

Wykorzystanie analizy MES do wyjaśnienia wpływu czynników eksploatacyjnych na awaryjne zużycie tłoka w silniku o zapłonie samoczynnym

Applications of FEM for explanation of influence of the operating parameters upon failure wear of the piston in a diesel engine

dr inż. Henryk Bąkowski dr inż. Zbigniew Stanik,
henryk.bakowski@polsl.pl, zbigniew.stanik@polsl.pl

Politechnika Śląska
Wydział Transportu
Katedra Eksploatacji Pojazdów Samochodowych
ul. Krasińskiego 8
40-019 Katowice

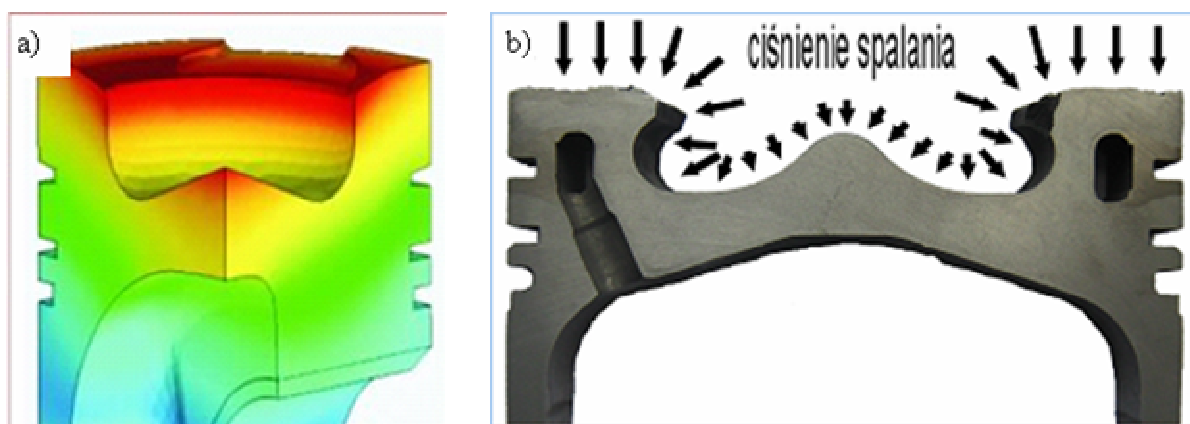
Silesian University of Technology
Faculty of Transport
Department of Vehicle Service
8 Krasinskiego St.
40-019 Katowice

W artykule przedstawiono wpływ wybranych parametrów eksploatacyjnych na rozkład naprężeń/odkształceń denka tłoka silnika spalinowego o zapłonie samoczynnym. Zastosowanie analizy MES pozwoliło na wyjaśnienie mechanizmu zużywania, prowadzącego do pojawienia się na powierzchni denka tłoka uszkodzeń. Otrzymane wyniki z badań eksploatacyjnych potwierdzają pojawienie się pęknięć i wykruszeń w miejscach występowania maksymalnych naprężeń i odkształceń.

The influence of some chosen operating parameters on stresses/strains distribution of the piston head in a diesel engine has been presented in this paper. Applications of FEM allowed to explain the wear mechanism leading to the appearance of some defects on piston head surface. The obtained research results confirm the appearance of pits and cracks, where maximum stresses/strains dominate.

1. Wprowadzenie

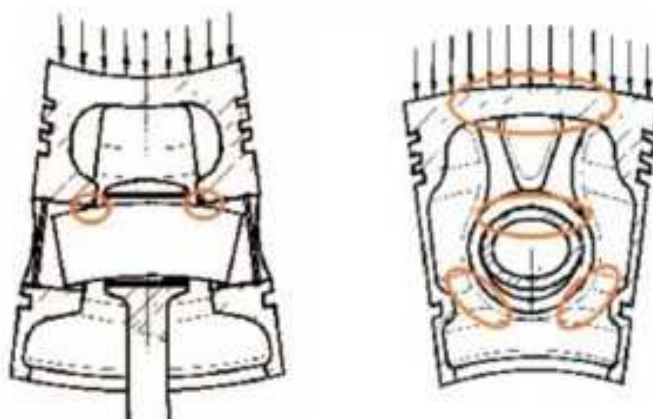
W ciągu ostatnich lat, warunki, w których pracują tłoki stały się znacznie trudniejsze i dlatego tłoki muszą wytrzymywać bardzo wysokie ciśnienia. Ciepło wytwarzane podczas spalania paliwa i wzrost temperatury oraz ciśnienia powodują odkształcenia tłoka (Rys. 1) [1].



