

Andrzej WILK
Tomasz MATYJA

ROZKŁADY CIŚNIENIA W POŁĄCZENIACH SKURCZOWYCH WIEŃCÓW ZĘBATYCH

Streszczenie. W pracy przedstawiono metodę wyznaczania ciśnienia wcisku w połączeniach skurczowych wieńców zębatach. Wykorzystano elementy kontaktowe typu węzeł-linia systemu COSMOS/M

INTERFERENCE PRESSURE PATTERNS IN THERMOCOMPRESSION BONDING OF THE TOOTHED RIM

Summary. The method of calculation the interference pressure in thermo-compression bonding of the toothed rim with wheel was presented. The gap node-to-line contact elements of system COSMOS/M was used.

1. WPROWADZENIE

Metoda konstruowania kół zębatach z nasadzonymi skurczowo wieńcami, opracowana przez Müllera i Klusa [1], wymaga wyznaczenia rozkładów naprężeń na powierzchni połączenia skurczowego, które wykorzystywane są następnie do oceny odporności złącza na poślizg. Naprężenia te traktować można jako superpozycję naprężeń wywołanych siłami międzyzębnymi oraz naprężeń pochodzących od wcisku.

Dotychczas w zastosowaniach praktycznych ciśnienie wcisku obliczano według klasycznych wzorów wytrzymałości materiałów. Wieniec zębata traktowano jako pierścień o grubości liczonej od dna wrębów. W przypadku cienkich wieńców spodziewać można się znacznej nierównomierności rozkładu ciśnienia wcisku (w kierunku obwodowym połączenia), spowodowanej zmienną sztywnością wieńca, wywołaną przez nacięte na wieńcu zęby. Dlatego celowe jest opracowania skutecznej metodyki wyznaczania rzeczywistych wartości ciśnienia wcisku oraz wywołanego wciskiem stanu naprężenia w wieńcu.

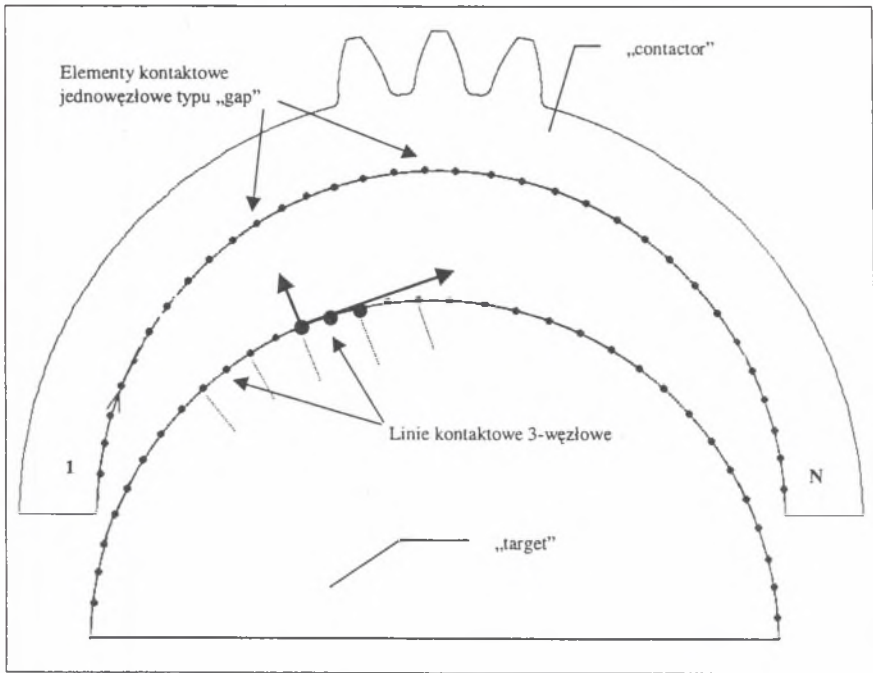
W pracy analizowano możliwość wykorzystania elementów kontaktowych MES do modelowania zagadnienia wcisku wieńca. Przedstawiono model strukturalny wieńca zębatego osadzonego na kole oraz metodę rozwiązania problemu przy użyciu modułu NSTAR Systemu COSMOS/M. Wyniki proponowanej metody obliczeń zaprezentowano na wybranym przykładzie.

