

Andrzej WILK, Piotr FOLEGA, Tomasz FIGLUS

WSPOMAGANA KOMPUTEROWO ANALIZA WPŁYWU ZUŻYCIA ZĘBÓW NA STAN NAPRĘŻENIA W ICH STOPACH

Streszczenie. W pracy przeprowadzono analizę wpływu naturalnego procesu zużycia powierzchni roboczych zębów na wartości naprężeń w ich stopach oraz karbie spowodowanym zachodzącym zużyciem. W analizie stanu naprężenia zębów kół zewnętrznie uzębionych wykorzystano metodę elementów brzegowych (MEB).

ANALYSIS OF INFLUENCE OF WEAR OF STRESSES IN THE BASE OF A TOOTH WITH THE COMPUTER AIDED ENGINEERING

Summary. The analysis of influence of wear use of working surfaces of teeth on values of stresses in their bases has been presented in the paper. The Boundary Element Method (BEM) was used in numerical analysis of the strength of the external wheel gears.

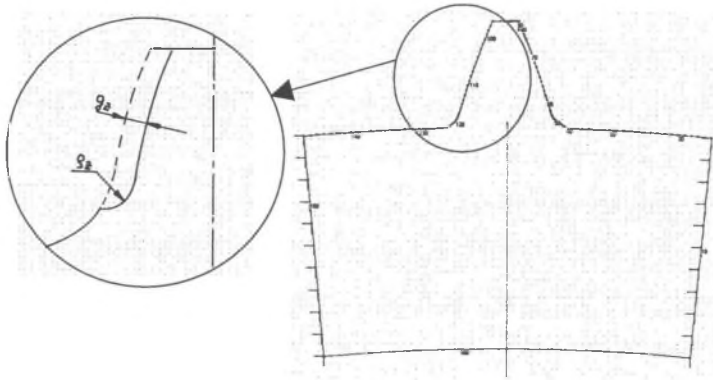
1. WPROWADZENIE

W praktyce konstruktorskiej duże znaczenie mają informacje na temat procesów zużycia lub uszkodzeń kół zębatych. Są one podstawą wprowadzania zmian w metodach obliczeń i projektowania kół zębatych. Interesującym problemem związanym z eksploatacją kół zębatych w przekładniach jest wpływ zachodzącego zużycia powierzchni roboczych na występujące naprężenia w stopie zęba. Na podstawie doświadczeń eksploatacyjnych można stwierdzić, że zużycie powierzchni roboczej zębów prowadzi do wystąpienia karbu w skrajnym punkcie przyporu położonym na stopie zęba. Wzrost wartości naprężeń w karbie w wyniku zachodzącego tam zużycia w znacznym stopniu odciąża stopę zęba, powodując w niej stopniowy spadek naprężeń ze wzrostem wartości zużycia [1]. Zużycie powierzchni roboczych zębów definiowane jest jako ubytek materiału współpracujących boków zębów spowodowany procesami tarcia między zębami.

W pracy przeprowadzono analizę stanu naprężenia zębów kół zębatych z wykorzystaniem metody elementów brzegowych (MEB) [2,3,4]. Rozważono przypadek naturalnego procesu zużywania się zębów w wyniku ich współpracy, a w szczególności przeprowadzono analizę wpływu cech geometrycznych koła zębatego i parametrów zarysu odniesienia na wartości naprężeń występujących w stopie zęba po jego rozciąganej stronie. Zakres pracy obejmuje zęby kół zewnętrznie uzębionych.

2. WPŁYW ZUŻYCIA ZĘBÓW NA NAPRĘŻENIA

W pracy [4] przeprowadzono analizę wpływu parametrów procesu naturalnego zużycia powierzchni roboczych zębów na stan naprężenia w ich stopach. Obliczenia naprężeń wykonano dla zęba niezuzyczonego oraz dla kilku wartości głębokości zużycia g_z oraz różnych wartości promienia zużycia ρ_z przyjętych na podstawie badań doświadczalnych (rys. 1).



Rys. 1. Parametry zużycia zęba

Fig. 1. Tooth wear parameters

Na podstawie otrzymanych w pracy [4] wyników obliczeń stwierdzono następujące prawidłowości dotyczące procesu zużycia kół zewnętrznie uzębionych:

1. Ze wzrostem zużycia można zaobserwować spadek wartości naprężeń w stopie zęba, przy jednoczesnym wzroście naprężeń w karbie spowodowanym zużyciem.
2. W określonych przypadkach karb spowodowany zużyciem zęba spełnia rolę karbu odciążającego, zwiększając wytrzymałość podstawy zęba na złamanie.
3. Istotny wpływ na zmiany wartości naprężeń w stopie zęba oraz karbie spowodowanym zużyciem mają cechy geometryczne koła zębatego oraz parametry zarysu odniesienia.

