

FUNDOWICZ Piotr, PODSIADŁO Rafał

## USZKODZENIE PRZEKŁADNI PLANETARNEJ UKŁADU NAPĘDOWEGO KOPARKI

### Streszczenie

*W artykule opisano mechanizm powstania uszkodzeń jednego z podzespołów układu napędowego koparki kołowej. Wykazano, że uszkodzenia przekładni planetarnej koparki wynikają z niewłaściwie dokonanej naprawy jaką przeprowadził jeden z warsztatów mechanicznych.*

### WSTĘP

Opisywany przypadek dotyczy uszkodzenia trzystopniowej zwolnicy planetarnej z układu napędowego koparki. Zwolnica jest zespołem montowanym na piaście koła. Obniża ona prędkość obrotową pólśosi napędowych, zwiększając tym samym wartość momentu napędowego na kole, zgodnie z równaniem:

$$M_k = M_p \cdot i_{zw} \cdot \eta_{zw}$$

gdzie:

$M_k$  – moment na kole,

$M_p$  – moment na pólśosi,

$i_{zw}$  przełożenie zwolnicy,

$\eta_{zw}$  – sprawność zwolnicy

Pozwala to na obniżenie gabarytów i masy zespołu napędowego, który przenosi znacznie mniejszy moment, niż jest wymagany na kołach pojazdu.

Właściciel koparki, oddał zwolnicę wymontowaną z maszyny do warsztatu. Warsztat wykonał naprawę zwolnicy, po czym zwrócił ją właścicielowi, a ten zamontował ją do koparki. Operator koparki stwierdził, że bezpośrednio po zamontowaniu zwolnicy, podczas pracy słyszalny był z niej nienaturalny odgłos o charakterze szumu, ale poinformowano go, że jest to normalne zjawisko, które występuje bezpośrednio po naprawie i po krótkim okresie pracy zaniknie.

Podczas trzeciego dnia pracy, zwolnica uległa uszkodzeniu – została zablokowana. Po ponownym wymontowaniu z koparki, zwolnica została oddana do warsztatu. W warsztacie rozmontowano ją, po czym dostarczono do właściciela w stanie rozmontowanym. Według serwisu kwalifikowała się ona do wymiany w całości, a za uszkodzenie warsztat winił operatora koparki, który miał przeciążyć układ napędowy.

Pojawił się problem techniczny – jaka była rzeczywista przyczyna uszkodzenia zwolnicy i kto do niej doprowadził? Aby odpowiedzieć na to pytanie, wykonano oględziny rozmontowanego zespołu i jego części – fot.1.



**Fot. 1.** Zwolnica w stanie rozmontowanym

## 1. USZKODZENIA PODZESPOŁÓW ZWOLNICY

### 1.1. Uszkodzenie tarczy jarzma satelitów

Po zdemontowaniu satelitów stwierdzono uszkodzenia tarczy jarzma satelitów trzeciego szeregu planetarnego – fot. 2. Uszkodzenia te miały charakter wytartych pierścieni w kształcie okręgów o średnicy odpowiadającej w przybliżeniu średnicy zewnętrznej satelitów. Wskazuje to na błędny montaż łożyskowania satelitów, które podczas pracy ocierały o tarczę jarzma.



**Fot. 2.** Uszkodzenia tarczy jarzma satelitów trzeciego szeregu planetarnego

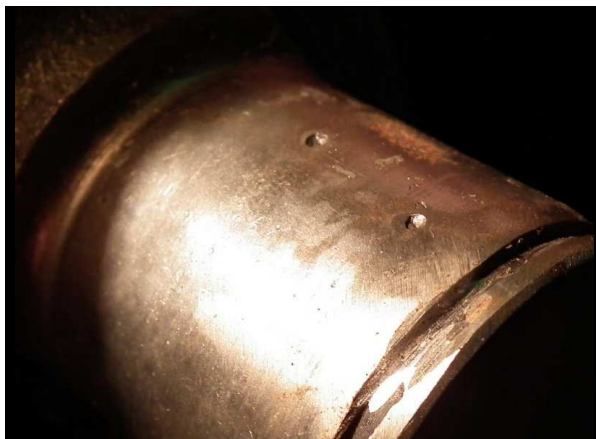
### 1.2. Uszkodzenie czopów łożysk

Kolejną stwierdzoną usterką były uszkodzenia powierzchni czopów łożysk satelitów trzeciego szeregu planetarnego. Uszkodzenia mają charakter ubytków materiału – fot. 3. Podczas normalnej pracy przekładni, na czopie nasunięty jest pierścień wewnętrzny łożyska satelity. Nie jest możliwe zatem takie uszkodzenie powierzchni czopa podczas eksploatacji, nawet przy przeciążeniu układu napędowego. Uszkodzenia te musiały więc powstać po demontażu zwolnicy – prawdopodobnie w warsztacie.

