ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1995
Seria: TRANSPORT z. 27 Nr kol. 1295

Krzysztof Karwala

WPŁYW WYBRANEJ METODY OBRÓBKI POWIERZCHNIOWO-WZMACNIAJĄCEJ NA WYTRZYMAŁOŚĆ ZMĘCZENIOWĄ STALI STOSOWANEJ NA OSIE ZESTAWÓW KOŁOWYCH

Streszczenie. Artykuł poświęcony jest przedstawieniu wyników badań autora dotyczących wpływu wybranych wariantów technologicznych azotowania na wytrzymałość zmęczeniową próbek wykonanych ze stali P40. W pracy zawarto metodykę wykonanych badań, uzyskane wyniki oraz wnioski.

EFFECT OF SELECTED METHOD OF THE SUPERFICIAL- STRENGHTENING TREATMENT ON FATIGUE STRENGHT OF STEEL USED FOR WHEEL SET AXLES

Summary. This article demonstrates results of author's studies on effect of selected technological variants of nitrification on fatigue strenght of samples made of steel P40. The paper includes methodology of the performed studies, obtained results and conclusions.

1. WPROWADZENIE

Rozwój przemysłu charakterystyczny dla nowoczesnej gospodarki wymaga sprawnego i niezawodnego transportu. W większości krajów europejskich transport szynowy jest podstawowym środkiem przewozów towarowych i osobowych. W celu podniesienia jego wydajności dąży się więc do zwiększania prędkości jazdy, wzrostu ładowności oraz podwyższenia mocy pojazdów trakcyjnych. Wymienione tendencje rozwojowe oraz zwiększenie wymagań odnośnie do bezpieczeństwa ruchu i ochrony środowiska związane są z koniecznością wytwarzania pojazdów szynowych o wysokich wskaźnikach trwałości i niezawodności.

Jednym z zespołów pojazdu szynowego, którego trwałość i niezawodność decyduje o bezpieczeństwie ruchu kolejowego jest zestaw kołowy. Ważnym elementem zestawu kołowego, który determinuje jego trwałość, jest oś. Podwyższenie wytrzymałości zmęczeniowej osi jest możliwe metodami technologicznymi poprzez kształtowanie jej

własności użytkowych. Ostateczne własności użytkowe nadawane są w procesach obróbki powierzchniowo-wzmacniającej poprzez konstytuowanie warstwy wierzchniej o określonych własnościach. W opracowaniu podjęto próbę określenia wpływu azotowania na wytrzymałość zmęczeniową próbek ze stali stosowanej na osie zestawów kołowych.

2. BADANIA WŁASNE

2.1. Cel i zakres badań

Analiza teoretyczna tematu umożliwia ogólną ocenę efektów, jakie można uzyskać w zakresie wzrostu wytrzymałości zmęczeniowej poprzez stosowanie obróbek powierzchniowo-wzmacniających takich, jak: azotowanie, hartowanie powierzchniowe, nagniatanie statyczne i dynamiczne. Każda z analizowanych metod zapewnia wzrost wytrzymałości zmęczeniowej, a o ostatecznym wyborze jednej z nich powinny zadecydować eliminacyjne badania laboratoryjne. Uzasadnione jest to niewielką różnicą 10-20% w efektywności poszczególnych metod, która może wynikać również z niejednorodności danych zebranych do analizy porównawczej [1]. Zachodzi więc konieczność porównawczych badań laboratoryjnych w celu określenia wpływu wariantów obróbek powierzchniowo - wzmacniających na wytrzymałość zmęczeniową powszechnie stosowanej na osie pojazdów szynowych stali P40. Aby określić wpływ wybranych czynników technologicznych na wytrzymałość zmęczeniową próbek przyjęto funkcję o postaci ogólnej:

$$Z=F(x) \text{ przy } C=const.$$

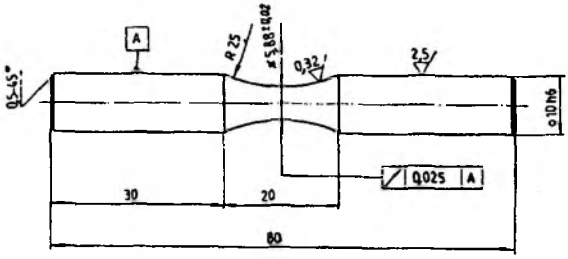
gdzie: Z - czynnik wynikowy
x - czynniki badane
C - czynniki stałe

