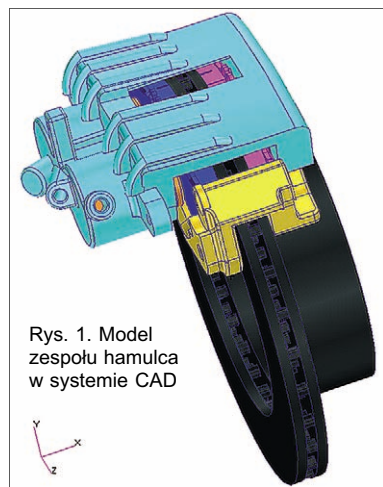


Numeryczny model hamulca tarczowego

KRZYSZTOF DAMAZIAK, JERZY JACHIMOWICZ, JERZY MAŁACHOWSKI*

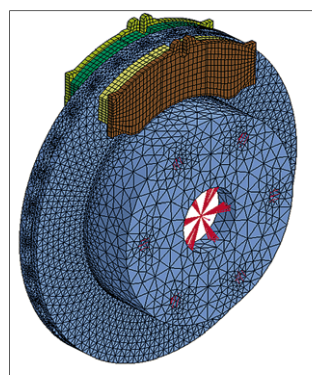
Układ hamulcowy jest jednym z podstawowych podzespołów zapewniających bezpieczne użytkowanie pojazdów. Obecnie producenci hamulców projektują je bazując głównie na doświadczeniu zdobytym przy eksploatacji swoich wcześniejszych wyrobów, co nie pozwala przewidzieć dokładnych parametrów pracy hamulca, ani określić żywotności jego elementów. Dlatego coraz częściej pojawia się potrzeba przeprowadzenia dokładnych symulacji procesu hamowania. W artykule przedstawiono analizę hamulca tarczowego, która jest pierwszym etapem prac mających na celu wyznaczenie wspomnianych parametrów metodami numerycznymi. Stosując metodę elementów skończonych, przeprowadzono dynamiczną analizę pracy hamulca, z uwzględnieniem generacji ciepła w wyniku tarcia.



Rys. 1. Model zespołu hamulca w systemie CAD

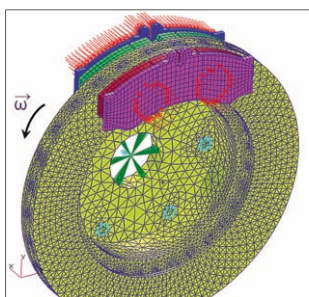
Na podstawie modelu 3D wykonanego w systemie CAD (rys. 1) przygotowano model MES hamulca (rys. 2). W procesie dyskretyzacji wygenerowano siatkę złożoną z 150 500 elementów brylowych i 40 328 węzłów. Okładziny zamodelowano elementami heksagonalnymi, a tarczę elementami tetragonalnymi. Własności materiałów przyjęto z literatury.

Warunki brzegowe zdefiniowano w oparciu o badania stanowiskowe, którym poddany był hamulec, w taki sposób, aby jak najwierniej odwzorować warunki eksperymentu. Okładziny obciążono ciśnieniem 8 MPa takim, jakie panuje w instalacji hamulcowej, w miejscach działania tłoczków i zacisku. Tarczy nadano początkową prędkość obrotową odpowiadającą prędkości pojazdu 100 km/h i zdefiniowano warunki przemieszczenia w miejscu łączenia z piastą tak, by uniemożliwić zmianę położenia osiowego. W osi obrotu zdefiniowano też ciało o masie



Rys. 3. Model MES hamulca z zaznaczonymi warunkami brzegowymi

Rys. 2. Model MES wygenerowany na podstawie modelu CAD



i momentach bezwładności odpowiadających stanowiskowemu modelowi pojazdu. Temperaturze otoczenia nadano wartość 20°C. Wielkość wygenerowanego ciepła wyznaczano przy założeniu, że cała praca sił tarcia (100%) zamieniana jest w energię cieplną:

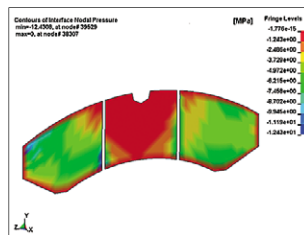
$$F_t \frac{dS}{dt} = mc_p \frac{dT}{dt}$$

* Mgr inż. Krzysztof Damaziak, dr inż. Jerzy Jachimowicz, dr inż. Jerzy Małachowski – Katedra Mechaniki i Informatyki Stosowanej Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie

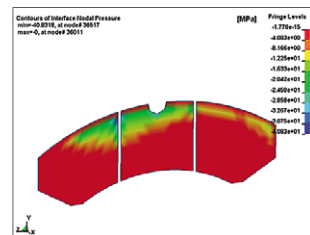
gdzie: F_t – siła tarcia, S – droga hamowania, t – czas, m – masa, c_p – ciepło właściwe, T – temperatura.

Model hamulca z zaznaczonymi warunkami pokazano na rys. 3.

Obliczenia wykonano przy użyciu programu LS-Dyna, dzieląc zadanie na 4 subdomeny (rys. 4÷6). Wyniki analiz wskazują na



Rys. 4. Naprężenia normalne w okładzinie dociskanej tłoczkami

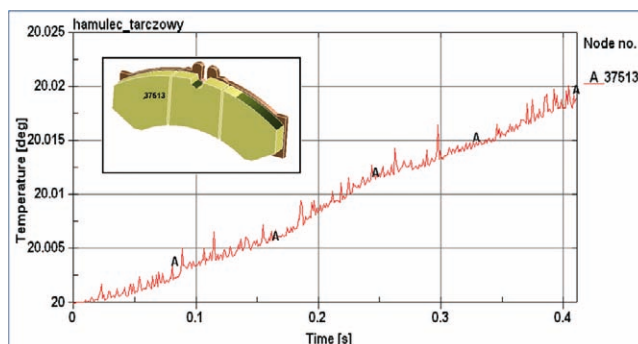


Rys. 5. Naprężenia normalne w okładzinie dociskanej dociskiem

prawidłowe działanie algorytmu generowania ciepła przez siły tarcia oraz – potwierdzone eksperymentalnie – niejednakowe warunki pracy okładzin dociskanych tłoczkami i zaciskiem.

Prezentowana praca jest etapem wstępnym badań, których efektem ma być przeprowadzenie numerycznej symulacji działania hamulca, z uwzględnieniem procesu zużycia okładzin. Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że zastosowane podejście umożliwia odwzorowanie termomechanicznych aspektów pracy hamulca i wskazała jednocześnie dużą wrażliwość wyników na termodynamiczne własności materiałowe. Wynika z tego, że uzyskanie poprawnych wyników ilościowych w takich analizach wymaga wykonania wcześniejszych dokładnych badań materiałowych.

Innym problemem prezentowanego podejścia jest bardzo długi czas analizy. Niestety, połączenie specyfiki modelowanej konstrukcji (realizacja dużych obrotów, sprzężenie termomechaniczne) i zastosowanie algorytmu całkowania bezpośredniego peł-



Rys. 6. Przebieg zmian temperatury w czasie 2,5 obrotu tarczy, dla jednego z węzłów okładziny

nych równań dynamiki (z warunkami stabilności wymuszającymi krótki krok całkowania) sprawiają, że nawet zastosowanie nowoczesnych, wieloprocessorowych systemów komputerowych nie pozwala na znaczące skrócenie czasów analiz.

LITERATURA

1. J.O. HALLQUIST: LS-DYNA theoretical manual. Livmore Software Technology Corporation 1998.
2. C. HOFMANN, K. SCHIFFNER: Contact analysis for drum brakes and disk brakes using ADINA. *Computer and Structures*, nr 72/1999, 185÷198.
3. R. KAJKA, R. HARLA: Raport 26/LW/2009. Instytut Lotnictwa Warszawa, 2009.
4. D. RUDNIK: Właściwości materiałów węzła hamulcowego. Raport ITS. Warszawa 2009.