

Paweł Baranowski pawelbaranowski@gmail.com

Jacek Łazowski jlazowski@poczta.onet.pl

Jerzy Małachowski jerzy.malachowski@gmail.com

Wojskowa Akademia Techniczna, Katedra Mechaniki i Informatyki Stosowanej

Budowa modelu numerycznego układu hamulcowego z wykorzystaniem techniki skanowania 3D

Creating numerical model of brake system with reverse engineering assistance

STRESZCZENIE

Praca ta skupia się na procesie tworzenia modelu numerycznego układu hamulca bębnowego, bazując na inżynierii odwrotnej. W wyniku procesu bezdotykowego skanowania uzyskano model CAD, a następnie model numeryczny, który został poddany wstępnym testom numerycznym, w wyniku których możliwe było oszacowanie wpływu temperatury na stan naprężeń.

ABSTRACT

This paper presents the process of creating a numerical model of a drum brake system, based on the reverse engineering. As a result of a non-contact scanning method, the CAD model was generated. Based on this model we were able to obtain a numerical model, which has been subjected to the preliminary numerical tests, which have given the possibility to estimate the effect of temperature on the state of stress.

Obecnie produkowane seryjnie samochody osobowe oraz ciężarowe potrafią się rozpędzić do prędkości 100km/h w czasie ok.8 s, a czasami i krótszym. Podczas procesu hamowania wytracanie prędkości do 0 km/h zajmuje ok. 3-5 s. Ten przykład pokazuje nam, jakie wymagania stawiane są przed układem hamulcowym. Układ ten jest jednym z ważniejszych układów znajdujących się w pojazdach i decydujących o ich bezpieczeństwie. Jedną z metodą pozwalającą na ocenę poprawności pracy tego mechanizmu jest ujęcie symulacyjne oparte o tzw. metody numeryczne mechaniki. Dają one możliwość odwzorowania rzeczywistej pracy układu poprzez wykonywanie symulacji, w których możemy zbadać materiał bębna oraz okładziny szczęki z punktu widzenia odkształceń, kumulacji naprężeń czy rozkładu ciepła, a także ocenić występujące w tym układzie siły wynikające z procesu tarcia pomiędzy okładzinami a

bębniem koła. Szczególnie bardzo ważna jest symulacja procesów termicznych w warunkach dynamicznych obciążeń.

Istotą procesu hamowania jest zamiana energii kinetycznej ruchu jadącego pojazdu (proporcjonalnej do jego masy i do kwadratu prędkości z jaką się porusza) na pracę, a w wyniku tarcia na ciepło. Energia kinetyczna samochodu osobowego jadącego z prędkością 100 km/h wynosi w przybliżeniu 0.5 MJ, czyli jest równoważna ciepłu, jakie uzyskamy, spalając bez strat np. ok. 15 cm³ benzyny. Temperatura na styku okładziny oraz bębna, w wyniku tarcia, może dojść nawet do 500°C [1].

Opis bębnowego układu hamulcowego

Podstawowe elementy analizowanego układu hamulcowego bębnowego to:

- żeliwny bęben hamulcowy,
- szczęki hamulcowe z przyklejonymi lub przynitowanymi okładzinami ciernymi,
- rozpieracz szczęk – sterowalny element dociskający szczęki do bębna,
- sprężyna odciągająca – element odpowiedzialny za odprowadzenie szczęk oraz utrzymanie ich w pozycji bezstykowej z bębniem.

Żeliwny bęben mocowany jest do piasty koła. W trakcie hamowania szczęki dociskane są promieniowo przez rozpieracz. Szczęki hamulcowe mogą mieć układ współbieżny (przemieszczają się zgodnie z ruchem obrotowym koła) lub przeciwbieżny. Mogą być zamocowane obrotowo, mogą być tzw. pływające, prowadzone na wodzikach lub przesuwne. W naszych badaniach wzięliśmy pod uwagę elementy, które bezpośrednio biorą udział w procesie tarcia, czyli bęben oraz szczęka z okładzinami ciernymi.