3. WYNIKI OBLICZEŃ

Analizując wyniki obliczeń otrzymane w pracy [4], stwierdzono, że celowe jest opracowanie zbiorczych wykresów przedstawiających zmiany naprężeń w stopie zęba i karbie spowodowanym zużyciem w funkcji liczby zębów koła przy założeniu różnych wartości współczynnika przesunięcia zarysu oraz parametrów zarysu odniesienia.

W wykonanych obliczeniach numerycznych wymiary zębów oraz parametry zużycia zostały odniesione do modułu, co pozwoliło uzyskać parametry geometryczne zarysu zęba i zużycia oraz wyniki obliczeń w wielkościach bezwymiarowych.

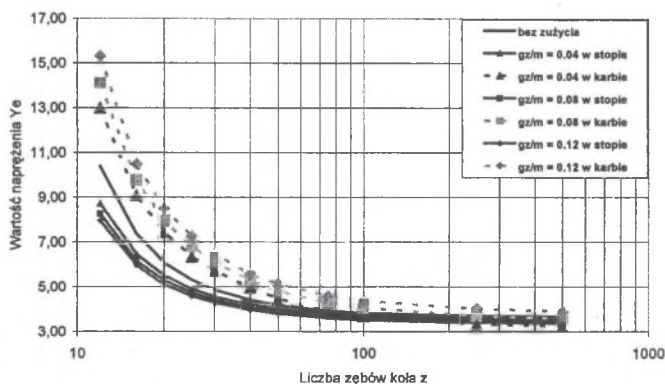
Obliczenia dotyczące wpływu liczby zębów na naprężenia występujące w stopie i karbie przeprowadzono przyjmując następujące cechy konstrukcyjne zarysu odniesienia: nominalny kąt przyporu $\alpha_{on}=20^\circ$, wysokość głowy narzędzia $h_{a0}=1.25$, promień zaokrąglenia głowy narzędzia $\rho_{a0}=0.38$ oraz $\rho_{a0}=0.25$. Założono następujące wartości liczby zębów $z \in (12, 16, 20, 25, 30, 40, 50, 75, 100, 250, 500)$ oraz trzy wartości współczynnika przesunięcia zarysu

$x = (-0.5, 0, 0.5)$. Obliczenia zostały wykonane dla zęba nieużytego oraz dla trzech wartości głębokości zużycia $g_z/m = (0.04, 0.08, 0.12)$ i dwóch promieni zużycia $\rho_z/m = (0.5 \text{ i } 0.25)$ przyjętych na podstawie badań doświadczalnych [1]. Naprężenia podano w jednostkach bezwymiarowych w postaci współczynnika kształtu zęba:

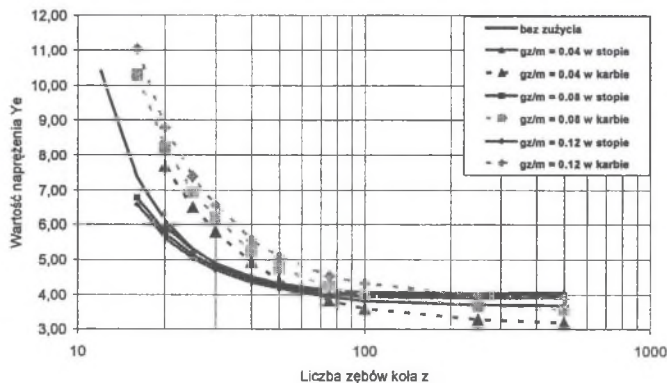
$$Y_e = \sigma_{\max} \cdot \frac{b \cdot m}{F_{bn}} \quad (1)$$

gdzie: σ_{\max} - maksymalna wartość naprężenia na brzegu zęba, b - szerokość koła zębatego, m - moduł zęba, F_{bn} - wartość siły międzyzębnej.

