

ZDARZENIA RZADKIE. AWARIA MECHANIZMU ZWODZENIA WYSIĘGNIKA ZAŁADOWCZEGO KOPARKI

RARE EVENTS. FAILURE OF EXCAVATOR BOOM LUFFING GEAR

Dionizy Dudek, Grzegorz Pękalski, Mirosław Wojnicz, Zbigniew Woźniak – Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn, Politechnika Wrocławska

Opis i analiza wyjątkowego przypadku awarii śrubowego mechanizmu zwodzenia wychylnej końcówki wysięgnika odbierającego koparkę SRs-1200. Nieoczekiwany zbieg okoliczności doprowadził do dekohezji rdzenia śruby zwodzącej i opadnięcia końcówki wysięgnika wraz z kabiną operatora na poziom roboczy.

Description and analysis of rare cases of failure of SRs 1200 excavator boom luffing screw gear have been presented. Unexpected coincidences caused decohesion of screw core of the luffing and fracturing of the outrigger end along with driver's cage.

Opis zdarzenia

Podczas ruchów manewrowych zmierzających do wymiany fartucha gumowego w leju zasypowym stołu załadowczego przenośnika poziomowego współpracującego z koparką kołową SRs-1200, a więc podczas podnoszenia wysięgnika odbierającego tej koparki, wycofywania jego pojazdów i opuszczania go na poziom roboczy nastąpiła awaria mechanizmu zwodzenia. Wychylna część wysięgnika wraz z kabiną operatora opadła na poziom roboczy z wysokości około 1,8 m. Schemat tej końcówki ilustruje rysunek 1.

- uszkodzenie wózka wodzącego mechanizmu zwodzenia,
- niewielkie uszkodzenia i wygięcia konstrukcji nośnej końcówki wysięgnika,
- rozerwanie pręta konstrukcji podtrzymującej mocowania w okolicach śruby mechanizmu zwodzenia,
- uszkodzenie konstrukcji podtrzymującej bęben przenośnikowy oraz częściowe rozwarcie pokrywy jego łożyskowania.

Stan uszkodzeń poawaryjnych

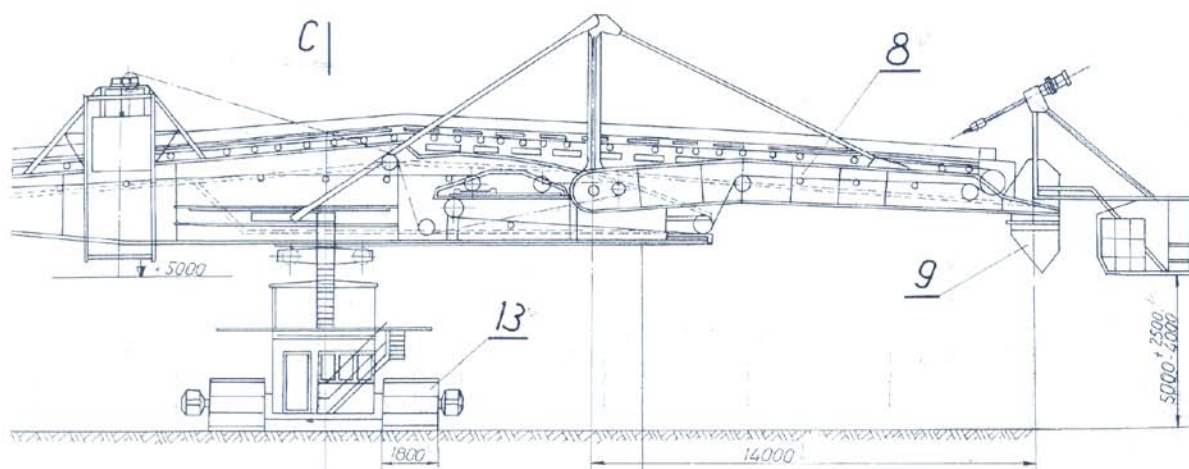
W wyniku opadnięcia końcówki wysięgnika załadowczego nastąpiły:

- uszkodzenia konstrukcji podtrzymującej trasy komunikacyjne w okolicy dojścia do kabiny z prawej strony (rys. 2) oraz nieliczne pęknięcia i rozerwania wcześniej miejscowo skorodowanych blach leja załadowczego,
- nieznaczne wyboczenie konstrukcji prawego słupa wychylnej części wysięgnika,