Rys. 1. Przekrój poprzeczny tłoka: a) rozkład naprężeń termicznych wg [1], b) rozkład ciśnienia spalania

Odkształcenia „ciśnieniowe” są inne w płaszczyźnie głównej tłoka (wzdłuż sworznia) niż w płaszczyźnie prostopadłej do sworznia, co przedstawiono graficznie na rysunku 2. Do tego trzeba jeszcze dodać, że siła, z jaką gazy spalinowe naciskają na denko tłoka potrafi się znacznie zmieniać. Gdy silnik pracuje prawidłowo, siła ta osiąga w samochodach osobowych

wartość 60000 N (w ciężarowych do 36 0000 N), a podczas nieprawidłowego funkcjonowania, np. po wystąpieniu spalania detonacyjnego może wzrosnąć o 50% [1].



Rys. 2. Miejsca odkształceń tłoka podczas pracy [1]

Wykorzystanie MES do wyjaśnienia mechanizmu zużywania w badanym elemencie pozwoliło na określenie wartości i rozkładów naprężeń oraz odkształceń. W tym celu zbudowano model tłoka silnika wysokoprężnego. Warunki brzegowe w zaproponowanym modelu zostały dobrane tak, aby odzwierciedlały warunki panujące w układzie rzeczywistym. Od doboru warunków zależą ostateczne wyniki i kształt otrzymanych naprężeń i odkształceń. Dzięki analizie symulacyjnej możliwe jest określenie miejsc o maksymalnych wartościach naprężeń/odkształceń w których mogą pojawiać się zaczątki zużycia, bez znacznych nakładów finansowych jak to miałyby miejsce w obiekcie rzeczywistym.

2. Warunki badań

W silniku wysokoprężnym z bezpośrednim wtryskiem paliwa na denku tłoka pojawiły się uszkodzenia w formie pęknięć i wyruszeń. W celu określenia przyczyn zaproponowano wykorzystanie MES do wyznaczenia miejsc o znacznym wyężeniu w których mogłyby się pojawiać zaczątki zużycia. Materiałem, z którego zostały wykonane analizowane tłoki jest stop aluminium EN - AC-4100. Do wyznaczenia naprężeń i odkształceń wykorzystano metodę elementów skończonych (MES), stosując warunki zbliżone do istniejących w obiekcie rzeczywistym. Badania symulacyjne przeprowadzono dla dwóch ciśnień spalania (p_{sp}), tj. minimalnego i maksymalnego zgodnie z wartościami zamieszczonymi w tabeli 1.

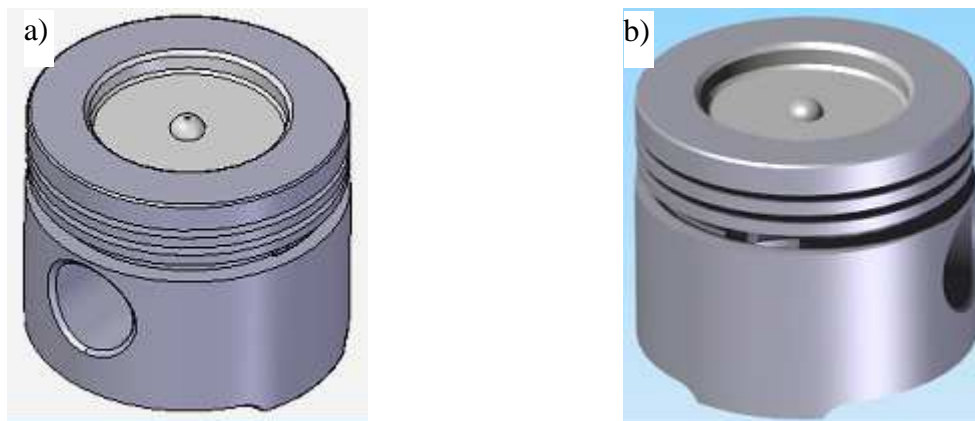
Tabela 1
Parametry pracy obecnie wytwarzanych silników [1]

