

## DISTRUCTION FORMS OF ROLLING BEARINGS IN AGRICULTURAL MACHINES

### Summary

*The subject of this work are rolling bearings. Their destruction forms, especially in according to agricultural machines, are pointed out. There were characterized kinds of wear met in bearings as well as their main destruction forms.*

## FORMY NISZCZENIA ŁOŻYSK TOCZNYCH W MASZYNACH ROLNICZYCH

### Streszczenie

*Przedmiotem zainteresowania w tej pracy są łożyska toczne. W pracy wskazano na formy ich niszczenia szczególnie w odniesieniu do maszyn rolniczych. Dokonano charakterystyki rodzajów zużycia spotykanych w łożyskach tocznych wraz z uwzględnieniem dominujących form niszczenia.*

### 1. Wstęp

Maszyny rolnicze ze względu na specyficzną konstrukcję często zawierają w swej budowie różne rodzaje łożysk. W zależności od węzła kinematycznego, w którym są zabudowane mogą one występować w postaci łożysk tocznych lub ślizgowych. Analizując budowę maszyn rolniczych i zastosowane w nich rozwiązania konstrukcyjne można stwierdzić, że łożyska toczne spotykane są w nich częściej niż ślizgowe. Wynika to ze specyficznych cech łożysk tocznych, dzięki którym posiadają one stosunkowo szeroki obszar zastosowań.

Od łożysk zależy bezpieczeństwo osób obsługujących maszyny. Uszkodzone i zużyte łożyska mogą oddziaływać na inne części maszyn powodując ich niepoprawną pracę mogącą stwarzać potencjalne zagrożenie (np. występowanie rezonansu mechanicznego wału, którego łożyska posiadają duże luzy promieniowe).

Łożyska toczne są zespołami elementów konstrukcyjnych służących do podtrzymywania poruszających się elementów maszyn oraz umożliwienia przenoszenia obciążeń przy małej wartości współczynnika tarcia [4]. Traktowane są jako układy, których celem jest łączenie powiązanych funkcjonalnie części maszyny [1]. Umożliwiają poprawne funkcjonowanie maszyn zapewniając odpowiedni charakter współpracy par kinematycznych. Maszynę należy w tym przypadku rozpatrywać jako urządzenie do przenoszenia energii mechanicznej, składające się z powiązanych ze sobą elementów, z których każdy spełnia określoną funkcję [6]. Przyczynami, dla których łożyska toczne stosowane są w węzłach kinematycznych są m.in.:

- bardzo małe opory w czasie pracy, zwłaszcza podczas rozruchu,
- niewielka zmienność współczynnika tarcia łożysk tocznych w zależności od prędkości obrotowej,
- mała wrażliwość na częste zatrzymania i uruchomienia maszyny,
- duża niezawodność i trwałość (podczas eksploatacji w sposób zgodny z zleceniami producenta),
- możliwość zabudowania w węzłach wymagających stosowania minimalnych wymiarów wzdłużnych.

Łożyska toczne pod względem rozwiązań konstrukcyjnych w dużym stopniu różnią się między sobą. Rozpatrując

je jednak pod względem zjawisk zachodzących podczas pracy, można wyróżnić w nich pięć wspólnych grup elementów składowych: pierścień zewnętrzny, pierścień wewnętrzny, elementy toczne, koszyk, substancja smarująca.

Rozwój przemysłu maszynowego sprzyja projektowaniu i wytwarzaniu coraz to nowszych rozwiązań w sferze łożyskowania. Obok tradycyjnych łożysk wytwarzanych ze stóp stali coraz częściej spotyka się łożyska toczne ceramiczne, wykonane z azotku krzemu ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ). Połączeniem łożysk tradycyjnych i ceramicznych są z kolei tzw. łożyska hybrydowe, w których pierścienie wykonane są ze stali łożyskowej, a elementy toczne są ceramiczne. Pozwala to m.in. na uzyskanie większej granicznej prędkości obrotowej.

