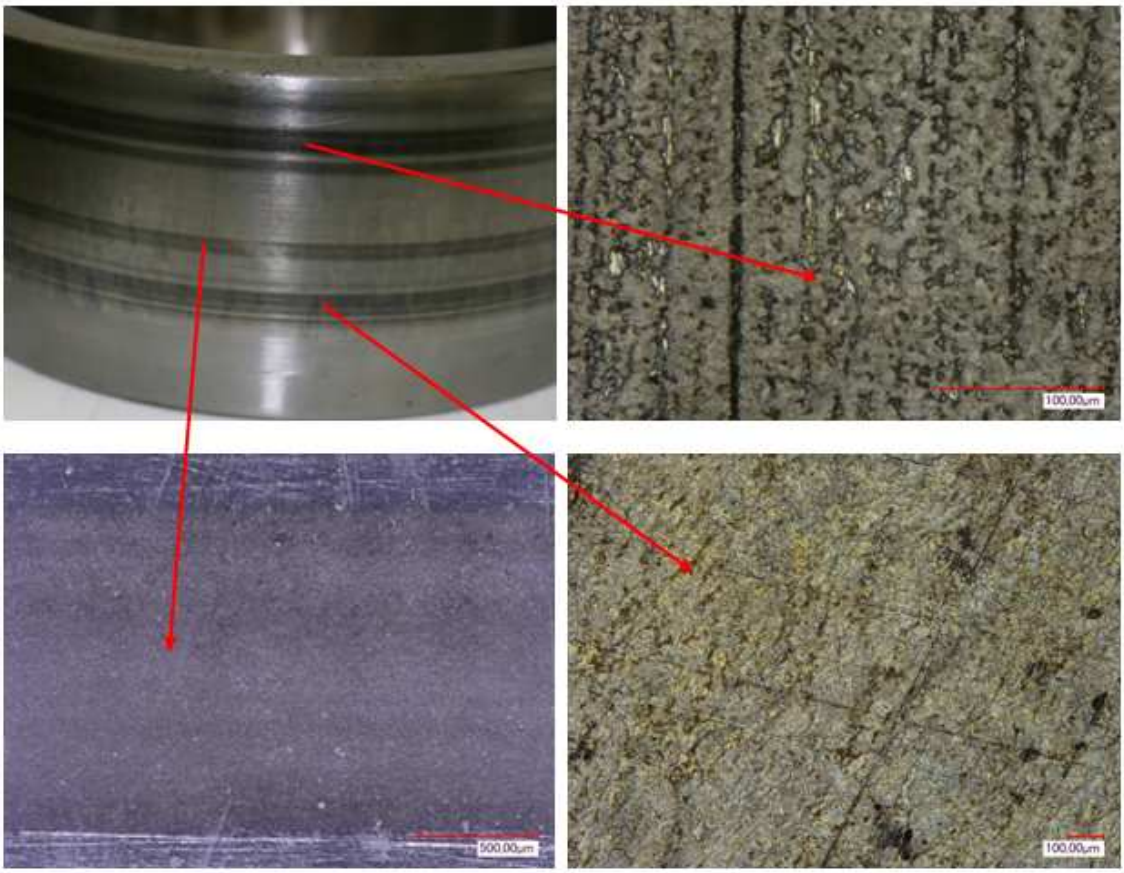
Proces korozji występuje jeśli woda lub żrące środki przeniknie do wnętrza łożyska w takich ilościach, że środki smarujące nie mogą zapewnić ochrony na powierzchni stali. Proces ten może szybko przebiegać w głąb warstwy wierzchniej lub doprowadzić do głębokiego wżeru. Środki smarujące powinny zapewnić cienką warstwę ochroną na powierzchni elementów łożyska, w przypadku gdy ta warstwa jest niedostatecznie gruba lub ulegnie uszkodzeniu przez wodę lub środki żrące, to powierzchnie stalowe szybko ulegną zniszczeniu, pojawią się płaty produktów korozji, a rozwój korozji jest bardzo niebezpieczny dla trwałości łożyska, ponieważ może inicjować łuszczenie i pęknięcia. Przykładowe ślady korozji zidentyfikowane na badanym łożysku przedstawiono na rysunku nr 6.



Rys. 5. Charakterystyczne strefy powierzchni kontaktu bieżnia –wałeczki wielkogabarytowego łożysk tocznych po eksploatacji około 600.000 km: a)- Widok powierzchni (bieżni) pierścienia wewnętrznego, b) charakterystyczny profil chropowatości (parametr Ra) mierzony na odcinku a-b