Typ silnika	Stopień sprężania	Końcowa temperatura sprężania, °C	Końcowe ciśnienie sprężania, MPa	Szczytowe ciśnienie spalania, MPa
Benzynowy	8 – 12	420 – 525	1,4 – 2,4	8,5 – 11
Wysokoprężny	16 – 24	610 – 720	3,6 – 5,8	13 – 20

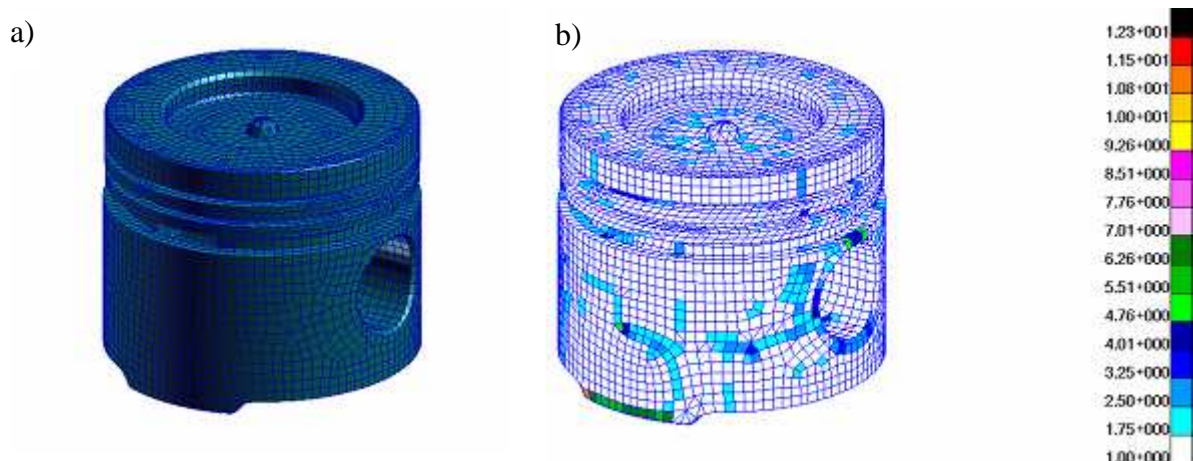


Rys. 3. Denko tłoka z widocznym pęknięciem oraz wykruszeniem w komorze spalania

W wyniku oddziaływania zmiennych warunków eksploatacyjnych dochodzi do zużycia i poważnych uszkodzeń w okolicy denka tłoka. Miejsce to jest szczególnie narażone na zużycie, gdyż bezpośrednio przejmuje naciski pochodzące od ciśnienia spalania. Dodatkowo mogą pojawić się naprężenia termiczne wywołane sączeniem lub nieprawidłowym kierunkiem wtrysku jednej ze strug paliwa. Przykład zużycia spowodowanego cyklicznym oddziaływaniem zmiennego w czasie obciążenia pochodzącego od procesu spalania i sprężania oraz stochastycznych naprężeń termicznych przedstawiono na rysunku 3.