Obserwacja światowych trendów w przemyśle łożyskowym pozwala zauważyć stały wzrost zapotrzebowania na łożyska toczne. Wraz ze wzrostem popytu rosną również wymagania i oczekiwania nabywców dotyczące ich jakości a przede wszystkim trwałości. Dane publikowane w literaturze przedmiotu pozwalają stwierdzić, że w ciągu kilku ostatnich dziesięcioleci trwałość produkowanych łożysk znacząco się zwiększyła, pociągając za sobą również zwiększenie trwałości maszyn.

### 2. Formy niszczenia łożysk tocznych

#### 2.1. Charakterystyka ogólna procesu zużycia oraz form niszczenia łożysk tocznych

Procesy tarcia zachodzące między współpracującymi częściami maszyn określa się mianem zużycia tribologicznego. Podczas jego występowania następuje zmiana masy oraz struktury i właściwości fizycznych warstw wierzchnich obszarów styku. Intensywność zużycia jest funkcją różnego rodzaju oddziaływań zewnętrznych oraz odporności obszarów tarcia warstw wierzchnich [3]. Wśród czynników warunkujących zużycie wyróżnić można m.in.:

- zmęczenie materiału, prowadzące do pęknięcia części,
- zjawiska i procesy tarcia, prowadzące do niszczenia warstwy wierzchniej trących par,
- zjawisko i proces korozji, prowadzące do zmiany wytrzymałości i składu warstwy wierzchniej,
- zjawisko erozji.

Tarcie i towarzyszące mu zużycie, mogą prowadzić do pogarszania jakości powierzchni elementów podlegających tarcia. W pewnych jednak warunkach zużycie może odbywać się w sposób pozytywny (np. docieranie).

Łożyska toczne, podobnie, jak i inne części maszyn podlegają podczas pracy procesom zużycia oraz uszkodzeniom na skutek różnorodnych przyczyn. Uszkodzenia są następstwem działania wymuszeń oraz procesu starzenia [2]. W danych warunkach może występować kilka mechanizmów niszczenia. W zależności jednak od mechanizmu, który dominuje można scharakteryzować typowe dla niego objawy i następstwa. Do najważniejszych przyczyn utraty przez łożyska zdolności do poprawnego funkcjonowania zalicza się [5]:

- błędy technologii, powodujące nieprawidłowe właściwości warstwy wierzchniej obszarów roboczych,
- nieprawidłową konserwację i przechowywanie,
- nieprawidłowy dobór łożyska do warunków pracy,
- nieprawidłowe wykonanie powierzchni osadzeń,
- nieprawidłowy montaż w węzle łożyskowym,
- złe warunki smarowania i eksploatacji,
- niezabezpieczenie przed dostępem zanieczyszczeń i środków korozyjnych.

Dwie ostatnie z wymienionych wyżej przyczyn szczególnie często powodują uszkodzenia łożysk tocznych stosowanych w maszynach rolniczych. Przyczynami tego stanu rzeczy są szczególnie trudne warunki, w jakich użytkuje się maszyny rolnicze. Wśród najbardziej uciążliwych dla łożysk warunków pracy można wymienić:

- silne zapylenie,
- duże obciążenie w krótkich okresach czasu,
- kontakt z glebą,
- kontakt z agresywnym środowiskiem (nawozy mineralne i organiczne),
- długie przestoje maszyn (okresy między sezonowymi pracami rolniczymi),
- często złe warunki przechowywania maszyn rolniczych (narażenie na opady atmosferyczne),
- nieprawidłowe naprawy maszyn (często w sposób prowizoryczny),
- samowolne modyfikacje maszyn, niezgodne z zaleceniami producenta.

Występujące w przypadku elementów metalowych procesy zużycia różnią się od siebie mechanizmem zużycia oraz cechami szczególnymi. Rozpatrując formy niszczenia obszarów tarcia można stwierdzić, że cechują się one odmiennym:

- wyglądem powierzchni tarcia,
- zmianami strukturalnymi materiału warstwy wierzchniej,
- mechanizmem niszczenia warstwy wierzchniej,
- kształtem i wymiarami produktów zużycia.

Dominującymi formami niszczenia łożysk tocznych są:

- powierzchniowe zużycie zmęczeniowe (pitting, spalling),
- zużycie ściernie,
- zużycie korozyjne; zużycie przez utlenianie,
- zużycie adhezyjne; scuffing,
- brinelling,
- fretting.

