Prof. dr hab. Aleksander Sładkowski
Katedra Logistyki i Transportu Przemysłowego
Wydział Transportu
Politechnika Śląska

Katowice, 14.06.2010 r.

POLITECHNIKA ŚLĄSKA BIBLIOTEKA GŁÓWNA w Gliwicach

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr. inż. Aleksandra Hornika pod tytułem

MODELOWANIE OBCIĄŻEŃ CIEPLNYCH ZŁOŻENIA GNIAZDO – ZAWÓR DOŁADOWANEGO SILNIKA Z ZAPŁONEM SAMOCZYNNYM

1. Charakterystyka tematyki rozprawy

Projektowanie nowoczesnych silników przewiduje przeprowadzenie modelowania ich konstrukcji pod względem wytrzymałościowym, zmęczeniowym, wydajnościowym, bezpiecznościowym, ekologicznym, a także pod względem wielu innych aspektów. Analiza rozkładu temperatur w najbardziej obciążonych elementach silników, jakimi są gniazda i zawory, jest niezbędna i od wielu lat jest przeprowadzana.

Współczesna mechanika ciał odkształcalnych w drugiej połowie 20 wieku otrzymała potężne narzędzie do rozwiązania skomplikowanych problemów, które do tej pory rozwiązywane były tylko z dużym przybliżeniem. Takim narzędziem była metoda elementów skończonych. Rozwój techniki komputerowej sprzyja powszechnemu zastosowaniu MES w obliczeniach termicznych oddzielnych części, jak i różnych konstrukcji w całości. Takie wykorzystanie MES jako podstawowego narzędzia projektanta znajduje swoje odbicie w technice samochodowej. Dlatego różne nowe metody skierowane na udoskonalenie w/w obliczeń są docelowymi i interesującymi. Autor pracy doktorskiej podjął wyzwanie - opracować nową metodę

oceny pól temperatur w podstawowych elementach silników. W świecie wyżej wskazanego taki temat jest bardzo aktualny.

Tym nie mniej można zadać pytanie – czy opracowana metoda wyznaczania pól temperatur w silnikach samochodowych musi być ograniczona wyłącznie silnikami z zapłonem samoczynnym? Wydaje się, że zaletą rozpatrywanej pracy jest możliwość wykorzystania metody do innych silników, np. z zapłonem iskrowym, a także do silników z zapłonem samoczynnym wykorzystywanych w innych rodzajach transportu, np. do lokomotyw spalinowych. Oczywiście przy takich obliczeniach trzeba uwzględniać konkretne konstrukcje silników, rodzaje paliwa, reżymy pracy, itd.

Praca doktorska mgr inż. Aleksandra Hornika po za aspektami badawczymi ma cechy utylitarne, co stanowi poważną zaletę podjętych badań.

2. Omówienie treści rozprawy

W recenzowanej rozprawie doktorskiej Autor opracował nową metodę wyznaczania temperatur w złożeniu gniazdo – zawór silnika z zapłonem samoczynnym. Metoda ta różni się tym, że na podstawie znanych zagadnień teoretycznych udało się zadać obciążenie cieplne na podstawie dwustrefowego modelu spalania. Dalej przeanalizowano przy pomocy MES przepływy ciepła pomiędzy poszczególnymi powierzchniami, a także na granicach pomiędzy ciałami sztywnymi i gazami.

Podstawowa część pracy zawiera 89 stron i składa się z 8 rozdziałów, spisu treści, wykazu ważniejszych oznaczeń i literatury. Praca także zawiera 4 załączniki i streszczenie w sumie 15 stron. Wśród tych ośmiu rozdziałów podstawowe badania opisane są w częściach 2, 3, 5, 6 i 7. Inne części zawierają wstęp, cel i zakres pracy, tezę, a także wnioski końcowe.

We wstępie (rozdział 1) uzasadniono wybór tematu pracy, krótko opisano istniejące metody wyznaczania rozkładów temperatur w różnych częściach silników samochodowych.

W części drugiej pracy rozpatrzone zostały różne konstrukcje złożeń gniazdo – zawór. Podano podstawowe geometryczne charakterystyki danych części, możliwe luzy i ich wpływ na temperaturę zaworów, a także omówiono wymagania stawiane do tych części. Dalej rozpatrzono wykorzystywane do tych elementów materiały. Podano ich skład chemiczny, twardości, zakresy temperatur roboczych, sposoby obróbki termicznej, itd.