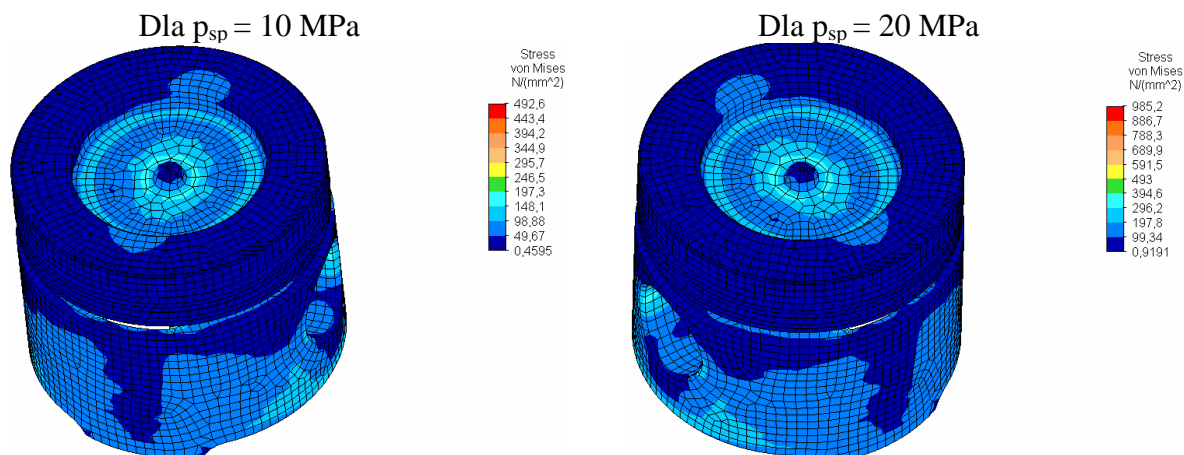
Rys. 4. Model bryłowy tłoka: a) przed renderingiem, b) po renderingu



Rys. 5. Model tłoka: a) siatka MES, b) współczynnik Jacobianu

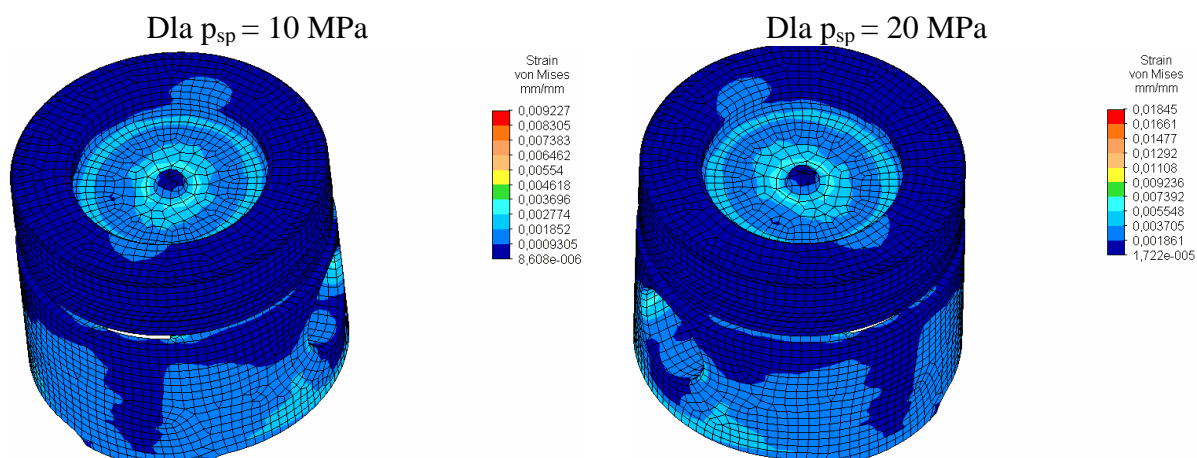
3. Wyniki badań

Zastosowanie Metody Elementów Skończonych pozwoliło na wyznaczenie rozkładu i wartości naprężeń i odkształceń występujących w badanym modelu. Wyniki obliczeń przedstawiono na rysunkach 6-12.