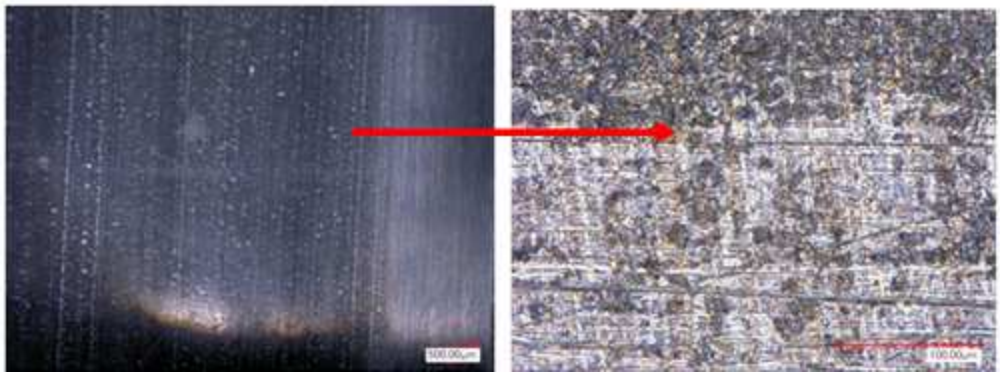
Rys. 6. Charakterystyczne strefy powierzchni zużycia wielkogabarytowych łożysk tocznych po eksploatacji (po przebiegu około 600.000 km): przykładowe miejsca korozji wżerowej

Jeśli warstwa smarująca między bieżnią i elementem tocznym jest zbyt cienka, to wierzchołki powierzchni współpracujących elementów będą chwilowo stykały się ze sobą, w wyniku tarcia oraz lokalnego wzrostu temperatury dochodzi do lokalnych szczepień adhezyjnych. Mogą powstać wtedy mikropęknięcia tworzące lokalna siatkę mikropęknięć, które w wyniku cyklicznie zmiennych obciążeń ulegają procesowi destrukcji w postaci lokalnych złuszczeń powierzchni. Pęknięć tych nie należy mylić z pęknięciami zmęczeniowymi, które powstają pod powierzchnią i prowadzą do łuszczenia. Zmęczeniowe pęknięcia powierzchni są mikroskopijnie małe i zwiększają się stopniowo do wielkości powodującej zniszczenie łożyska. Przykład zniszczenia łożyska przez złuszczenie przedstawiono na rysunku 7.



Rys. 7. Charakterystyczne strefy powierzchni kontaktu bieżnia-wałeczek w wielkogabarytowych łożyskach tocznych po eksploatacji około 600.000 km: w wyniku kontaktów powierzchniowych

Gdy dwie niewłaściwie smarowane powierzchnie przesuwają się względem siebie pod zmiennym obciążeniem, to zdegradowany (złuszczony) materiał jest przenoszony z jednej powierzchni na drugą (np. z bieżni na wałeczek i odwrotnie). Zjawisko to znane jest jako pitting. Powierzchnia po pittingu wygląda jakby była „poszarpana", występują wykruszenia (odwarstwienia), spowodowane zmęczeniem warstwy wierzchniej. Inicjacja destrukcji materiału łożyska następuje tuż pod powierzchnią bieżni łożyska w mikroobszarach lokalnego wzrostu (koncentracji) naprężeń własnych, co prowadzi do powstawania siatki mikropęknięć, prowadzących do łuszczenia (odwarstwiania) się materiału bieżni łożyska. Przykład pittingu przedstawiono na rysunku nr 8.



Rys. 8. Charakterystyczne strefy powierzchni kontaktu bieżnia-wałeczek w wielkogabarytowych łożyskach tocznych po eksploatacji około 600.000 km: przykład pittingu

WNIOSKI

1. Przeprowadzone badania laboratoryjne efektów zużywania się powierzchni tribologicznie czynnych (bieżnie łożysk, wałeczki) wielkogabarytowych łożysk tocznych, stosowanych w tzw. maźnicach kół wagonów, wykazały następujące rodzaje zużycia:

– zużycie ścierne, występujące w sposób nieregularny w znacznej mierze na powierzchni bieżni wewnętrznej i zewnętrznej, powodujące wzrost chropowatości powierzchni od 0,2 do 0,8µm;
– zużycie ścierno – adhezyjne występujące wtedy, gdy warstwa środka smarnego między bieżnią i elementem tocznym jest zbyt cienka, wtedy to wierzchołki powierzchni, współpracujących elementów łożyska chwilowo stykają się ze sobą, powodując w wyniku tarcia lokalny wzrostu temperatury, która powoduje uplastycznienie oraz lokalne szczepienia adhezyjne materiałów współpracujących elementów (np. bieżni i wałeczków). Mogą powstać wtedy mikropęknięcia, tworzące lokalną siatkę mikropęknięć, które w wyniku cyklicznie zmiennych obciążeń ulegają procesowi destrukcji w postaci lokalnych złuszczeń powierzchni;
– zużycie przez pitting występujące na powierzchniach współpracy wałeczków z bieżniami (wewnętrzną oraz zewnętrzną). Proces pittingu występuje bardziej intensywnie na powierzchni pierścienia wewnętrznego. Inicjacja destrukcji materiału łożyska następuje tuż pod powierzchnią bieżni łożyska w mikroobszarach lokalnego wzrostu (koncentracji) naprężeń własnych, co prowadzi do powstawania siatki mikropęknięć prowadzących do łuszczenia (odwarstwiania) się materiału bieżni łożyska. Powodem tego jest niewłaściwie smarowane powierzchnie przesuwających się względem siebie pod zmiennym obciążeniem (np. w skojarzeniu wałeczek – bieżnia). W takim przypadku zdegradowany (złuszczony) materiał przenoszony jest z jednej powierzchni na drugą (np. z bieżni na wałeczek i odwrotnie). Powierzchnia po pittingu wygląda jakby była „poszarpana”, występują wykruszenia (odwarstwienia) spowodowane zmęczeniem warstwy wierzchniej;
– zużycie korozyjne występuje jeśli woda lub media agresywne przenikną do wnętrza łożyska w takich ilościach, że środki smarujące nie mogą zapewnić ochrony na powierzchni stali. Proces ten może szybko przebiegać w głąb warstwy wierzchniej lub doprowadzić do głębokiego wżeru. Środki smarujące powinny zapewnić cienką warstwę ochroną na powierzchni elementów łożyska, w przypadku gdy ta warstwa jest niedostatecznie gruba lub ulegnie uszkodzeniu przez wodę lub środki żrące, to powierzchnie stalowe szybko ulegną zniszczeniu, pojawią się płaty produktów korozji. Rozwój korozji jest bardzo niebezpieczny dla trwałości łożyska ponieważ może inicjować łuszczenie i pęknięcia;