2. MODELOWANIE WCISKU ZA POMOCĄ ELEMENTÓW KONTAKTOWYCH MES

Do modelowania wykorzystano moduł analizy zagadnień nieliniowych NSTAR Systemu COSMOS/M. Moduł NSTAR między innymi pozwala badać zagadnienia kontaktowe za pomocą jednowęzłowych elementów kontaktowych typu szczelina (ang. „gap”), kojarzonych ze zbiorem linii (w zagadnieniach 2D - gap node-to-line contact element [2]) lub powierzchni kontaktu (w zagadnieniach 3D). Program automatycznie oblicza wstępną (przed obciążeniem) wielkość szczeliny w elementach węzeł-linia (węzeł-powierzchnia) na podstawie wprowadzonej geometrii układu. Zagadnienia nieliniowe, jakimi są problemy kontaktowe, rozwiązywane są metodą przyrostową z wykorzystaniem funkcji opisujących zmiany obciążenia zewnętrznego w czasie (ang. „time curve”). Podczas obciążania struktury, w wyniku kolejnych iteracji kontaktowych, ustala się, które elementy (szczeliny) są zamknięte, tzn. odpowiadające im fragmenty powierzchni stykają się i działają na siebie siłami kontaktowymi (w obliczeniach można uwzględnić tarcie według modelu Coulomba). Ze względu na zastosowanie metody przyrostowej zbieżność rozwiązania oraz jego dokładność zależy od tego, czy zastosowana siła rośnie na tyle wolno, aby węzły mogły „stopniowo” przemieszczać się po powierzchni kontaktu.

Rozpatrując kontakt pomiędzy dwoma strukturami, zadeklarować trzeba jedną z nich jako powierzchnię kontaktową (ang. „target”), drugą natomiast jako ciało stykające się z powierzchnią lub ślizgające się po niej (ang. „contactor”). Obszar kontaktu zależeć będzie od wzajemnego „początkowego” położenia struktur, zastosowanych obciążeń, własności materiałowych oraz innych specyficznych warunków [2]. W Systemie COSMOS/M zagadnienia kontaktowe modelowane muszą być według następującej procedury:

1. Obszar kontaktu ciała ruchomego („contactor”) określony jest jako ciąg węzłów siatki MES, którym przypisano jednowęzłowe elementy kontaktowe „gap”.



Rys. 1. Model wieńca zębatego nasadzonego na koło

Fig. 1. Model of force fitted toothed rim and wheel

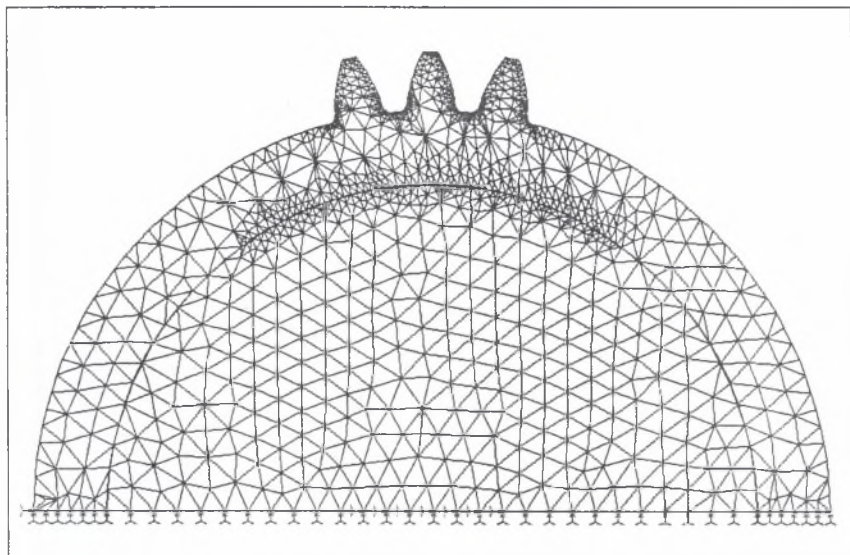
2. Obszar kontaktu powierzchni kontaktowej („target”) jest zdefiniowany jako ciąg linii kontaktowych (w problemach 2D) lub powierzchni kontaktowych (w problemach 3D), które określone są przez podanie związanych z nimi węzłów siatki MES wygenerowanej dla struktury („target”), zawierającej powierzchnię kontaktu.
3. Każda linia kontaktowa (powierzchnia kontaktowa) ma określony kierunek normalnej dodatniej, wynikający z położenia i kolejności definiujących ją węzłów (rys.1).
4. Zakres kontaktu pomiędzy dwoma strukturami ograniczony jest do obszaru określonego przez jednowęzłowe elementy kontaktowe. Gdy usunięte zostanie ograniczenie na przemieszczenia struktur MES (teoria dużych odkształceń), każdy z elementów kontaktowych może wejść w kontakt z każdą z linii kontaktowych (w ramach tej samej grupy elementów).
5. Linie (powierzchnie) kontaktowe należące do jednej grupy elementów muszą tworzyć ciągłą krzywą (powierzchnię).

