

**Maria Magdalena Żmuda-Sroka**

## **PROGNOZOWANIE TRWAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ OSI ZESTAWÓW KOŁOWYCH**

**Streszczenie.** Artykuł zawiera uzasadnienie wyboru metody prognozowania trwałości zmęczeniowej osi zestawu kołowego na podstawie krzywych Wohlera oraz widma naprężeń. Ponadto podaje dane dotyczące badań zmęczeniowych wytypowanych na osie materiałów oraz obliczeń przeprowadzonych wg hipotez kumulacji uszkodzeń zmęczeniowych. Opracowanie zakończono spostrzeżeniami i wnioskami, które nasunęły się w trakcie prowadzonych prac.

## **FORECASTING THE FATIGUE CRACK LIFE OF A WHEEL SET AXLE**

**Summary.** The article includes the argument of the choice of the fatigue strength forecasting method for a wheel set axle, according to the Wohler curves and the stress spectrum. It also includes the data referring to the fatigue tests of materials chosen for production of axles and calculations based on cumulation of fatigue damage hypotheses. At the end you can find conclusions and remarks which emerged in the course of experiments.

### **1. WPROWADZENIE**

Zestawy kołowe stanowią jeden z najbardziej odpowiedzialnych zespołów pojazdu szynowego, gdyż od ich trwałości i niezawodnego działania zależy nie tylko komfort podróży ale przede wszystkim bezpieczeństwo jazdy. Elementy zestawu kołowego w trakcie eksploatacji narażone są na działanie obciążeń różniących się między sobą wartościami, charakterem oraz miejscem działania. Złożony charakter obciążeń wynika nie tylko z różnorodności sił działających na pojazd ale jest także uzależniony od kształtu elementów oraz ich wzajemnego połączenia. Należy pamiętać, że zestaw kołowy z reguły stanowi masę nieusprężynowaną (20% masy wagonu towarowego i około 10% masy wagonu osobowego), oddziałującą w sposób dynamiczny na tor na styku koła z szyną i przenoszącą obciążenia z toru na pojazd [1].

Z licznych doświadczeń eksploatacyjnych wiemy, że jednym z najbardziej niebezpiecznych zjawisk występujących w elementach zestawu kołowego jest zmęczenie materiału i wynikające zeń konsekwencje. Ma to szczególne znaczenie w przypadku występowania w elementach decydujących o bezpieczeństwie pojazdu. Do elementów tych zaliczamy osie zestawów, których uszkodzenia szczególnie w postaci nadpęknięć i pęknięć oraz złamań, które popularnie określamy mianem "ukręcenia osi", choć nie należą do najczęściej występujących, stanowią ważki problem, gdyż niezauważone w porę mogą spowodować katastrofę. Łączy się to z charakterem i przebiegiem procesu zmęczenia materiału, który w trakcie eksploatacji jest bardzo trudny do zaobserwowania. Początek procesu jest najczęściej niezauważalny, natomiast jego faza końcowa przebiega w sposób gwałtowny, prowadząc do zniszczenia.

Konieczność zapewnienia bezpieczeństwa oraz trwałości i niezawodności elementom nowo budowanych pojazdów, zwłaszcza przy wymaganych prędkościach jazdy powyżej 200 km/godz., przyczyniła się do wprowadzenia technologii zwiększających ich wytrzymałość zmęczeniową względnie wprowadzenia nowych tworzyw konstrukcyjnych.

Testowanie nowych materiałów lub elementów wykonanych przy zastosowaniu specjalnych technologii, poprzez wprowadzenie do obliczeń metod probabilistycznych, pozwala na lepsze niż w przypadku stosowania metod deterministycznych możliwości przewidywania trwałości zmęczeniowej elementów. Należy jednak pamiętać, że wprowadzenie do obliczeń tego typu metod wymaga pewnego ilościowo dostatecznego zbioru informacji o przebiegu obciążeń i o własnościach zastosowanych materiałów lub technologii.

