

KRZYSZTOF BIZOŃ, ZBIGNIEW H. ŻUREK*

BADANIA WYTRZYMAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ STALI STOSOWANEJ NA ZESTAWY KOŁOWE NA PODSTAWIE JEJ PARAMETRÓW MAGNETYCZNYCH

INVESTIGATION OF ENDURANCE LIMIT OF RAILWAY WHEEL STEEL BASED ON MAGNETIC PROPERTIES **EXAMINATION**

Streszczenie

W artykule przedstawiono jedną z rozwijanych metod diagnozowania procesów zmęczeniowych metodami magnetycznymi. Badania potwierdzają korelację cech mechaniczno-magnetycznych stali. Sprecyzowanie tych korelacji i pomiary zmian własności magnetycznych umożliwią w przyszłości precyzyjnie określenie długości cyklu przeglądowego zestawu kołowego.

Słowa kluczowe: kolejowy zestaw kołowy, zmęczenie materiału, diagnostyka magnetyczna

Abstract

The paper presents one of the methods of diagnosing fatigue processes by means of magnetic methods which is being developed. The carried research confirms correlations between mechanical and magnetic features of steel. Clarification of these correlations and measurements of magnetic properties will enable precise determination of the length of a circle of review wheel set.

Keywords: rail wheel set, materials fatigue, magnetic diagnostics

^{*} Dr inż. Krzysztof Bizoń, dr hab. inż. Zbigniew H. Żurek, prof. PŚ, Katedra Transportu Szynowego, Wydział Transportu, Politechnika Śląska.

1. Wstęp

Długość cyklu przeglądowego zestawu kołowego zależy od przebiegu, jak i technicznych oraz ekonomicznych warunków eksploatacji pojazdu. Względy ekonomiczne przemawiają za wydłużaniem cyklu przeglądu eksploatacyjnego. Czynnikiem decydującym o dopuszczeniu zestawu do dalszej eksploatacji jest brak mikropęknięć o wymiarach przekraczających dopuszczalne. W chwili obecnej przewiduje się czas propagacji pęknięcia wykrytego metodami ultradźwiękowymi i wiroprądowymi, przedłużając czas eksploatacji zestawu.

W artykule przedstawiono badania stali stosowanych na zestawy kołowe. Zamieszczono wyniki badań opisujących reakcję materiału na obciążenia cyklicznie zmienne. Przedstawiono rozwijane metody diagnozowania procesów zmęczeniowych metodami magnetycznymi, które są dokładniejsze od metod defektoskopii ultradźwiękowej.

2. Obciążenia kół zestawów kołowych

Zestaw kołowy narażony jest na złożone obciążenia dynamiczne i statyczne. Model obciążeń mechanicznych statycznych uwzględnia szereg współczynników bezpieczeństwa i jest znacznie niższy od obciążeń zmęczeniowych wyznaczanych metodą Wöhlera. W wyniku złożonych oddziaływań dynamicznych w kołach zestawów kołowych pociągów szybkich rozwijają się mikropęknięcia prowadzące do awarii lub katastrof. Rozkład obciążeń statycznych jest zależny przy tych samych warunkach obciążenia zestawu od jego konstrukcji. Konstrukcja koła i jego tarczy wpływa na charakter i wartość obciążeń mechanicznych.

Koła napędne i toczne zestawu kołowego przejmują największą część obciążenia w punkcie styku z szyną. Doświadczenia eksploatacyjne wskazują, że inicjacja procesu pękania występuje głęboko pod powierzchnią toczną. Wartość naprężeń w głębszych warstwach obręczy, jak i tarczy koła stanowi małą część naprężeń maksymalnych kontaktowych. W celu wykazania charakteru obciążeń wewnątrz kubatury koła wykonano wiele analiz symulacyjnych.

Rozpatrzono stany naprężeń od obciążeń statycznych i dynamicznych w dwóch typach kół zestawów kołowych (rys. 1).