W pracy własnej [3] proponuje się zastosowanie elementów kontaktowych do jednoczesnego modelowania zagadnienia wcisku wienca zębatego oraz zagadnienia poślizgu obciążonego wienca po kole z uwzględnieniem tarcia. W celu modelowania samego wcisku wystarczy węzły kontaktowe, leżące na wiencu, umieścić wewnątrz obszaru koła, tak aby znalazły się one po przeciwnej stronie niż oś normalna krzywoliniowego lokalnego układu współrzędnych linii kontaktowej (rys.1). Gdy wieniec jest nieobciążony, nie ma potrzeby tworzenia krzywej czasowej obciążenia, a zadowalające wyniki uzyskać można już w pierwszym kroku analizy nieliniowej wykonywanej za pomocą programu NSTAR.

3. PRZYKŁAD WYZNACZANIA CIŚNIENIA WCISKU

Zgodnie z opisaną procedurą przygotowano model strukturalny MES wienca zębatego nasadzanego na koło, uwzględniający wstępną interferencję ciał - wcisk (rys.2). Ze względu na czas obliczeń w prezentowanym modelu zastosowano niewielką liczbę elementów kontaktowych (88 węzłów kontaktowych, 43 linie kontaktowe trzywęzłowe) oraz nieco ponad 2600 elementów trójkątnych (TRIANG). Zgodnie z zaleceniami dokumentacji systemu COSMOS warunkiem uzyskania poprawnego rozwiązania jest stosowanie gęstego podziału na elementy w obszarze kontaktu.

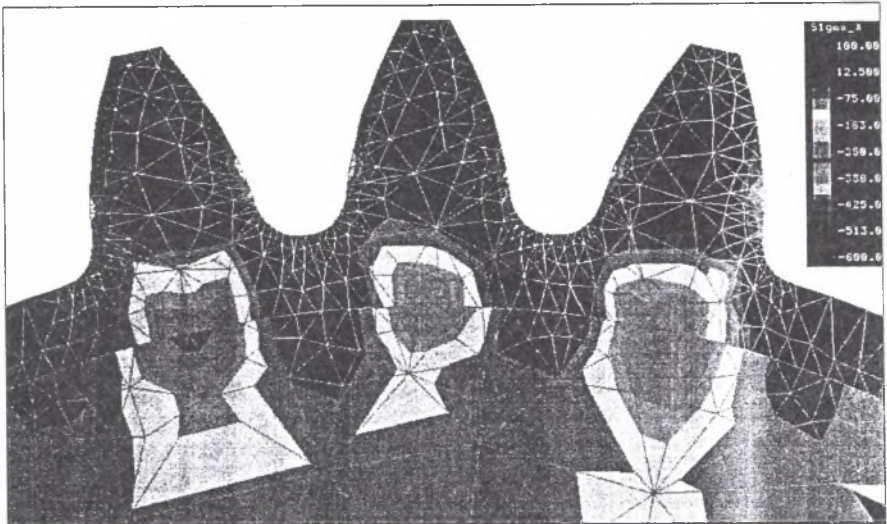
Wykonano obliczenia naprężeń wywołanych wciskiem w kole $z=30$ przy grubości wienca $g/m=1$ i wcisku $W=0.2m$, gdzie m – moduł koła. Przyjęto wartość współczynnika tarcia $\mu=0.15$. Przeprowadzono również analizę bez tarcia, która wykazała, że wpływ tarcia na rozkład ciśnienia wcisku w rozpatrywanym zagadnieniu jest znikomy. Mapę naprężeń promieniowych wywołanych wciskiem pokazano na rys.3, natomiast mapę naprężeń zredukowanych na rys.4.