Przyczyny awarii

Mechanizm zwodzenia wysięgnika

Mechanizm zwodzenia końcówki wysięgnika załadowczego składa się z zespołu nieobrotowej śruby podnoszącej przymocowanej z jednej strony przegubowo do środka konstrukcji wózka wodzącego, a z drugiej strony umiejscowionej w tulei nakrętki obrotowego wrzeciona mechanizmu podnoszenia. Czterokołowy wózek mechanizmu zwodzenia porusza się po określonej trasie przy czym jego położenie normalne – tzn. dla poziomej końcówki wysięgnika – wynosi 1350 mm od środka



Rys. 1. Wychylna końcówka wysięgnika odbierającego koparkę SRs-1200
Fig. 1. Boom luffing of SRs 1200 excavator



Rys. 2. Efekt awarii mechanizmu zwodzenia końcówki wysięgnika odbierającego

Fig. 2. Result of luffing mechanism damage

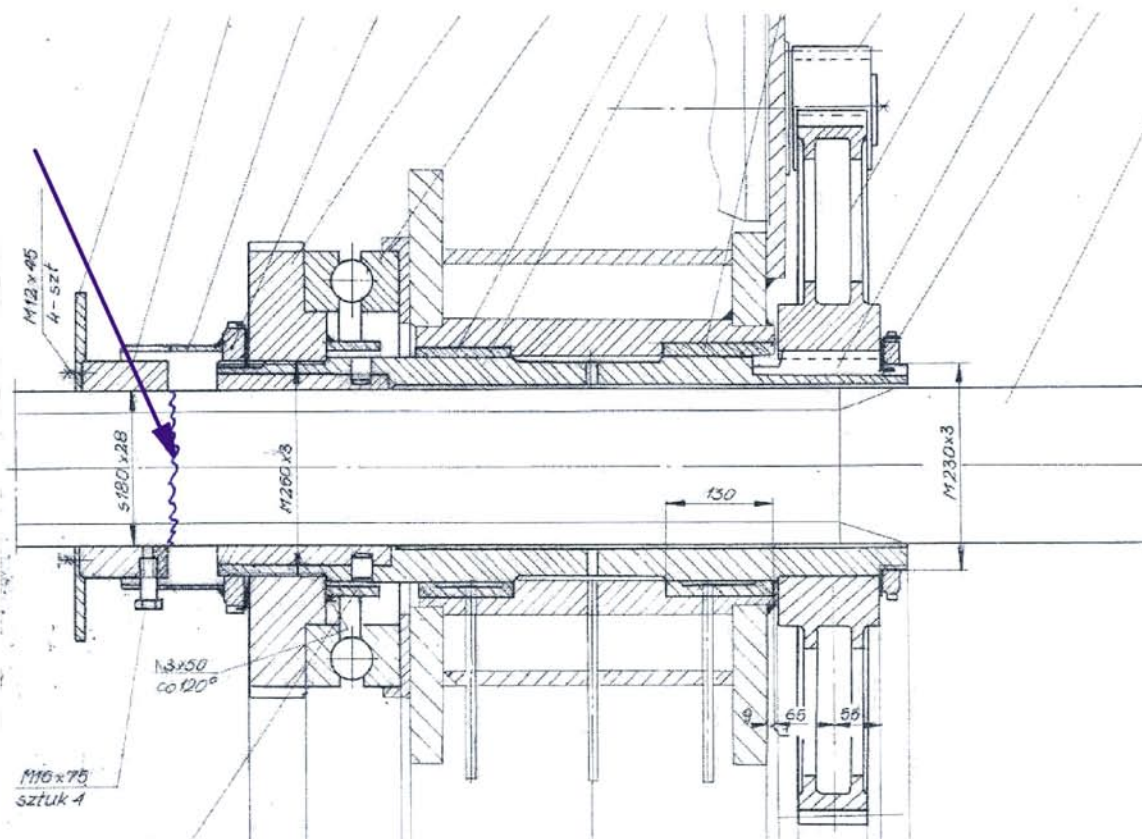
wodzaka patrząc w kierunku kabiny. Po przejechaniu tej odległości wysięgnik jest maksymalnie opuszczony. Maksymalne podniesienie wysięgnika realizowane jest na drodze o długości 1850 mm od położenia normalnego w przeciwnym kierunku. Odległość od środka wodzaka – tzn. od punktu przegubowego zamocowania śruby mechanizmu zwodzenia – do przegubu końcówki wysięgnika wynosi 9870 mm. Sama śruba o długości $L = 5450$ mm o średnicy 180 mm wykonana jest ze stali 45-N. Dwa mechanizmy obrotu o mocy 11 kW nakręcają na nią brązową nakrętkę (brąz BA 1032) z gwintem trapezowym asymetrycznym 180 x 28 o długości 200 mm umiejscowioną w tulei wrzeczona o długości 800 mm (stal 45-N). Tuleja połączona jest z nakrętką brązową kołkami ustalającymi i wspiera się na stacjonarnej części konstrukcji nośnej wysięgnika poprzez nakrętkę M250x3/520 oraz łożysko kulkowe. Nakrętka M250x3/520 zabezpieczona jest drugą nakrętką M250x3/520