Przyjęcie metod obliczeniowych pozwalających na wyznaczenie wytrzymałości lub trwałości zmęczeniowej złożonych elementów konstrukcyjnych na podstawie kryterium podobieństwa pęknięcia zmęczeniowego, a więc kryterium, w którym element konstrukcyjny i model, czyli badana próbka, różniące się bezwzględnymi i względnymi wymiarami mają równe rozkłady granic zmęczenia, pozwoliło na eliminację bardzo kosztownych prac- i czasochłonnych doświadczeń, obejmujących badania laboratoryjne, modelowe i eksploatacyjne. Dało to także duże praktyczne możliwości określenia wartości wymienionych wielkości na podstawie badań pewnej liczby znormalizowanych próbek.

Kryteria podobieństwa wynikają ze statystycznej teorii podobieństwa zmęczeniowego pęknięcia, opartej na statystycznej niejednorodności własności mechanicznych mikroobszarów materiału, a więc w zasadzie na teorii "najslabszego ogniwa" Waibula oraz zjawisku utraty wytrzymałości cienkiej warstwy powierzchniowej [2, 3]. Zasada "najslabszego ogniwa" mówi, że ziarno lub część ziaren znajdujących się na powierzchni materiału przy działaniu zmiennego obciążenia pracuje w warunkach różniących się od warunków pracy rdzenia materiału. Zakłada się także, że dane ziarno lub grupa ziaren jest umieszczona najbardziej niekorzystnie w stosunku do działającego obciążenia i dlatego wykazuje mniejszą wytrzymałość niż otaczające ją ziarna. Strefa złożona z zewnętrznych ziaren odkształca się plastycznie, zaś rdzeń materiału - sprężysto. Prowadzi to do zmiany własności materiału, stwarzając równocześnie przesłanki do utraty wytrzymałości w warstwie powierzchniowej omawianej strefy. Kogajew w swojej pracy [2] podał równania podobieństwa zniszczenia zmęczeniowego, w których można wyróżnić kryterium podobieństwa zmęczeniowego pęknięcia, wyrażone stosunkiem wymiaru charakterystycznego dla roboczego przekroju próbki w obszarze zwiększonego stanu naprężeń do względnego gradientu naprężeń w strefie koncentracji. Odpowiedni dobór wymiaru, charakteryzujący badany element, pozwala na wyznaczenie zniszczenia zmęczeniowego w warunkach jego pracy. Przykładowo dla osi zestawu kołowego pojazdu szynowego wymiarem charakterystycznym jest iloczyn liczby  $\pi$  i średnicy osi  $D$  - " $\pi D$ ". Przedstawiona teoria oraz podane zależności pozwalają na obliczenie początkowej granicy wytrzymałości zmęczeniowej elementu na podstawie wytrzymałości zmęczeniowej próbek. Należy zaznaczyć, że zastosowanie metod probabilistycznych pozwala na zwiększenie dokładności obliczeń i

uzyskanie wyników o wartości zbliżonej do wyników z badań elementu w skali rzeczywistej (odchylenie w granicach 10%).

Obciążenia osi zestawu kołowego należy zaliczyć do obciążeń o charakterze losowym. Cykle zmęczeniowe dla obciążeń losowych wyznacza się podobnie jak dla obciążeń poliharmonicznych okresowych i nieokresowych.

Ocena obciążeń losowych jest bardzo złożona i opiera się na teorii procesów losowych. Opracowanie obciążeń losowych w badaniach zmęczeniowych ma na celu wyznaczenie widm obciążeń.

Rejestracja widm obciążeń losowych osi zestawu kołowego jest przedsięwzięciem niezmiernie kosztownym, a ponadto trudnym w realizacji ze względów technicznych. Z tego powodu w kraju jak dotychczas prace takie w dziedzinie pojazdów szynowych nie były prowadzone.

