

Wpływ parametrów geometrycznych na dystrybucję naprężeń w łożyskach wieńcowych drutowych

Dominik Gunia¹, Tadeusz Smolnicki¹

¹Katedra Konstrukcji i Badań Maszyn, Politechnika Wroclawska
email: dominik.gunia@pwr.edu.pl, tadeusz.smolnicki@pwr.edu.pl

STRESZCZENIE: Łożyska drutowe wykazują szereg zalet w porównaniu z klasycznymi łożyskami wielkogabarytowymi, dzięki czemu mogą być szeroko wykorzystywane w takich gałęziach przemysłu jak: robotyka, sprzęt medyczny. Do ich największych zalet należy niska masa oraz prosta naprawa. W niniejszej pracy podjęto próbę zidentyfikowania najważniejszych parametrów geometrycznych łożysk drutowych oraz ich wpływu na dystrybucję naprężeń w poszczególnych stykach. Do badania wykorzystano metodę elementów skończonych

SŁOWA KLUCZOWE: łożyska drutowe, metoda elementów skończonych

1. Wprowadzenie

Głównymi wymogami, które są stawiane łożyskom wieńcowym jest nośność, trwałość oraz masa. Łożyska drutowe, które są podgrupą łożysk wieńcowych spełniają wszystkie te punkty, ich nośność jest zbliżona do odpowiedników, ze względu na łatwo wymienialne bieżnie mogą przewyższyć trwałościowo klasyczne łożyska, dodatkowo ich zastosowanie może być korzystniejsze w ogólnym rozrachunku ekonomicznym. Natomiast ich masa jest zdecydowanie niższa od zwykłych łożysk wielkogabarytowych. Tym samym są doskonałą alternatywą w takich zastosowaniach jak: robotyka, sprzęt medyczny, sprzęt militarny.

2. Łożyska drutowe

Łożyska drutowe mogą występować w konfiguracjach jak klasyczne łożyska, można je klasyfikować ze względu na rodzaj elementów tocznych, ilość bieżni, ilość rzędów, zastosowane materiały, rodzaje obciążeń.

Łożyska drutowe składają się z elementów tocznych (kule, rolki), które mogą toczyć się po drutach (cztery druty w przypadku łożyska czteropunktowego) o różnych kształtach. Druty są osadzone w pierścieniach (wewnętrzne i zewnętrzne), dzięki czemu mogą być w łatwy sposób wymienione w przypadku stwierdzenia zużycia.

Materiały wykorzystywane na elementy toczne i druty to wysoko wytrzymałe stale, natomiast w przypadku pierścieni wykorzystuje się stal, aluminium. Dodatkowo stwierdzono wykorzystanie kompozytu węglowego na pierścienie.

Do opisu łożysk służą następujące parametry:

- ilość elementów tocznych z ,
- średnica toczna łożyska D_p ,
- średnica elementu tocznego d ,
- średnica bieżni d_b ,
- średnica drutu d_k ,
- promień zaokrąglenia drutu r ,
- wskaźnik średnicowy w_s , definiowany jako:

$$w_s = \frac{D_p}{d} \quad (1)$$

- współczynnik przystawania s , definiowany jako:

$$s = \frac{d}{d_b} \quad (2)$$

- współczynnik odsunięcia o_d , definiowany jako:

$$o_d = \frac{d_d}{d} \quad (3)$$

Zgodnie z literaturą na nośność wpływa średnica elementu tocznego, ilość elementów tocznych. Współczynnik przystawania ma istotny wpływ na dystrybucję naprężeń herzowskich (kształt strefy, położenie punktu Bielajewa) oraz na zjawisko krawędziowania, czyli osiągnięcie przez odkształcony element toczny krawędzi drutu, co prowadzi do spiętrzenia naprężeń. W przypadku krawędziowania istotny jest również współczynnik odsunięcia, dzięki niemu element toczny może się bardziej odkształcić bez krawędziowania. Aby przeciwdziałać temu zjawisku w drutach wprowadza się korekcję krawędzi, poprzez zastosowanie zaokrąglenia lub korekcji logarytmicznej. [1]

3. Model numeryczny łożyska drutowego

Celem pracy było zbadanie wpływu różnych parametrów łożyska na dystrybucję naprężeń w poszczególnych elementach, do badań wykorzystano metodę elementów skończonych.