Rozdział trzeci jest poświęcony analizie istniejących metod wyznaczania odciążeń cieplnych silników samochodowych i modeli procesów spalania. Szczególną uwagę autor poświęcił modelowi dwustrefowemu, jaki został wcześniej opracowany przez naukowców Katedry Eksploatacji Pojazdów Samochodowych. Opisana została metoda teoretyczna, a także algorytm obliczeniowy, która pozwalała wyznaczyć temperaturę wewnątrz komory spalania na różnych etapach pracy silnika.

W rozdziale czwartym zostały sformułowane cel i teza pracy. Jeżeli postawiony cel nie powoduje żadnych wątpliwości, to z tezą pracy można zgodzić cię nie do końca. Warto byłoby sformułować ją bardziej precyzyjnie. Wątpliwością jest to, że jakikolwiek model procesu spalania nie byłby zadany dla silnika, to pozwoliłoby na sformułowanie zagadnień początkowo – brzegowych. Tak istniejące sformułowanie tezy jest oczywiste. Warto byłoby podkreślić w tezie, że wykorzystanie modelu dwustrefowego poprzez sformułowanie zagadnień początkowo – brzegowych pozwala na bardziej dokładną analizę obciążeń cieplnych.

Rozdział piąty poświęcony jest już konkretnemu silnikowi, dla którego podane parametry techniczne, fazy rozrządu, dane laboratoryjne, zawierają prędkość obrotową, temperaturę i ciśnienie. Omówiono parametry konstrukcyjne przyjęte w obliczeniach, a także przebieg wtrysku paliwa.

W rozdziale szóstym przeprowadzono przy pomocy wspomnianego wyżej modelu dwustrefowego analizę temperatur w komorze spalania przy różnych fazach rozrządu. Dla przeprowadzenia takiej analizy było potrzebne także przeanalizowanie procesu przepływu ciepła pomiędzy czynnikiem roboczym a ściankami komory spalania. Wyznaczone w taki sposób temperatury wewnątrz komory spalania

posłużyły do formułowania warunków początkowo – brzegowych dla dalszych obliczeń rozkładów temperatur w złożeniu gniazdo – zawór.

Rozdział siódmy jest największym w pracy nie tylko z powodu swej objętości, ale i ze względu na swoje znaczenie. Przedstawiono w nim opracowany przez autora model gniazda i zaworu na podstawie MES. Najbardziej interesującym w tym rozdziale są zadane warunki brzegowe na powierzchniach przepływu ciepła. Przeprowadzono niestacjonarną analizę przepływu ciepła pomiędzy gniazdem, zaworem, otoczeniem i innymi elementami silnika, w wyniku której zostały wyznaczone pola temperatur, co było celem rozpatrywanej pracy.

Rozdział ósmy zawiera wnioski końcowe. Nawiązując do omówionej wyżej tezy pracy warto podkreślić, że autor zamierza dalej koncentrować się na weryfikacji przedstawionej metody. Pewny niedosyt recenzenta jest związany dokładnie z tym momentem. Rozumiejąc złożoność problemu weryfikacji dla rozpatrywanego zadania warto życzyć powodzenia autorowi w przeprowadzeniu w/w badań.

Pracę kończy spis literatury (76 źródeł). Istotną informację niosą także dołączone załączniki, w których podane są rozkłady temperatur w rozpatrywanych częściach na różnych etapach procesu spalania, a także przebieg zmian maksymalnych temperatur tych elementów z zależności od czasu.

3. Ocena rozprawy

Autor podjął się bardzo trudnego zadania opracowania nowej metody wyznaczania pól temperatur w złożeniu gniazdo – zawór silnika z zapłonem samoczynnym. Można stwierdzić, że to wyzwanie Autor pracy skutecznie rozwiązał. Wspomniana metoda została opracowana i przy jej pomocy przeprowadzono badania temperatury dla silnika laboratoryjnego. Rozpatrywana metoda bazuje się na metodzie elementów skończonych i dwustrefowej teorii spalania. Niestety weryfikacja metody pozostała tylko w planach Autora na przyszłość naukową.

Nie wyjaśniony w pracy został wybór siatki MES, która została użyta do przeprowadzenia badań. Przynajmniej na rysunkach widać, że rozpatrywana była ¼ część zaworu i ½ część gniazda. Dlaczego? Na jakich zasadach była zadawana

gęstość siatek? W jakiej postaci rozpatruje się problem? Jeżeli problem jest osiowosymetryczny, to dlaczego wybrane są siatki przestrzenne, a nie osiowosymetryczne?