Na powierzchni czopów zaobserwowano również ślady „punktowania” – fot. 4. Taka technika stosowana jest nieraz do zabezpieczenia łożyska przed obracaniem się, które może prowadzić do wytarcia czopa. Jest to rozwiązanie doraźne, niekiedy akceptowalne w zespołach przenoszących niewielkie momenty napędowe, ale nie w zwolnicy, która jest najbardziej obciążonym zespołem układu napędowego.



**Fot. 3.** Ubytki materiału czopa



**Fot. 4.** Ślady punktowania powierzchni bocznej czopa

Kolejnym dowodem wskazującym na niewłaściwą naprawę były ślady noszące cechy zeszlifowanych spoin spawalniczych z widoczną granicą materiału czopa i spoiny – fot. 5. Pochodzenie tych śladów ustalono po rozmowie z właścicielem – opisano to w dalszej części tekstu.

Na niektórych czopach ujawniono ślady substancji obcej (noszącej cechy żywicy epoksydowej typu „poxipol”) – fot. 6. Prawdopodobnie wypełniające ubytki materiału. Zastosowanie miękkiej żywicy epoksydowej na powierzchni czopa łożyskowego nie ma uzasadnienia technicznego.



**Fot. 5.** Ślad zeszlifowanej spoiny spawalniczej



**Fot. 6.** Substancja obca na powierzchni bocznej czopa

Ważnym śladem, wskazującym na niewłaściwą naprawę były zeszlifowane powierzchnie czołowe czopów – fot. 7.





**Fot. 7.** Zeszlifowana powierzchnia czołowa czopa

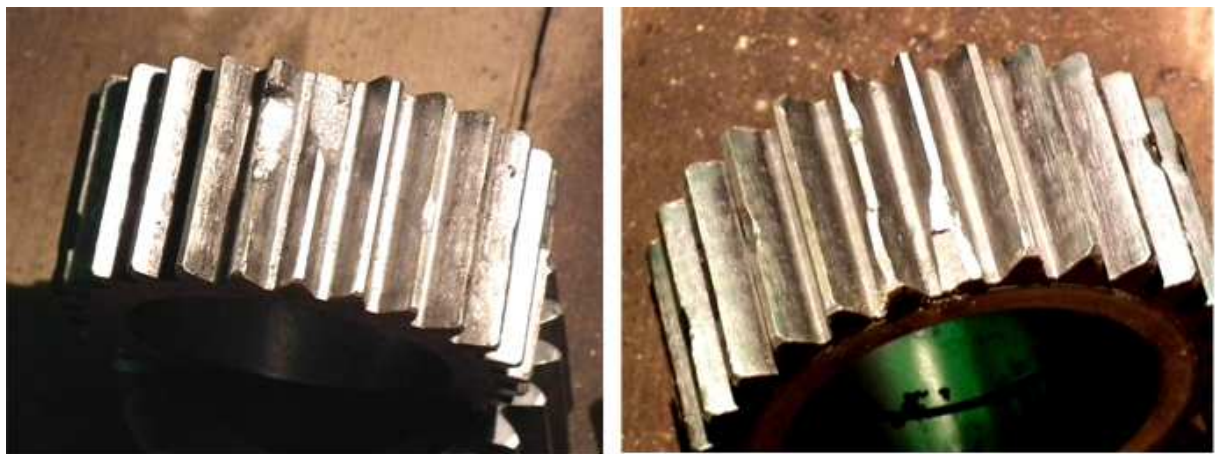


**Fot. 8.** Zwężenia rowka pod pierścień osadczy

Rowki pod pierścień osadczy na czopach miejscowo zostały uszkodzone przez napawanie materiału na zakończenia czopów – fot. 8. W miejscach zwężeń rowków pod pierścień osadczy znajdował się materiał najprawdopodobniej nałożony na skutek położenia spoiny spawalniczej.

