



Jacek CABAN, Paweł DROŹDZIEL, Grzegorz WINIARSKI

ANALIZA WYTRZYMAŁOŚCIOWA WYBRANYCH ELEMENTÓW UKŁADU TŁOKOWO-KORBOWEGO JEDNOCYLINDROWEGO SILNIKA O ZS CZ. I

Streszczenie

W artykule zaprezentowano analizę wytrzymałościową wybranych elementów układu tłokowo-korbowego jednocylindrowego silnika o zapłonie samoczynnym. Analizie poddane zostały: tłok, korbówód, wał korbowy oraz sworzeń tłokowy. Wykonano modele geometryczne części silnika, które poddano obliczeniom numerycznym wykonanym w programie ABAQUS. Zaprezentowana analiza obejmuje obliczenia dotyczące rozkładu naprężeń i przemieszczeń w modelach części, rozkładu temperatury, a także uwzględnia zachowanie się części pod wpływem działania sił bezwładności. W tej części artykułu przedstawiono analizę tłoka i sworznia tłokowego silnika jednocylindrowego.

WSTĘP

Od tłokowych silników spalinowych wymaga się szeregu własności, spośród których wiele jest względem siebie sprzecznych [3]. Zmusza to konstruktora do starannej analizy wstępnej dotyczących przyjętych założeń i wymagań od jego konstrukcji. Przy obecnym stanie rozwoju konstruowania silnika dominującą rolę zajmują procesy konstruowania CAD oraz obliczeniowe CAM [4]. Prowadzone analizy, z wykorzystaniem metod komputerowych, ruchu tłoka silnika spalinowego pozwalają już na etapie jego projektowania przewidzieć występujące podczas jego pracy zachodzące różnorodne procesy fizyko-chemiczne i obciążenia. W artykule przedstawiono analizę wytrzymałościową wybranych elementów układu tłokowo-korbowego jednocylindrowego silnika o zapłonie samoczynnym firmy Ruggerini serii RY 125. Szerszy opis tego silnika i jego modelu trójwymiarowego opisano w pracach [1, 4, 5]. Dynamiczne problemy mechanizmu korbowego można badać przy różnych zbiorach założeń upraszczających dotyczących rozkładu mas więzów kinematycznych oraz innych, mniej lub bardziej pomijalnych, fizycznych cech systemu [2].

W artykule przedstawiono analizę wytrzymałościową dwóch elementów układu tłokowo-korbowego jednocylindrowego silnika o zapłonie samoczynnym (tłoka oraz sworznia tłokowego), za pomocą obliczeń numerycznych wykonanych w programie ABAQUS.

1. ANALIZA WYTRZYMAŁOŚCIOWA WYBRANYCH ELEMENTÓW UKŁADU TŁOKOWO – KORBOWEGO W PROGRAMIE ABAQUS

Do analizy wytrzymałościowej wybranych elementów układu tłokowo – korbowego wykorzystano program ABAQUS. Jest to pakiet oprogramowania służący do analizy liniowej oraz nieliniowej układów z wykorzystaniem metody elementów skończonych w zakresie skomplikowanych badań inżynierskich. ABAQUS umożliwia przeprowadzenie analizy naprężeń i przemieszczeń, drgań i wyboczeń, termiki i rozchodzenia się ciepła, symulację postępu zniszczenia, symulację warunków rzeczywistych także grawitacji i siły odśrodkowej, analizę w obszarze nieliniowości materiału oraz wiele innych nie ujętych w niniejszym artykule.

Analiza wytrzymałościowa przeprowadzona została dla następujących elementów układu tłokowo-korbowego silnika o zapłonie samoczynnym: tłok, który obciążony został maksymalnym ciśnieniem obiegu. Ponadto dla tłoka przeprowadzono analizę rozkładu temperatury; sworzeń tłokowy;

Sworzeń tłokowy, korbówód oraz wał korbowy obciążone zostały siłami wywołanymi działaniem ciśnienia na denko tłoka. Ponadto wał korbowy obciążony został siłą bezwładności wynikającą z ruchu obrotowego.

Z uwagi na fakt, iż program ABAQUS nie posiada jednostek, użytkownik sam decyduje w jakich jednostkach będą podawane dane wejściowe, a zatem w jakich jednostkach uzyskane zostaną wyniki. W przeprowadzonych analizach, z wyjątkiem analizy rozkładu temperatury, przyjęto następujące jednostki [5]:

- dla wymiarów liniowych – [mm];
- dla siły skupionej – [N];
- dla wartości ciśnień, modułu Younga, oraz naprężeń [MPa].

