

Antoni JOHN, Krzysztof KARWAŁA, Bogna MRÓWCZYŃSKA

NUMERYCZNA ANALIZA WYTEŻENIOWA MODELU OSIOWOSYMETRYCZNEGO KOLEJOWEGO ZESTAWU KOŁOWEGO Z UTWARDZONĄ WARSTWĄ WIERZCHNIĄ OSI

Streszczenie. W pracy podjęto próbę oszacowania wpływu utwardzenia warstwy wierzchniej osi na wyteżenie kolejowych zestawów kołowych. Analizę numeryczną przeprowadzono metodą elementów skończonych, rozważając zagadnienie jako osiowosymetryczne. Siły działające na zestaw przyjęto w postaci obciążenia eksploatacyjnego, obciążenia montażowego (wcisk na styku osi z kołem) oraz naprężeń wstępnych występujących w utwardzonej warstwie na powierzchni osi. Naprężenia dla poszczególnych składowych obciążenia wyznaczono oddzielnie, a następnie naprężenia wypadkowe obliczono korzystając z zasady superpozycji. Celem pracy była próba oszacowania wpływu utwardzenia warstwy wierzchniej na naprężenia występujące w kolejowym zestawie kołowym zamodelowanym elementami osiowosymetrycznymi. W pracy wykorzystano metodę elementów skończonych.

NUMERICAL ANALYSIS OF AXISYMETRIC MODEL OF RAILWAY WHEEL SET WITH HARDENING SURFACE OF AXLE

Summary. The paper presents the numerical analysis of axisymmetric model of railway wheel set. There is assumed acting loads as: service load, assembly load and initial stresses in hardening surface of axle. The component stresses calculated separately for each cases and next combined resultant stresses using superposition. The aim of the paper is the test of estimate the influence of hardening surface on the effort of the railway wheel set. The finite element method program KONTAKT is applied.

1. WPROWADZENIE

Zestaw kołowy jest jednym z ważniejszych elementów układu biegowego pojazdu szynowego i ma bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo ruchu kolejowego. Dlatego oś koła oraz zestaw kołowy jako całość muszą mieć zapewnioną dostateczną wytrzymałość i sztywność w wymaganym okresie eksploatacyjnym. W projektowaniu wykorzystuje się doświadczenia eksploatacyjne i technologiczne, a w ostatnim okresie także wyniki analiz numerycznych

[4,5,6,7,9,10]. Uszkodzenia zestawów kołowych obserwowane w trakcie eksploatacji świadczą, że zagadnienie projektowania i wykonania kół jest bardzo ważne.

Jedną z metod zwiększania wytrzymałości i trwałości zestawów kołowych jest utwardzanie warstwy wierzchniej osi w obszarze wcisku przy połączeniu z kołem [1,2,3,8]. Utwardzanie warstwy wierzchniej może być dokonane różnymi metodami, np.: hartowanie indukcyjne, azotowanie, napawanie. W trakcie utwardzania powstają naprężenia wewnętrzne w warstwie poddawanej obróbce. Ich wielkość zależy od stosowanej metody.

W analizie numerycznej zestawu kołowego niezbędne jest uwzględnienie naprężeń wstępnych powstających w utwardzonej warstwie wierzchniej, oprócz obciążeń roboczych działających na zestaw. W pracy analizowano zestaw kołowy z warstwą wierzchnią osi utwardzoną hartowaniem indukcyjnym.

2. MODEL NUMERYCZNY

Analizie numerycznej poddano zestaw kołowy ORE920 o kołach monoblokowych ze zmodyfikowanym kształtem tarczy koła. Jako materiał kół przyjęto stal P58, dla której moduł Younga $E = 2,1 \cdot 10^5$ MPa, stała Poissona $\nu = 0,3$.

Analizę numeryczną zagadnienia przeprowadzono przy użyciu pakietu programów metody elementów skończonych KONTAKT. W programie zastosowano izoparametryczne osiowo-symetryczne elementy skończone z liniowymi funkcjami kształtu.

