ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2000
Seria: GÓRNICTWO z. 246 Nr kol. 1480

Antoni SKOĆ, Jacek SPAŁEK
Politechnika Śląska, Gliwice

WPŁYW LUZU MIĘDZYZĘBNEGO I PRĘDKOŚCI OBWODOWEJ KÓŁ NA STAN TERMICZNY PRZEKŁADNI ZĘBATEJ STOŻKOWEJ

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych, na podstawie których podjęto próbę określenia wpływu luzu międzyzębnego i prędkości obwodowej kół na stan termiczny przekładni zębatej stożkowej. Wykazano, że w celu zmniejszenia nagrzewania się przekładni, jeżeli nie istnieją inne wymagania konstrukcyjne, celowe jest zwiększenie luzu międzyzębnego ponad wartość zalecaną przez normy.

THE INFLUENCE OF PITCH AND PERIPHERAL SPEED OF THE WHEELS ON THE THERMAL STATUS OF BEVEL GEAR

Summary. The article presents results of experiments which were an attempt to define the influence of pitch play and wheels peripheral speed on the thermal status of bevel gear. It was found that in order to decrease gear warming it is sensible to increase pitch above the value suggested by the standards, if the are no construction or other specific requirements.

1. Wprowadzenie

Spośród przekładni mechanicznych stosowanych w układach napędowych maszyn najbardziej rozpowszechnione są przekładnie zębate, którym stawia się wymagania wysokiej trwałości i niezawodności między innymi w zakresie ich stanu termicznego.

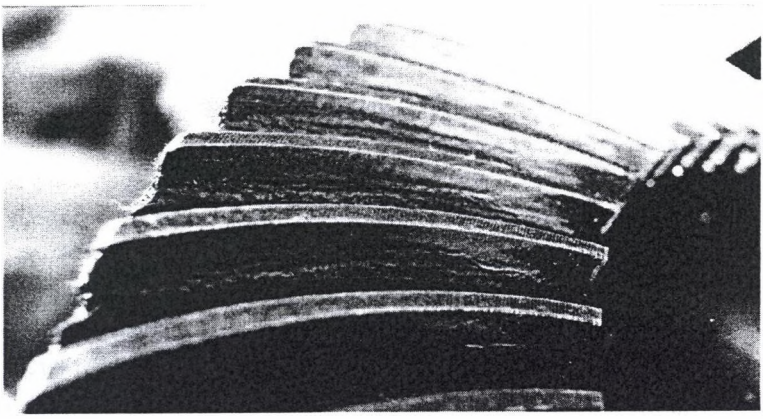
Aktualna wiedza z zakresu wpływu parametrów konstrukcyjnych na stan termiczny przekładni skłonił autorów do podjęcia badań doświadczalnych. Przedstawione w niniejszym artykule wyniki tych badań dostarczyły informacji o wpływie luzu międzyzębnego i prędkości obwodowej kół na temperaturę oleju w przekładni stożkowej. Należy sądzić, że w pewnym zakresie uzyskane wyniki można odnieść również do przekładni walcowych.

W czasie pracy przekładni w wyniku zazębiania i wynikającego stąd tarcia tocznego z poślizgiem wytwarza się ciepło powodujące nagrzewanie się oleju przekładniowego. Temperatura oleju po pewnym czasie pracy ustala się na określonym poziomie, którą w

dalszej części artykułu nazywamy *temperaturą pracy oleju*. Poziom, na jakim ustala się ta temperatura, zależy zarówno od parametrów konstrukcyjnych przekładni, jak i czynników eksploatacyjnych. Ze względu na to, że olej wykazuje znaczne zmiany własności ze zmianą temperatury, jej wartość ma istotny wpływ na wytrzymałość zębów na naciski powierzchniowe i zatarcie [1], obciążenie dynamiczne zębów [2] jak i na sprawność przekładni. Zbyt wysoka temperatura oleju przyczynia się do spadku wytrzymałości zębów na naciski powierzchniowe i zatarcie oraz prowadzi do wzrostu międzyzębnego obciążenia dynamicznego. Dlatego też konieczne jest utrzymanie temperatury pracy oleju przekładniowego na odpowiednim poziomie, nie przekraczającym stanu granicznego.