o średnicy zewnętrznej 250 mm. Do niej na stałe przyspawana jest tuleja o średnicy 300/280 długości 120 mm. W tulei tej znajduje się wycięcie, w które wprowadzona jest śruba M16x50 wkręcona do drugiej nakrętki S180x28 o długości 100 mm wykonanej ze stali St5 (rys. 3).

Z drugiej strony tulei znajduje się koło zębate napędzane dwoma silnikami. Z uwagi na to, że oba mechanizmy napędowe są sztywno połączone z konstrukcją wysięgnika, nakrętka wciąga lub wypuszcza śrubę, a tym samym spełnia funkcję mechanizmu zwodzenia. Podłużne wycięcie w tulei poprzez wkręconą w stalową nakrętkę śrubę M16 przekazuje ruch obrotowy z nakrętki brązowej na nakrętkę stalową – co oznacza, że obie nakrętki obracają się razem, mimo że dzieli je odległość określona długością wycięcia w tulei.

Przebieg awarii

Już wstępne oględziny miejsca awarii wyjaśniły niespotykany jej przebieg. Podłużne wycięcie w tulei poprzez wkręconą w stalową nakrętkę śrubę M16 skontrolowaną przeciwnakrętką przekazywało ruch obrotowy z nakrętki brązowej na nakrętkę stalową dopóty, dopóki śruba M16 spełniała swoją rolę. Najprawdopodobniej na skutek długoletnich drgań konstrukcji oraz dobrego smarowania mechanizmu zaczęła się ona wykręcać wraz z przeciwnakrętką. Doszło zatem do momentu, w którym wysunęła się całkowicie z otworu gwintowego i na skutek momentu obrotowego zaczęła wyginać tuleję (rys. 4). W stalowej nakrętce nie stwierdzono śladów uszkodzenia śruby M16, musiała się zatem wykręcić w całości. Tarcie pomiędzy stalową nakrętką a śrubą mechanizmu zwodzenia było zresztą tak małe, że po awarii nakrętkę stalową dało się bez problemu wykręcić ręcznie.



Rys. 3. Napęd śruby mechanizmu zwodzenia końcówki wysięgnika oraz lokalizacja miejsca jej rozerwania (dekohezji)

Fig. 3. Drive of luffing mechanism screw and the place of damage (decohesion)



Rys. 4. Pojedyncza śruba przekazująca moment obrotowy z nakrętki brązowej na nakrętkę stalową. Widać jak wysunęła się z prowadnicy i poluźniła nakrętkę stalową, która przestała się z związku z tym przesuwac po śrubie

Fig. 4. Single screw transmitting the turning moment from the bronze nut to the steel nut. It is visible that the nut has come out from the slideway and has loosened the steel nut

Niemniej po wykręceniu się śruby M16 – i wygięciu tulei – stalowa nakrętka przestała się obracać. Podczas kolejnego opuszczania wysięgnika – wysuwania się śruby mechanizmu zwodzenia – nieobracająca się już nakrętka stalowa dotarła do nakrętki brązowej i nastąpiło ich zakleszczenie (efekt przeciwnakrętki). Spowodowało to – przy sporym udziale sił rozciągających śrubę – jej przełom (dekohezję). Przy opuszczaniu wysięgnika brązowa nakrętka – mimo ciągłego kontaktu z nakrętką stalową zaczęła się obracać w drugą stronę, co zniweczyło efekt przeciwnakrętki i rozerwana śruba wysunęła się z nakrętki brązowej, a wysięgnik opadł na podłoże. Ślady takiego wysuwania się śruby ilustrują rysunki 5 i 6.