Rys. 1. Analizowane rozwiązania konstrukcyjne kół zestawów kołowych z tarczą falistą (a) i z tarczą płaską (b)

Fig. 1. Analysed shape of circles of wheelsets with wavy shield (a) and straight sheld (b)



Rys. 2. Rozkład naprężeń redukowanych w tarczy falistej (a) i prostej (b)





Rys. 3. Rozkład naprężeń promieniowych w tarczy falistej (a) i prostej (b)

Fig. 3. Map of radial stresses in the wavy shield (a) and for straight sheld (b)



Rys. 4. Mapa rozkładu składowej promieniowej naprężeń w tarczy falistej oraz wykres przebiegu zmian wartości składowej promieniowej w funkcji obrotu

Fig. 4. Map of the radial component of stresses in the wavy shield and graph of the course of changes of the value of the radial stress component in the function of the turnover of the wheel

Z przeprowadzonej analizy naprężeń podczas obrotu koła wynika wpływ konstrukcji tarczy na rozkład napreżeń, amplitudę naprężeń i asymetrię obciazeń. Wyniki pokazano na rysunkach 2–7.



Rys. 5. Mapa rozkładu składowej promieniowej naprężeń w tarczy płaskiej oraz wykres przebiegu zmian wartości składowej promieniowej w funkcji obrotu

Fig. 5. Map of the disintegration of the radial component of stresses in the flat shield and graph of the course of changes of the value of the radial stress component in the function of the turnover of the wheel

W ramach badań przyjęto przebieg charakter naprężeń zmęczeniowych jako wahadłowy o współczynniku amplitudy cyklu równym $R = \sigma_{\min}/\sigma_{\max} = -1$.

Przystąpiono do wyznaczenia krzywej Wöhlera, a następnie przeprowadzono skalowanie zmęczeniowe próbek klepsydrycznych przewidzianych do badań magnetycznych.

3. Badania zmęczeniowe

Do badań przygotowano serię próbek o kształcie klepsydrycznym. Sposób przygotowania materiału wyjściowego do próbek na elektrodrążarce drutowej minimalizował naprężenia i zmiany strukturalne w materiale. Badano materiał stosowany na obręcze (UIC 810-1) i monobloki (EN 13262:2004). Badania wykonano na maszynie wytrzymałościowej MTS 858, Model Nr 359, S/N 1075319 z zakresem siły osiowej +/-25 kN i momentu skręcającego +/-200 Nm wyposażonej w sterownik cyfrowy TestStar II. Maszyna była sterowana przy pomocy oprogramowania MTS TestStar v. 4.0D + TestWare-SX v. 4.0D oraz 790.20 Fatigue Test Application. Odkształcenie osiowe obliczano ze wskazań odkształceń promieniowych w przyjętej wartości współczynnika Poissona. Ekstensometr do pomiarów zmiany średnicy miał odpowiednio dobraną czułość pomiarową i zakres drgań własnych. Teoretyczne zachowanie metali w zakresie zmęczenia jest opisane cykliczną plastycznością generowaną mikropoślizgamii poprzedzającymi powstanie pasm poślizgów lub zmianami zmęczeniowymi zdominowanymi lokalnymi mechanizmami wokół wad struktury, prowadzącymi do efektów ratchetingu. Badania wykazały złożony przebieg odkształceń w funkcji cyklu obciążenia zmęczeniowego. Przykładowe przebiegi pokazane na rysunku 6a były zbliżone do efektu cyklicznej plastyczności, a na rysunku 6b do efektu ratchetingu.



Rys. 6. Przebiegi odkształceń dla próbki P5 (a) i próbki P4 w funkcji liczby cykli

Fig. 6. Courses of deformations for the P5 sample (a) and P4 sample (b) in the function of the number of cycles

Przebiegów zgodnych z teoretycznymi nie zaobserwowano.