Dla analizy rozkładu temperatury przyjęto:

- dla wymiarów liniowych [m];
- dla temperatury – [$^{\circ}\text{C}$];
- dla gęstości – [kg/m^3];
- dla modułu Younga [Pa];
- dla współczynnika rozszerzalności cieplnej – [$1/^{\circ}\text{C}$];
- dla współczynnika przewodzenia ciepła – [$\text{W}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$];
- dla ciepła właściwego – [$\text{J}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$].

1.1. Analiza wytrzymałościowa tłoka

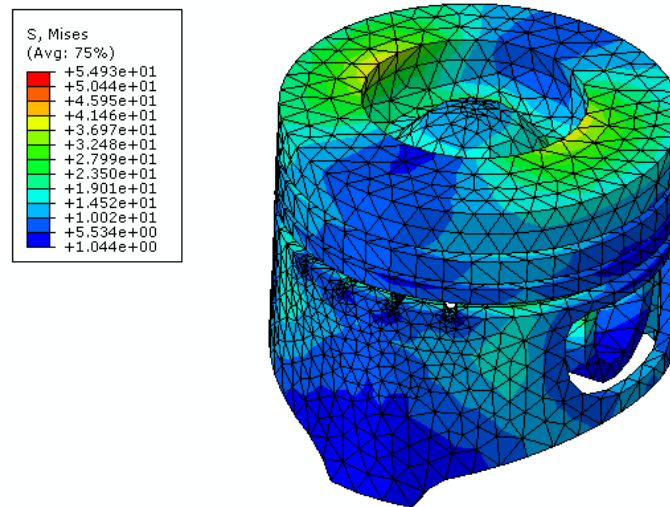
Wartość maksymalnego ciśnienia obiegu wyznaczono na podstawie obiegu Diesla oraz wymiarów geometrycznych części przedmiotowego silnika. Przedstawione modele części wykonane zostały na podstawie pomiaru rzeczywistych elementów ww. silnika. Obliczona wartość maksymalnego ciśnienia obiegu wynosi 6,71 MPa. Ciśnienie to zostało przyłożone do denka tłoka. Tłok utwierdzony został, poprzez odebranie wszystkich stopni swobody powierzchniom współpracującym ze sworzniem tłokowym.

Do dyskretyzacji modelu zastosowano strukturalną siatkę elementów skończonych opartą na elementach bryłowych typu tetragonalnego o oznaczeniu C3D4. Gęstość siatki założono na poziomie 6,1 mm. Program wygenerował na tłoku siatkę zawierającą 3977 węzłów, tworzących 14338 elementów skończonych [5].

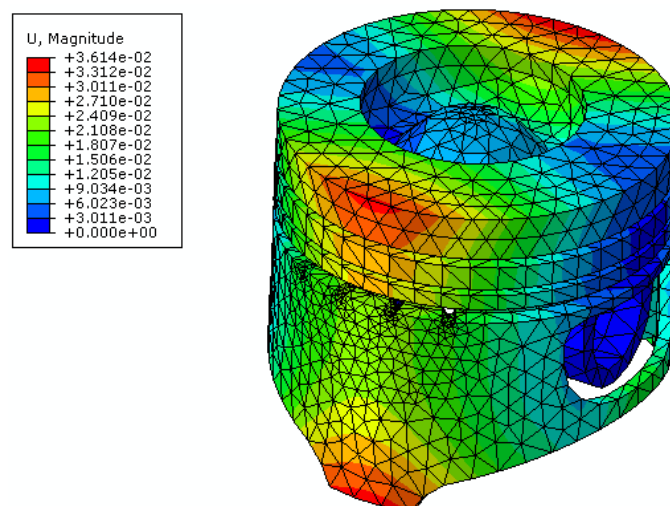
Jako materiał, z którego wykonany jest tłok, przyjęto aluminium odlewnicze, dla którego moduł Younga wynosi 75000 MPa, natomiast współczynnik Poissona 0,36 gęstość

2970 kg/m³, współczynnik rozszerzalności cieplnej: 22,6 °C⁻¹, współczynnik przewodzenia ciepła 133 W/m·°C, ciepło właściwe 982 J/kg·°C.