Do przeprowadzanych obliczeń trwałości zmęczeniowej przyjęto dane uzyskane z doświadczeń zrealizowanych na kolejach rosyjskich, ponieważ warunki, w jakich prowadzono badania, są najbardziej zbliżone do warunków panujących na krajowych szlakach kolejowych. Dla porównania przyjęto także dane charakteryzujące widmo naprężeń osi zestawu kołowego, uzyskane w próbach prowadzonych na szlakach kolei w USA.

Tabela 1 zawiera wartości amplitudy naprężenia losowego oraz wariancji, uzyskane z charakterystyki widm naprężeń osi zestawu kołowego.

Tabela 1  
Charakterystyka widm naprężeń osi zestawu kołowego

Lp.	Kraj	Amplituda naprężeń $\sigma_{\text{amax}}$ [MPa]	Wariancja $S_{\sigma}^2$ [MPa]
1	Rosja	205	$5.5 \cdot 10^3$
2	USA	125	$1.3 \cdot 10^3$

Z licznych badań wynika, że podobnie jak dla obciążenia sinusoidalnego, tak i dla obciążenia widmem obciążeń losowych, charakteryzującym się maksymalną amplitudą  $\sigma_{\text{amax}}$  i współczynnikiem wypełnienia widma  $\xi$ , wyniki w zakresie ograniczonej wytrzymałości zmęczeniowej mogą być aproksymowane prostą, która w układzie  $\log \sigma$ ,  $\log N$  ma postać:

$$\sigma_{\text{amax}}^m N_c = \text{const} .$$

gdzie :

- wykładnik potęgi  $m \geq m$ ,
- $m$  - wykładnik potęgi krzywej zmęczeniowej Wohlera,
- $N_c$  - całkowita ilość cykli aż do zniszczenia elementu.

Wykres Wohlera może być traktowany jako szczególny przypadek występowania naprężeń losowych mających widmo o współczynniku wypełnienia  $\xi = 1$ . Widzimy więc, że otrzymane w wyniku przeprowadzonych badań wykresy krzywych zmęczeniowych Wohlera mogą być wykorzystane do prognozowania trwałości zmęczeniowej badanego elementu.

Z uwagi na fakt, że proces zmęczenia materiału jest bardzo złożony i nie do końca poznany, prognozując trwałość zmęczeniową danego elementu posługujemy się najczęściej hipotezami kumulacji uszkodzeń zmęczeniowych. Pozwalają one na wyliczenie trwałości elementu przy określonych parametrach zależnych od warunków pracy, własności materiału, z którego jest wykonany, założonych współczynników bezpieczeństwa itp. Wartości trwałości

zmęczeniowej, jakie uzyskujemy z obliczeń przeprowadzonych wg poszczególnych hipotez, różnią się pomiędzy sobą; z tego też względu należy prowadzić obliczenia wg kilku hipotez, a następnie przeprowadzić analizę uzyskanych danych. Najczęściej posługujemy się hipotezami liniowymi, wśród których największą popularność zyskały hipotezy Palmgren-Minera, Serensena i Heibacha.

Na podstawie teorii oraz kryteriów podobieństwa zmęczeniowego pęknięcia został opracowany program "Prognoza" [4] w języku Turbo Paskal 7.0, pozwalający na prognozowanie trwałości zmęczeniowej osi zestawu kołowego wg hipotez Palmgren-Minera, Serensena i Heibacha przy następujących parametrach wyjściowych:

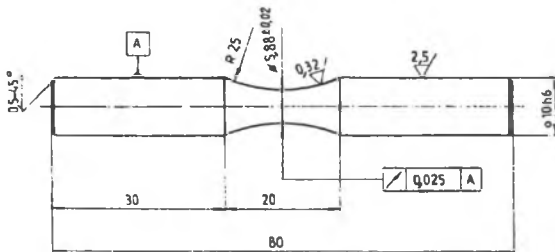
- maksymalnej amplitudzie naprężenia losowego  $\sigma_{\text{amax}}$  [MPa],
- wariancji naprężenia losowego  $S_{\sigma}^2$  [MPa],
- wykładnika potęgowego Wohlera "m",
- granicznej liczby cykli  $N_0$  [ mln. cykli],
- współczynnika wpływu naprężeń mniejszych od granicy zmęczenia "k" przy założeniu, że rozkład amplitud jest zgodny z rozkładem Rayleigh'a.