Analiza rozwiązań konstrukcyjnych nowoczesnych przekładni zębatych wykazuje ciągłą tendencję do zmniejszania gabarytów przekładni przy jednoczesnym zwiększaniu ich mocy. Dotyczy to przede wszystkim przekładni pracujących w układach napędowych maszyn górniczych, które wymagają szczególnego zainteresowania stanem termicznym przekładni. W celu utrzymania temperatury oleju przekładniowego na określonym poziomie stosuje się wymuszone chłodzenie, co pociąga za sobą zwiększenie gabarytów przekładni, kosztów jej wykonania i obniżenie niezawodności pracy. Stąd wszędzie tam, gdzie jest to technicznie możliwe, należy unikać takich rozwiązań. Z tego względu podejmowane są różne badania w celu poznania wpływu na stan termiczny przekładni nie tylko warunków eksploatacyjnych, ale również parametrów technologicznych i konstrukcyjnych.

Analizując zebrane materiały o awaryjności przekładni zębatych pracujących w przemyśle górniczym [5], autorzy zwrócili uwagę na to, że w identycznych przekładniach eksploatowanych w bardzo zbliżonych warunkach w niektórych z nich na powierzchni zębów wskutek złego smarowania pojawiają się charakterystyczne uszkodzenia (rys. 1), co sugerowało, że temperatura pracy oleju w tych przekładniach była różna. Ponieważ analizowane przekładnie były jednakowo obciążone, stąd wnioskowano, że nadmierne grzanie się przekładni zależy nie tylko od warunków eksploatacyjnych, ale również od parametrów konstrukcyjnych, a w tym od luzu międzyzębnego.



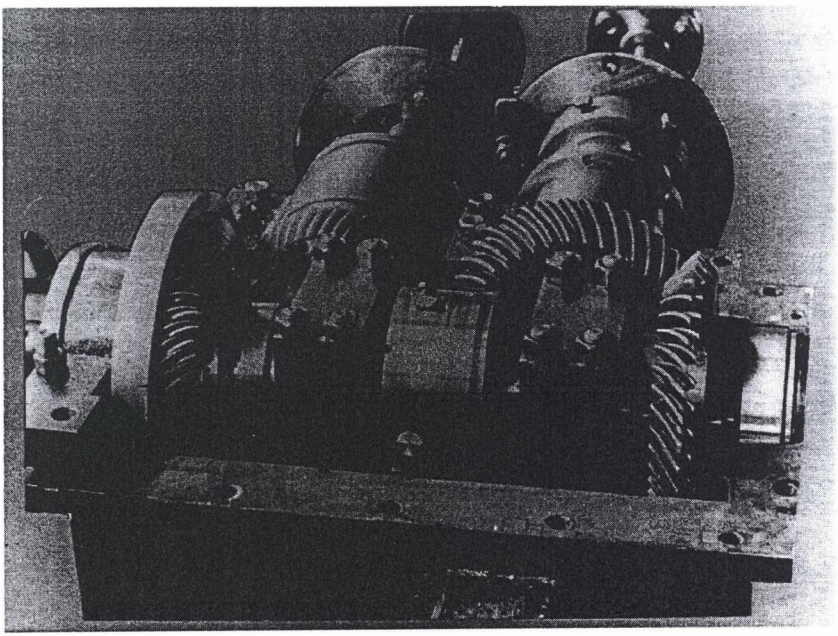
Rys.1. Widoczne ślady uszkodzeń powierzchni zębów
Fig.1. The signs of the seizing of the teeth

Celem rozpoczynających się tym artykułem dalszych zaplanowanych opracowań, w których przedstawione będą wyniki badań eksperymentalnych, jest wskazanie tych parametrów konstrukcyjnych, które mają wpływ na stan termiczny przekładni zębatej pracującej w ruchu ciągłym.

2. Obiekt badań i stanowisko badawcze

Badaniu poddano koła stożkowe o zębach krzywoliniowych niekorygowanych, które nacinano metodą Gleason, o następujących parametrach: moduł czołowy m = 4,5 mm, kąt przyporu $\alpha_{on} = 20^o$, przełożenie u = 54/41, szerokość wieńca zębatego b = 26 mm, kąt między osiami kół $\Sigma = 90^o$, kąt pochylenia linii zęba w przekroju środkowym wieńca $\beta_m = 31^o16'$. Zęby badanych kół były nawęglane. Pomiary sprawdzające odchyłki wykonawcze wykazały, że koła wykonano w 7 klasie dokładności (wg PN-80/M-88522.03 – Przekładnie stożkowe i hipoidalne. Dokładność wykonania). Pomiary odchyłek wykonawczych skrzynki przekładniowej wykazały, że zaliczyć ją można do 6 klasy dokładności wykonania.