Jako zmienne wybrano:

- średnica elementów tocznych d , w zakresie od 14,288 [mm] do 30 [mm]
- średnica bieżni d_b ,
- średnica drutu d_k , od 6 [mm] do 12 [mm],
- promień zaokrąglenia drutu r , w zakresie od 0 [mm], (ostra krawędź) do 0,3 [mm],
- współczynnik przystawania s , w granicach od 0,96-0,98,
- współczynnik odsunięcia o_d , w granicach 0,5-0,65.

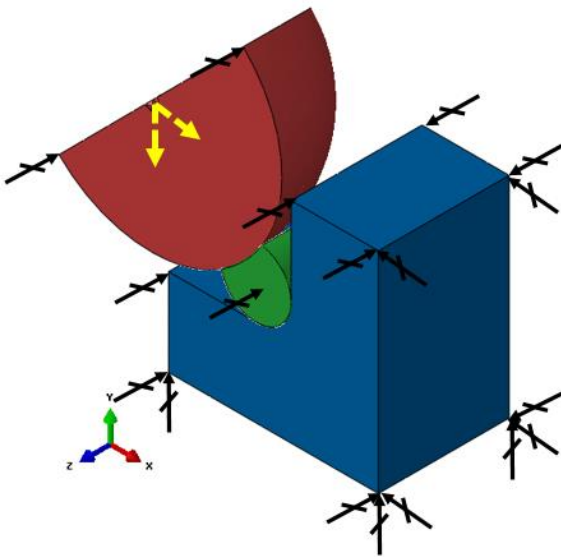
Symulacja była wykonana w zakresie sprężystym materiału. Drut i kule były wykonane ze stali, natomiast pierścień był z aluminium. Dane materiałowe przedstawiono w tab. 1.

Tabela 1. Stałe materiałowe

Element	E [GPa]	ν [-]
Kula	200	0,3
Drut	200	0,3
Pierścień	73	0,27

Przykładowy model użyty do symulacji wraz z warunkami brzegowymi przedstawiono na rys. 1, gdzie odpowiednio: element czerwony to kula, zielony- drut, niebieski- pierścień, czarne strzałki to utwierdzenie, natomiast żółte to wymuszenia. W celu skrócenia czasu

obliczeń zastosowano symetrię modelu. Wykorzystano wymuszenie kinematyczne polegające na przemieszczeniu środka kuli w płaszczyźnie XY na odległość 0,3 [mm]. Pomiędzy elementami *kula-drut* oraz *drut-pierścień* zastosowano kontakt tarcowy o współczynniku tarcia f równym 0,05. Do dyskretyzacji użyto elementów heksagonalnych niższego rzędu (w specjalnych, wydzielonych strefach kontaktów), natomiast w rejonach peryferyjnych zastosowano siatkę tetragonalną niższego rzędu, naprężenia w strefach oddalonych od styków nie są aż tak istotne, a rozrzedzenie siatki pozwala skrócić czas obliczeń. Aby zaobserwować zjawiska Hertza siatka w strefach kontaktu miała wielkość rzędu 0,25-0,3*d*. Założono, że łożysko jest bezluzowe i nie ma zacisku wstępnego.



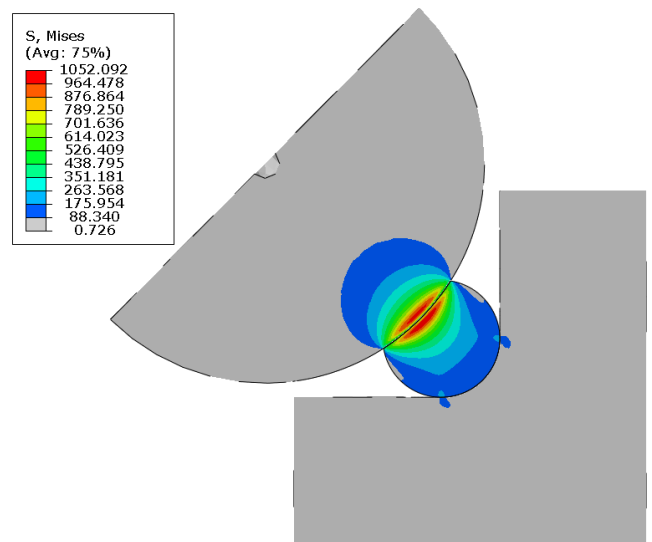
Rys. 1. Model łożyska drutowego wraz z warunkami brzegowymi