Czynnik wynikowy Z stanowi wytrzymałość zmęczeniowa σ_{-1} (Z_{go}) próbek wykonanych ze stali P40. Zmienne czynniki technologiczne obejmowały warianty technologiczne obróbki powierzchniowo-wzmacniającej. Jako czynnik stały przyjęto materiał próbek - stal P40.

Przedstawione parametry technologiczne azotowania zostały przyjęte na podstawie analizy literatury oraz konsultacji IMP i w wybranych zakładach przemysłowych. Dla oceny jakościowej obiektu badań przyjęto program statyczny zdeterminowany kompletny [3, 4].

2.2. Metodyka badań

Dla realizacji celu przyjęto metodykę badań zmęczeniowych na próbkach w warunkach obrotowego zginania (σ_m= 0, R= -1) zgodnie z PN-75/H-04325, PN-76/H-04326. Badania realizowano na maszynie zmęczeniowej o stałym momencie zginającym, typu PuNz-2 produkcji firmy Schenck. Trwałą wytrzymałość zmęczeniową określono przy podstawie $N_G=10^7$ cykli i częstotliwości zmian naprężeń 6000 cykli/min. Próbki do badań zmęczeniowych wykonano ze stali P40 zgodnie z normą PN-84/H-84027/03. Rys.1.



Rys. 1. Próbka do badań zmęczeniowych
Fig. 1. Sample prepared for fatigue tests

Tak więc funkcję obiektu badań można przedstawić jako:

$$\sigma_{-1}=F(OP)$$

Zbiór czynników badanych uwzględniający stan materiału oraz przyjęte warianty obróbki powierzchniowo-wzmacniającej przedstawiono w tablicy 1, natomiast warianty technologiczne obróbki w tablicy 2.

Tablica 1

Zbiór czynników badanych

Stan materiału	Warianty obróbki powierzch.-wzm.		Czynniki badane
normalizowany	-		OP_1
	-		OP_2
	azotowanie	I	OP_3
		II	OP_4
		III	OP_5