## 2. WYZNACZENIE WYTRZYMAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ

Do badań wytrzymałości zmęczeniowej przy obrotowym zginaniu stałym momentem gnącym wytypowano stal konstrukcyjną o znaku P 40 wg PN-84/H-84027/03, przeznaczoną na osie zestawów kołowych pojazdów szynowych oraz stop aluminium K63Cu, o składzie chemicznym opracowanym przez Zakłady Metali Lekkich w Skawinie.

### 2.1. Metodyka badań

Materiałem wyjściowym do wykonania próbek ze stali P40 były pręty o przekroju okrągłym, średnicy  $\phi$  równej 15 mm, i długości  $l$  równej 1000 mm. Próbkę sporządzono drogą obróbki mechanicznej wg kształtu i wymiarów pokazanych na rys. 1.



Rys. 1. Kształt i wymiary próbki do badań zmęczeniowych wykonanej ze stali P40

Fig. 1. Shape and dimensions of the sample made of steel P40 and prepared for fatigue tests

Wykonane próbki stalowe podzielono na 3 partie po 40 sztuk w każdej. Pierwszą partię stanowiły próbki ze stali P40 w stanie normalizowanym, drugą - wykonane ze stali P40, ulepszonej cieplnie, trzecią zaś próbki ze stali P 40 ulepszone cieplnie i poddane śrutowaniu.

Warunki ulepszania cieplnego oraz śrutowania zostały podane w pracy na temat "Technologiczne metody zwiększania trwałości i niezawodności pojazdów szynowych" [14].

Doświadczenia prowadzono na maszynie firmy Schenck, typ PUNZ - 2 , o stałym rozkładzie momentu gnącego w części pomiarowej próbki.

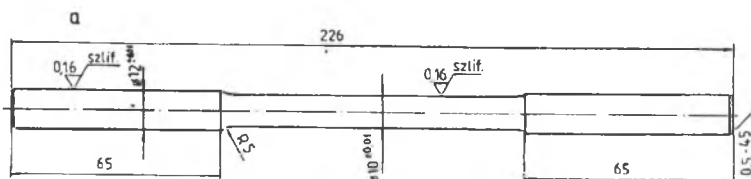
Trwałą wytrzymałość zmęczeniową określono przy granicznej ilości cykli  $N_G$  równej  $10^7$  i częstotliwości zmian naprężenia 6000 cykli / min.

Przebieg ograniczonej wytrzymałości zmęczeniowej badanych próbek został opisany prostymi regresji w postaci:

$$\log N = C + m \log \sigma$$

Materiałem wyjściowym do sporządzenia próbek ze stopu K63Cu były pręty o przekroju okrągłym, średnicy  $\phi$  równej 25 mm, i długości  $l = 1000$  mm. Pręty uzyskano metodą wyciskania z wlewków. W celu podwyższenia własności wytrzymałościowych badanego materiału, wykonane zeń pręty poddano przesycaaniu, a następnie sztuczemu starzeniu.

Ze stopu K63Cu wykonano jedną partię próbek liczącą 40 szt., o wymiarach i kształcie (rys.2.) podyktowanym warunkami maszyny użytej do prób zmęczeniowych. Doświadczenia przeprowadzono na maszynie radzieckiej o symbolu MYN - 6000 /6000 obr./min/, zapewniającej obciążenie próbki stałym momentem gnącym.