Zastosowanie inżynierii odwrotnej do budowy modelu CAD układu hamulca bębnowego.

Celem pracy końcowym jest opracowanie modelu numerycznego układu hamulcowego tylnego zawieszenia samochodu terenowego. Opracowany model numeryczny umożliwi analizy wymiany ciepła pomiędzy okładzinami ciernymi a bębniem oraz określenie stanu naprężenia i odkształcenia we współpracujących elementach. Etapem poprzedzającym osiągnięcie tego celu jest stworzenie modelu CAD istniejącego już układu bazując na technice inżynierii odwrotnej.

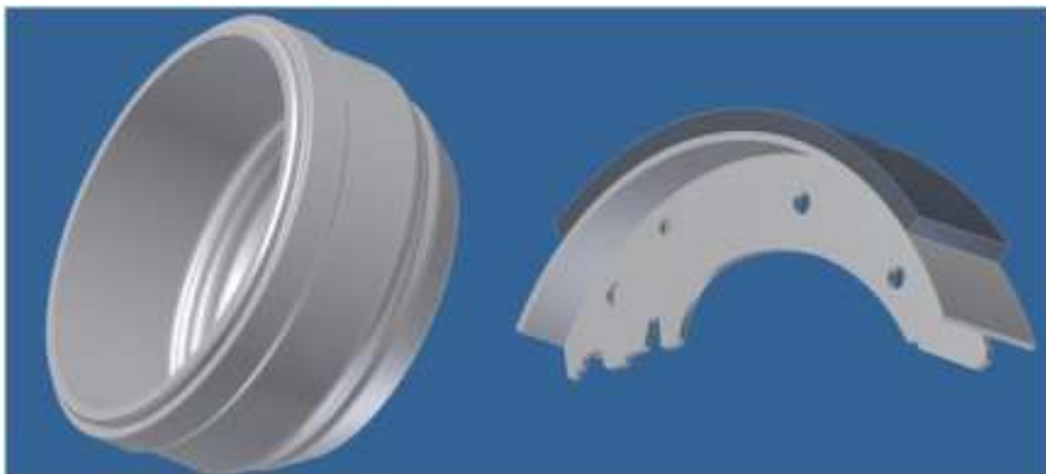
Do idealnego odwzorowania geometrii bębna oraz szczęk, posłużyliśmy się metodą bezdotykowego skanowania 3D. Urządzeniem skanującym był ręczny skaner 3D. Może on automatycznie rejestrować kształt skanowanych powierzchni z dokładnością do 0.125mm w czasie rzeczywistym, w sposób bezkontaktowy. Układ optyczny składa się z lasera, oraz z czujników rejestrujących odbite światło lasera od

powierzchni skanowanych. Na elementach skanowanych nakleja się znaczniki pozycjonujące, które skaner wykorzystuje do utworzenia wirtualnego modelu pozycjonującego (Rys. 1). W każdej chwili procesu skanowania laser musi „widzieć” przynajmniej cztery znaczniki pozycjonujące, aby prawidłowo usytuować się w przestrzeni. Programem obsługującym urządzenie skanujące jest VxScan. Dzięki niemu widzimy na bieżąco postęp budowania modelu, którego powierzchnie tworzone są z elementów trójkątnych (triangulizacja).