### **1.3. Uszkodzenie kół zębatach**

W dwóch z czterech kół zębatach – satelitach trzeciego szeregu planetarnego zostało uszkodzone uzębienie – fot. 9. Uszkodzenia miały charakter wykruszeń fragmentów zębów oraz wygięcia linii zębów. Charakter tych uszkodzeń wskazuje, że powstały one na skutek wprowadzenia twardych elementów pomiędzy współpracujące uzębienia kół – elementów skrawania tarczy jarzma satelitów oddzielonych od tarczy podczas powstawania uszkodzenia opisanego wcześniej, widocznego na fot. 2. Podczas normalnej pracy kół zębatach w przekładniach planetarnych, ze względu na zastosowanie z założenia układu statycznie niewyznaczalnego, występuje stosunkowo duży luz międzyzębny. Fragmenty skrawanych elementów przekładni pomiędzy zębami spowodowały spiętrzenie naprężeń na skutek skupionego nacisku, zamiast rozłożonego na większej powierzchni fragmentu zęba.



**Fot. 9.** Uszkodzone koła zębata – satelity trzeciego szeregu planetarnego

Podobne uszkodzenia, jak satelitów zaobserwowano na uzębieniu koła koronowego, wykonanego w obudowie zwolnicy – fot. 10. Charakter tych uszkodzeń i sposób ich powstania jest praktycznie taki sam jak w przypadku uzębienia satelitów.



**Fot. 10.** Uszkodzenia wieńca zębatego w obudowie ZWOLNICY

#### 1.4. Inne uszkodzenia

Łożysko jednego z satelitów drugiego szeregu planetarnego – fot. 11 podczas oględzin było niekompletne – brakowało w nim jednej rolki. Prawdopodobnie nie miało to wpływu na działanie zwolnicy, ale świadczy o niefachowości serwisu.



**Fot. 11.** Łożysko satelity drugiego szeregu planetarnego – brak jednej rolki



Powierzchnia tarczy jarzma satelitów drugiego szeregu planetarnego została zarysowana – fot. 12. Kształt zarysowań wskazuje na to, że powstały one w kontakcie z elementami, które wykonywały ruchy obrotowe wokół własnej osi i jednocześnie obiegały oś zwolnicy. Z dużym prawdopodobieństwem były to elementy oderwane od tarczy jarzma trzeciego szeregu planetarnego (fot. 2), które zablokowały się pomiędzy satelitami trzeciego szeregu planetarnego a tarczą drugiego szeregu.

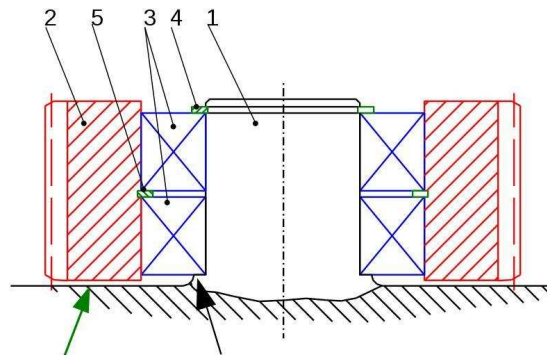


Fot. 12. Porysowana powierzchnia tarczy jarzma satelitów drugiego szeregu planetarnego

### 1.5. Najbardziej prawdopodobna przyczyna uszkodzenia ZWOLNICY

Prawidłowy sposób montażu satelitów na czopach jarzma satelitów trzeciego szeregu planetarnego pokazano na rys. 1 (pokazane jedno z czterech kół zębatych, bez zachowania proporcji rysunku). Łożyska satelitów 3 są ustalone na czopie 1 pomiędzy wytoczonym na czopie progiem oznaczonym na rys. 1 czarną strzałką a pierścieniem osadczym 4. W kole zębatym satelity 2 osadzony jest pierścień osadczy wewnętrzny 5, który ustala położenie satelity w kierunku osiowym, nie dopuszczając do tego, aby koło zębate spadło z zespołu łożysk lub zostało dosunięte do powierzchni tarczy jarzma satelitów w miejscu oznaczonym zieloną strzałką.

Podczas oględzin stwierdzono, że rowek pod pierścień osadczy na czopie łożyska był miejscami zwężony (fot. 8), co wyklucza możliwość prawidłowego osadzenia w rowku pierścienia. Wynika z tego, że bezpośrednio przed uszkodzeniem zwolnicy, w uszkodzonych czopach nie mogły być osadzone pierścienie.



Rys. 1. Sposób montażu satelity: 1 – czop łożysk, 2 – satelity, 3 – łożyska, 4, 5 – pierścienie osadcze.

Brak pierścieni osadczych 4 było przyczyną przemieszczenia osiowego kół satelitów 2 (wysunięcia z zespołu łożysk), w wyniku czego doszło do zarysowania tarczy jarzma satelitów drugiego szeregu planetarnego (fot. 12).