Tablica 2

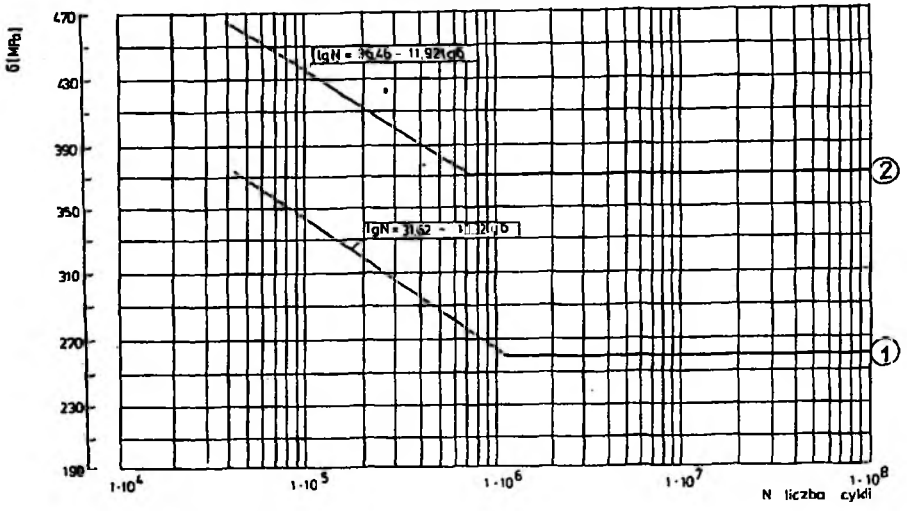
Parametry technologiczne azotowania

Obróbka cieplna wyjściowa	Ulepszanie cieplne		
Parametry azotowania	Warianty technologiczne obróbki		
	I	II	III
temperatura [K]	850	850	850
czas [h]	4	4	4
atmosfera [%]	100 NH_3	100 NH_3	100 NH_3
stopień dysocjacji [%]	35	35	35
chłodzenie	wolne	szybkie	szybkie
starzenie	-	-	7 h przy 373 K
wydzielenia	warstwa bez wydzieleń	warstwa bez wydzieleń	warstwa α
przesycanie	-	przesyc.	przesyc.

Operacje obróbki cieplnej oraz wiórowej próbek były zgodne z warunkami zawartymi w PN-76/H-04326.

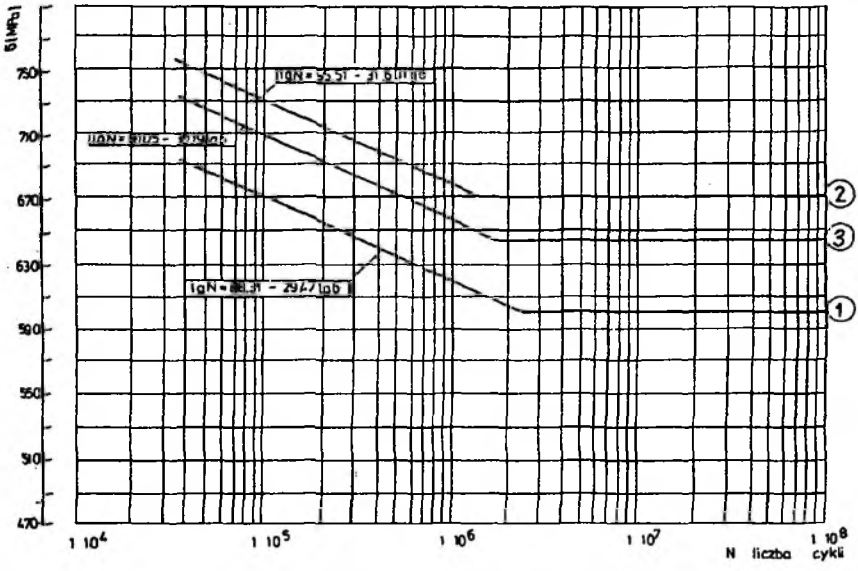
2.3. Wyniki badań zmęczeniowych

Badania zmęczeniowe przeprowadzono zgodnie z przyjętym programem - wyniki prób przedstawiono na wykresach wytrzymałości zmęczeniowej Wohlera, rys.2, 3.



Rys. 2. Wykresy wytrzymałości zmęczeniowej próbek ze stali P40 w stanie: 1 - normalizowanym, 2 - ulepszonym cieplnie

Fig.2. Diagrams of the fatigue strenght of the samples made of steel P40: 1 - normalized, 2 - toughened



Rys.3. Wykresy wytrzymałości zmęczeniowej próbek ze stali P40 w stanie ulepszonym cieplnie i azotowanych: 1 - wariant I, 2 - wariant II, 3 - wariant III

Fig.3. Diagrams of the fatigue strenght of the samples made of steel P40 toughened and nitrificated: 1 - variant I, 2 - variant II, 3 - variant III

Krzywe przedstawiono w układzie bilogarytmicznym lg N - lg σ, które w zakresie ograniczonej wytrzymałości zmęczeniowej opisano prostymi regresji o postaci:

$$\lg N = C - m \lg \sigma$$

$$m = \frac{\sum_{i=1}^{n} (\lg \sigma_i - \lg \sigma)(\lg N_i - \lg N)}{\sum_{i=1}^{n} (\lg \sigma_i - \lg \sigma)^2}$$

$$C = \lg N - m \lg \sigma$$

σ_i, N_i - poziom amplitudy naprężeń i odpowiadająca im liczba cykli do zniszczenia próbki.