Po wykonaniu skanowania, modele zaimportowano wykonanych do programu Geomagic. Program ten oferuje wiele funkcji, służących do obróbki modelu, min. wygładzanie powierzchni czy wypełnianie otworów. Po wykonaniu niezbędnych operacji pozostaje już tylko zapisać plik o odpowiednim rozszerzeniu, obsługiwanym przez szereg programów, m.in. Autodesk Inventor (Rys. 2), MSC Patran



Rys.1 Bęben wraz ze szczękami

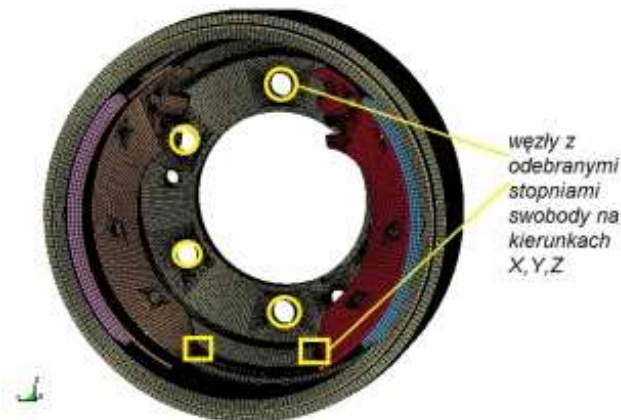


Rys.2 Zaimportowany bęben oraz szczęka do programu Autodesk Inventor

Budowa modelu numerycznego MES układu hamulca bębnowego

W kolejnym etapie pracy było uruchomienie obliczeń modelu MES opisywanego układu hamulcowego. Przedstawiony na rys. 3 model MES układu hamulcowego zbudowany jest z elementów skończonych typu HEX8 tj. elementu bryłowego ośmiowęzłowego [2]:

- model bębna hamulcowego został zbudowany z 321837 elementów połączonych za pomocą 360876 węzłów,
- model okładziny ciernej zbudowany jest z 7137 elementów połączonych 9920 węzłami,
- model szczęki hamulcowej zbudowany jest z 10084 elementów połączonych 13849 węzłami