Wyniki analizy przedstawione są na rys. 1, oraz rys. 2, które przedstawiają odpowiednio mapy naprężeń oraz przemieszczeń.



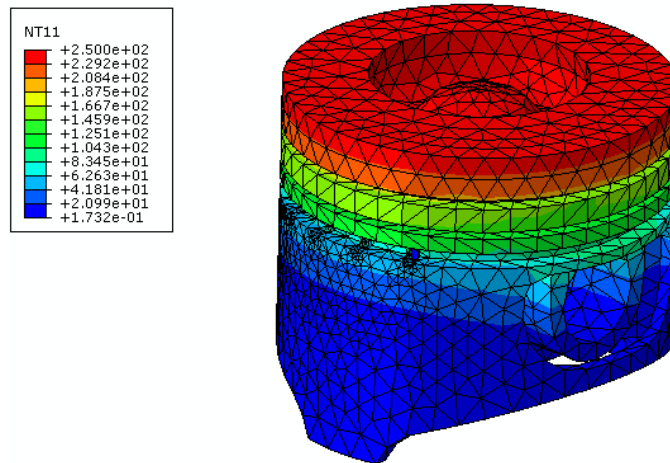
Rys. 1. Rozkład naprężeń w tłoku, pod działaniem ciśnienia 6,71 MPa [5]



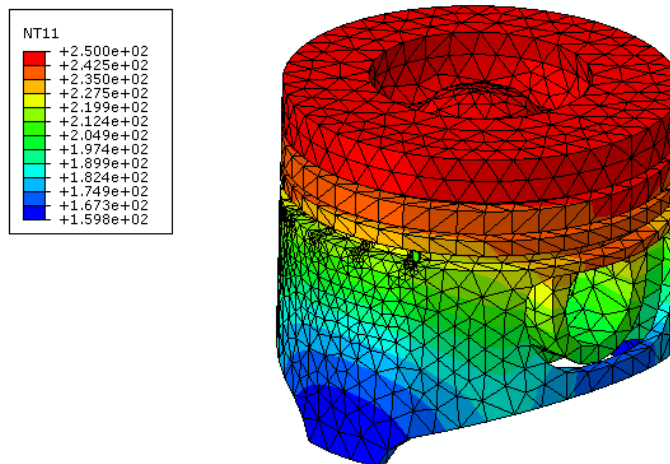
Rys. 2. Mapa przemieszczeń w tłoku, pod działaniem ciśnienia 6,71 MPa [5]

Analiza rozkładu temperatury, wykonana została dla tłoka obciążonego temperaturą 250 °C, działającą przez czas 200 s. Jako typ analizy wybrano analizę termiczną typu heat transfer z wykorzystaniem opcji transient, przyjmując inicjującą wartość inkrementu obliczeniowego na poziomie 0,1. Do dyskretyzacji modelu zastosowano strukturalną siatkę elementów skończonych opartą na elementach bryłowych typu tetragonalnego o oznaczeniu DC3D4 (przeznaczonych do liniowej analizy termicznej). Gęstość siatki założono na poziomie 0,0061 m. Program wygenerował na tłoku siatkę zawierającą 4024 węzły, tworzących 14520 elementów skończonych [5].

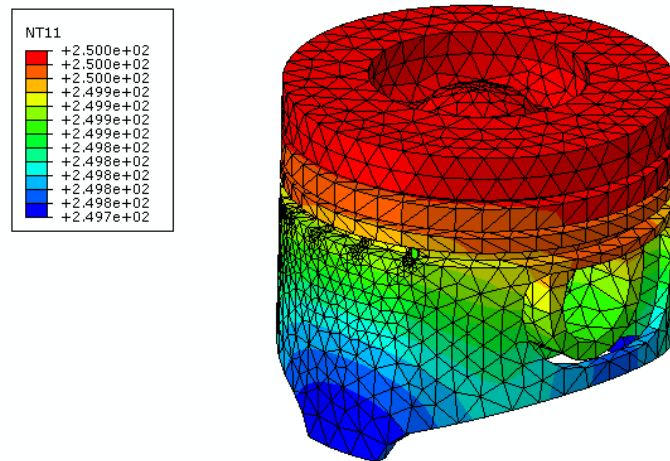
Wyniki analizy rozkładu temperatury przedstawione zostały kolejno na rys. 3 ÷ 5.