Rys.2. Kształt i wymiary próbki do badań zmęczeniowych wykonanej ze stopu Al - K63Cu  
Fig.2. Shape and dimensions of the sample made of Al alloy K63Cu and prepared for fatigue tests

W celu skonstruowania pełnego przebiegu krzywej zmęczeniowej Wohlera, przyjęto graniczną ilość cykli  $N_G$  równą  $10^7$ . Wartość ta była podyktowana skłonnością aluminium i jego stopów do pełzania.

Przebieg ograniczonej wytrzymałości zmęczeniowej określono tak samo jak dla próbek stalowych, zaś trwałą wytrzymałość zmęczeniową wyznaczono stosując metodę schodkową. Do obliczenia średniej granicy zmęczenia zastosowano metodę Dixina Mooda. Szczegółowe dane na temat przeprowadzonych badań zostały zawarte w pracy [15].

Doświadczenia zarówno dla próbek stalowych, jak i dla wykonanych ze stopu aluminium były przeprowadzone przy następujących założeniach:

- naprężenie średnie  $\sigma_m = 0$ ,
- współczynnik asymetrii cyklu  $R = -1$ ,

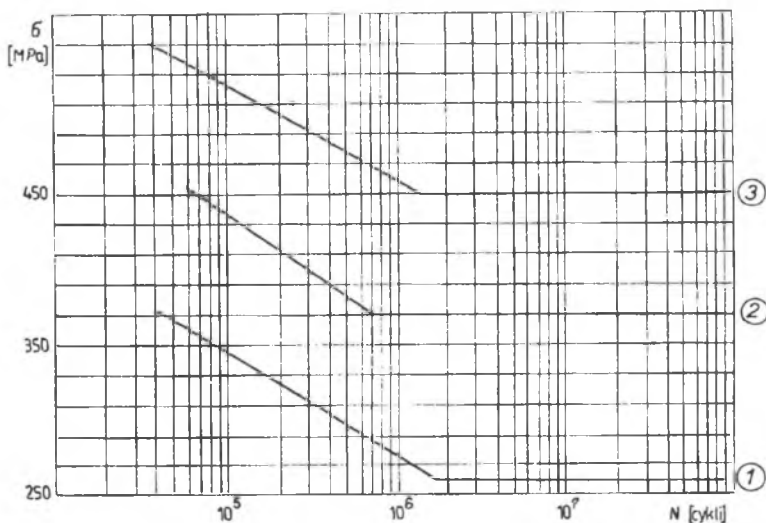
- amplituda naprężenia  $\sigma_a = |\sigma_{\max}| = |\sigma_{\min}|$ ,
- współczynnik stałości obciążenia  $\kappa = 0$ .

## 2.2. Wyniki otrzymane z doświadczeń

Na podstawie obliczeń opartych na metodach statystyki matematycznej uzyskano dla badanych materiałów równania krzywych Wohlera w zakresie ograniczonej wytrzymałości zmęczeniowej i zamieszczono je w tabeli 2.

Przebieg krzywych Wohlera zobrazowano na wykresach rys.3 dla stali i rys.4 dla stopu K63Cu.

Wartości granicy wytrzymałości zmęczeniowej  $Z_{go}$  dla obrotowego zginania próbek stałym momentem gnącym zamieszczono w tabeli 3.