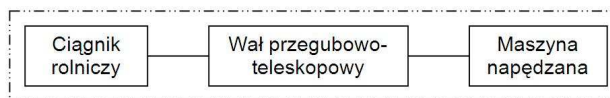
Wymienione wyżej formy niszczenia łożysk tocznych mają swoje odzwierciedlenie również w maszynach rolniczych. Należy tutaj jednak zwrócić uwagę na fakt, iż w za-

leżności od miejsca stosowania można spotkać się z odmiennymi dominującymi formami niszczenia. Zależy to m.in. od warunków środowiskowych oraz obciążenia i charakteru wymuszeń oddziałujących na poszczególne węzły łożyskowe.

## 2.2. Identyfikacja wybranych form niszczenia łożysk tocznych na przykładzie maszyn rolniczych

Maszyny rolnicze ze względu na obszar zastosowania można dzielić na wiele grupy. Spotykane się m.in. maszyny stacjonarne montowane w budynkach inwentarskich oraz maszyny współpracujące z ciągnikami rolniczymi bądź maszyny samobieżne.

Maszyny współpracujące z ciągnikami rolniczymi wymagające napędu elementów wykonawczych najczęściej napędzane są poprzez wał przegubowo-teleskopowy (rys. 2) z wału odbioru mocy ciągnika WOM (rys. 1).



Rys. 1. Sposób napędu maszyn rolniczych z WOM

Fig. 1. Way of drive of the agricultural machines from p.t.o.

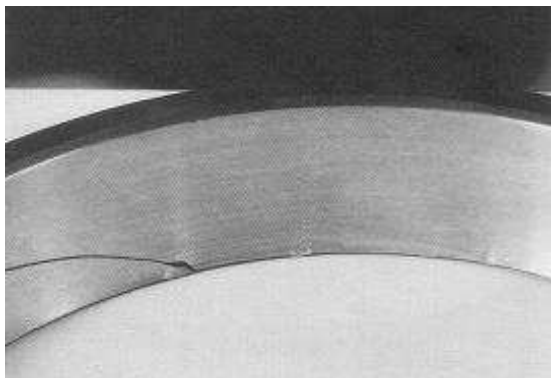


Rys. 2. Wał przegubowo-teleskopowy

Fig. 2. Jointed telescopic shaft

Wał przegubowo-teleskopowy zbudowany jest z dwóch przegubów Cardana połączonych ze sobą poprzez wał wielowypustowy współpracujący z tuleją wielowypustową. Zastosowany układ umożliwia kompensację zmiany długości oraz kątów wału występujących podczas wzajemnego przemieszczania się ciągnika i maszyny względem siebie. Krzyżaki w przegubach Cardana łożyskowane są przy pomocy łożysk igiełkowych. Łożyska te osadzone są w widelkach przegubu i zabezpieczone przed wpływem otoczenia od strony zewnętrznej poprzez kołpak zabezpieczający natomiast od środka przez gumowy pierścień uszczelniający współpracujący z krzyżakiem. W krzyżaku znajduje się smarownik umożliwiający okresowe smarowanie łożysk.

Łożyska pracujące w wale przegubowo-teleskopowym narażone są na szereg uszkodzeń na skutek działania wymuszeń zewnętrznych. Szczególnie często spotykane są uszkodzenia mechaniczne w postaci pęknięć pierścieni łożyskowych (rys. 3).



Rys. 3. Pęknięcie pierścienia łożyskowego  
Fig. 3. Crack of bearing ring

Przyczynami pęknięcia pierścieni w wałach przegubowo-teleskopowych są zbyt duże obciążenia występujące najczęściej podczas zawracania ciągnikiem rolniczym z pracującą maszyną (np. w sadownictwie podczas zawracania ciągnikiem opryskiwaczem w tzw. międzyrzędziach). Po przekroczeniu dopuszczalnego minimalnego promienia zawracania następuje utrata równomierności biegu przegubów na skutek, czego dochodzić może nawet do zablokowania całego wału przegubowo-teleskopowego. W wyniku działania miejscowych dużych obciążeń pierścieni łożyskowy ulega uszkodzeniu. Tą formę niszczenia łożysk zaliczyć można do uszkodzeń mechanicznych na skutek błędów w eksploatacji.