4. Badania struktury materiału

Próbki stali w stanie wyjściowym, tj. niepoddawane obciążeniom zmęczeniowym, wykazują strukturę ferrytyczno-perlityczną. Ferryt występuje na granicach pierwotnych ziaren austenitu (rys. 7). Ponadto w badanej strukturze ujawniono wtrącenia niemetaliczne, głównie tlenki aluminium Al₂O₃ i siarczki manganu MnS (rys. 8 i 9). Analizę składu chemicznego ujawnionych wtrąceń wykonano przy użyciu mikroanalizy rentgenowskiej.



Rys. 7. Struktura wejściowa Fig. 7. Initial structure



Rys. 8. Przykładowa struktura, defekt oraz spektrogram punktu 1 Fig. 8. The model structure, the defect and the spectrogram of point 1



Fig. 9. The model structure, the defect and the spectrogram of point 2

Zaobserwowane defekty i wtrącenia były odpowiedzialne za wytrzymałość zmęczeniową badanych próbek i wykazywały zróżnicowany charakter zmian odkształceń w funkcji cykli obciążenia.

5. Badania parametrów magnetycznych stali

Możliwości badań defektoskopowych są ograniczone. Jedną z możliwości przewidywania czasu eksploatacji jest badanie parametrów fizycznych w funkcji obciążeń zmęczeniowych. Przeprowadzono badania parametrów magnetycznych w stali niskowęglowej w funkcji obciążeń zmęczeniowych. Zmiany zachodzące w stalach wysokostopowych w zakresie głównych parametrów magnetycznych (Hc, μr) sięgają poziomu 30–50%, natomiast w stalach węglowych są niższe i sięgają wartości z przedziału od 10 do 15%. Zmiany parametrów magnetycznych stali niskowęglowych przedstawione na rysunku 2.6 są zmianami istotnymi. Zmiany te potwierdzają możliwość prowadzenia pomiarów magnetycznych dla celów diagnostyki i przewidywania czasookresu pękania. Grupa czterech wykresów zamieszczonych na rysunku 10 przedstawia zmiany przenikalności czynnej, biernej tangensa kąta strat, jak i modułu przenikalności magnetycznej dla jednej z kombinacji



parametrów pomiaru, tj. przy częstotliwości pola magnetycznego 1060 Hz i natężeniu 800 A/m. Jest to jeden z wielu wyników kombinacji parametrów pomiaru.

Rys. 10. Przykładowe wyniki pomiaru dynamicznych parametrów magnetycznych

Fig. 10. Example results of the measurement of dynamic magnetic parameters

W wyniku wpływu obciążeń zmęczeniowych zanotowano istotne zmiany przenikalności magnetycznej biernej, jak i stratności.

6. Wnioski

Większość stali konstrukcyjnych reaguje na procesy mechaniczne mierzalnymi, istotnymi zmianami parametrów magnetycznych. Każda stal przejawia określoną zależność związków magnetomechanicznych. Poznanie tych związków pozwala na stosowanie metod magnetycznych w diagnostyce elementów stalowych i prognozowanie procesu pękania, co jest istotne, a nieosiągalne za pomocą metod defektoskopii.

Literatura

- Zurek Z., Sitarz M., Witaszek M., Rockstroh B., Magnetische Messgrößen der Werkstoffe für Bahn-Radsätze während und nach einer zyklischen mechanischen Belastung, Rad Shene 2009, Germany, Drezno 2009.
- [2] Żurek Z., Sitarz M., Bizoń K., Investigation of endurance limit of railway wheel steel based on magnetic properties examination, 16th International Wheelset Congress, South Africa, Cape Town 2010.
- [3] Żurek Z.H., Opracowanie metody magnetycznej do wczesnej detekcji procesów zmęczeniowych w stalach niskostopowych i niskowęglowych, Rządowy Projekt Badawczy Własny N N507 0807 33 (zakończony 15.11.2009).

