

Radosław PATYK, Agnieszka KUŁAKOWSKA

NUMERYCZNA ANALIZA DRGAŃ UKŁADU KORBOWO-TŁOKOWEGO

Streszczenie

W pracy przedstawiono zastosowanie metody elementów skończonych (MES) do analizy drgań własnych układu korbowo-tłokowego silnika spalinowego. Dla analizowanego układu mechanicznego wyznaczono częstotliwości drgań własnych. Dodatkowo przeprowadzono analizę wpływu pracy silnika na stan naprężeń w podzespołach układu korbowo-tłokowego.

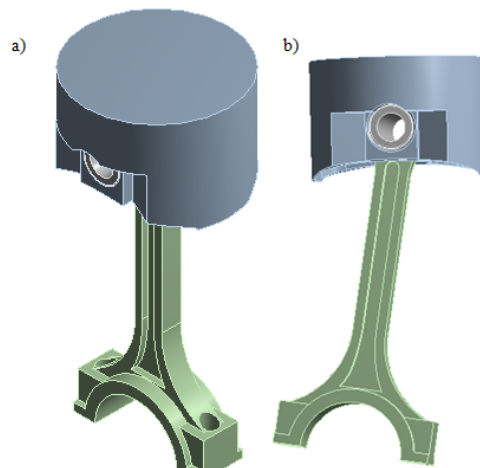
WSTĘP

Dotychczas pozycja silnika spalinowego jako napędu samochodów osobowych, ciężarowych czy też maszyn roboczych jest niezagrażona. Jednakże rozwój motoryzacji oraz bardzo rygorystyczne normy emisji spalin wymagają konstruowania nowych oszczędniejszych, lżejszych i wydajniejszych jednostek napędowych [1]. Zaprojektowanie optymalnej konstrukcji jest niezwykle trudne, gdyż projektant musi wziąć pod uwagę bardzo dużo czynników zmiennych [2]. Aktualnie projektowanie maszyn i urządzeń jest wspomagane przez systemy CAD/CAE/CAM/CAQ. Systemy te umożliwiają zaprojektowanie modelu bryłowego, dokonanie obliczeń oraz zaprojektowanie procesu wytwarzania i kontroli jakości wyrobu. W celu poprawnego zaprojektowania konstrukcji mechanicznej z dynamicznymi obciążeniami należy przeprowadzić kilka rodzajów obliczeń. Podstawą są obliczenia wytrzymałości statycznej po nich zaś wykonuje się obliczenia odporności na zużycie zmęczeniowe oraz m.in. postaci i częstości drgań własnych oraz o ile występują obciążenia cieplne to analizę termiczną [6]. W pracy skupiono się nad zagadnieniem drgań występujących w układzie korbowo-tłokowym. Analizie poddano układ korbowo-tłokowy silnika spalinowego samochodu osobowego Honda. Analiza zagadnienia drgań własnych konstrukcji oraz oszacowanie stanu przemieszczeń i naprężeń występującego pod wpływem cyklicznych obciążeń zewnętrznych jest sprawą kluczową dla mechanizmów obciążanych dynamicznie. Wyznaczenie wartości drgań własnych jest niezbędne w celu sprawdzenia występowania rezonansu w konstrukcjach sprężystych. Zadaniem konstruktora jest takie zaprojektowanie konstrukcji, by częstotliwości drgań własnych nie pokrywały się z częstotliwościami typowych oddziaływań zewnętrznych.