Rys. 6. Rozkład naprężeń tłoka dla różnych ciśnień spalania

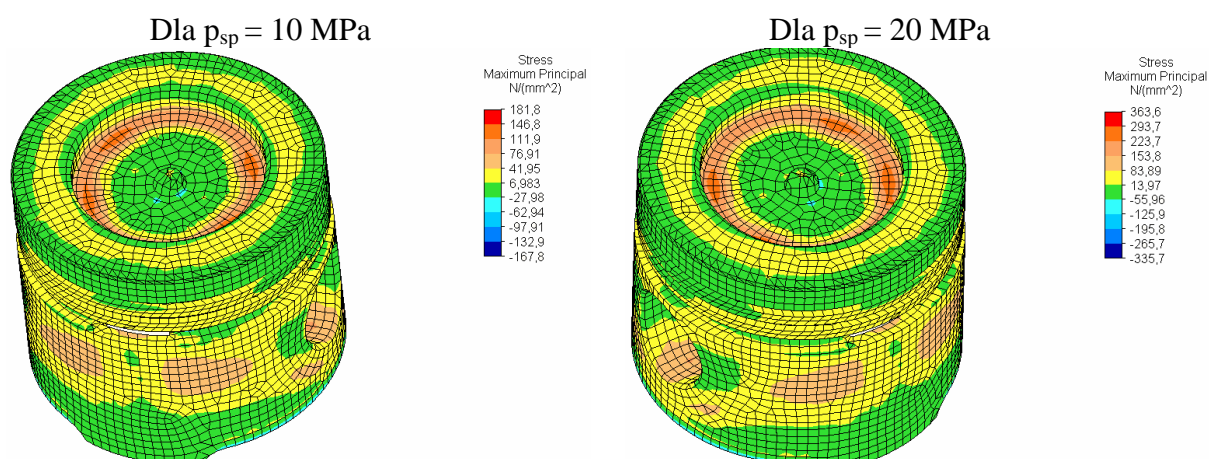
W celu potwierdzenia słuszności przyjętej interpretacji przyczyn powstawania uszkodzeń wykonano badania symulacyjne rozkładu naprężeń i odkształceń tłokana modelu wykonanym w programie Solid Edge przedstawionym na rysunku 4. W celu przeprowadzenia analizy MES dokonano dyskretyzacji modelu bryłowego oraz sprawdzenia stopnia degradacji za pomocą współczynnika Jacobianu (Rys. 5). Naprężenia na denku tłoka pojawiające się w wyniku oddziaływania gazów spalinowych mają nierównomierny rozkład w komorze spalania tłoka osiągając maksimum na krawędzi komory w kierunku prostopadłym do osi sworznia (Rys. 6). Występujące naprężenia/odkształcenia w tym miejscu (Rys. 7) mogą prowadzić do pojawiania się defektów (pęknięć i wykruszeń) na skutek występowania dodatkowego zmęczeniowego zużycia cieplnego.



Rys. 7. Rozkład odkształceń tłoka dla różnych ciśnień spalania

Istotniejszym z punktu widzenia pojawiania się uszkodzeń są naprężenia rozciągające i ich zasięg, które pojawiają się na obwodzie komory spalania (Rys. 8). Skutkiem tych naprężeń są pęknięcia oraz wykruszenia występujące w obrębie komory spalania przedstawione na rysunku 3. Położenie wykruszenia pokrywa się z występowaniem w tym

miejsca naprężeń rozciągających, które umożliwiają powstawanie i propagację uszkodzenia.



Rys. 8. Rozkład naprężeń rozciągających tłoka dla różnych ciśnień spalania

4. Podsumowanie

Badania symulacyjne za pomocą MES pozwalają na wyjaśnienie mechanizmu zużywania tłoka wysokoprężnego silnika spalinowego pojazdu dostawczego pod warunkiem prawidłowo założonych warunków brzegowych. Wiedza o warunkach eksploatacji analizowanego modelu jest niezbędna do otrzymania poprawnych wyników. Badania umożliwiają obniżenie kosztów pomiarów wykonanych alternatywnie na obiekcie rzeczywistym. Analiza MES pozwoliła określić miejsce występowania naprężeń/odkształceń oraz ich wartości [3]. Newralgiczne miejsca mogą stać się początkiem pęknięcia propagującego w wyniku cyklicznie zmiennych obciążeń. Tak dokładne wyznaczenie miejsca nie byłoby możliwe bez znacznych nakładów finansowych stosując inne narzędzia.

Literatura

1. Łyziński M. i inni: Pierścienie tłokowe i ich awarie. Świat Motoryzacji, nr 6/2009, s. 13-15.
2. Kaźmierczak A.: Tarcie w ruchu posuwisto-zwrotnym zespołu tłok-pierścienie-cylinder. Prace Naukowe Instytutu Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Wrocławskiej nr 89, Wrocław 2005.
3. Bara M., Służalek G., Bąkowski H.: Model testera do badań tribologicznych w ruchu posuwisto-zwrotnym. Mechanik nr 1/2009, s. 64-65.

Praca naukowa sfinansowana ze środków na naukę w latach 2009-2010 jako projekt badawczy BW 478/RT1/2009.