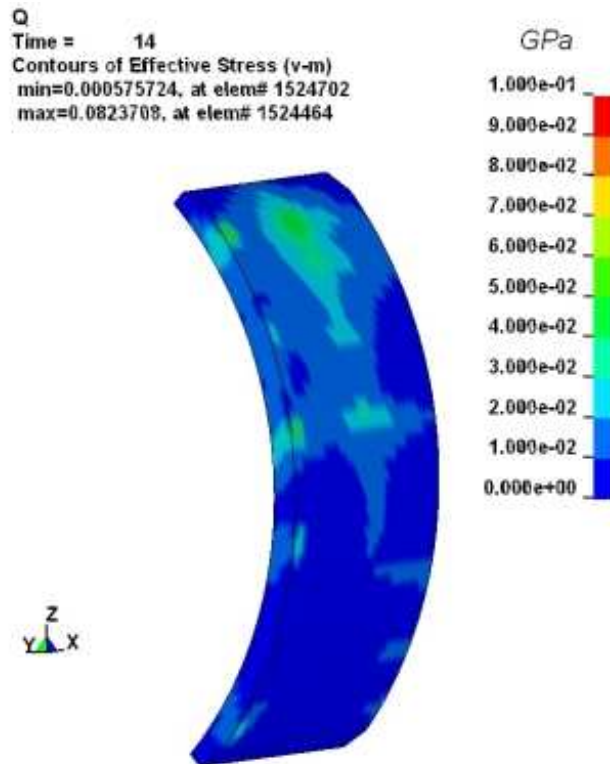


Rys.3 Model MES zespołu hamulcowego. Podział na elementy skończone

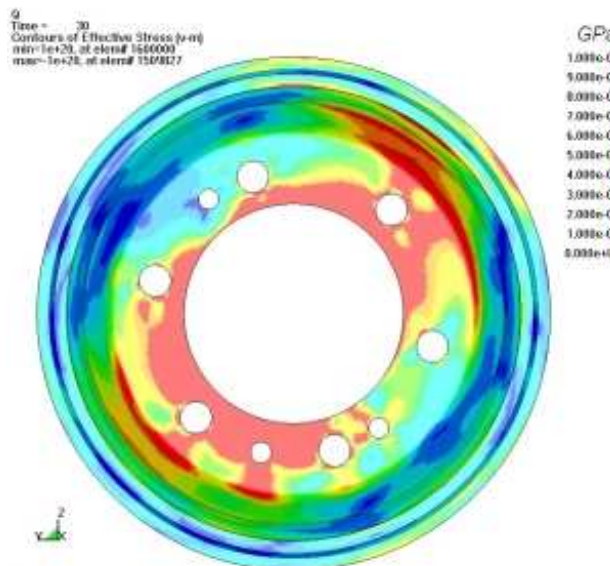
Obciążenie w układzie było realizowane przez przyłożenie do szczęki hamulcowej siły odwzorowującej działania rozpieracza na szczękę hamulcową. Analizy numeryczne metodą elementów skończonych przeprowadzono w zakresie dynamicznym wykorzystując do rozwiązania równania równowagi dynamicznej jawny schemat całkowania oparty na metodzie różnic centralnych [2]. Do analiz przyjęto liniowe charakterystyki materiałowe [3]. Dla bębna i szczęki przyjęto wielkości mechaniczne charakteryzujące stal, zaś dla okładziny ciernej przyjęto wartości materiałowe dla kompozytu (Moduł Younga 40 GPa, współczynnik Poissona 0.3, gęstość 1700 kg/m^3). Proces oddziaływania pomiędzy elementami będącymi w kontakcie, tj. pomiędzy okładziną cierną a częścią wewnętrzną bębna realizowano numerycznie z wykorzystaniem funkcji kary [2].

Analiza wyników ze wstępnych testów numerycznych układu hamulca bębnowego

W zadaniu przyjęto masę bębna równą masie koła. Siła nacisku na szczękę wynosi $F=6,35$ kN. Przyjęto współczynnik tarcia o wartości 0.4. W wyniku analizy otrzymaliśmy rozwiązanie określające stan naprężenia w analizowanych elementach układu hamulcowego (Rys.4 i 5).

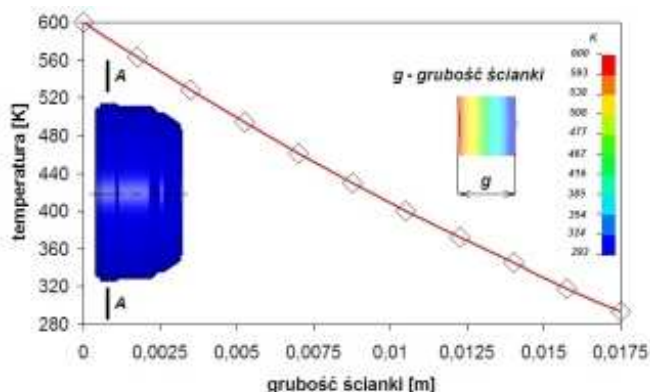


Rys.4 Rozkład stanu naprężenia w układzinie ciernej.

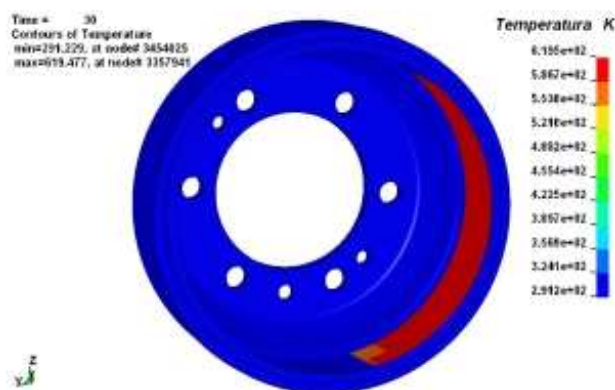


Rys.5 Rozkład stanu naprężenia w bębnie.