Rys. 2. Podział wieńca zębatego i koła na elementy skończone

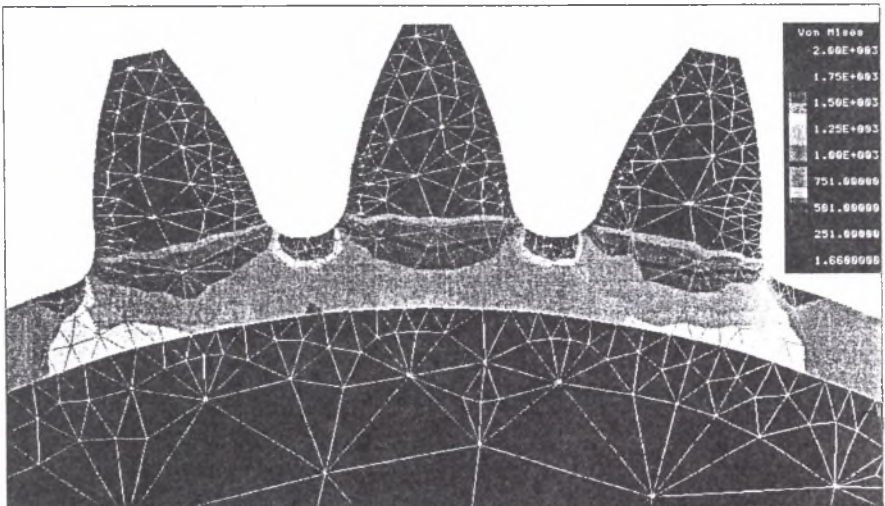
Fig. 2. Discretization of toothed rim and wheel using finite elements

W prezentowanym przykładzie model strukturalny MES jest „oszczędnościowy”. Przeprowadzenie bardziej wnikliwej analizy wymagałoby zastosowania większej liczby elementów kontaktowych oraz zastąpienia elementów trójkątnych (TRIANG) elementami czworokątnymi (PLANE2D).



Rys. 3. Mapa naprężeń promieniowych wywołanych wciskiem (układ współrzędnych biegunowych)

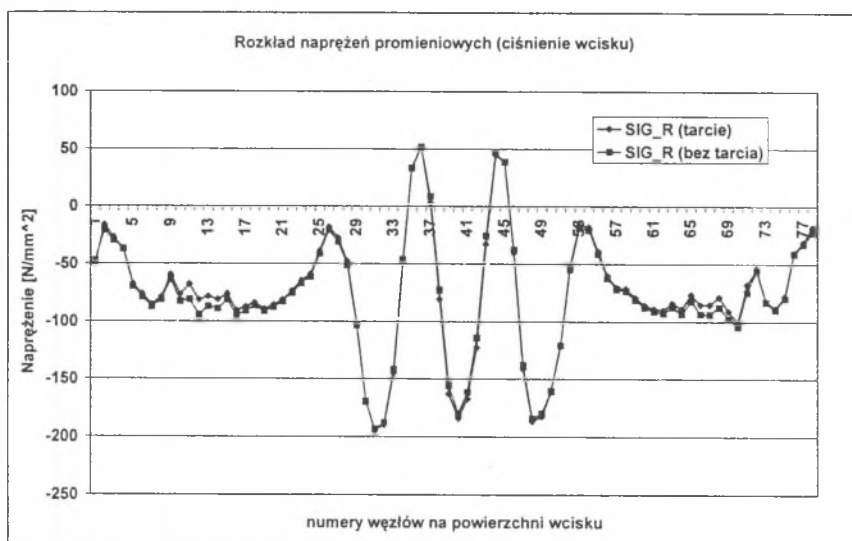
Fig. 3. The map of radial stress (cylindrical coordinate system)



Rys. 4. Mapa naprężeń zredukowanych wywołanych wciskiem.