Badania przeprowadzono na stanowisku badawczym pracującym w układzie mocy zamkniętej, którego widok ogólny przedstawiono na rys. 2. Szczegółowe informacje o stanowisku badawczym można znaleźć w pracy [3].



Rys. 2. Widok badanej przekładni po zdemontowaniu górnej części korpusu
Fig. 2. The picture of the tested gear after the dismantling of the part of the body

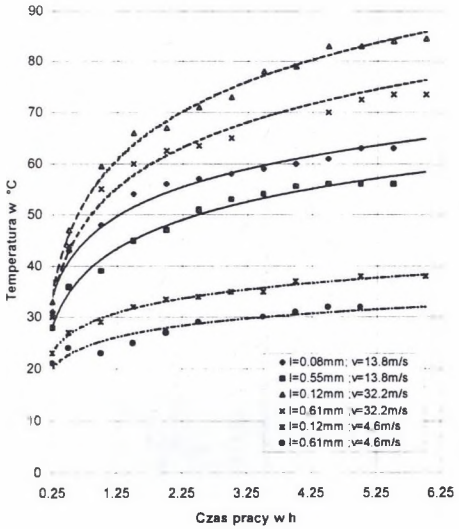
3. Przebieg badań

Przed przystąpieniem do badań koła zębate były docierane. Podczas zmiany luzu międzyzębnego zwracano uwagę na wzajemne ustawienie kół. Badane koła ustalano tak, aby ślady współpracy zębów były zgodne z zaleceniami normy wytwórcy. Do smarowania przekładni zastosowano sposób zanurzeniowo-rozbryzgowy olejem przekładniowym w klasie lepkości VG-220.

Badania przeprowadzano przy skokowo zmienianych wartościach prędkości obwodowej kół i luzu międzyzębnego. Prędkość obwodową zmieniano w zakresie od 5 m/s do 30 m/s, natomiast luz międzyzębny (obwodowy) od 0,08 mm do 0,61 mm. W czasie pracy przekładni za pomocą oporowego czujnika temperatury zamocowanego na stałe w skrzyni przekładniowej mierzono dwukrotnie temperaturę oleju po 15 minutach pracy przekładni, a następnie co 30 minut, aż do stanu ustalonego. Pomiary te przeprowadzano przy pracy przekładni bez obciążenia i obciążonej momentem obrotowym M_s = 100 Nm, co odpowiadało obciążeniu jednostkowemu [4] Q = 0,27 MPa.

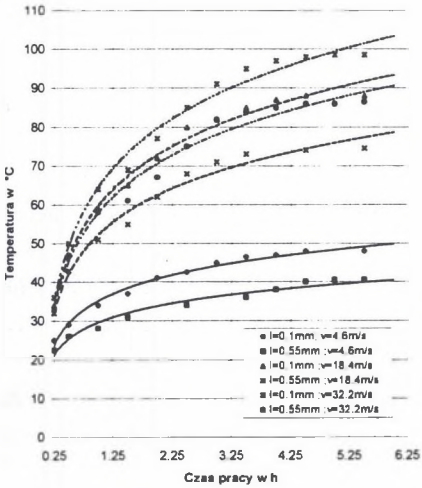
4. Wyniki badań

Stosując przyjęty sposób prowadzenia badań wyznaczono przebiegi wyrażające zależność temperatury pracy oleju od czasu pracy przekładni, przy czym zależności te wyznaczono dla różnych wartości luzów międzyzębnych i różnych prędkości obwodowych kół dla przekładni nieobciążonej (bieg luzem) i obciążonej. Niektóre z otrzymanych przebiegów przykładowo przedstawiono na rys. 3 i 4.