1. ANALIZA NUMERYCZNA

Analizie numerycznej poddano układ korbowo-tłokowy silnika spalinowego Honda o kodzie silnika D14A3. Analizy numeryczne przeprowadzono z wykorzystaniem Metody Elementów Skończonych [3-5, 7]. Przed przystąpieniem do analiz numerycznych zbudowano model bryłowy układu w programie Solid Works. W symulacjach przyjęto, że układ korbowo-tłokowy analizowanego silnika jest wykonany z materiałów izotropowych, idealnie sprę-

zystych. Korbówód wykonany jest z materiału o module Younga $E = 2,1 \cdot 10^{11} [Pa]$ i współczynnika Poissona $\nu = 0,3$, tłok wykonany jest z materiału o module Younga $E = 6 \cdot 10^{10} [Pa]$ i współczynnika Poissona $\nu = 0,3$ oraz sworzeń tłokowy wykonany jest z materiału o module Younga $E = 2,1 \cdot 10^{11} [Pa]$ i współczynnika Poissona $\nu = 0,3$. W symulacji nie analizowano wpływu ciepła pochodzącego z tarcia występującego pomiędzy poszczególnymi częściami układu korbowo-tłokowego oraz procesu spalania. Statyczne obliczenia wytrzymałościowe przeprowadza się dla dwóch położenia wału korbowego tj.: gdy wykorbienie znajduje się w położeniu odpowiadającym GMP, oraz gdy wykorbienie jest odchylone od tego położenia o ok. 35° (rys. 1). Należy przeprowadzić obliczenia w takich konfiguracjach, gdyż układ korbowo-tłokowy (szczególnie korbówód) jest najbardziej narażony na oddziaływania pochodzące z procesu spalania oraz sił bezwładności. Przyjęto, że maksymalne ciśnienie oddziaływujące na tłok dla tego typu silnika wynosi $p = 13,3 [MPa]$ i występuje ono w GMP, natomiast w położeniu gdy wykorbienie wału korbowego jest odchylone o ok. 35° od GMP to ciśnienie to wynosi $p = 10 [MPa]$. Na stopie korbowodu zamocowano model natomiast na górną powierzchnię tłoka zadano ciśnienia wyznaczone analitycznie. Pomiędzy częściami układu założono możliwość występowania kontaktu tarcowego. Przyjęto, że wartość statycznego współczynnika tarcia wynosi $\mu_s = 0,005$. Model geometryczny dyskretyzowano na 696522 elementów skończonych (1388804 węzłów).



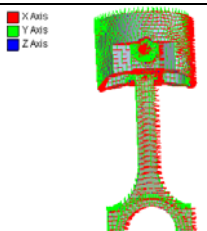
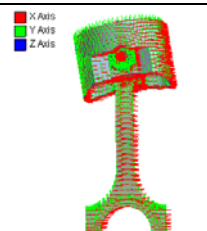
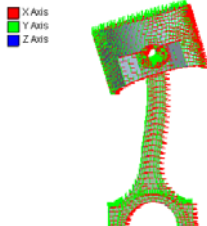
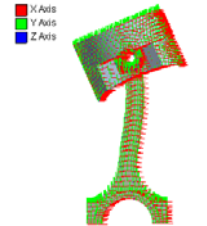
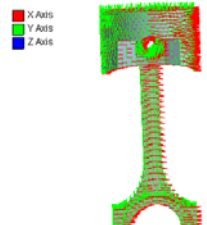
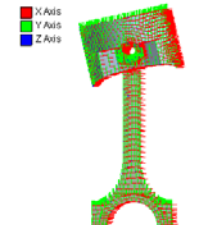
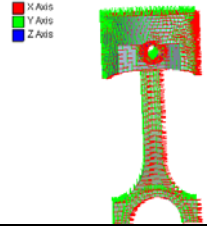
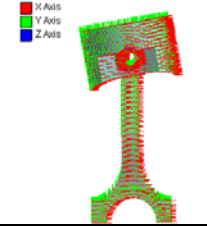
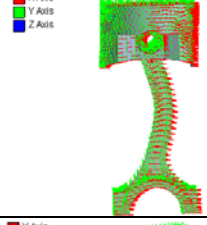
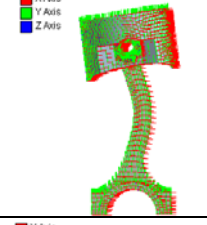
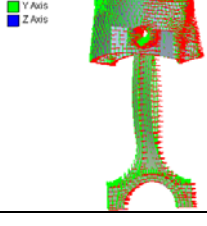
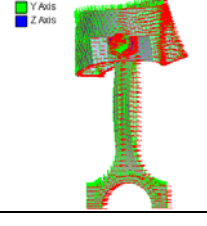
Rys. 1. Model bryłowy układu korbowo-tłokowego silnika Honda: a) dla położenia wału korbowego w GMP; b) dla położenia wału korowego odchylonego o 35° po GMP

Źródło: Opracowanie własne.

