

# ANALIZA WPŁYWU CECH GEOMETRYCZNYCH NA WYŁĘŻENIE OBSZARÓW KRYTYCZNYCH OGNIW GĄSIENICOWYCH WIELKOGABARYTOWYCH MASZYN GÓRNICZYCH

## THE ANALYSIS OF INFLUENCE OF THE GEOMETRICAL PROPERTIES ON THE EFFORT OF THE CRITICAL SECTIONS IN THE CATERPILLAR CHAIN LINKS OF LARGE-SIZE MINING MACHINES

Piotr Sokolski – Zakład Podstaw Konstrukcji Maszyn i Technologii, Instytut Konstrukcji i Eksploatacji  
Maszyn, Politechnika Wroclawska

*W artykule przedstawiono charakterystykę uszkodzeń ogniw wielkogabarytowych podwozi gąsienicowych. Przytoczono opisane w literaturze możliwe sposoby zwiększenia trwałości tych elementów poprzez unowocześnienie technologii ich wytwarzania. Zaproponowano zmiany rozwiązań konstrukcyjnych jako komplementarne względem wymienionych zaleceń. Przedstawiono wyniki analiz wytrzymałościowych ogniw po zastosowaniu proponowanych zmian ich budowy. Wyniki te zostały ze sobą porównane oraz odniesione do wcześniejszych symulacji numerycznych przeprowadzonych przez autora. Na tej podstawie dokonana została ocena badanych rozwiązań.*

*The article presents the characteristic of failures of caterpillar chain links of large-size working machines. The possible ways of increasing the durability of these parts by modernization of production technology used to form the elements were described. The structural modifications were proposed as an addition to that type of changes. The results of the strength analyses of the chain links after the implementation of these modifications were presented. The outcomes were compared among them and referred to the results of the previous simulations performed by the author. On the basis of this the evaluation of the proposed modifications was carried out.*

### Wprowadzenie

Wielkogabarytowe maszyny robocze (wielonaczyniowe koparki i zwalowarki) eksploatowane w polskich kopalniach węgla brunatnego, będąc pierwszym ogniwem w produkcji energii elektrycznej, odgrywają kluczową rolę w tym procesie. Biorąc pod uwagę fakt, że ok. 50% energii elektrycznej w Polsce pozyskiwane jest z węgla brunatnego [3], poprawna praca tych maszyn jest bardzo istotnym problemem. Należy więc eksploatować je w taki sposób, aby stan ich zdatności utrzymywał się jak najdłużej. Powstanie uszkodzeń podwozi gąsienicowych wiąże się zazwyczaj z brakiem możliwości dalszej pracy lub z pracą w ograniczonych warunkach [1]. Z tego powodu najkorzystniejszą sytuacją byłoby przypadanie czasu niezdatności i związanego z tym przeprowadzania napraw lub remontów wtedy, gdy maszyny podstawowe odbywają planowy postój. Jednym z koniecznych warunków osiągnięcia tego celu, jest ciągły monitoring stanu technicznego elementów tych maszyn [8]. Ze względu na charakter pracy koparek wielonaczyniowych i zwalowarek, szczególnie narażone na uszkodzenia są gąsienicowe mechanizmy jazdy. Wynika to z faktu, że są one poddawane ogromnym obciążeniom eksploatacyjnym (głównie od ciężaru maszyny oraz związanymi z nim oddziaływaniami dynamicznymi), a także pracują w bardzo niesprzyjających warunkach (m. in. ciągłe zużywanie ściernie oraz eksploatacja w zmiennych warunkach atmosferycznych). Powoduje to bardzo szybki przebieg procesów degradacyjnych tych zespołów.