Rys.3. Wpływ czasu pracy przekładni na temperaturę oleju w zależności od luzu międzyzębnego i prędkości obwodowej kół (przekładnia nieobciążona)

Fig.3. Influence of the gear working time on the oil temperature depending on pitch play and wheel peripheral speed (non-loaded gear)

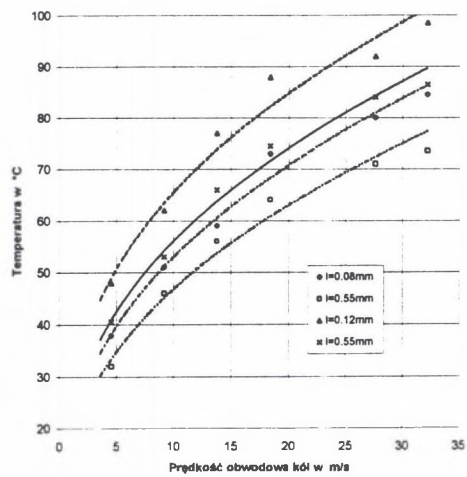


Rys.4. Wpływ czasu pracy przekładni na temperaturę oleju w zależności od luzu międzyzębnego i prędkości obwodowej kół (przekładnia obciążona: M_s=100 Nm)

Fig.4. Influence of the gear working time on the oil temperature depending on pitch play and wheel peripheral speed (loaded gear: M_s=100 Nm)

Z porównania charakterystyk przebiegów przedstawionych na rys. 3 i 4 widać, że są one podobne pod względem jakościowym bez względu na to, czy przekładnia pracowała bez obciążenia czy z obciążeniem. Natomiast widoczne są istotne różnice ilościowe. Analizując wszystkie zbadane przypadki można stwierdzić, że ze wzrostem luzu międzyzębnego temperatura pracy oleju maleje. W zakresie prędkości obwodowych od 5 do 30 m/s redukcja temperatury pracy oleju przy pracy ustalonej przekładni wynosi od 6 do 12°C.

Na podstawie otrzymanych wyników z przeprowadzonych badań określono również wpływ luzu międzyzębnego na wzrost temperatury pracy oleju przy różnych prędkościach obwodowych kół, co przedstawiono na rys. 5. Jak widać, wzrostowi prędkości obwodowej kół towarzyszy również wzrost wpływu luzu międzyzębnego na stan termiczny przekładni bez względu na jej obciążenie.



Rys.5. Wpływ prędkości obwodowej kół na temperaturę oleju w zależności od luzu międzyzębnego

Fig.5. Influence of the gear working time on the oil temperature depending on pitch play

5. Wnioski końcowe

Uzyskane w przeprowadzonych badaniach eksperymentalnych przekładni stożkowych wyniki pozwalają sformułować następujące wnioski i uwagi końcowe:

- Luz międzyzębny może mieć znaczący wpływ na stan termiczny przekładni zębatej pracującej w ruchu ciągłym, a w konsekwencji na wytrzymałość zębów na naciski powierzchniowe i zatarcie.
- W celu zmniejszenia nagrzewania się przekładni, jeżeli nie istnieją inne konstrukcyjne zalecenia, celowe jest zwiększenie luzu międzyzębnego ponad wartość zalecaną przez normy.
- Przy prędkościach obwodowych od 5 do 30 m/s wskazane jest, aby wartość luzu międzyzębnego była nie mniejsza niż 0,5 mm.

LITERATURA

1. Müller L.: Przekładnie zębate – projektowanie. WNT, Warszawa 1996
2. Skoć A.: Wpływ luzu międzyzębnego na dynamikę przekładni stożkowych. Mechanik nr 11, Warszawa 1994
3. Skoć A.: Dynamika przekładni zębatych stożkowych maszyn górniczych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Górnictwo z.226, Gliwice
4. Niemann G.: Maschinenelemente. II Band, Getriebe. Berlin – Springer Verlag, 1960
5. Skoć A., Spałek J.: Analiza awaryjności przekładni pracujących w zespołach napędowych maszyn stosowanych w górnictwie ze szczególnym uwzględnieniem kół stożkowych. Maszyny Górnicze (12), nr 3/48, 1994, s.33-39

Recenzent: Prof.dr hab.inż. Karol F.Reich

Abstract

Insufficient knowledge concerning the influence of construction parameters on the thermal status of bevel gears calls for further research in this area. The aim of the works initiated with this article which present results of experiments is to define these construction parameters which have an impact on the thermal status of toothed bevel gears working continuously. This article presents the results of tests examining the influence of pitch play and wheels peripheral speed on the thermal status of the bevel gear. It was found that in order to decrease gear warming it is sensible to increase pitch above the value suggested by the standards, if the are no construction or other specific requirements.