– zużycie przez fretting w miejscu stałego połączenia, np. pierścienia zewnętrznego z piastą koła wagonu, spowodowane mikro-przemieszczeniami się ww. elementów oraz drganiami układu, zwłaszcza w środowisku korozyjnym (np. wody). Efekty takiego zużycia zaobserwowano na ww. elementach maźnicy koła wagonu.

PODSUMOWANIE

Celem zminimalizowania opisanych wyżej procesów zużycia, zwłaszcza zużycia ściernego, ścierno – adhezyjnego oraz pittingu, podjęto prace badawcze dotyczące poprawy jakości, zwłaszcza jednorodności materiału rodzimego, procesami obróbki cieplnej oraz poprzez modyfikacją warstwy wierzchniej bieżni i wałeczków wielkogabarytowego łożyska tocznego. Natomiast celem modyfikacji ww. elementów w programie badań laboratoryjnych zaplanowano zastosowanie bardzo nowoczesnych technologii laserowych w zakresie powierzchniowego hartowania oraz ablacyjnego teksturowania laserowego newralgicznych powierzchni współpracy elementów łożyska, co umożliwi wytworzenie tzw. mikrozasobników smarowych, poprawiających procesy smarowania, a tym samym korzystnie wpływających na zmniejszenie zużywania się elementów wałeczkowych łożysk tocznych.

„Praca została sfinansowana ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju– nr projektu PBS1/B5/1/2012/”.

BIBLIOGRAFIA

1. Smolnicki T., Stańco M.: *Prognozowanie zużycia odkształceniowego wielkogabarytowych łożysk tocznych o bieżniach miękkich*. Acta Mechanica et Automatica, ISSN 1898-4088 2009r
2. Durst W., Vogt W..: *Trans Tech Publications*. Schaufelradbagger. Clausthal 1986.
3. Smolnicki T., Stańco M.: *Wybrane aspekty eksploatacji wielkogabarytowych łożysk tocznych*. Eksploatacja i Niezawodność, str. 25-30. 2009r
4. Styp-Rekowski M.: Zagadnienia *zmęczeniowego zużycia nietypowych łożysk tocznych*. Tribologia : tarcie, zużycie, smarowanie, str. 997-1004 1999r
5. Balzar D., Bunge H.J., Fiala J., Snyder R.: *Defect and Microstructure Analysis by Diffraction, Voigt Function Model in Diffraction-line Broadening Analysis*, Oxford University Press, Oxford, Great Britain, pp. 94-126 1999r
6. Birnbaum H. K., Sofronis P.:, *Hydrogen-Enhanced Localized Plasticity – a Mechanism for Hydrogen Related Fracture*. Materials Science and Engineering A176, No. 1/2, pp. 191-202, 1994r
7. Tedric A.,: *Essential concepts of bearing technology*, Boca Raton ; London ; New York : Taylor & Francis,cop. 2007

SELECTED ASPECTS OF CONSUMPTION THE LARGE SIZE ROLLING BEARINGS

Abstract

Presents an analysis tribological processes on the surface layer of large roller bearings parts carried out of bearing steel 100CrMn6. Laboratory tests carried out on roller bearings elements eg. the axle railway wagons exploitation around 600 thousand km. Used modern optical microscopy with fiber optic transmission and special software, scanning electron microscope to analyze surface stereometry, profilometers and made analize seizure cooperating tribological parts: roller - race roller bearings. Were also made documentation of characteristic tribological processes occurring

during the exploitation the bearings. Found seizure zones contact surface which occur under high and variable loads and friction.

***Autorzy**:*
dr inż. Wojciech Napadłek, inż. Wojciech Chrzanowski– Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa.