

PROGNOZOWANIE ZUŻYCIA ODKSZTAŁCENIOWEGO WIELKOGABARYTOWYCH ŁOŻYSK TOCZNYCH O BIEŻNIACH MIĘKKICH

Tadeusz SMOLNICKI*, Mariusz STAŃCO*

*Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny, Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn, Łukasiewicza 7/9, 50-371 Wrocław

tadeusz.smolnicki@pwr.wroc.pl, mariusz.stanco@pwr.wroc.pl

Streszczenie: Zużycie odkształceniowe wielkogabarytowych łożysk tocznych o bieżniach niehartowanych jest dominującym mechanizmem zużycia. Niezbędne jest prognozowanie szybkości zużycia już na etapie projektowania maszyny. Na podstawie badań materiałowych oraz zaawansowanych symulacji metodą elementów skończonych wprowadzono model bilinearny, którego stałe zależą od parametrów materiału i obciążenia łożyska. Modele zastosowano do prognozowania trwałości łożysk, w których dominowało zużycie odkształceniowe.

1. WSTĘP

Wielkogabarytowe łożyska toczne stosowane są od prawie 80 lat do łożyskowania węzłów obrotu nadwozi maszyn roboczych i obecnie wyparły inne rozwiązania techniczne. Ich awaria prowadzi do zatrzymania całej maszyny i często znacznych kosztów, związanych z długotrwałym przestojem maszyny, ze względu na to, że łożyska do dużych maszyn, nawet te katalogowe, produkowane są na zamówienie. Czas oczekiwania może osiągnąć nawet 6 miesięcy. Niezbędne jest zatem taki dobór parametrów węzła łożyskowego, aby zapewnić odpowiednio długą eksploatację oraz metoda prognozowania trwałości użytkowej łożyska. Podstawowym mechanizmem zużycia w silnie obciążonych łożyskach tocznych o bieżniach normalizowanych lub ulepszonych cieplnie jest zużycie odkształceniowe zachodzące przez płynięcie plastyczne materiału bieżni. Trwałość takich łożysk jest ograniczana zazwyczaj nie przez zmęczenie materiału lecz wskutek 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 1).

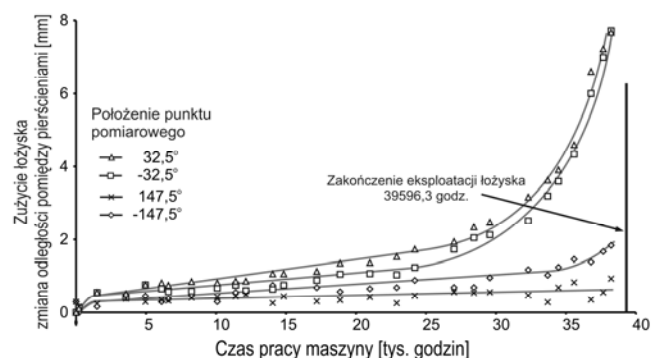
Bieżnie wielkogabarytowych łożysk tocznych są wykonywane ze stali węglowej 45 lub stali niskostopowej 42CrMo4 (40H).

2. ZJAWISKO ZUŻYCIA ODKSZTAŁCENIOWEGO

Przeprowadzone badania doświadczalne (Kunc i inni, 1999) oraz obserwacje z eksploatacji łożysk o bieżniach miękkich eksploatowanych w polskich kopalniach odkrywkowych (rysunek 2) wykazują, że w łożyskach o bieżniach monolitycznych niehartowanych w procesie zużywania łożyska można wyróżnić 3 fazy.



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



Rys. 2. Zużycie łożyska ładowarko-zwałowarki ŁZKS 1600 o średnicy 4,55m (pomiaru wykonane przez A. Kupskiego w PGE KWB Bełchatów S.A.)

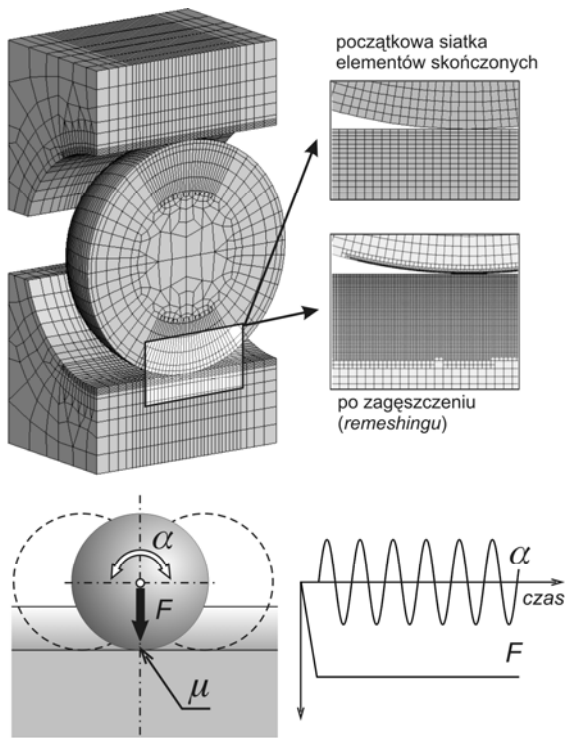
Faza 1 obejmuje wstępne rozwalcowanie bieżni, której materiał ulega po kilkunastu, kilkudziesięciu cyklach umocnieniu. Cykliczne umocnienie lub osłabienie jest najbardziej intensywne na początku badania, a następnie maleje ze wzrostem liczby cykli. W fazie 2 wskutek cyklicznego zmiennokierunkowego przetaczania następuje dalszy wolny

wzrost zużycia odkształceniowego, ze stałą prędkością. W fazie 3 następuje przyspieszone zużycie wskutek pojawiania się mikrouszkodzeń zmęczeniowych, które jednakże częściowo ulegają zawałowaniu. O ile czas i odkształcenia początkowe zależą od charakterystyki naprężenie-odkształcenie $\sigma(\epsilon)$ i umocnienia materiału, to początek fazy 3 jest definiowany przez parametry zmęczeniowe materiału.

Wskaźnikiem wyczerpania trwałości użytkowej dla łożysk o bieżniach monolitycznych miękkich jest zazwyczaj osiągnięcie granicznej wielkości zużycia bieżni. Ma ono początkowo postać zużycia odkształceniowego i dopiero w stadium końcowym zachodzi zmęczeniowe odpajanie materiału bieżni, który jest jednak ponownie zawałowany.

3. MODEL ZUŻYCIA ODKSZTAŁCENIOWEGO

Model zużycia odkształceniowego zdefiniowano na podstawie badań materiałowych oraz symulacji numerycznych metodą elementów skończonych. Badania materiałowe wykonano dla typowych materiałów w różnych twardościach. Symulacje numeryczne przeprowadzono z zastosowaniem techniki automatycznego zagęszczania siatki elementów, przy uwzględnieniu charakterystyk materiałowych uzyskanych z badań oraz tarcia (rysunek 3). Oryginalną cechą przeprowadzonych symulacji było obciążanie materiału przez przetaczanie obciążonej kuli, zamiast przez cykliczne obciążanie kuli. Przykładowe przebiegi przemieszczeń dla dwóch poziomów obciążenia właściwego elementu tocznego p_w , definiowanego jako iloraz siły obciążającej element toczny F do kwadratu jego średnicy d , pokazano na rysunku 4.



Rys. 3. Model skończenie elementowy oraz schemat obciążenia

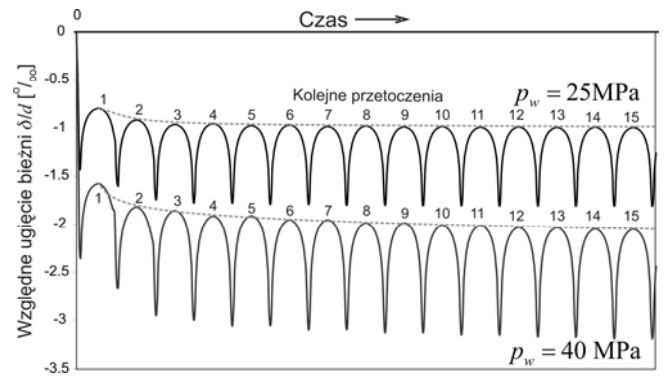
Do opisu zużycia najlepsze przybliżenie wyników daje wzór w postaci:

$$\frac{\delta_{pl}}{d} = a \cdot N + b \quad (1)$$

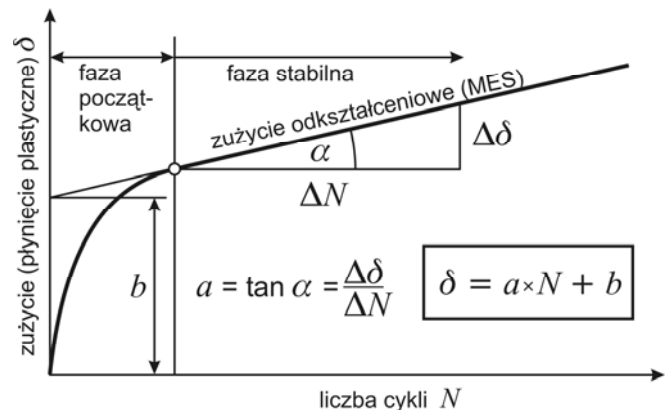
gdzie δ_{pl} jest zużyciem odkształceniowym bieżni, N liczbą cykli obciążenia, a a, b są stałymi zależnymi od obciążenia właściwego elementu tocznego p_w . Stała a opisuje prędkość zużycia bieżni $d\delta_{pl}/dN$ od momentu gdy nastąpi stabilizacja zużycia materiału i zmienia się ona w zależności od obciążenia wykładniczo. Natomiast stała b opisuje zużycie odkształceniowe do momentu zanim nastąpi stabilizacja zużycia i zmienia się w zależności od obciążenia wg funkcji liniowej. Model przedstawiono na rysunku 6.

Dla stali 45 o granicy plastyczności 433MPa funkcja zmiany szybkości zużycia odkształceniowego a od obciążenia właściwego p_w ma postać wykładniczą, natomiast odkształcenie początkowe zależy od obciążenia właściwego liniowo:

$$a = 8.17 \cdot 10^{-10} e^{0.27 \cdot p_w}; b = (0.16 p_w - 1.05) \cdot 10^{-3} \quad (2)$$



Rys. 4. Względne ugięcie bieżni podczas przetaczania kuli dla stali 42CrMo4



Rys. 5. Bilinearne model zużycia odkształceniowego

Powyższy model umożliwia symulację zużycia bieżni. Sumaryczne zużycie bieżni δ_j pod elementem tocznym j , po N cyklach można przedstawić w postaci sumy zużycia w fazie I (co zależy od maksymalnej wartości obciążenia właściwego oraz zużycia w kolejnych cyklach obciążenia zależnych od wyznaczonej metodą elementów skończonych

dystrybucji obciążeń w łożysku z zużyciem odkształceniowym po poprzednich cyklach (faza II):

$$\delta_{j_N} = b(\underbrace{\max p_{w_j}}_{FEM}) + \sum_{i=1}^N a_{j_i} \left(\underbrace{p_{w_{j_{i-1}}}(V_i, e_i, \delta_{i-1}, \dots, \delta_{z_{i-1}})}_{FEM} \right) \quad (3)$$

gdzie a i b są stałymi z modelu zużycia, z liczbą elementów tocznych, V obciążeniem łożyska w kierunku osiowym, e jego mimośrodem, z liczbą elementów tocznych.

4. PODSUMOWANIE

Opisany model zastosowano do prognozy w dwóch łożyskach: ładowarko-zwałowarki (średnica 4,45m) i zwałowarki (10m). Maksymalne zmierzone obciążenie elementów tocznych w ładowarko-zwałowarce spadło wskutek rozwałcowania z 25MPa (przy nowym łożysku) do 12MPa (po 1000 godzinach eksploatacji), natomiast z symulacji numerycznej uzyskano odpowiednio 27MPa i 13,2MPa.

W zwałowarce mierzone było zużycie odkształceniowe bieżni po 4 latach eksploatacji. W zależności od punktu wynosiło od 3,35 do 5,43mm (średnia 4,9mm). Z symulacji numerycznej uzyskano maksymalną wartość 4,3mm.

LITERATURA

1. **Kunc R., Prebil I., Torkar M.** (1999), Določitev malociklične nosilnosti kotalnega stika, Kovine, Zlitine, *Technologie* 1-2.
2. **Rusiński E.** (2002), *Zasady projektowania konstrukcji nośnych pojazdów samochodowych*, Oficyna Wydawnicza PW, Wrocław.
3. **Smolnicki T.** (2002), *Fizykalne aspekty koherencji wielkogabarytowych łożysk tocznych i odkształcalnych konstrukcji wsporczych*, Oficyna Wyd. PW, Wrocław.
4. **Stańco M.** (2008), *Modele analityczno-numeryczne zużycia odkształceniowego wielkogabarytowych łożysk tocznych*, Praca doktorska, IKiEM, Politechnika Wroclawska.

FORECASTING OF THE PLASTIC WEAR IN LARGE SIZE ROLLING BEARINGS WITH SOFT RACEWAYS

Abstract: Plastic wear of large-size roller bearings with the unhardened raceways is a dominating mechanism of the wear. Forecasting the speed of wear at the stage of machine design is essential. On the basis of material testing and advanced simulations with use of finite element method a bilinear model was inserted, of which constants depend on parameters of material and loading the bearing. Models were used for forecasting the durability of bearings, which the plastic wear was dominated in.