Inną formą niszczenia łożysk tocznych pracujących w wałach przegubowo-teleskopowych są uszkodzenia spowodowane zużyciem ściernym (rys. 4).



Rys. 4. Zużycie ściernie na powierzchni tocznej łożyska  
Fig. 4. Abrasive wear on the bearing rolling surface

Zużycie ściernie występuje wówczas, gdy w obszarach tarcia współpracujących elementów znajduje się ścierniwo lub zużycie powodują wystające nierówności materiału, które odgrywają rolę mikroostrzy. Ścierniwo w postaci piasku i pyłu wniecanego przez koła ciągnika i maszyny rolniczej dostaje się do łożyska poprzez nieszczelne lub uszkodzone uszczelnienia. Proces zużywania ściernego jest typowy przede wszystkim dla występowania tarcia suchego między współpracującymi powierzchniami. W przypadku, gdy zastosowano smarowanie ściernie również może występować szczególnie, gdy substancja smarna jest zanieczyszczona twardymi cząstkami. Zużycie ściernie charakteryzuje się zmianami kształtów i wymiarów współpracujących elementów łożyska spowodowanymi tarcieniem na powierzchni ich styku. Ubytki materiału w warstwach

wierzchnich mogą następować na skutek mikroskrawania, rysowania, lub bruzdowania. Charakter działania ziarn ściernych na ścierany materiał zależy m.in. od ich ruchu względem powierzchni materiału oraz od charakteru i wartości obciążeń przenoszonych przez ziarna [3]. Mechanizm zużycia ściernego polega w zasadzie na ślizganiu się i wbijaniu twardych cząstek ścierniwa, występujących w przypadku maszyn rolniczych pod postacią ziaren piasku, w rzeczywistą powierzchnię styku. W procesie tym biorą udział zarówno cząstki ściernie na stałe osadzone w materiale, ale również cząstki swobodne, które oprócz skrawania podlegają przetaczaniu.

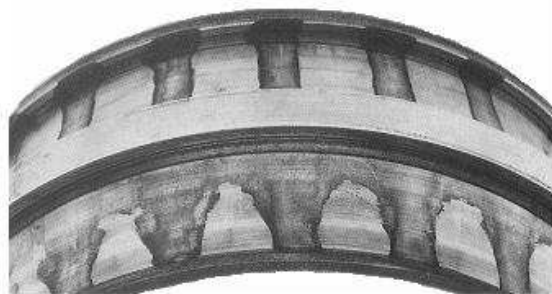
Z analizy oporów tarcia wynika, że wartość zużycia łożysk tocznych zależy głównie od tych czynników, które wpływają na wartość poślizgów i mikropoślizgów, na wartość rzeczywistych nacisków oraz na własności materiałów [7].

Zużycie ściernie łożysk zależy zatem od:

- własności materiałów łożyskowych,
- kształtu powierzchni tocznych w łożysku,
- struktury geometrycznej powierzchni tocznych,
- zmienności, wartości i kierunku obciążenia,
- dokładności montażu łożyska.

Ten rodzaj zużycia łożysk występuje przede wszystkim w maszynach rolniczych posiadających stały kontakt z ziemią, np. w bronach talerzowych, kombajnach ziemniaczanych, agregatach uprawowych.

Jedną z najczęstszych form niszczenia łożysk tocznych w maszynach rolniczych obok zużycia ściernego jest korozja atmosferyczna. Podstawowymi składnikami atmosfery powodującymi korozję metali są: tlen, para wodna oraz zanieczyszczenia w postaci tlenków siarki oraz pyłów. Czynnikiem w największym stopniu decydującym o agresywności atmosfery jest wilgotność względna. W zależności od warunków kondensacji wilgoci na powierzchniach metalowych tworzą się ogniska korozyjne (rys. 5).