Uszkodzenie tarczy jarzma satelitów trzeciego szeregu planetarnego (opisane w p. 1.1) mogło nastąpić z dwóch powodów:

- na skutek dosunięcia się kół do powierzchni tarczy, co mogło nastąpić przy błędnym montażu koła – bez założonego pierścienia 5 lub z użyciem łożysk o innych wymiarach,
- na skutek dostania się pomiędzy tarczę jarzma i powierzchnię koła zębatego produktów skrawania tarczy jarzma satelitów drugiego szeregu planetarnego.

Na podstawie wyników przeprowadzonych oględzin nie było jednak możliwe ustalenie, który wariant zdarzenia doprowadził do uszkodzenia tarczy jarzma satelitów. Bez względu na to, co było pierwotną przyczyną, można jednoznacznie stwierdzić, że przyczyną uszkodzenia uzębień kół było dostanie się pomiędzy współpracujące uzębienia kół zębatych produktów skrawania uszkodzonych (zarysowanych) tarcz jarzem satelitów, co z kolei było następstwem niewłaściwego montażu.

Podczas oględzin zwolnicy, właściciel pokazał podkładkę z fragmentami spoin spawalniczych – fot. 13a, którą znalazł w drobnych częściach zwolnicy, dostarczonych po jej demontażu w serwisie oraz zadał pytanie, czy możliwe było uszkodzenie zespołu na skutek zastosowania podkładek spawanych do zakończeń czopów łożysk zamiast pierścieni osadczych.

Wymiary podkładki i fragmentów spoin odpowiadają średnicy czopów łożysk satelitów trzeciego szeregu planetarnego (fot. 13b). Z tego powodu nie można wykluczyć, że zamiast pierścieni osadczych osadzonych w rowkach na czopach łożysk, do czół czopów przyspawane były podkładki, które miały zabezpieczać koła zębate satelity przed zsunieniem się z zespołów łożysk, tym bardziej że na czopach ujawniono ślady spawania (p. fot. 5). Przyspawana podkładka do zakończenia czopa łożyska nie mogła zabezpieczyć koła zębatego przed przemieszczaniem osiowym. Zastosowanie takiego rozwiązania spowodowałoby takie same efekty jak nie zamontowanie pierścienia osadczego na czopie łożyska, a dodatkowo pierścień wewnętrzny łożyska, poruszając się po czopie, mógł uszkodzić jego powierzchnię.



**Fot. 13.** Podkładka spawana do czopa

## PODSUMOWANIE

Naprawa kół zębatych zwolnicy, zarówno satelitów, jak i kół koronowych nie jest możliwa. Zęby kół zostały częściowo połamane i miejscowo powyginane. Próba prostowania zdeformowanych zębów jest niemożliwa i doprowadziłaby do złamania naprawianych zębów bądź do naruszenia struktury materiału zębów, co doprowadziłoby w efekcie do obniżenia ich właściwości wytrzymałościowych i złamanie w krótkim okresie pracy. Uzupelnienie materiału wykruszonych zębów przez np. napawanie i następnie szlifowanie nie daje gwarancji uzyskania wymaganej wytrzymałości i trwałości naprawianych elementów oraz prawidłowej geometrii naprawianych zębów. Podkreślić należy, że uszkodzone części należą do ostatniego szeregu planetarnego, obciążonego największym momentem obrotowym w układzie napędowym koparki. Jediną możliwością naprawy zwolnicy przy zachowaniu jej wytrzymałości i trwałości jest wymiana uszkodzonych elementów, czyli praktycznie – całego zespołu zwolnicy. Czopy łożysk satelitów trzeciego szeregu planetarnego stanowią wspólny element z całą tarczą jarzma satelitów. Naprawa czopów jest więc możliwa jedynie przez wymianę całego jarzma wraz z czopami.

## BIBLIOGRAFIA

1. Jaśkiewicz Z., Wąsiewski A.: *Przekładnie walcowe*. WkiŁ, Warszawa 1992.
2. Brach I., Walczewski R.: *Koparki jednonaczyniowe maszyny do robot ziemnych*. WNT, Warszawa 1982.
3. Barwell.E.T.: *Łożyskowanie*. WNT, Warszawa 1984.

## THE PLANETARY GEAR DAMAGE IN A WHEEL EXCAVATOR DRIVE SYSTEM

### *Abstract*

*This article describes the defect of mechanism in one of the subassembly wheel excavator drive system. The damage are the results of improper repair carried.*

### **Autorzy:**

dr inż. Piotr Fundowicz, Instytut Pojazdów Politechniki Warszawskiej

dr inż. Rafał Podsiadło, Uniwersytet Technologiczno Humanistyczny w Radomiu