Przykładowy rozkład naprężeń zredukowanych σ_{H-VM} przedstawiono na rys. 2, można zaobserwować, że naprężenia maksymalne występują na pewnej głębokości, tj. w punkcie bielajewa w kuli i w drucie, co jest zgodne z teorią. Dodatkowo można zaobserwować spiętrzenie naprężeń w pierścieniu, jednak pomimo tego naprężenia σ_{H-VM} są w nim relatywnie niskie, co potwierdza możliwość zastosowania metali lekkich i kompozytów na pierścieniu.

Rozkład naprężeń w styku *kula-drut* jest nieliniowy, co wynika z teorii naprężeń Herza, natomiast na styku *drut-pierścień* rozkład jest liniowy.

Wraz ze wzrostem współczynnika przystawania s zaobserwowano, że rozkład naprężeń w kuli i drucie zwiększa swoją krzywiznę, jednocześnie zmniejszając szerokość.

Dodatkowo stwierdzono, że zastosowanie zaokrągleń krawędzi drutu likwidują powstawanie karbu podczas krawędziowania, jednak większe wartości zaokrągleń zmniejszają bieżnię, co prowadzi do szybszego wzrostu naprężeń w pobliżu zaokrągleń. Z tego powodu rozsądne wydają się opracowanie innej metody korekcji. W literaturze korekcja jest wykorzystywana w przypadku wałeczków w łożyskach tocznych, wyróżnia się takie rodzaje jak: łukowa, stożkowa, logarytmiczna, wielomianowa i inne [2].



Rys. 2. Przykładowy wynik symulacji

4. Podsumowanie

W wyniku przeprowadzonych symulacji stwierdzono, że

- 1) Naprężenia maksymalne występują w punktach Bielajewa, który występują w przypadku styków nieliniowych, to jest w styku *kula-drut*, chyba, że dojdzie do zjawiska krawędziowania, jednak łożyska nie powinny pracować w zakresie tak dużych odkształceń.
- 2) Naprężenia w styku *drut-pierścień* są zdecydowanie niższe, dzięki czemu można wykorzystywać metale lekkie na pierścieniu łożysk drutowych, jednak na końcu styku występuje spiętrzenie naprężeń.
- 3) Zastosowanie korekcji w postaci zaokrąglenia prowadzi do znacznego obniżenia naprężeń w przypadku krawędziowania, oraz sprawia, że krawędziowanie występuje przy znacznie większych odkształceniach niż w przypadku ostrej krawędzi. Dodatkowo można wykonać korekcję logarytmiczną, co powinno spowodować większy spadek naprężeń. [3]
- 4) Wyższe wartości współczynnika przystawania s powodują, że strefa naprężeń Hertza przyjmuje kształt cięciwy.
- 5) Większe zaokrąglenia krawędzi drutu zmniejszają bieżnię i w efekcie wzrost naprężeń w pobliżu zaokrągleń występuje szybciej niż w przypadku mniejszych promieni. Z tego powodu należy opracować inną metodę korekcji.

Literatura

- [1] Smolnicki T., *Wielkogabarytowe toczne węzły obrotowe. Zagadnienia globalne i lokalne*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2013.
- [2] Kania L., *Analiza obciążenie wewnętrznego w łożyskach tocznych wieńcowych w aspekcie ich nośności statycznej*, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2015.
- [3] Kania L., *Zagadnienia lokalne w numerycznym modelowaniu łożysk tocznych wieńcowych*, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2012.