Liniową funkcję regresji oszacowano wyznaczając przedziały ufności dla współczynnika regresji, przy przyjętym poziomie istotności α=0.05 [4].

W zakresie trwałej wytrzymałości zmęczeniowej wartość średnią granicy zmęczenia $\bar{\sigma}_{-1}$ i odchylenie standartowe S_σ obliczono ze wzorów Dixona i Mooda [5, 6].

$$\sigma_{-1} = \sigma_{a*} + \Delta\sigma_a\left(\frac{A}{F} \pm \frac{1}{2}\right)$$

$$S_\sigma = 1.62\ \Delta\sigma_a\left(\frac{FB - A^2}{F^2} + 0.029\right)$$

$$A = \sum_{i=1}^{n} i f_i \ , \ B = \sum_{i=1}^{n} i^2 f_i \ , \ F = \sum_{i=1}^{n} f_i \ ,$$

gdzie: σ_{a0} - wartość najniższego poziomu naprężeń,

$\Delta\sigma_a$ - stopień naprężenia określany różnicą poziomu naprężeń,

i - numer poziomu naprężenia,

f_i - częstość rzadziej występującego zdarzenia na i-tym poziomie naprężeń,

F - całkowita liczba rzadziej występujących zdarzeń.

Przedział ufności dla średniej trwałej wytrzymałości zmęczeniowej $\bar{\sigma}_{-1}$ wyznaczono na podstawie rozkładu t-Studenta, na poziomie istotności α=0.05. Wyniki obliczeń w zakresie trwałej wytrzymałości zmęczeniowej dla przyjętych czynników badanych zestawiono w tablicy 3 oraz graficznie na rys.4, zaś wyniki obliczeń dla ograniczonej wytrzymałości zmęczeniowej w tablicy 4.

Tablica 3

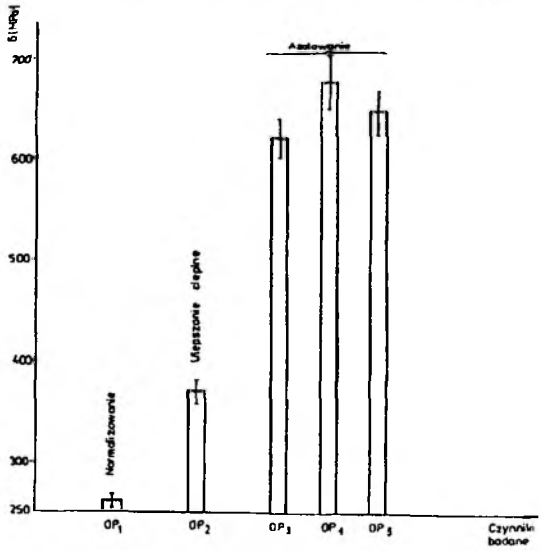
Wyniki obliczeń trwałej wytrzymałości zmęczeniowej

Czynnik badany	$\bar{\sigma}_{-1}$ [MPa]	S_σ [MPa]	Przedziały ufności $\bar{\sigma}_{-1}$ dla α=0.05
OP_1	266.7	4.1	$259.2 < \sigma_{-1(1)} < 274.2$
OP_2	375	4.5	$361.3 < \sigma_{-1(2)} < 388.7$
OP_3	625	12.2	$602.6 < \sigma_{-1(3)} < 647.4$
OP_4	677.5	14.8	$650.3 < \sigma_{-1(4)} < 704.7$
OP_5	650	12.8	$626.5 < \sigma_{-1(5)} < 673.5$