### Geneza problemu

Ze względu na specyfikę pracy podwozi gąsienicowych, niektóre fragmenty ogniw narażone są na przyspieszone zużywanie. Odnosi się to przede wszystkim do miejsc, które współtworzą pary tribologiczne, tj. otwory oraz dolne powierzchnie uch ogniw. Pierwsze z wymienionych obszarów narażone są na intensywne zużywanie ściernie w wyniku interakcji ze sworzniami. Z kolei dolne części uch ogniw podlegają przyspieszonej degradacji w skutek tarcia o silnie utwardzone podłoże przy jednoczesnym działaniu ogromnych wartości obciążeń. W najkorzystniejszym przypadku równomiernej dystrybucji ciężaru maszyny, zarówno w skali całego obiektu, jak i dla danej gąsienicy, wielkość ta sięga ok. . Z przedstawionych przyczyn, w dłuższej perspektywie eksploatacji, należy spodziewać się inicjacji awarii podwozi w tych miejscach.

Wpływ na lokalizację powstających uszkodzeń ma także struktura metalograficzna, której występowanie decyduje o regionalnych własnościach ogniw.

Na podstawie wyników badań przedstawionych w publikacjach [2, 4–7] wyróżnić można kilka stref szczególnie narażonych na powstawanie pęknięć. Są to środkowe przekroje uch, których wytrzymałość obniża obecność otworu na sworzniach oraz boczne części ogniw, poprzez które elementy te łączone są z płytami gąsienicowymi. W obu przypadkach występuje tendencja do kruchej pęknięcia, co spowodowane jest wytworzeniem nieodpowiedniej dla eksploatacji struktury po procesie odlewania i spawania (w drugim przypadku). Zastosowanie przedstawionych w pracach [2, 4–7] zaleceń odnośnie do ob-

róbki cieplnej ogniw pozwala na uzyskiwanie struktur zwiększających niezawodność pracy podwozi gąsienicowych.

Innym czynnikiem, który ma wpływ na powstawanie uszkodzeń ogniw gąsienicowych jest oddziaływanie sił bocznych o znacznych wartościach, zwłaszcza podczas wykonywania przez maszynę skrętu. Poruszanie się wielkogabarytowych koparek i zwałowarek przy dużych promieniach skrętu ( $50 \pm 60$ ) pozwala na obniżenie tych niekorzystnych oddziaływań, nie eliminując jednak całkowicie ich występowania. Z tego względu w Zakładzie Inżynierii niezawodności i Diagnostyki we współpracy z Zakładem Materiałoznawstwa Politechniki Wrocławskiej prowadzone są kompleksowe badania elementów podwozi gąsienicowych. Ich celem jest m. in. określenie mechaniki uszkodzania się ogniw, wyznaczenie krytycznych przekrojów, szczególnie narażonych na powstawanie uszkodzeń oraz oszacowanie dopuszczalnych wartości obciążeń bocznych. Jednocześnie przez autora niniejszego artykułu zbudowane zostały modele numeryczne ogniw gąsienicowych, na podstawie których przeprowadzono symulacje rzeczywistych warunków eksploatacyjnych. Wyniki analiz, zweryfikowane badaniami stanowiskowymi [1], przedstawione zostały w [10]. Na podstawie tych badań i obliczeń zlokalizowano strefy ogniw gąsienicowych, w których podczas występowania ekstremalnego stanu obciążenia dochodzi do powstawania odkształceń trwałych.

### Analizy wytrzymałościowe

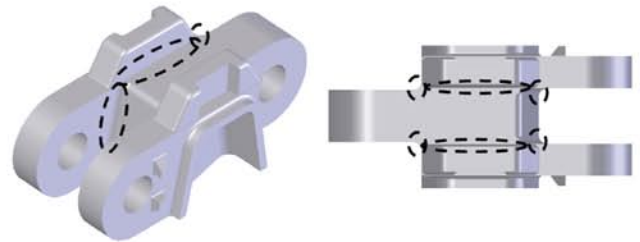
Z wymienionych we wprowadzeniu przyczyn, w dalszej kolejności prowadzonych badań, autor podjął próbę zmniejszenia niekorzystnego wpływu skrętu maszyny na elementy podwozi gąsienicowych. W tym celu rozpatrzono możliwości zmian konstrukcyjnych ogniw. Modyfikacje objęły obszar krytycznych przekrojów, tj. miejsc, w których przy wystąpieniu zwiększonych oporów skrętu dochodzi do uplastycznienia obciążonych elementów. Z tego względu wprowadzenie zmian zostało zogniskowane na podstawy uch – zarówno przedniego, jak i tylnych oraz na podstawy powierzchni współpracujących z kołem napędowym (rys. 1).

Przed przeprowadzeniem analiz, uwzględniono występujące podczas wprowadzania tego typu modyfikacji ograniczenia technologiczne i funkcjonalne, co pozwoliło zmniejszyć liczbę przeprowadzanych symulacji.

W artykule ograniczono się do przedstawienia wyników wybranych analiz numerycznych dla różnych parametrów geometrycznych proponowanych modernizacji. Celem wprowadzanych modyfikacji było obniżenie oddziaływania karbów w krytycznych obszarach ogniw. Z tego powodu zaproponowane zostało zmniejszenie znacznych różnic geometrycznych w wyżej wymienionych obszarach.

Metoda przeprowadzania symulacji, opis sposobu zadawania obciążeń oraz podparcia modelu, odpowiadające rzeczywistym warunkom eksploatacyjnym, zostało szczegółowo opisane w [10].

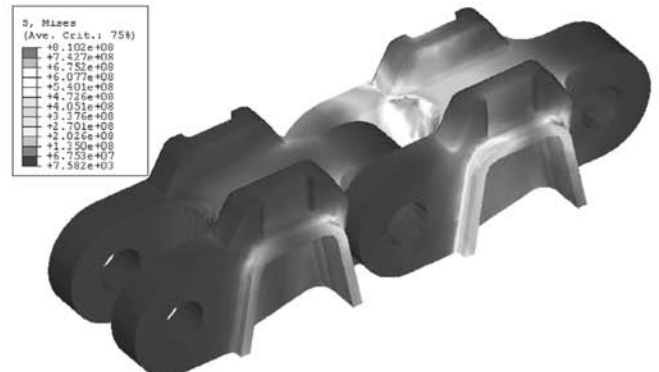
Wprowadzone zmiany konstrukcyjne w dalszej części artykułu opisane są następująco: zwiększenie promienia zaokrąglenia podstawy tylnych uch – modyfikacja I, natomiast zwiększenie zaokrąglenia przejścia górnych powierzchni współpracujących z kołem napędowym w centralną część ogniwa – modyfikacja II. W obu przypadkach ograniczenia wynikały z konieczności realizowania określonych zadań przez modyfikowane obszary. Zwiększanie promienia zaokrąglenia



Rys. 1. Obszary wprowadzanych zmian w budowie ogniw gąsienicowych  
Fig. 1. Area of introduced changes in caterpillar track links construction

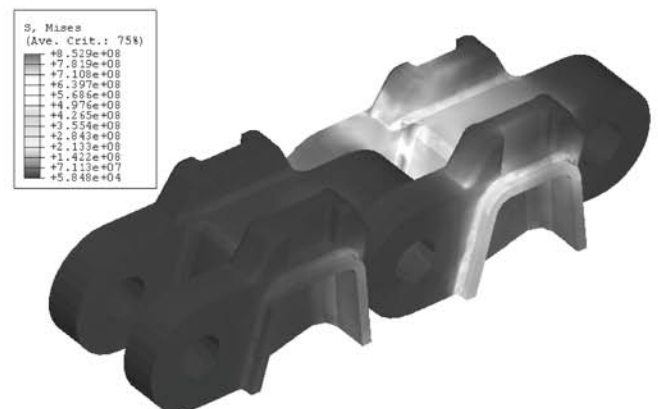
u podstawy uch ponad graniczną wartość uniemożliwiłoby współpracę sąsiednich ogniw, poprzez konieczność ich przesunięcia względnego. Wykluczyłyby to bowiem możliwość działania połączenia ogniwo-swożeń-ogniwo. W drugim przypadku natomiast zwiększenie promienia zaokrąglenia ponad krytyczną wartość wiązałyby się z koniecznością zmniejszenia powierzchni współpracy ogniw z zębami koła napędowego. Ze względu na znaczne obciążenia w tym układzie, efektem takiej zmiany byłoby pojawienie się możliwości szybszego uszkodzenia ogniw, uniemożliwiającego napędzanie podwozi gąsienicowego.

Mając na uwadze korzystną zależność pomiędzy wzrostem obszarów objętych modyfikacjami a rozkładem i wartościami wyężenia badanych elementów, ustalono maksymalne wartości tych zmian. Dla tak określonych parametrów granicznych przeprowadzone zostały symulacje numeryczne. Przeanalizowano 3 przypadki: wprowadzenia osobno obu modyfikacji oraz jednoczesnego ich zastosowania. Wyniki badań przedstawiono na rysunkach 2–4.



Rys. 2. Rozkład naprężeń zredukowanych w parze ogniw po zastosowaniu modyfikacji I (opis w tekście)

Fig. 2. Pattern of stresses reduced in track links pair after application of modification I (description in the text)



Rys. 3. Rozkład naprężeń zredukowanych w parze ogniw po zastosowaniu modyfikacji II (opis w tekście)

Fig. 3. Pattern of stresses reduced in track links pair after application of modification II (description in the text)



Rys. 4. Rozkład naprężeń zredukowanych w parze ogniw po zastosowaniu modyfikacji I i II (opis w tekście)

Fig. 4. Pattern of stresses reduced in track links pair after application of modification I, II (description in the text)



Rys. 5. Rozkład naprężeń zredukowanych w parze ogniw po zastosowaniu modyfikacji I, II i III (opis w tekście)

Fig. 5. Pattern of stresses reduced in track links pair after application of modification I, II and III (description in the text)

Na podstawie analizy wyników przeprowadzonych symulacji, wykazano wpływ zastosowanych zmian na zmniejszenie obszarów ulegających uplastycznieniu. Charakter wyężenia ogniw przed wprowadzeniem modyfikacji zawarto w pracy [10]. Zgodnie z [9] przyjęto wymaganą wartość współczynnika bezpieczeństwa równą 1,33. Z tego względu przy zastosowaniu staliwa L35GSM, naprężenia dopuszczalne nie powinny przekraczać poziomu  $\sigma_{d}$ . Oznacza to, że żadna z wprowadzonych modyfikacji nie umożliwia dostatecznego obniżenia wyężenia ogniwa.

Zaobserwowano jednocześnie lokalizowanie krytycznych obszarów u podstawy tylnych uch dla każdego z wariantów modyfikacji. Z tego względu w dalszych analizach rozpatrzono zastosowanie dodatkowej zmiany cech geometrycznych ogniwa. W tym celu dokonano oceny wpływu zwiększenia grubości najbardziej wyężonej ściany badanych elementów (modyfikacja III). W odróżnieniu od wcześniej opisywanych zmian, w tym przypadku możliwość niezawodnej pracy podwozia nie była ograniczeniem wielkości przeprowadzanej modyfikacji.

Należało mieć jednak przy tym na uwadze technologiczność konstrukcji związaną z koniecznością produkcji ogniwa w procesie odlewania. Problem braku możliwości uzyskania odlewu o korzystnej strukturze uniemożliwiał dowolne zwiększanie grubości ściany objętej modyfikacją.

Przykładowe wyniki symulacji numerycznych po zastosowaniu zwiększenia grubości  $\sigma$ , przy jednoczesnym zastosowaniu modyfikacji I i II, przedstawiono na rysunku 5. Daje się zauważyć spadek wartości naprężeń zredukowanych do wymaganego względami bezpieczeństwa poziomu (poniżej  $\sigma_{d}$ ). Wdrożenie tych zmian mogłoby przyczynić się do zwiększenia niezawodności eksploatacji podwozi, ze względu na wyeliminowanie odkształceń plastycznych występujących w ogniwach.

Drugim najbardziej wyężonym obszarem jest miejsce połączenia ogniwa z płytą. W tym przypadku jednak nie dochodzi do spiętrzenia naprężeń zredukowanych do niebezpiecznego poziomu. Wielkość ta nie przekracza  $\sigma_{d}$  w żadnym z badanych wariantów.

Należy także zaznaczyć, że wzrost masy jednego ogniwa, będący wynikiem wszystkich wprowadzanych modyfikacji wynosi ok. 3%. Wielkość ta może być uznana za pomijalnie niewielką w kontekście eksploatacji podwozi gąsienicowych, jak również w aspekcie ekonomicznym.

