



Opinia

o pracy doktorskiej mgr inż. Aleksandra Hornika nt. „*Modelowanie obciążeń cieplnych złożenia gniazdo - zawór doładowanego silnika z zapłonem samoczynnym*”

Opinia pracy doktorskiej mgr inż. Aleksandra Hornika została opracowana na podstawie pisma-zlecenia Pana Dziekana Wydziału Transportu Politechniki Śląskiej dr hab. inż. Bogusława Łazarza prof. nzw. PS z dnia 27 maja 2010 roku. Praca doktorska mgr inż. Aleksandra Hornika zawiera 105 stron maszynopisu-8 rozdziałów, 4 załączniki, 65 rysunków zawartych w tekście i załącznikach 7 tabel, wykaz ważniejszych oznaczeń.

W rozdziale I Autor podkreśla jakim kryteriom powinny podlegać nowoczesne silniki wysokoprężne a więc odpowiednie osiągi- parametry robocze, zachowanie odpowiedniej trwałości, ograniczenie emisji toksycznych składników spalin oraz dwutlenku węgla co jest limitowane normami europejskimi. W uzasadnieniu wyboru tematu podaje określenie obciążeń cieplnych elementów komory spalania doładowanego silnika wysokoprężnego za pomocą badań modelowych jako istotny element pomocy w projektowaniu nowych bardzo wysiłonych cieplnie silników spalinowych.

Przeprowadzono analizę różnych metod wyznaczania obciążeń cieplnych elementów komory spalania oraz przyjętych do obliczeń warunków wymiany ciepła. Warunki brzegowe określono na podstawie pomiarów laboratoryjnych parametrów pracy silnika wysokoprężnego i zaproponowanej metody modelowania matematycznego. Nowością jest zastosowanie w obliczeniach zmiennych wartości temperatury czynnika roboczego oraz współczynników wymiany ciepła dla pełnego cyklu roboczego silnika. Pozwoliło to na określenie rozkładów temperatury w wybranych elementach silnika również dla nieustalonego przepływu ciepła oraz analizy czasowej rozkładu temperatury na poszczególnych powierzchniach od momentu zimnego rozruchu silnika do osiągnięcia ustalonego stanu pracy.

W rozdziale II omawiane są zagadnienia technologiczne, konstrukcyjne i materiałowe złożenia zawór – gniazdo zaworowe. Na str. 12 Rys. 7 przedstawia wpływ średnicowego luzu zaworowego na temperaturę zaworu oraz jego prowadnicy – dla jakiego obciążenia cieplnego? W rozdziale III Autor definiuje pojęcie obciążenia cieplnego silnika spalinowego, odróżnia obciążenie cieplne komory spalania i obciążenie cieplne części otaczających komorę spalania. Obciążenie cieplne komory spalania Autor określa jako ilość ciepła, którą należy doprowadzić w jednostce czasu do czynnika roboczego, aby w warunkach pracy silnika otrzymać te same zmiany temperatur, jakie osiąga się w wyniku spalania paliwa. Obciążenie cieplne komory spalania wiąże się bezpośrednio ze strumieniem ciepła przepływającym przez ścianki otaczające komorę spalania. Moim zdaniem dla porządku należałoby przytoczyć znane klasyczne parametry obciążenia cieplnego denka tłoka oraz obciążenia cieplnego komory spalania jako związek mocy silnika i poszczególnych powierzchni, oczywiście jako parametry wstępne. Natomiast ocenę obciążenia cieplnego w układzie lokalnym można określić na podstawie znajomości pól temperatur części silnika otaczających komorę spalania

– tłoka, tulei cylindrowej, głowicy, zaworów, gniazd zaworowych i innych elementów. Pole temperatur, a więc przebieg izolinii w danym elemencie silnika pozwala na określenie maksymalnych temperatur, gradientów temperatur odpowiedzialnych za naprężenia termiczne i odkształcenia. Tak więc znajomość rozkładu temperatur pozwala nawet jakościowo przewidzieć miejsca w elementach silnikowych, w których przy przekroczeniu dopuszczalnych obciążeń silnika można spodziewać się uszkodzeń ze względu na naprężenia termiczne. Są to informacje niezbędne dla projektantów i użytkowników silników spalinowych. Obciążenie cieplne zaworów i gniazd zaworowych Autor przeanalizował i przyjął bilans cieplny dla zaworu wylotowego, przedstawił rozkład temperatur w przekroju grzybka i na obrysie zaworu – Rys. 13 i 14 – podając źródło – Matzke, WKiŁ 1989, a więc niezbyt nowa pozycja. W dalszej części rozdziału III Doktorant na 10 stronach w sposób opisowy przedstawił modele procesu spalania, aby uzyskać własności cieplne i temperaturę ładunku w komorze cylindra.

W rozdziale IV Doktorant przedstawił cel i zakres pracy oraz tezę pracy. Określił dla pełnego cyklu pracy silnika zmiennych w czasie warunki brzegowe III rodzaju charakteryzowane przez przebieg zmian temperatury czynnika roboczego w cylindrze oraz współczynników wymiany ciepła – a dokładniej należałoby uściślić – współczynników przejmowania – wnikania ciepła. Modelowanie czasowo – przestrzennych rozkładów temperatury w zaworach oraz gniazdach zaworowych przy zastosowaniu MES. W rozdziale V przedstawiono obiekt badań – silnik pięciocylindrowy, wysokoprężny, doładowany z chłodnicą powietrza. Wykres indykatowy wykonany przez AVL w Grazu i Katedrę Ciepłych Maszyn Tłokowych Politechniki Łódzkiej filia Bielsko – Biała. Na Rys. 19 w rozdziale VI przedstawiono przebieg zmian temperatury ładunku w cylindrze na podstawie przyjętego wykresu indykatowego dla prędkości obrotowej $n = 4250$ obr/min i współczynnika nadmiaru powietrza $\lambda = 1,69$ – nie podano obciążenia silnika i metody obliczeń temperatury. Na str. 46 przyjęto model Woschniego bez analizy innych modeli, które mogłyby być użyte ze względu na podobieństwo obiegu w badaniach – problemy z uniwersalizacją wzorów i współczynników. Podobnie ma się sprawa wyznaczania globalnego współczynnika przejmowania – wnikania ciepła, arbitralnie przyjęto wzoru Woschniego i Sitkei'a – brak analizy i przy tych danych przedstawiono na Rys. 20 wykres zmian globalnego współczynnika przejmowania ciepła.