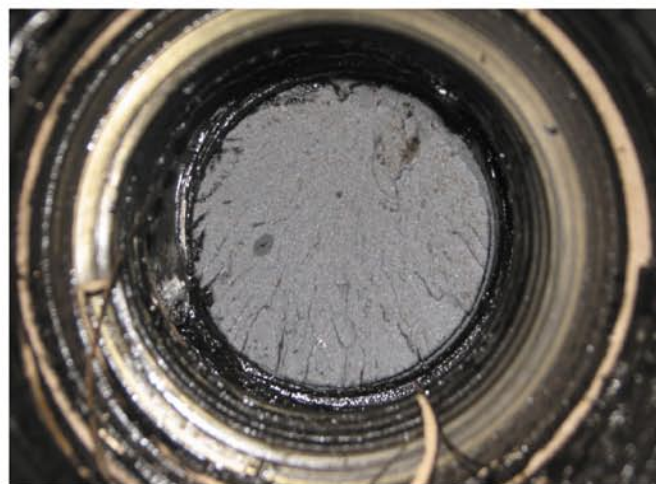
Rys. 5. Urwana śruba napędu mechanizmu zwodzenia wychylnej końcówki wysięgnika

Fig. 5. Damaged screw of boom luffing gear

Badania laboratoryjne

Obserwacje makroskopowe

Dwa fragmenty śruby z obu końców przełomu oraz nakrętkę stalową poddano badaniom materiałoznawczym (rys. 7). Jak widać, makroskopowy obraz śruby (rys. 8) ma charakter doraźny z licznymi śladami odkształceń plastycznych na powierzchni przełomu oraz na gwincie śruby. Powstały one w momencie zniszczenia śruby.



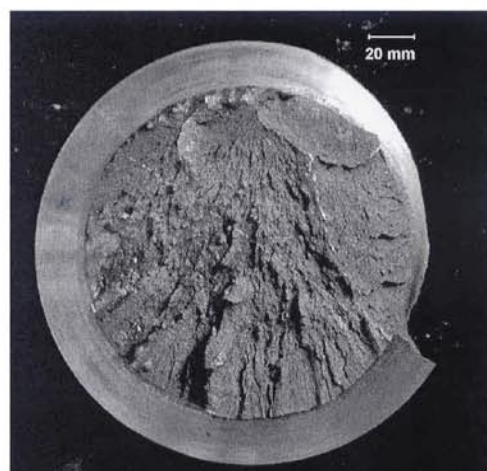
Rys. 6. Oderwane przez końcówkę rozerwanej śruby fragmenty gwintu nakrętki brązowej

Fig. 6. Fragment of the bronze nut damaged by the end of fractured screw



Rys. 7. Oba fragmenty rozerwanej śruby w miejscu przełomu

Fig. 7. Both parts of damaged screw in the place of fracturing



Rys. 8. Makroskopowy obraz przełomu śruby

Fig. 8. Macroscopic view of fractured screw

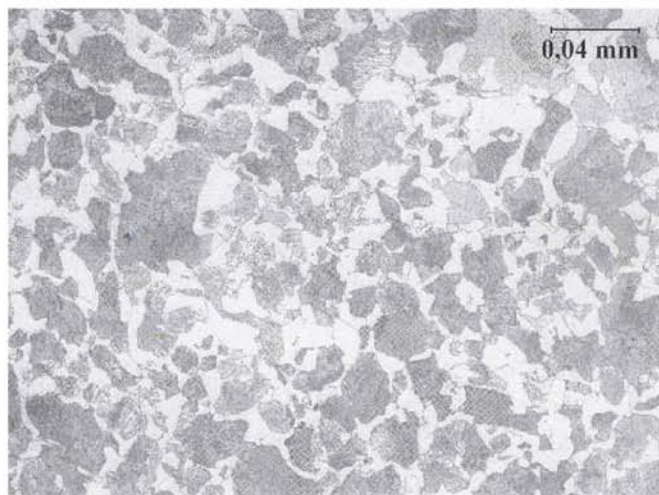
Obserwacje mikroskopowe

Na rysunkach 9 i 10 ukazano mikrostrukturę materiału śruby w mikroskopii świetlnej. Jasne obszary na tych fotografiach to obszary ferrytu okalające ciemniejsze ziarna perlitu. Jak widać z załączonych fotografii, mikrostruktura materiału śruby jest perlityczno - ferrytyczna, a cementyt w perlicie ma budowę płytkową. Twardość średnia materiału śruby wynosi 187 HB. Nie stwierdzono na przekroju badanej próbki by w stosunku