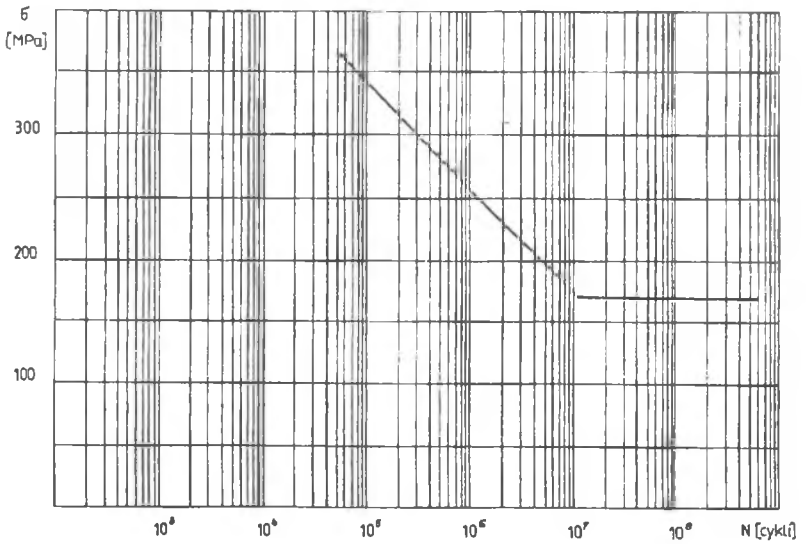


Rys.3. Przebieg krzywych Wohlera dla stali P40:

- 1) normalizowanej, 2) ulepszanej cieplnie, 3) ulepszanej cieplnie i śrutowanej

Fig.3. Course of the Wohler curves for steel P40:

- 1) normalized, 2) toughened, 3) toughened and shot peened



Rys.4. Przebieg krzywej Wohlera dla stopu aluminium K63Cu  
 Fig.4. Course of the Wohler curve for Al alloy K63Cu

Tabela 2

Wartości funkcji określających przebieg krzywych Wohlera w zakresie ograniczonej wytrzymałości zmęczeniowej

Lp.	Material	Wartość funkcji $\log N=C+m\log\sigma$
1	Stal P40 w stanie normalizowanym N	$\log N= 31,16 - 10,32 \log\sigma$
2	Stal P40 ulepszona cieplnie T	$\log N= 36,46 - 11,92 \log\sigma$
3	Stal P40 ulepszona cieplnie T i śrutowana	$\log N= 53,16 - 17,72 \log\sigma$
4	Stop aluminium K63Cu	$\log N= 22,65 - 6,99 \log\sigma$

Tabela 3

Wartość wytrzymałości zmęczeniowej (granicy zmęczenia)  $Z_{go}$   
dla badanych materiałów

Lp.	Materiał	Wartość wytrzymałości zmęczeniowej $Z_{go}$ w [MPa]
1	Stal P40 normalizowana N	260
2	Stal P40 ulepszona cieplnie T	370
3	Stal P40 ulepszona cieplnie T, i śrutowana	450
4	Stop aluminium K63Cu	169

### 3. PROGNOZOWANIE TRWAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ MATERIAŁÓW PRZEZNACZONYCH NA OSIE ZESTAWÓW KOŁOWYCH

Dane niezbędne do prognozowania trwałości zmęczeniowej wytypowanych materiałów wg hipotez kumulacji uszkodzeń zmęczeniowych Palmgrena-Minnera, Serensena i Heibacha uzyskano przyjmując :

a) wartości charakterystyki widma naprężeń osi zestawu kołowego - maksymalną amplitudę naprężenia  $\sigma_{a,max}$  oraz wariancję naprężenia losowego  $S_{\sigma}^2$  z badań zagranicznych; tabela 1,

b) wartości wytrzymałości zmęczeniowej  $Z_{go}$  na podstawie danych z opracowania [14] oraz badań własnych [15] zamieszczone w tabeli 3,

c) wykładnik potęgowy Wohlera "m" z obliczeń opartych na równaniach krzywej ograniczonej wytrzymałości zmęczeniowej. Wykładnik ten wynosi odpowiednio:  
dla stali P40 N - 10.32,

dla stali P40 T - 11.92,

dla stali P40 T i śrutowanej - 17.16,

dla stopu K63Cu - 6.99,

d) wartość granicznej liczby cykli  $N_0$  w mln cykli, odczytaną z wykresów Wohlera - rys. 3 i 4, wynoszącą:

dla stali P40 N -  $1.735 \times 10^6$

dla stali P40 T -  $7.03 \times 10^5$

dla stali P40 T i śrutowanej -  $1.396 \times 10^6$

dla stopu K63Cu -  $1.13 \times 10^7$

e) współczynnik wpływu naprężeń mniejszych od granicy zmęczenia "k", zawarty w przedziale od 0.4 do 0.6, na podstawie literatury [5]. Najczęściej przyjmuje się wartość  $k=0.5$ .