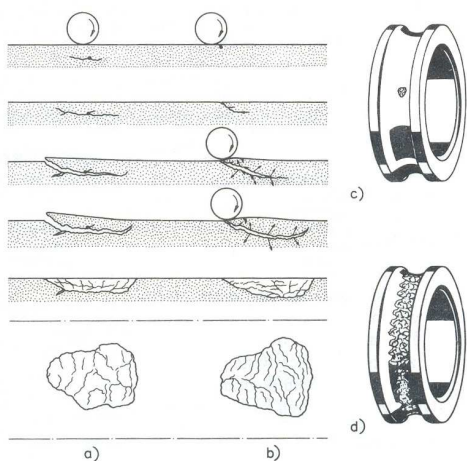
Rys. 5. Efekt korozji na bieżni pierścienia łożyska tocznego  
Fig. 5. Corrosion effect on race of bearing ring

Szczególnie narażoną na korozję grupą maszyn rolniczych są rozrzutniki obornika, rozsiewacze nawozu oraz wozy asenizacyjne. Pracujące w nich łożyska narażone są bardzo często na oddziaływanie wilgoci, kwasów oraz innych agresywnych substancji wnikaających do wnętrza przez zużyte bądź uszkodzone uszczelnienia. Na powierzchniach tocznych obserwuje się wówczas wżery o nieregularnych kształtach i różnej głębokości.

Korozja często jest wynikiem złego magazynowania maszyn. Objawia się szczególnie często w maszynach, które ze względu na charakter pracy używane są sezonowo.

Wyżej wymienione formy niszczenia łożysk tocznych użytkowanych w maszynach rolniczych dotyczą przypadków, w których uszkodzenie następuje na skutek działania przyczyn trzecich (ścierniwo, agresywne środowisko, wil-

goć). Łożyska prawidłowo wykonane, zamontowane i eksploatowane mogą ulec uszkodzeniu praktycznie jedynie na skutek powierzchniowego zużycia zmęczeniowego, czyli tzw. pittingu [8]. Prawidłowość tą obserwuje się zarówno w łożyskach maszyn użytkowanych w rolnictwie jak również poza nim. Pitting spowodowany jest cyklicznym oddziaływaniem naprężeń kontaktowych powstających w warstwach wierzchnich elementów skojarzeń tarciovych (toczenie lub toczenie z poślizgiem) przy smarowaniu styku w granicach naprężeń Herta [3]. Zużycie to występuje w obecności substancji smarującej. Wykruszenia zmęczeniowe na powierzchni elementów współpracujących mogą posiadać różne wymiary i obszar występowania. Przy powstawaniu pittingu wyróżnia się trzy podstawowe etapy. W pierwszym etapie następuje inicjacja pęknięć na skutek cyklicznego oddziaływania naprężeń (rys. 6).

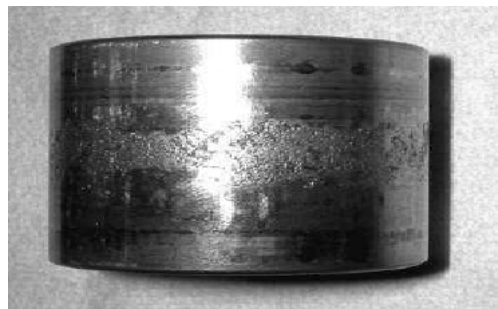


Rys. 6. Proces rozwoju zużycia przez pitting: a) rozwój pęknięcia podpowierzchniowego, b) rozwój pęknięcia powierzchniowego, c) pojedyncze wykruszenie, d) rozwalcowane wykruszenia zmęczeniowe [5]

Fig. 6. Process of wear expansion by pitting: a) expansion of subsurface crack, b) expansion of surface crack, c) single chipping, d) rolled fatigue chippings [5]

Mogą one powstawać zarówno na powierzchni jak również pod powierzchnią materiału. W etapie tym olej występujący w łożysku powoduje zmniejszenie szybkości rozwoju procesów zmęczeniowych łagodząc naciski w strefie kontaktu. W drugim etapie powstałe uprzednio pęknięcia zmęczeniowe powiększają się obejmując swym zasięgiem większą powierzchnię materiału. Olej wywiera tutaj niekorzystny wpływ na rozwój pęknięć. Wtłaczany jest, bowiem w rozwijające się pęknięcia pod znacznym ciśnieniem powodując rozklinowywanie się szczeliny. W trzecim etapie obserwuje się powstawanie kraterów na powierzchni materiału. Przetaczające się po sobie elementy łożyska powodują ściskanie i rozciąganie spękanej powierzchni prowadząc do wyrywania kawałków materiału, które utraciły spójność z materiałem rodzimym.