Fig. 4. The map of von Mises stress

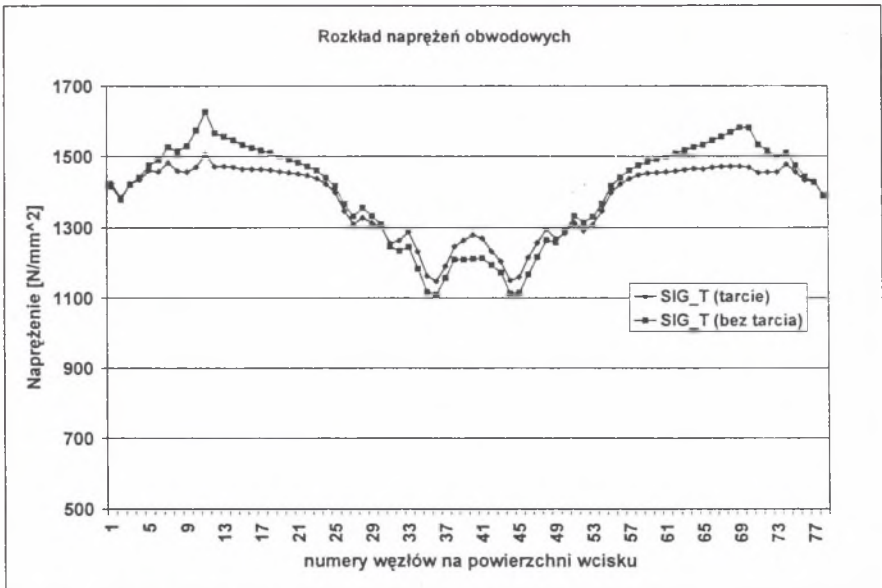
Na rys.5 pokazano rozkłady naprężeń w kierunku promieniowym na powierzchni połączenia, które równoważne są ciśnieniu wcisku. Widoczny jest znikomy wpływ tarcia na uzyskane wyniki. W strefie zębów wieńca rozkłady są bardzo nierównomierne, maksymalne wartości ciśnienie osiąga pod wierzchołkami zębów, minimalne w pobliżu stóp. Wartości uzyskane w strefie wieńca pozbawionego zębów są o około 20% mniejsze niż obliczone ze wzorów wytrzymałości materiałów. Przyczyną rozbieżności może być zbyt mała gęstość podziału struktury na elementy.



Rys. 5. Rozkłady ciśnienia wcisku

Fig. 5. The distribution of interference pressure

Na rys.6 przedstawiono rozkłady naprężeń obwodowych na powierzchni połączenia. W tym przypadku widoczny jest wpływ tarcia na uzyskane wyniki.



Rys. 6. Rozkłady naprężeń obwodowych na powierzchni wciску

Fig. 6. The distribution of circumferences stress on the surface of bonding

4. PODSUMOWANIE

W przypadku cienkich wieńców zębatych osadzonych na kole rozkłady ciśnienia wciску charakteryzują się znaczną nierównomiernością. Do wyznaczania wciску celowe jest stosowanie takich metod obliczeń, które pozwolą uwzględnić rzeczywistą geometrię wieńca. Przykładem może być metoda przedstawiona w pracy, wykorzystująca elementy kontaktowe i nieliniową wersję MES.

Literatura

1. Müller L., Klus R.: *Die Berechnung der Schrumpfungverbindung von Zahnradkränzen*. Konstruktion 16 (1964) Heft 5, s.176-178.
2. COSMOS/M: *Advanced Modules User Guide*. Ver 1.70, vol. 4, Santa Monica (California) 1993.
3. Matyja T.: *Wytrzymałość kół zębatych z nasadzonymi wieńcami z uwzględnieniem zjawiska poślizgu sprężystego*. Praca doktorska, Politechnika Śląska, Katowice 1999.

Recenzent: Dr hab. inż. Antoni Skoć

Wpłynęło do Redakcji 15.10.1999 r.

Abstract

The thermocompression bonding of the toothed rim with wheel is constructed according to methods of L. Muller and R. Klaus [1]. The checking of load capacity condition requires defining the patterns of perpendicular and tangential forces (stresses) on the surface of bonding. It is clear that the distributions of stress are depended on the loading force and on the value of interference (interference pressure).

The paper presents method of calculation the interference pressure in thermocompression bonding of the toothed rim with wheel. Module NSTAR of System COSMOS/M and the gap node-to-line contact elements was used.