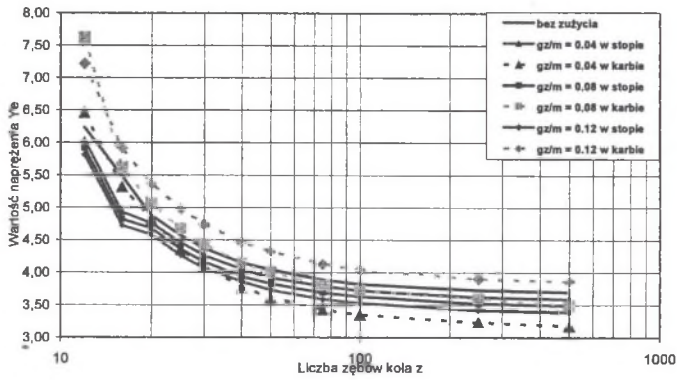
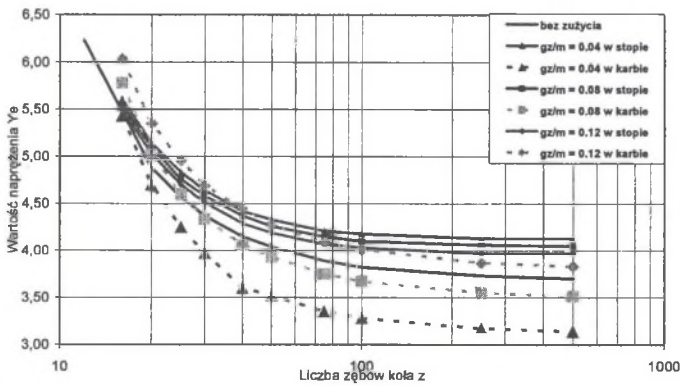
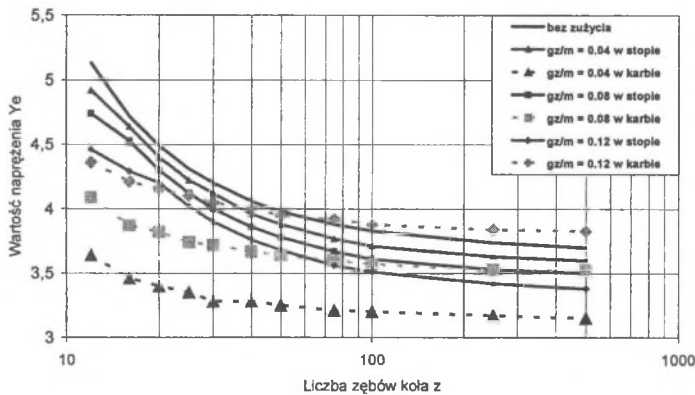
Przykładowe wyniki obliczeń przedstawiono na rysunkach od 2 do 7.

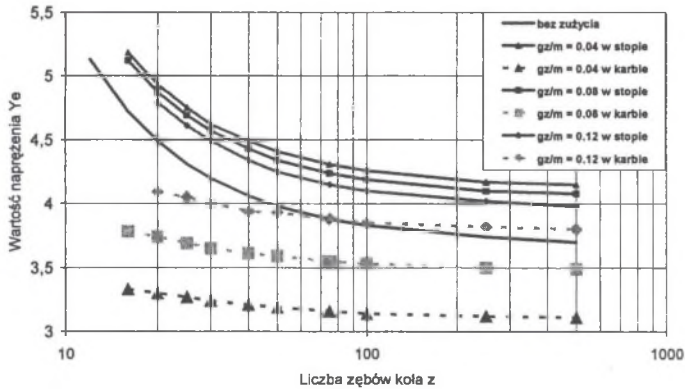


Rys. 2. Wykres $Y_e = f(z)$ dla $x = -0.5$, $\rho_z/m = 0.5$, $\rho_{a0} = 0.38$
Fig. 2. Diagram $Y_e = f(z)$ for $x = -0.5$, $\rho_z/m = 0.5$, $\rho_{a0} = 0.38$



Rys. 3. Wykres $Y_e = f(z)$ dla $x = -0.5$, $\rho_z/m = 0.5$, $\rho_{a0} = 0.25$
Fig. 3. Diagram $Y_e = f(z)$ for $x = -0.5$, $\rho_z/m = 0.5$, $\rho_{a0} = 0.25$

Rys. 4. Wykres $Y_e = f(z)$ dla $x = 0$, $\rho_z/m = 0.5$, $\rho_{a0} = 0.38$ Fig. 4. Diagram $Y_e = f(z)$ for $x = 0$, $\rho_z/m = 0.5$, $\rho_{a0} = 0.38$ Rys. 5. Wykres $Y_e = f(z)$ dla $x = 0$, $\rho_z/m = 0.5$, $\rho_{a0} = 0.25$ Fig. 5. Diagram $Y_e = f(z)$ for $x = 0$, $\rho_z/m = 0.5$, $\rho_{a0} = 0.25$ Rys. 6. Wykres $Y_e = f(z)$ dla $x = 0.5$, $\rho_z/m = 0.5$, $\rho_{a0} = 0.38$ Fig. 6. Diagram $Y_e = f(z)$ for $x = 0.5$, $\rho_z/m = 0.5$, $\rho_{a0} = 0.38$