Cechą charakterystyczną zużycia przez pitting jest powstawanie ubytków materiału dopiero po przekroczeniu pewnej liczby cykli obciążenia [2]. Wystąpienie w łożyskach uszkodzeń tego rodzaju objawia się nierównomierną pracą oraz wzrostem emisji hałasu i drgań. Zjawiska te wykorzystywane są często do wykrywania momentu pojawienia się pittingu.



Rys. 7. Pitting widoczny na powierzchni toczonej wałeczka  
Fig. 7. Pitting visible on the bearing's rolling surface

### 3. Podsumowanie

Łożyska toczne eksploatowane w maszynach rolniczych narażone są na specyficzne oddziaływanie otoczenia, które powoduje ich niszczenie. W praktyce wyróżnia się kilka form niszczenia. Spośród wyżej omówionych jako istotne z punktu widzenia eksploatacji maszyn rolniczych uznawane są dwie z nich, a mianowicie zużycie ściernie i zużycie korozyjne. Trzecim istotnym rodzajem zużycia jest pitting, jednak jest on traktowany jako „naturalny” proces prowadzący do uszkodzenia łożysk maszyn pracujących w rolnictwie jak również poza nim.

Najczęściej spotykanymi uszkodzeniami łożysk tocznych pracujących w rolnictwie są uszkodzenia na skutek zużycia ściernego. Przyczyną tego stanu rzeczy jest fakt, iż maszyny rolnicze w większości przypadków pracują w polu lub na otwartych przestrzeniach, pod gołym niebem gdzie są szczególnie narażone na różnego rodzaju negatywne oddziaływania zewnętrzne, jakimi mogą być np. cząstki ścierniwa (piasek), nawozy mineralne czy naturalne. Proces zużycia ściernego jest, więc typowy i charakterystyczny dla maszyn rolniczych.

Maszyny rolnicze jak wyżej stwierdzono zazwyczaj pracują w warunkach polowych i z tego powodu narażone są na silne oddziaływanie atmosfery, a szczególnie wilgotności, która stanowi przyczynę korozji atmosferycznej. Ten rodzaj zużycia również ma niebagatelną wpływ na przyspieszone niszczenie maszyn rolniczych.

Maszyny stosowane w rolnictwie cechują się ogromną różnorodnością tak pod względem budowy, jak i przeznaczenia. Z tego względu są one narażone na różnego rodzaju zagrożenia, a także uszkodzenia zachodzące podczas eksploatacji. Procesy te mogą implikować w nich występowanie różnych form niszczenia łożysk tocznych. Ta różnorodność form niszczenia i ich skutki ekonomiczne uzasadniają celowość podjęcia dalszych badań, których ostatecznym celem winno być zwiększenie trwałości maszyn rolniczych.

### Literatura

- [1] Barwell F.T.: Łożyskowanie. Warszawa: WNT, 1984.
- [2] Furmanek S., Kraszewski Z.: Niezawodność łożysk tocznych. Warszawa: Wydawnictwa Przemysłowe WEMA, 1989.
- [3] Hebda M., Wachal A.: Trybologia. Warszawa: WNT, 1980.
- [4] Jaśkiewicz Z.: Łożyskowania toczne w pojazdach mechanicznych. Warszawa: WNT, 1971.
- [5] Krzemiński-Freda H.: Łożyska toczne. Warszawa: PWN, 1985.
- [6] Morrison A., Crossland B.: An introduction to the mechanics of machines. London: Longman, 1964.
- [7] Waligóra W.: Badania jakości łożysk wałeczkowych. Politechnika Poznańska Rozprawy, 1980, nr 107.
- [8] Waligóra W.: Rozrzut powierzchniowej trwałości zmęczeniowej łożysk tocznych. Poznań: WPP, 2002.