W kolejnym kroku wykonano analizę termosprężystą w zakresie niestacjonarnym (wymuszono ruch obrotowy bębna z prędkością obrotową odpowiadającą prędkości pojazdu 60 km/h) realizując proces wymiany ciepła w elementach układu hamulcowego bazując na warunku Dirichleta [4] (realizacja kontaktu termicznego). W chwili początkowej temperatura na zewnętrznej powierzchni bębna wynosiła $t_z=293\text{ K}$, zaś na powierzchni wewnętrznej $t_w=600\text{ K}$ (Rys. 6). Przyrost temperatury realizowany był numerycznie w procesie zamiany pracy sił tarcia na energię termiczną. W warunkach testowych założono bezubytkowy charakter tego procesu.



Rys. 6 Przebieg temperatury wzdłuż grubości ścianki



Rys. 7 Rozkład pola temperatury na wewnętrznej części bębna po czasie 30 ms.

Podsumowanie

Celem powyższej pracy było wykonanie modelu numerycznego na podstawie zeskanowanego, rzeczywistego układu hamulcowego (bębna oraz szczęk). Skanowanie odbyło się przy pomocy bezdotykowego skanera ręcznego, a uzyskane powierzchnie zostały wstępnie obrobione w programie VxScan, natomiast dalsze operacje zostały wykonane w programie Geomagic. Na podstawie wygenerowanych i zweryfikowanych skanów utworzono model numeryczny, odwzorowujący rzeczywisty układ, z zachowaniem wszystkich szczegółów geometrii.

W dalszej części pracy zostało przeprowadzone uruchomienie modelu bębna wraz ze szczękami w zakresie quasi statycznych obliczeń pod kątem oceny wyciężenia w obszarach kontaktu.

W pierwszym etapie wykonane zostały obliczenia z wykorzystaniem niejawniej metody całkowania [2]. Na wewnętrzną powierzchnię bębna oddziaływała okładzina cierna oraz szczeka hamulcowa. Uzyskano nierównomierny stan naprężenia (rys. 4 i 5). Z analizy tej potwierdza się efekt nierównomiernego zużywania się okładzin, gdzie największy proces zużycia występuje w obszarze docisku tłoczka oraz mocowania szczęki.

W kolejnym etapie przeprowadzono również obliczenia wymiany ciepła, gdzie określono strumień ciepła \dot{Q} na ścianie bębna (rys. 6) z realizacją kontaktu termicznego. W wyniku przeprowadzonych analiz uzyskano rozkład temperatury w dla wybranej chwili czasowej (rys. 7). Powyższa analiza pozwala prowadzić nieustalone analizy dystrybucji ciepła w powstałego w procesie hamowania oraz oszacować wpływ temperatury na stan naprężenia (superpozycja od obciążeń mechanicznych i termicznych). Uzyskane wielkości temperatur są zbieżne z wielkościami uzyskiwanymi podczas pomiarów na stanowisku.

Kolejne kroki badań ukierunkowane są na ocenę wrażliwości modelu MES układu hamulcowego na występujące imperfekcje geometryczne w warstwy czarnej (falistość, chropowatość itp.). Krokiem ostatnim będzie pełna analiza termomechaniczna pozwalająca opisać numerycznie proces hamowania (tj. jednoczesne oddziaływanie mechaniczne z uwzględnieniem obciążeń termicznych- generowanie się ciepła w fazie hamowania).

Literatura

1. M. MORZYŃSKI, R. MOSTOWSKI, M. NOWAK, M. RYCHLIK, *Rekonstrukcja geometrii kręgow –2002.*
2. HALLQUIST J.O., *LS-Dyna. Theoretical manual.* California Livermore Software Technology Corporation, 2005.
3. Z.ORŁOŚ, *Naprężenia cieplne*, praca zbiorowa, PWN, Warszawa 1991.
4. S.WIŚNIEWSKI, T.WIŚNIEWSKI, *Wymiana ciepła*, WNT, Warszawa 2000.