Rys. 7. Wykres $Y_e = f(z)$ dla $x = 0.5$, $\rho_z/m = 0.5$, $\rho_{a0} = 0.25$ Fig. 7. Diagram $Y_e = f(z)$ for $x = 0.5$, $\rho_z/m = 0.5$, $\rho_{a0} = 0.25$

Analizując wyniki obliczeń przedstawione na rysunkach 2 i 3, można stwierdzić niekorzystny wpływ ujemnej wartości współczynnika przesunięcia zarysu na wartości naprężeń. Praktycznie w całym analizowanym zakresie liczb zębów koła naprężenia spowodowane naturalnym procesem zużycia powierzchni roboczych zębów w karbie są większe od naprężeń w stopie zęba. O wytrzymałości stopy zęba na złamanie decydują w tym przypadku naprężenia w karbie spowodowanym zużyciem.

Zastosowanie współczynnika przesunięcia zarysu o wartości dodatniej (rys. 6) lub brak korekcji (rys. 4) przy założeniu $\rho_{a0} = 0.38$ powoduje, że przy zachodzącym procesie zużycia powierzchni bocznej zęba występują przypadki pozytywnego wpływu karbu, który spełnia wówczas rolę karbu odciążającego. Analizując wyniki pokazane na rysunku 6 można stwierdzić, że dla małych wartości głębokości zużycia ($gz/m < 0.08$) w całym zakresie analizowanych liczb zębów koła naprężenia w karbie są niższe od naprężeń w stopie zęba. Wzrost stopnia zużycia powoduje spadek wartości naprężeń w stopie zęba, przy jednoczesnym wzroście naprężeń w karbie. W tym przypadku karb spowodowany zużyciem zęba spełnia rolę karbu odciążającego, zwiększając wytrzymałość podstawy zęba na złamanie.

Analizując wpływ wartości promienia zaokrąglenia głowy narzędzia, można stwierdzić, że zmianie wartości ρ_{a0} z 0.38 na 0.25 towarzyszy w całym zakresie analizowanych liczb zębów istotna zmiana stanu naprężenia. Zastosowanie współczynnika przesunięcia zarysu o wartości dodatniej (rys. 7) lub brak korekcji (rys. 5) przy założeniu $\rho_{a0} = 0.25$ powoduje, że o wytrzymałości zęba na złamanie decydują naprężenia w stopie zęba, których wartości w całym zakresie analizowanych liczb zębów przy zachodzącym zużyciu są większe od naprężeń dla zębów bez zużycia.

4. PODSUMOWANIE

Uzyskane wyniki obliczeń numerycznych (rys. od 2 do 7) potwierdziły, że zużycie zębów kół wpływa w istotny sposób na zmianę wartości naprężeń w stopie zęba. Analiza stanu naprężenia wykonana w pracy potwierdziła znaczący wpływ na wartości naprężeń cech geometrycznych kół zębatych, takich jak liczba zębów koła i współczynnik przesunięcia zarysu zęba oraz parametrów zarysu odniesienia, a w tym promienia zaokrąglenia głowy

narzędzia. Dobierając cechy geometryczne kół zębatych dla przekładni zębatych, w których może dojść do znacznego zużycia powierzchni roboczych zębów, należy uwzględnić zmianę stanu naprężenia w podstawie zęba spowodowaną wpływem zachodzącego zużycia. Przedstawione w pracy wykresy zbiorcze wyników obliczeń mogą stanowić wytyczne do konstruowania kół o uzębieniu zewnętrznym.

Literatura

1. Wilk A., Kowal A.: Wpływ zużycia na naprężenia w stopie zęba, Szybkobieżne pojazdy gąsienicowe, Biuletyn NT OBR OBRUM, nr 7, Gliwice 1995.
2. Brebbia C.A., Dominquez J.: Boundary Elements - An Introductory Course, Computational Mechanics Publications, Southampton and Boston 1989.
3. Wilk A., Matyja T., Fołęga P.: Analiza wpływu cech konstrukcyjnych koła wewnętrznie uzębionego i narzędzia na naprężenia w podstawie zęba, ZN Pol. Śl. s. Transport, z. 28, Gliwice 1996.
4. Wilk A., Fołęga P.: Wyznaczanie wytrzymałości podstawy zębów kół napędów zębatych, ZN Pol. Śl., s. Transport, z. 29, Gliwice 1997.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Zbigniew Dąbrowski

Praca wykonana w ramach BK 256/RT2/2006