Przy wyznaczaniu naprężeń roboczych uwzględniane są następujące zagadnienia:

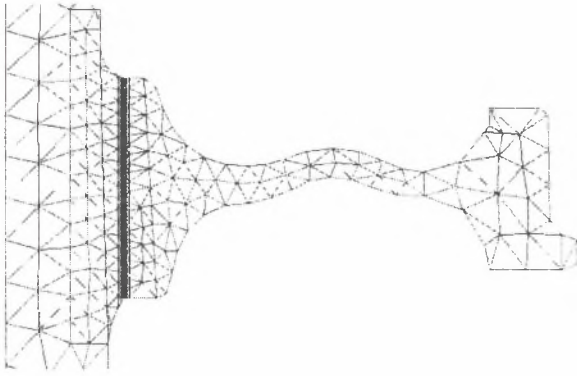
- * naprężenia montażowe (pochodzące od wcisku),
- * obciążenia eksploatacyjne (siły skupione pochodzące od ciężaru wagonu i ładunku).

Naprężenia eksploatacyjne wyznaczane są dla sił skupionych modelowanych szeregami Fouriera. Po wyznaczeniu naprężeń pochodzących od wyżej wymienionych oddziaływań, wyliczane są naprężenia wypadkowe metodą superpozycji, a następnie naprężenia redukowane według hipotezy energii odkształcenia postaciowego Hubera - Misesa - Hencky'ego.

Przyjęto, że obciążenia działają na styku koła z szyną, a podparta jest oś zestawu.

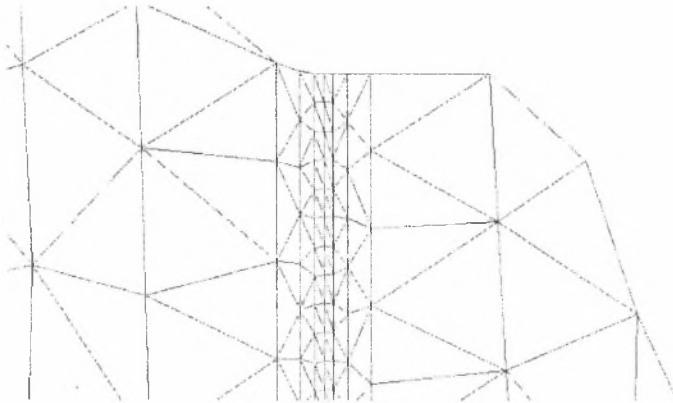
Na rysunku 2.1 przedstawiono model osiowo-symetryczny koła i osi, a na rysunku 2.2 fragment siatki elementów skończonych w przekroju podłużnym osi. Na rysunku 2.2 widać zagęszczenie podziału w warstwie zewnętrznej osi w obszarze styku z kołem. Jest to niezbędne ze względu na wprowadzanie naprężeń wstępnych w tej warstwie. Takie samo zagęszczenie podziału na elementy skończone występuje w kole na styku z osią ze względu na konieczność zgodności podziału na elementy skończone w obydwu obszarach.

Model numeryczny koła zadawano oddzielnie dla każdego przypadku obciążenia. Najbardziej rozbudowany model koła wraz z osią składa się z ponad 600 węzłów i 1000 elementów. Zadanie rozwiązano na komputerze osobistym klasy PC.



Rys. 2.1. Model osiowosymetryczny zestawu kołowego

Fig. 2.1. Axisymmetric model of wheel set



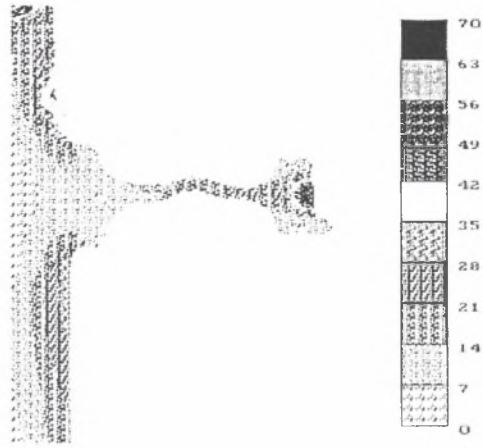
Rys. 2.2. Fragment siatki elementów skończonych w przekroju podłużnym osi na styku z kołem

Fig. 2.2. The part of the finite element mesh of the axle in the contact area with wheel