Tablica 4

Wyniki obliczeń w zakresie ograniczonej wytrzymałości zmęczeniowej

Czynnik badany	Równania prostych regresji	Przedziały ufności dla współczynnika regresji m, przy α=0.05
OP_1	$\lg N = 31.16 - 10.32 \lg \sigma$	$8.03 < m < 12.61$
OP_2	$\lg N = 31.16 - 11.91 \lg \sigma$	$8.01 < m < 15.81$
OP_3	$\lg N = 88.31 - 29.47 \lg \sigma$	$26.14 < m < 32.80$
OP_4	$\lg N = 95.51 - 31.60 \lg \sigma$	$28.03 < m < 35.17$
OP_5	$\lg N = 91.05 - 30.19 \lg \sigma$	$25.7 < m < 34.68$



Rys. 4. Graficzne zestawienie wyników badań trwałej wytrzymałości zmęczeniowej próbek ze stali P40 w stanie ulepszonym cieplnie i azotowanych

Fig.4. Results of the studies on stable fatigue strenght of the samples made of steel P40 toughened and nitrificated demonstrated on diagram

3. PODSUMOWANIE

Wyniki przeprowadzonych badań potwierdzają znaczący wpływ wybranych wariantów technologicznych azotowania na wytrzymałość zmęczeniową próbek ze stali P40 i stanowią podstawę do sprecyzowania następujących wniosków:

- spośród analizowanych obróbek cieplnych objętościowych korzystne jest ulepszanie cieplne, które zapewnia duży wzrost wytrzymałości zmęczeniowej w stosunku do próbek normalizowanych,
- wybrane warianty technologiczne azotowania pozwoliły na uzyskanie znacznego wzrostu wytrzymałości zmęczeniowej. Szczególnie wysoką wytrzymałość zmęczeniową uzyskano dla azotowania według wariantu II σ_{-1}^{-}=677.5 MPa, co daje 80% wzrost wytrzymałości zmęczeniowej ze stosunku do próbek ulepszonych cieplnie.

Przeprowadzone badania doświadczalne realizowano na małych próbkach, w związku z tym otrzymanych wyników nie można transformować na obiekt rzeczywisty. Mogą być jednak przydatne do prognozowania trwałości osi zestawu kołowego metodami probabilistycznymi.

Literatura

[1] Karwala K., Kulikowski H., Tułecki A.: Technologiczne problemy trwałości zestawówkołowych pod kątem przystosowania pojazdów szynowych do zwiększonych prędkości.Rozprawa doktorska, Politechnika Krakowska, Kraków 1991.
[2] Polański Z.: Metodyka badań doświadczalnych. Politechnika Krakowska, Kraków 1978.
[3] Polański Z.: Metody optymalizacji w technologii maszyn. PWN, Warszawa 1976.
[4] Greń J.: Statystyka matematyczna. Modele i zadania. Warszawa 1976.
[5] Dixon W.J., Messey F.J.: Introduction to statistical analisis. New York 1957.
[6] Mood A.M.: Introduction to the theory of statistics. Mc Grow Hill Book Company. New York 1954.

Recenzent: prof. drhab. inż. Jerzy Dziubiński

Wpłynęło do redakcji: 10.07.1995 r.

Abstract

The article demonstrates results of the author's studies on effect of selected technological variants of nitrification on fatigue strenght of samples made of steel P40. To conduct the studies, methodics of fatigue tests on specimens under rotary bending was chosen. The studies were performed according to settled program using the fatigue machine with constant bending moment. Stable fatigue strenght was defined at basis $N_G = 10^7$ cycles and stress alteration frequency 6000 cycles/min. Results of the studies were shown on diagrams of Wohler fatigue strenght curves in bilogarithmic system. Courses of the curves in the range of the fatigue strenght for finite life were described by regression lines. Linear regression functions were estimated by defining confidential intervals for regression coefficient at settled significance level α=0.05. In the range of stable fatigue strenght, mean value of the fatigue limit σ_{-1} and standard deviation value S_σ were calculated using Dixon and Mood formulas. Confidential intervals for mean value of stable fatigue strenght σ_{-1} were defined on the basis of Student's distribution at significance level α=0.05. Results of calculations of the fatigue strenght for finite life and stable fatigue strenght were shown in tables.

The article ends with conclusions that result from performed studies.