#### 4. ANALIZA WYNIKÓW PROGNOZOWANIA TRWAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ OSI ZESTAWU KOŁOWEGO

Analizując wyniki otrzymane z obliczeń prognozowania trwałości zmęczeniowej badanych materiałów możemy stwierdzić, że dane uzyskane przy zastosowaniu hipotezy Serensena mają znacznie niższe wartości niż uzyskane w obliczeniach przy zastosowaniu dwu pozostałych hipotez. Potwierdza to fakt, że hipoteza ta charakteryzuje się największym współczynnikiem bezpieczeństwa. Według niej maksymalna ilość cykli  $N$  dla badanych materiałów przy współczynniku  $k=0.5$  i warunków szlaku kolei rosyjskiej wynosi odpowiednio dla:

- stali P40 w stanie normalizowanym  $N=113$  mln cykli,
- stali P40 ulepszonej cieplnie  $N=1547$  mln cykli,
- stali P40 ulepszonej cieplnie i śrutowanej  $N$ =wartość nieograniczona,
- stop K63Cu  $N=38$  mln cykli.

Przyjmując warunki szlaku kolei USA, wartości  $N$  (przy współczynniku  $k=0.5$ ) dla stali P40 we wszystkich badanych wariantach mają wartość nieograniczoną. Dla stopu K63Cu wartość  $N$  wynosi 5533 mln cykli.

Przyjmując, że zestaw kołowy wagonowy (dane uzyskane w PDOKP Kraków), z kołami obręczowanymi o średnicy kręgu tocznego równej 920 mm, wykonuje średnio w ciągu roku  $4.5 \times 10^7$  obrotów, co odpowiada 45 mln cykli, możemy obliczyć prognozowaną trwałość zmęczeniową w latach pracy.

W tabeli 4 zamieszczono wyliczone wg hipotezy Serensena wartości prognozowanej trwałości zmęczeniowej z uwzględnieniem omówionych w opracowaniu warunków.

Tabela 4

Prognozowanie trwałości zmęczeniowej badanych materiałów

Lp.	Nazwa kraju, w którym określono charakterystykę widma naprężeń osi	Roczna praca zestawu kołowego w mln. cykli przyjęta za podstawę określenia trwałości	Okres trwałości zmęczeniowej osi określony wg hipotezy Serensena, obliczony w latach pracy			
			P40 N	P40 T	P40 T + śrutowanie	K63Cu
1	Rosja	45 mln cykli	2.64	34.4	nieogran.	0.84
2	USA	= 1 rok pracy	nieograniczona			123

Z zawartych w tabeli 4 danych widzimy, że trwałość zmęczeniowa zależy nie tylko od własności materiału i zastosowanej obróbki, ale także od charakterystyki widma naprężeń, która z kolei jest uzależniona od warunków szlaku. Potwierdzają to dane dotyczące stopu K63Cu i stali P40 w stanie normalizowanym.

## 5. WNIOSKI

Wnioski, jakie nasunęły się w trakcie opracowywania tematu, możemy sformułować następująco:

- 1) Przy określaniu trwałości zmęczeniowej należy wykorzystać statyczną teorię podobieństwa zmęczeniowego pękania oraz związane z nią kryteria podobieństwa.
- 2) Metody probabilistyczne pozwalają znacznie szybciej uzyskać potrzebne dane, niż ma to miejsce w przypadku przeprowadzania pełnego cyklu doświadczeń (laboratoryjne, modelowe, eksploatacyjne), dzięki czemu uzyskujemy oszczędność czasu i kosztów.
- 3) Uzyskanie najbardziej wiarygodnych danych o trwałości zmęczeniowej danego elementu otrzymujemy przeprowadzając obliczenia według kilku hipotez kumulacji uszkodzeń zmęczeniowych.
- 4) Trwałość zmęczeniowa zależy od wielu czynników, z których do najważniejszych zaliczamy własności materiału oraz proces technologiczny obróbki.