Rys. 9. Mikrostruktura materiału śruby. Jasne obszary ferrytu okalające ciemne ziarna perlitu. Powiększenie 100x. Trawiono $MilFe$, mikroskopia świetlna

Fig. 9. Microstructure of the screw material. Light grains of ferrite surrounding dark grains of pearlite. Magnification of 1×100 . Etched with $MilFe$, light microscopy (LM)



Rys. 10. Powiększony obraz mikrostruktury z rys. 9. Powiększenie 400x

Fig. 10. Magnified view of microstructure from fig. 9. Magnification of 1×400

zastosowano stal w stanie normalizowanym. Materiał nakrętki pod względem składu chemicznego jest zgodny z wymaganiami normy PN-72/H-84020 dla gatunku St3 (Składy chemiczne stali węglowych zwykłej jakości ogólnego przeznaczenia).

Wnioski

- Bezpośrednią przyczyną awarii było samoczynne odkręcenie się – na skutek drgań podczas wieloletniej eksploatacji (zwłaszcza podczas przejazdów) – pojedynczej śruby M16 przekazującej napęd z nakrętki brązowej na nakrętkę stalową. W związku z czym przestała się ona obracać. Podczas opuszczania kabiny – czyli wysuwania się śruby wraz z nieruchomą nakrętką stalową – nakrętka brązowa zetknęła się z nią. Spowodowało to zakleszczenie się obu nakrętek (efekt kontrnakrętki), a następnie rozerwanie (dekohezję) rdzenia śruby. Dekohezja ta nastąpiła na granicy obu zakleszczonych nakrętek.
- Podczas opuszczania wysięgnika nakrętka brązowa odkręcając się w przeciwną stronę połuźniła zacisk z nakrętką stalową i śruba zaczęła się wysuwać – opuszczając tym samym kabinę – aż do momentu, w którym gwint śruby wysunął się z niej. Wtedy wysięgnik – tzn. jego część wychylna – opadł na poziom roboczy.
- Zainstalowana w tym mechanizmie moc silników ($2 \times 11 \text{ kW}$) oraz siła rozciągająca wystarczyły do zniszczenia typu dekohezyjnego (ścięcia i rozerwania) rdzenia śruby.

do materiału śruby stosowano inne zabiegi obróbki cieplnej poza normalizowaniem.

Wyniki analiz chemicznych

Zarówno śruba jak i nakrętka zostały wykonane dosyć dawno, dlatego przy określaniu rodzaju materiału posłużono się polskimi normami używanymi w tamtym czasie. Analizy chemiczne przeprowadzono metodą grawimetryczną. Dotyczyły zarówno materiału śruby, jak i materiału nakrętki. Pod względem składu chemicznego materiał śruby spełnia wymagania normy PN-75/H-84019 (Skład chemiczny i własności mechaniczne stali konstrukcyjnej ogólnego przeznaczenia wyższej jakości) dla gatunku 45. Stal ta w przypadku elementów konstrukcyjnych o średnicy ponad 40 mm powinna być stosowana w stanie normalizowanym. Średnica rdzenia śruby wynosi 138 mm. W tym stanie stal gatunku 45 powinna wykazywać następujące przybliżone minimalne własności mechaniczne:

$$R_m = 600 \text{ MPa}; R_e = 355 \text{ MPa}; A_5 = 16\%.$$

Maksymalna twardość w stanie normalizowanym wynosi 241 HB, a średnia 187 HB. Oznacza to, że przy produkcji śruby

Artykuł zrealizowano w ramach Projektu Rozwojowego Nr 03 0039 06.

Artykuł recenzowali dr hab. inż. Franciszek W. Przystupa, prof. PWr
doc. dr inż. Andrzej Figiel

Rękopis otrzymano 23.08.2011 r. *2236