Rys. 3. Mapa rozkładu temperatury po 4,124 s działania obciążenia [5]



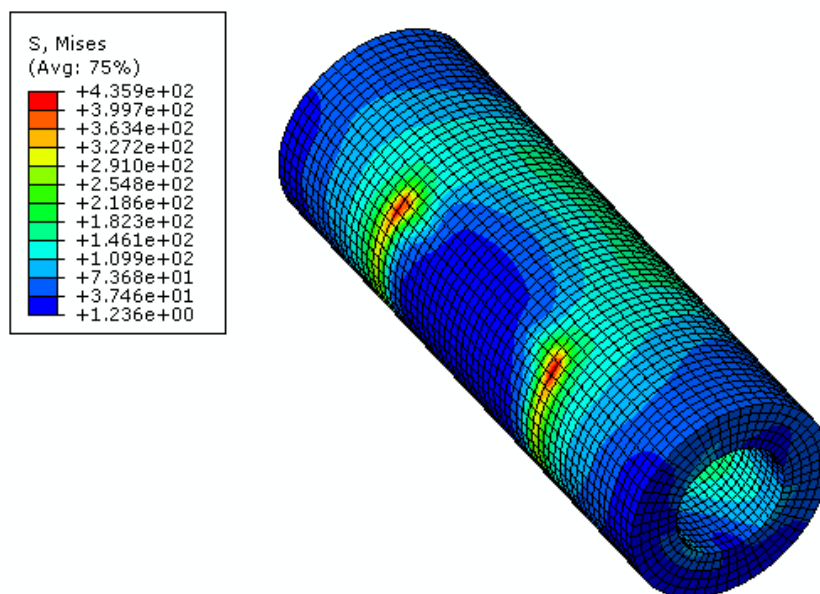
Rys. 4. Mapa rozkładu temperatury po 35,76 s działania obciążenia [5]



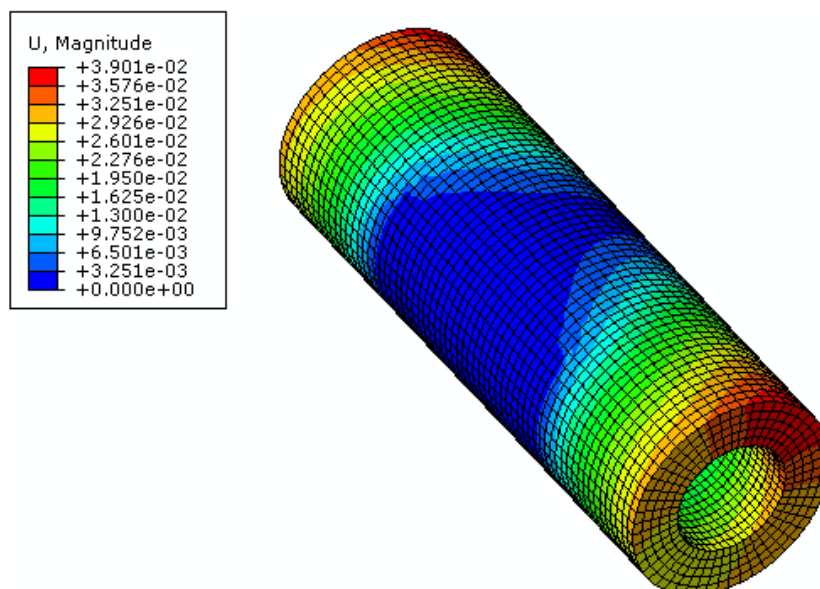
Rys. 5. Mapa rozkładu temperatury po 200 s działania obciążenia [5]

1.2. Analiza wytrzymałościowa sworznia tłokowego

W obliczeniach przyjęto, że materiał konstrukcyjny sworznia tłokowego to stal węglowa o module Younga 215000 MPa oraz współczynnika Poissona 0,295. Jako typ analizy wybrano analizę statyczną: static, general, przyjmując inicjującą wartość inkrementu obliczeniowego na poziomie 0,1. Wyniki analizy przedstawione zostały na rys. 6 i 7.



Rys. 6. Rozkład naprężeń w sworzniu tłokowym obciążonym siłą skupioną 39390 N [5]



Rys. 7. Mapa przemieszczeń w sworzniu tłokowym obciążonym siłą skupioną 39390 N [5]

Model sworznia tłokowego został spartycjonowany, tak aby wyodrębnić w nim powierzchnie kontaktujące się z tłokiem oraz korbwodem. Do modelu sworznia tłokowego dodany został punkt referencyjny, który powiązany został z powierzchnią współpracującą z tłokiem. Do punktu referencyjnego przyłożono siłę skupioną o wartości 39390 N co

odpowiada sile nacisku tłoka obciążonego ciśnieniem 6,71 MPa. Powierzchnia współpracująca z korbowodem została całkowicie utwierdzona [5].