## Literatura

- [1] Hegenbarth F.: Ein Leichtradsatz für Hochgeschwindigkeiten im Rad-Schiene System. ZEV-Glass. Annal. 96/72.
- [2] Kogajew V.P.: Rasczoty na procznost pri naprijaženijach pieriemiennych wo wriemieni. "Maszinstrojenje", Moskwa, 1977.
- [3] Erlich L.B., Diniewicz W.G.: Gipoteza ob obrazowanii ustalostnyh trieszczin na powierchnosti dietalej maszin. "Dietali Maszin". Wyp. 21 Kijew 1975.
- [4] Kobielski A.: Program "Prognoza" 1993r. (W ramach projektu badawczego KBN 9/982291/02).
- [5] Kocańda S., Szala J.: Podstawy obliczeń zmęczeniowych. PWN, Warszawa 1985.
- [6] Kocańda S.: Zmęczeniowe niszczenie metali. WNT, Warszawa 1978.
- [7] Katarzyński S., Kocańda S., Zakrzewski M.: Badanie własności mechanicznych metali. WNT, Warszawa 1973.
- [8] Szala J.: Ocena trwałości zmęczeniowej elementów maszyn w warunkach obciążeń losowych i programowanych. Bydgoszcz, Akademia Techniczno-Rolnicza 1980.
- [9] Serensen S.V.: Sprotiwlenie materialow ustalostnomu i chrupkomu razruszeniu. "Atomizdał", Moskwa, 1975.
- [10] Stasiak L.: Ocena wytrzymałości zmęczeniowej elementów nośnych pojazdów szynowych na przykładzie osi zestawów kołowych. Pojazdy Szynowe Nr 2/78.
- [11] Szala J.: Obciążenie i trwałość zmęczeniowa elementów maszyn. Akademia Techniczno-Rolnicza, Bydgoszcz 1989.
- [12] Kocańda S.: Zmęczeniowe pęknięcie metali. WKŁ, Warszawa 1985.
- [13] Serensen S.V., Kogajew V.P., Snajdarowic R.: Niesuszczajaja sposobnost i rasczoty detalej maszin na procznost. "Maszinstrojenje", Moskwa, 1975.
- [14] Praca zbiorowa pod kierunkiem prof. J. Brosia: Technologiczne metody zwiększania trwałości i niezawodności pojazdów szynowych. Politechnika Krakowska 1987.
- [15] Żmuda-Sroka M.M.: Prognozowanie trwałości zmęczeniowej elementów pojazdów szynowych wykonanych ze stopów Al w oparciu o krzywe zmęczeniowe. Materiały X Konferencji "Pojazdy Szynowe", Wrocław 1994.

[16] Polskie Normy.

[17] Karty UIC.

Recenzent: prof. dr hab inż. Jerzy Dziubiński

Wpłynęło do redakcji: 10.07.1995 r.

### Abstract

The article includes the argument of the choice of the fatigue strength forecasting method for a wheel set axle which is suggested to be made of Al alloys (lower unsprung mass of a vehicle; corrosion resistance), or of a construction carbon steel which was put on test in samples extra prepared with heat treatment and dynamical mechanical working (shot peening) to raise its strength properties. Furthermore the article gives: a description of fatigue tests necessary to define the fatigue strength for finite life and stable fatigue strength  $Z_{\infty}$  (fatigue limit) with constant load of bending moment; data referring to the stress spectrum of the axle and estimated values of indicators which are necessary for forecasting the fatigue crack life of an axle according to the cumulation of fatigue damage hypotheses (all calculations were conducted with a computer program specially developed for that purpose). At the end you can find conclusions and remarks which emerged in the course of experiments.