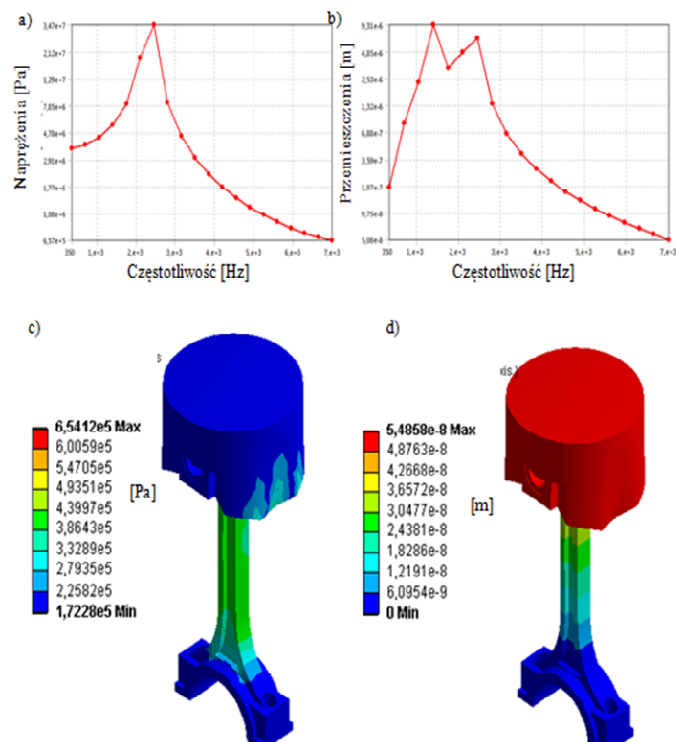
Po przeprowadzonych symulacjach uzyskano częstotliwości oraz postaci drgań własnych. Wyniki zestawiono w tabeli 1.

W celu analizy wpływu pracy silnika na stan przemieszczeń i naprężeń przeprowadzono analizę harmoniczną dla częstotliwości ruchu obrotowego wynoszącego maksymalnie 7000 Hz. Dla wartości maksymalnej częstotliwości uzyskano wyniki dodatkowego stanu naprężeń wywołanych drganiami układu oraz stanu przemieszczeń (rys. 2 oraz rys. 3).

Tab. 1. Wyniki symulacji numerycznych

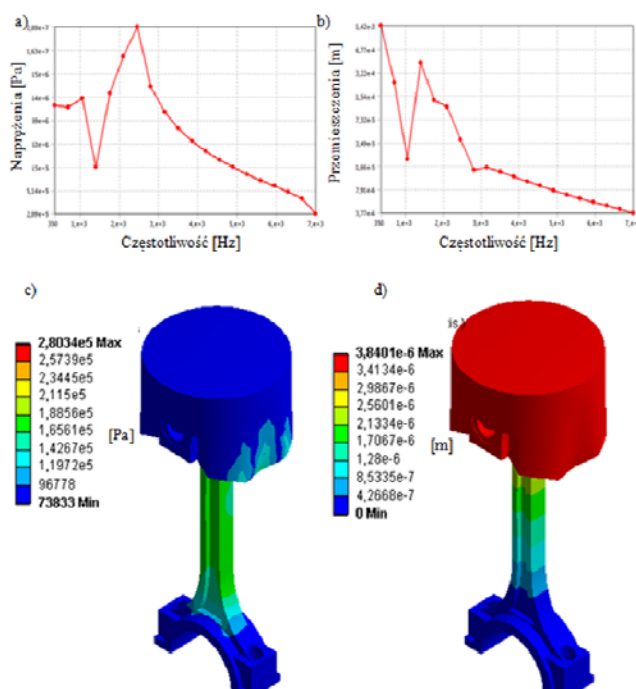
Nr postaci	Częstotliwość [Hz]	Postać	
1	104,56		
2	164,57		
3	273,41		
4	735,59		
5	1307,6		
6	2331,2		
7	4483,7		
8	7325,2		
9	8444,7		
10	9397,1		

Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 2. Wyniki zmian maksymalnych naprężeń zredukowanych w funkcji zmian częstotliwości a) oraz wykres zmian przemieszczeń w funkcji zmian częstotliwości wymuszenia b), stan naprężeń w węzłach dla częstotliwości wymuszenia 7000 Hz c) oraz stan przemieszczeń w węzłach dla częstotliwości wymuszenia 7000 Hz d) dla położenia wału korbowego w GMP.

Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 3. Wyniki zmian maksymalnych naprężeń zredukowanych w funkcji zmian częstotliwości a) oraz wykres zmian przemieszczeń w funkcji zmian częstotliwości wymuszenia b), stan naprężeń w węzłach dla częstotliwości wymuszenia 7000 Hz c) oraz stan przemieszczeń w węzłach dla częstotliwości wymuszenia 7000 Hz d) dla położenia wału korbowego 35° od GMP.

Źródło: Opracowanie własne.

Po analizie wyników stwierdzono, że przemieszczenia oraz naprężenia wywołane drganiami analizowanego układu korbowo-tłokowego nie powodują znaczących zmian w jego pracy. Dopiero przy bardzo wysokich częstotliwościach (nigdy nieosiągalnych podczas pracy silnika) stwierdzono istotny wpływ drgań na przemieszczenia i naprężenia.

PODSUMOWANIE

Symulacje komputerowe stanowią początkowy etap w poprawnym projektowaniu części maszyn. Z przeprowadzonych analiz numerycznych procesu wynika, że badany numerycznie układ korbowo-tłokowy silnika spalinowego Honda o kodzie D14A3 wytrzymuje obciążenia związane ze zjawiskami drganiowymi. Analiza Metodą Elementów Skończonych umożliwia określenie miejsc spiętrzenia naprężeń.

BIBLIOGRAFIA

1. Bernhardt M., Dobrzyński S., Loth E.: *Silniki samochodowe*, WKŁ, Warszawa 1969.
2. Jędrzejowski J.: *Mechanika układów korbowych silników samochodowych*, WKŁ, Warszawa 1986.
3. Dacko M., Borkowski W., Dobrociński S., Niezgoda T., Wieczorek M.: *Metoda Elementów Skończonych w mechanice konstrukcji*, Arkady, Warszawa 1994.
4. Łączek S.: *Wprowadzenie do systemu elementów skończonych ANSYS*, PK, Kraków 1999.
5. Rakowski G., Kacprzak Z.: *MES w mechanice konstrukcji*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005.
6. Wajand J. A., Wajand J.T.: *Tłokowe silniki spalinowe średnio- i szybkoobrotowe*, WNT, Warszawa 2000.
7. Zagrajek T., Krzesiński G., Marek P.: *Metoda Elementów Skończonych w mechanice konstrukcji*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2006.

NUMERICAL ANALYSIS OF ROD-PISTON CONSTRUCTION VIBRATIONS

Abstract

In the paper using of Finite Element Method (FEM) in analysis of rod- piston construction free vibration are presented. For the analyzing mechanical construction the frequency of free vibrations are designated. Additional the analysis of braking process influence on the state of stress in rod-piston were conducted.

Autorzy:

dr inż. **Radosław Patyk** – Politechnika Koszalińska

dr inż. **Agnieszka Kulakowska** – Politechnika Koszalińska