## Podsumowanie

W pracy opisano możliwości zwiększenia trwałości podwozi gąsienicowych wielkogabarytowych maszyn roboczych. Zaproponowano zmiany parametrów geometrycznych ogniwa łańcucha gąsienicowego mechanizmu jazdy i przeprowadzono obliczenia wytrzymałościowe wpływu modyfikacji na wyężenie tych elementów. W analizach uwzględniono kilka wariantów modernizacji, których wpływ oceniono po poddaniu ogniwa obciążeniom roboczym występującym w czasie skrętu koparki wielonaczyniowej.

Na tej podstawie zlokalizowano najbardziej wyężony obszar ogniwa, który znajduje się u podstaw tylnych uch. Wprowadzane modyfikacje nie miały wpływu na jego położenie, jednakże dało się zauważyć zależność wielkości tego obszaru oraz poziomu występujących w nim naprężeń zredukowanych od rodzaju zastosowanych zmian konstrukcyjnych. Spiętrzenie naprężeń występowało także w miejscu połączenia ogniwa z płytami gąsienicowymi, jednakże na poziomie nie powodującym powstawania trwałych odkształceń.

W wyniku przeprowadzonych symulacji, zaproponowane zostało wprowadzenie zmian parametrów geometrycznych ogniwa wielkogabarytowych maszyn górniczych. Zastosowanie tych modyfikacji, wraz z przedstawionymi na początku pracy metodami zwiększenia trwałości podwozi gąsienicowych, może przyczynić się do wzrostu bezpieczeństwa eksploatacji maszyn podstawowych górnictwa odkrywkowego.

## Literatura

- [1] Augustynowicz J., Dudek K., Figiel A., Przystupa F., Staszak A., Analiza uszkodzeń oraz badania wytrzymałościowe elementów podwozi gąsienicowych maszyn roboczych ciężkich. *Górnictwo Odkrywkowe*, nr 4□5, 2009
- [2] Dudek D., Frydman S., Huss W., Pękalski G. The L35GSM cast steel – possibilities of structure and properties shaping at the example of crawler links. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, Vol. XI, No. 1. 2011, s. 19-32
- [3] Kozłowski Z., Druga połowa XX wieku okresem rozwoju technologii eksploatacji odkrywkowej w polskich kopalniach węgla brunatnego, XIII Konferencja „Problemy Rozwoju Maszyn Roboczych”, Zakopane, 2000

- [4] Krajczyk A., Pękalska L., Pękalski G., Prusak C., Opracowanie technologii obróbki cieplnej ogniw gąsienicowych ze staliwa L35GSM. Raport serii SPR 053/1985. Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Wrocławskiej. 1985
- [5] Krajczyk A., Pękalska L., Pękalski G., Problemy doboru materiału i obróbki cieplnej na ogniwa gąsienicowe maszyn wydobywczych węgla brunatnego. *Górnictwo Odkrywkowe*, nr 1, 1991
- [6] Krajczyk A., Pękalska L., Pękalski G., Wpływ obróbki cieplnej na mikrostrukturę oraz charakter złomu staliwa L35GSM. *Problemy Maszyn Roboczych*, Vol. 3, Z. 3. 1994
- [7] Pękalski G., Obróbka cieplna staliwa L35GSM, a możliwość jego zastosowania na ogniwa gąsienicowe koparek węgla brunatnego. *Górnictwo Odkrywkowe*, nr 4-5, 2009
- [8] Przystupa F. W., *Diagnozy w systemie technicznym: od ontologii i aksjologii do praktyki*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. Seria: Monografie, Wrocław. 2010
- [9] Smolnicki T., Czmochoński J., Stańco M., Obliczenia wytrzymałościowe płyt gąsienicowych koparki SRs□1800. *Górnictwo Odkrywkowe*, nr 4-5. 2009
- [10] Sokolski P., Analiza wytrzymałości ogniw gąsienicowych wielonaczyniowych koparek kołowych. *Górnictwo Odkrywkowe*, nr 3, 2010

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

*Rękopis otrzymano 26.07.2011 r. \*2222*



*Cykl: prolog do konstrukcji...*