W rozdziale VII Autor przedstawia model geometryczny zaworu dolotowego i wylotowego przy pomocy modułu Geostar programu Cosmos/M w oparciu o elementy rzeczywiste silnika. Przyjęto model płaski, dwuwymiarowy oraz model trójwymiarowy zaworów i gniazd zaworowych, który mimo symetrii geometrycznej elementów jest bardziej przydatny, ze względu na niesymetryczne obciążenie ciepłe. Przyjęto warunki początkowe, na początku obliczeń rozkład temperatur jest stały i równy temperaturze otoczenia 296 K – dlatego taka wartość. Na str. 64, Rys. 30 podana wartość współczynnika A w funkcji liczby Reynoldsa oraz stosunku wzniosu zaworu do średnicy wewnętrznej gniazda zaworowego. Wykres ten podawany był już w publikacji S. Wiśniewskiego – Obciążenia cieplne silników tłokowych, Warszawa WKiŁ 1972 i moim zdaniem Doktorant powinien wykazać się własną inwencją we wprowadzaniu nowszych poglądów. Wyjaśnienia wymaga też przyjęcie zastępczych współczynników przejmowania ciepła – str. 67 pomiędzy przyłgnięciem zaworu i gniazdem, przewodnicą i głowicą oraz po stronie wody chłodzącej silnika jednakowych dla zaworu dolotowego i wylotowego, jak również warunków eksploatacyjnych i stanu technicznego silnika – kamień kotłowy. Wyniki przeprowadzonych badań modelowych Doktorant przedstawił w postaci wykresów – Rys. 40, 41, 42, 43 – temperatur maksymalnych i szybkości zmian temperatury maksymalnej w zaworze dolotowym i wylotowym, gnieździe zaworu dolotowego i wylotowego. Pozwoliło to określić maksymalną temperaturę dla zaworu dolotowego dla ok. 620 K i dla zaworu wylotowego na ok. 885 K, a dla gniazda zaworu

dolotowego ok. 510 K i dla gniazda zaworu wylotowego na ok. 587 K. Maksymalna wartość gradientu temperatury dla zaworu dolotowego, średnio ok. 8 K/mm a w miejscu występowania przylgni zaworowej – średnio ok. 13 K/mm w ciągu pierwszej sekundy pracy silnika.

Na podstawie analizy kompletu obliczeń modelowych Autor ustalił maksymalną wartość gradientu temperatury na ok. 48 K/mm. Zastosowanie nowoczesnej metody obliczeń symulacyjnych umożliwiło przeprowadzenie analizy przebiegu zmian temperatur, jak również szybkości zmian w funkcji czasu na poszczególnych powierzchniach wspomnianych elementów, co pozwoliło na określenie miejsc i maksymalnych gradientów temperatury niebezpiecznych dla tych elementów silnika.

Podsumowanie i wnioski

Jak wspomniałem we wstępnej opinii, praca jest ciekawa pod względem naukowym i praktycznym, pomocna dla konstruktorów i użytkowników silników spalinowych. Dla określenia jakościowego obliczonych parametrów obciążenia cieplnego wystarczające jest przyjęcie warunków brzegowych III rodzaju, jednak wartości ich mieszczą się w szerokich granicach i różnią się znacznie w zależności od stosowania wzorów różnych autorów. W związku z tym dla określenia ilościowego – dokładnego – parametrów obciążenia cieplnego wydaje się bardziej zbliżone do rzeczywistości przyjęcie warunków brzegowych I rodzaju, co jest technicznie możliwe. Pomiar temperatur na powierzchniach zaworów i gniazd zaworowych na pracującym silniku jest łatwiejszy niż na przykład w tłoku. Można również otrzymać wartości temperatur dla tych elementów w badaniach bezsilnikowych symulując odpowiednie obciążenie cieplne. Otrzymane w ten sposób temperatury elementów silnikowych moim zdaniem, jako warunki brzegowe I rodzaju będą bardziej zbliżone do rzeczywistego obciążenia cieplnego silnika jako całości.

Zamieszczone uwagi i sugestie mają charakter dyskusyjny i nie umniejszają wysokiej wartości pracy, tym bardziej, że Autor w rozdziale VIII – Wnioski na zakończeniu pisze, że dalsze badania powinny koncentrować się na weryfikacji współczynników wymiany ciepła i na próbach doświadczalnego określenia rozkładów temperatury dla stanu nieustalonego, co byłoby weryfikacją doświadczalną zastosowanej metody modelowej, z czym się w pełni zgadzam.

W konkluzji, na podstawie całości przeprowadzonych obliczeń modelowych stwierdzam, że praca doktorska mgr inż. Aleksandra Hornika na temat „Modelowanie obciążeń cieplnych złożenia gniazdo – zawór doładowanego silnika z zapłonem samoczynnym spełnia wymagania ustawy o stopniach i tytule naukowym i Autor może być dopuszczony do publicznej obrony pracy doktorskiej.

Dr hab. inż. Jerzy Jaskólski

Prof. nzw. Politechniki Krakowskiej