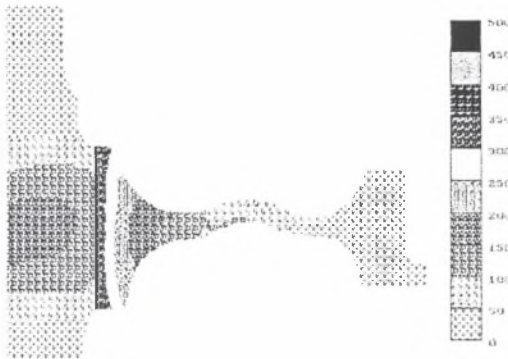
3. ANALIZA NUMERYCZNA

Jako obciążenia zestawu przyjęto obciążenia eksploatacyjne 225 000 N na oś, obciążenia montażowe od wcisku 0.2 mm oraz naprężenia wstępne w warstwie wierzchniej osi: -400 MPa na powierzchni i +600 MPa na głębokości 2 mm.

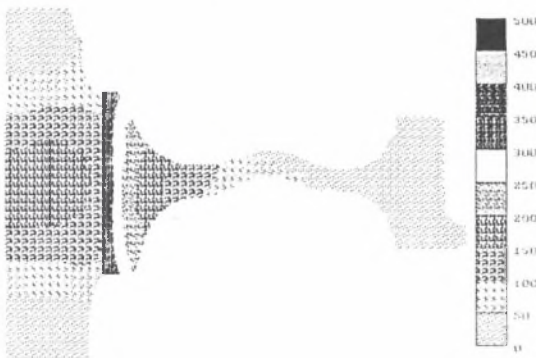
Rozkład naprężeń redukowanych od obciążenia eksploatacyjnego przedstawia rysunek 3.1. Maksymalne naprężenia redukowane w kole występują w tarczy koła pod miejscem przyłożenia siły na obręczy. W osi maksymalne naprężenia redukowane występują na końcu osi w miejscu podparcia oraz w podpiąściu. Na rysunku 3.2 przedstawiono rozkład naprężeń redukowanych w przekroju koła pochodzących od wcisku. Maksymalne naprężenia występują na styku koła z osią.



Rys. 3.1. Rozkład naprężeń zredukowanych dla obciążeń eksploatacyjnych
 Fig. 3.1. Reduced stresses in wheel set under service load

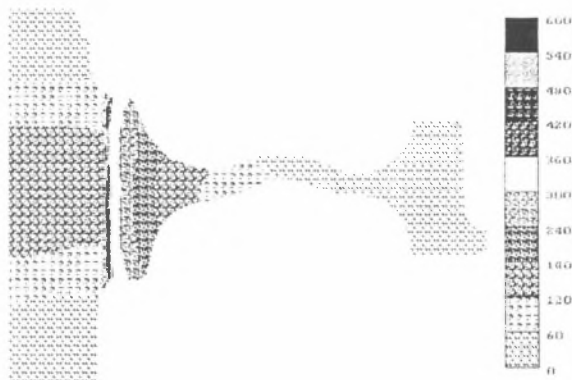


Rys. 3.2. Rozkład naprężeń zredukowanych w przekroju koła dla wciску
 Fig. 3.2. Assembly stresses in wheel set



Rys. 3.3. Rozkład naprężeń zredukowanych sumarycznie dla obciążeń eksploatacyjnych i wciску
 Fig. 3.3. Reduced stresses in wheel set under service load and interference

Napężenia redukowane pochodzące od obciążeń eksploatacyjnych, wcisku, a także z uwzględnieniem naprężeń wstępnych w warstwie wierzchniej osi przedstawia rysunek 3.4. Największe napężenia występują w obszarze styku koła z osią. Duże wartości występują również w środku osi pod tarczą koła.



Rys. 3.4. Rozkład naprężeń redukowanych po superpozycji (z uwzględnieniem naprężeń wstępnych w warstwie wierzchniej)

Fig. 3.4. Reduced stresses in wheel set after superposition (with initial stresses in hardening surface)

4. PODSUMOWANIE

Wyniki analizy numerycznej pozwoliły określić wpływ naprężeń wstępnych w utwardzonej warstwie wierzchniej (po obróbce) na sumaryczny rozkład naprężeń w zestawie kołowym. Zagadnienie analizowano jako osiowosymetryczne. Zaobserwowano nieznaczny wpływ naprężeń początkowych w warstwie wierzchniej na wyężenie zestawu. Zastosowanie metody elementów skończonych umożliwiło efektywne przeprowadzenie weryfikacji numerycznej przedstawionego zagadnienia.