Co uzasadniło wybór oprogramowania (moduł GEOSTAR programu COSMOS/M) jeżeli Wydział Transportu dysponuje różnymi rodzajami oprogramowania do obliczeń termicznych z wykorzystaniem MES? W takim oprogramowaniu istnieje możliwość rozpatrywania złożenia gniazdo – zawór jako jedynego całego, a nie pojedynczych ciał.

Praca zawiera kilka formalnych błędów i niedokładnych określeń. Np. na str. 9 pojawiły się oznaczenia parametrów silnika n i Ne. Oznaczenia Ne nie ma ani w spisie ważniejszych oznaczeń, ani w poprzednim tekście. Można tylko domyślać się, że to jest moc silnika.

Na str. 13 do opisania geometrii zaworu użyte są oznaczenia R, d_{tal} i inne. Tym nie mniej wiadomo, że geometria zaworów wylotowego i dolotowego może być różna i warto byłoby używać oddzielnych oznaczeń dla każdego z tych zaworów.

Na rys. 14 (str. 24) podano 2 wykresy rozkładu temperatur. Wyjaśnienia, jaki wykres do czego należy, w opisie rysunku brakuje.

Na str. 42 wzór (29) zawiera błąd. Brakuje wskaźniku stopnia (kwadratu). Także wzór (35) str. 43 napisany jest nie poprawnie.

Istnieją błędy związane z oznaczeniami różnych parametrów. Nie jest zrozumiałe, po co Autor wielokrotnie opisuje ten sam parametr, np. opisanie, że D – średnica cylindra pojawia się na str. 41, 46, 55, 65; że $Re(\varphi_i)$ – liczba Reynoldsa na str. 47, 64, 69, 74. To samo dotyczy liczb Prandtla, Nusselta, indywidualnej stałej gazowej, itd. Nie zrozumiałe jest również, dlaczego został używany wykaz ważniejszych oznaczeń.

Istnieją także przypadki, w których ten sam parametr Autor nazywa inaczej, np. na str. 43 n – to jest prędkość obrotowa wału korbowego, a na str. 46, n – to prędkość obrotowa silnika. Oczywiście to jest ten sam parametr, ale w pracy naukowej warto używać określenia precyzyjne.

Istnieją także problemy z używaniem jednostek. Dla jednostek ciśnienia warto używać oznaczenia układu SI (Pa lub MPa), a nie bar lub mbar (str. 40). Między innymi na str. 3 w wykazie oznaczeń Autor wykorzystuje prawidłowe jednostki.

Więcej problemów Autor ma z jednostkami ciepła, które muszą być mierzone w dżulach [J]. Na stronach 23 i 25 Autor wielokrotnie używa oznaczenia [W] do tych parametrów.

Na stronach 63 – 75 Autor używa numeracji powierzchni przepływu ciepła, wziętej z rys. 28 i 29. Ale opisu tego faktu brakuje i można o tym tylko domyślać się. Przy tym możliwe są nieporozumienia, bo rys. 28 i 29 zawierają te same numery powierzchni.

Na str. 57 Autor powołuje się na literaturę [19], wymieniając warunki jednoznaczności, do których zalicza warunki geometryczne, fizyczne i początkowe. Warunki brzegowe używane dalej zastają pominięte. Można także zastanowić się, czy warto niezmienne parametry geometryczne lub charakterystyki materiałów nazywać słowem „warunek", który przewiduje możliwą zmienność.

Wymienione powyżej błędy i niedokładności nie zmniejszają znacznych zalet rozpatrywanej pracy. Z elementów podnoszących wartość osiągnięć Doktoranta należy dodać, że jest on Autorem lub Współautorem 4 artykułów opublikowanych w znaczących czasopismach i zeszytach naukowych. Ostatni artykuł został opublikowany w Conf. Proceedings „Transport Problems 2010". Materiały pracy były niejednokrotnie referowane na konferencjach naukowych.

Wniosek

Pomimo zauważonych usterek, które nieznacznie wpływają na wartość rezultatów uzyskanych w rozprawie doktorskiej mgr. inż. Aleksandra Hornika pt.: „Modelowanie obciążeń cieplnych złożenia gniazdo – zawór doładowanego silnika z zapłonem samoczynnym" uważam, że Autor poprawnie sformułował i realizował postawiony cel pracy, złożone zagadnienia rozwiązał w sposób wskazujący na dojrzałość badawczą. Wykazał w tym znajomość podstaw metody elementów skończonych, termodynamiki i zagadnień projektowania silników spalinowych.

Praca ma istotne walory poznawcze oraz aplikacyjne i spełnia wymagania Ustawy o stopniach i tytule naukowym z dnia 14 marca 2003 roku, w związku z tym może być dopuszczona do publicznej obrony.