Do dyskretyzacji modelu sworznia tłokowego zastosowano strukturalną siatkę elementów skończonych opartą na elementach bryłowych typu heksagonalnego o oznaczeniu C3D8R. Gęstość siatki założono na poziomie 1 mm. Program wygenerował siatkę zawierającą 20670 węzłów tworzących 16960 elementów skończonych [5].

PODSUMOWANIE

Zaprezentowana analiza wytrzymałościowa wybranych elementów silnika przedstawia przybliżone warunki pracy poszczególnych jego części.

Z uwagi na zmienność wartości ciśnienia w komorze spalania silnika modele obciążone zostały maksymalnym ciśnieniem obiegu, wyznaczonym na podstawie obiegu Diesla oraz wymiarów geometrycznych części silnika Ruggerini serii RY 125.

Obliczenia przeprowadzone na modelu tłoka wykazały, iż powstające w nim naprężenia nie osiągają dużych wartości. Przy obciążeniu 6,71 MPa maksymalna wartość naprężeń wynosiła ok. 55 MPa, natomiast wartość maksymalna przemieszczenia wyniosła 0,036mm. Poddając tłok działaniu temperatury, stwierdza się że po upływie czasu 200s osiąga on niemalże równą temperaturę w całej objętości. W rzeczywistości proces nagrzewania się tłoka może trwać dłużej, ponieważ działająca na niego temperatura nie jest stała, a maksymalna temperatura oddziałuje przez krótkie cykle czasu [5].

Sworzeń tłokowy poddawany jest głównie naprężeniom zginającym oraz ścinającym. Koncentracja naprężeń występuje w miejscu, gdzie kończy się powierzchnia styku sworznia z korbowodem. Naprężenia w tym miejscu wynoszą 436 MPa i mają charakter lokalny. Największe przemieszczenia występują na końcach sworznia tłokowego osiągając wartość 0,039 mm.

THE ANALYSIS OF STRENGTH OF SELECTED ELEMENTS OF PISTON-CRANKSHAFT SINGLE-CYLINDER DIESEL ENGINE, PART 1

Abstract

The paper presents the strength analysis of selected elements of the piston-crank single-cylinder diesel engine. The piston, the connecting rod, the crankshaft and the piston pin were analyzed. The geometrical models of the engine that were made, were subjected to numerical calculations in the ABAQUS program. The presented analysis includes calculations of the distribution of stresses and displacements in the models of parts, the temperature distribution and it also includes the behavior of the parts under the influence of inertia. This section concentrates on the analysis of the piston and the piston pin of the single cylinder direct injection diesel engine.

BIBLIOGRAFIA

1. Caban J., Drożdżiel P., Winiarski G.: *Komputerowa analiza ruchu tłoka w jednocylindrowym silniku spalinowym*. Logistyka – nauka, 2012 nr 3, Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań 2012, s. 263-268.
2. Jędrzejowski J.: *Mechanika układów korbowych silników samochodowych*. WKiŁ, Warszawa 1986.
3. Wajand J. A., Wajand J. T.: *Tłokowe silniki spalinowe średnio i szybkoobrotowe*. WNT, Warszawa 2005.

4. Winiarski G., Caban J.: *Budowa modelu 3D jednocylindrowego silnika o zapłonie samoczynnym*. II Lubelski Kongres Studenckich Kół Naukowych TYGIEL 2010 – czyli jak rozwijać naukę? pod red. J. Cabana i M. Szali, Wydawnictwa Uczelniane Politechniki Lubelskiej, Lublin 2010, s.213-223.
5. Winiarski G.: *Analiza wytrzymałościowa wybranych elementów układu tłokowo-korbowego jednocylindrowego silnika o zapłonie samoczynnym*. Praca magisterska, Politechnika Lubelska, Lublin 2012.

Autorzy:

Mgr inż. Jacek CABAN – Politechnika Lubelska

Dr hab. inż. Paweł DROŹDZIEL – Politechnika Lubelska

Mgr inż. Grzegorz WINIARSKI – Politechnika Lubelska