Literatura

1. Handzel-Powierża Z.: Warstwa wierzchnia a problem wytrzymałości elementów maszyn, Przegląd Mechaniczny, z.23-24/96, s.40-46.
2. Handzel-Powierża Z., Starzyński G.: Rozkład naprężeń w technologicznej warstwie wierzchniej elementów odkształcalnych statycznie i cyklicznie, Postępy Technologii Maszyn i Urządzeń, z.3-4/1991, s. 3-15.
3. Handzel-Powierża Z., Kucharski S., Starzyński G.: Wpływ odkształceń na pola naprężeń własnych warstwy wierzchniej, Postępy Technologii Maszyn i Urządzeń, vol.18, nr 1 1994, s. 5-12.
4. John A., Mrówczyńska B. Sitarz M.: Numeryczna ocena wyężenia kolejowych zestawów kołowych dla kół o różnym kształcie tarczy. Zeszyty Naukowe Katedry Mechaniki Technicznej, z. 2, Gliwice 1996.

5. John A., Mrówczyńska B.: Computer aided design of railway wheel set, XIV Polska Konferencja Metod Komputerowych w Mechanice, Rzeszów 1999, publikowane w CAMES (w przygotowaniu do druku).
6. John A., Mrówczyńska B., Pośpiech P., Sitarz M.: Analiza wytrzymałościowa kolejowego zestawu kołowego ORE920 wózka trakcyjnego metodą elementów skończonych. Konferencja Naukowa Napędy Maszyn Transportowych, Ustroń Śląski, wrzesień 1996. Maszyny Dźwigowo-Transportowe. Kwartalnik Naukowo - Techniczny nr 4, 1996, s.92-101.
7. John A., Mrówczyńska B.: Computer aided engineering using finite element method program KOŁO_PC, 3rd International Scientific Colloquium "CAE TECHNIQUES", Rzeszów, 24-27 IX 1997.
8. John A., Mrówczyńska B., Witaszek M.: Ocena wytrzymałości zmęczeniowej i trwałości kół z napawanymi obręczami. Materiały Konferencyjne Międzynarodowej Konferencji i Specjalistycznej Wystawy: Rozwój Infrastruktury Transportowej Śląska i Północnych Moraw – Część Środkowoeuropejskiego Systemu Transportowego Ostrawa – Katowice, 29.04-6.05.97, t. I, s.257-262.
9. John A., Mrówczyńska B., Sitarz M.: Zastosowanie pakietu programów metody elementów skończonych KOŁO_PC do komputerowego wspomagania projektowania. Pojazdy Szynowe 1998 nr 1,, Kwartalnik naukowo-techniczny OBRPS w Poznaniu, s. 32 –36.
10. John A., Mrówczyńska B., Sitarz M.: Computer aided design of railway wheel sets by means of finite element method KOŁO_PC program. Proceedings of the International Conference Numerical Method in Continue Mechanics, Slovakia University of Žylyna, pp. 398 – 403.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Sylwester Markusik

Abstract

The wheel set is one of the most important part of the railway car. The railway traffic safety depend on the wheel set. It is helpful for designers to know the stress and strain distribution in constructions because that can be used to estimate an effort of particular elements or a whole construction. One of the method currently using to increase an effort of the wheel set is the hardening surface of axle. To evaluate the influence between the initial stresses in hardening surface and effort of the wheel sets, it is necessary to perform: to calculate the stresses - arising from working loads, to calculate the assembly stresses, to evaluate initial stresses from hardening, the resultant stresses by superposition, the reduced stresses (von Mises). The numerical model of wheel set was performed using axisymmetric finite elements. It was necessary to involve some modifications of finite element mesh in the contact area between the wheel and axle. Mesh dimension depend on parameters of hardening surface. Some numerical results are obtain for selected cases. The numerical verification of results is done using finite element method program KONTAKT.

Pracę zrealizowano w ramach projektu PB - 1420/T12/98/15.