

Prof. zw. dr hab. inż. Jan Piwnik
Zakład Inżynierii Produkcji
Wydział Mechaniczny
Politechnika Białostocka

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Adama Marka Wittek pt.: „Wpływ czynników konstrukcyjnych i technologicznych na trwałość stabilizatorów w pojazdach samochodowych”

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Bogusław Łazarz, prof. nzw. w Politechnice Śląskiej.

Podstawa opracowania recenzji: pismo Dziekana Wydziału Transportu Politechniki Śląskiej z dnia 7 lutego 2013 r.

1. Wybór problematyki, teza i cel pracy

Współczesne stabilizatory samochodowe są to pręty gięte przestrzennie w kształcie litery U z częścią tylna-grzbietową i ramionami. Wykonywane są ze stali sprężynowej o kołowym lub pierścieniowym przekroju poprzecznym.

Stabilizator poprzeczny odciąża bardziej odkształcony element resorujący. Wykonuje on przemieszczenie poprzeczne, boczne podczas jazdy samochodu na zakręcie bez oddziaływania na koła, dzięki czemu koła wewnętrzne nie tracą przyczepności.

Stabilizator samochodowy pracuje w bardzo złożonych, zmiennych w czasie obciążeniach. Stąd producenci współczesnych samochodów projektują i wykonują stabilizatory z uwzględnieniem najnowszych osiągnięć mechaniki komputerowej i doświadczalnych metod analizy struktury i oceny wytrzymałości doraźnej oraz zmęczeniowej w warunkach odpowiadających warunkom eksploatacyjnym pojazdu.

Paca ma charakter obliczeniowo-doświadczalny i dotyczy związku parametrów geometrycznych i materiałowych stabilizatorów ze stanem naprężeń głównie w strefach promieniowych jak też ich wpływu na wytrzymałość zmęczeniową.

Przedstawione w pracy obliczenia i badania posłużyły dalej do optymalizacji i modyfikacji cyklu konstrukcyjno-technologicznego w procesie produkcyjnym.

Konsekwentna realizacja celów została potwierdzona wynikami obliczeń i badań doświadczalnych udowadniając następującą tezę: uzyskanie wymaganej trwałości zmęczeniowej stabilizatorów samochodowych wymaga jednoczesnego uwzględnienia w procesie projektowania wszystkich istotnych czynników konstrukcyjnych i technologicznych. W szczególności należy uwzględnić cechy geometryczne takie jak proporcje promieni gięcia stabilizatorów do ich średnic oraz parametry wytrzymałościowe wybranego materiału uzyskiwane w założonym cyklu produkcyjnym.

Uważam, że podjęta w rozprawie problematyka, tezy i cele pracy są naukowo aktualnym i trudnym zadaniem mechaniki i eksploatacji pojazdów. Mają przy tym duże znaczenie praktyczne.

2. Ocena merytoryczna i formalna

Rozprawa jest obszerna, zawiera 216 stron i składa się z części opisowej i badawczej, w których zamieszczono około trzystu rysunków i trzydziestu tablic. Zamieszczona bibliografia zawiera 151 pozycji, z czego większość stanowią aktualne publikacje zagraniczne wydane po roku 2000.

Praca została podzielona na dwanaście rozdziałów. W rozdziałach od trzeciego do jedenastego pokazano własne wyniki badań. Pierwsze dwa rozdziały dotyczą encyklopedycznego opisu teorii stabilizatorów samochodowych, obróbki cieplnej, badań zmęczeniowych, zarysu teorii gięcia i współczesnych metod produkcyjnych. Zajmują one 113 stron i są niepotrzebnie rozwlekłe.

Oryginalne, wartościowe naukowo wyniki badań obliczeniowych i doświadczalnych zawierają rozdziały od piątego do jedenastego. W zakresie analizy numerycznej metodą MES wykonano cztery oryginalne zadania:

1. Opracowanie reprezentatywnego modelu obliczeniowego stabilizatora rurowego i masywnego:
 - a) opracowanie modelu zastępczego łożyskowania stabilizatora,
 - b) dobór promieni gięcia,

- c) generacje siatki (metody prowadzące do najlepszych porównywalnych z obliczeniami analitycznymi wyników),
 - d) uwzględnienie owalizacji w obliczeniach (niemożliwe w obliczeniach analitycznych) jej wpływu na wielkość naprężeń zastępczych,
 - e) uwzględnienie działania karbu,
 - f) obliczenia wielkości i rozkładu naprężeń zastępczych w obciążonym stabilizatorze w zależności od parametrów geometrycznych i założonego obciążenia (wymaganej sztywności),
2. Symulacja dynamiczna procesu gięcia (gięcie na gorąco w stole do gięcia) obserwacja takich zjawisk jak owalizacja w strefie giętej – promieniowej, sprężynowanie giętego stabilizatora rurowego, rozkład naprężeń w strefie giętej – odkształcanej. Z symulacji tej wynikają praktyczne wskazówki do konstrukcji przyszykowania do gięcia stabilizatora.
 3. Obliczenia zmęczeniowe stabilizatorów w oparciu o wypracowane modele (pkt 1).
 4. Symulacja procesu nagrzewania (rozkład temperaturowy) niezbędnego do dalszej obróbki cieplnej – odpuszczanie średnie.

Wykorzystano w tym celu programy **Abaqus**, **HyperWorks/Radioss/HyperForm**, **Ansys**.

Jednocześnie wykonano obliczenia analityczne i porównano ich wyniki z wynikami metodą MES. Zrealizowano w tym celu następujące zadania:

1. Wykonano obliczenia analityczne, statyczne stabilizatorów w celu dobrania optymalnego stosunku promienia gięcia do średnicy pręta $k = R/d = 2,2$ (przeliczono ponad **100** różnorodnych stabilizatorów – w pracy udokumentowano obliczenia **30** stabilizatorów rys. 6.16 podrozdział 6). Szczegółowe obliczenia analityczne i z wykorzystaniem **MES** (obliczenia statyczne i dynamiczne) przeprowadzono na **3** wybranych stabilizatorach (kryterium wyboru: geometria, parametry wytrzymałościowe, dobór materiału).
2. Obliczenia wielkości i rozkładu naprężeń zastępczych w obciążonym stabilizatorze w zależności od parametrów geometrycznych i założonego obciążenia (wymaganej sztywności).

Sz szczególnie cenną wartość mają pokazane w rozdziale ósmym wyniki badań zmęczeniowych.

Wybrane stabilizatory zostały poddane testom zmęczeniowym na maszynach zmęczeniowych firmy **Franke**. Testy zmęczeniowe pokrywają się z wynikami dynamicznych obliczeń **MES** wykonanych z wykorzystaniem programu **nCode DeignLife**. Przełomy zmęczeniowe zostały poddane szczegółowej analizie (badania metalograficzne).

W przypadku analizowanych w pracy stabilizatorów materiałem jest stal 34MnB5 i 55Cr3. W przypadku stabilizatorów wykonanych ze stali 34MnB5 kierowano się tylko i wyłącznie wysokimi parametrami wytrzymałościowymi stali zaniedbując wyboru optymalnego dla tego materiału procesu technologiczno – produkcyjnego. W konsekwencji doprowadziło to przedwczesnego zniszczenia stabilizatorów podczas testów zmęczeniowych (nie osiągając wymaganej wytrzymałości zmęczeniowej). Powodem przedwczesnych pęknięć przy błędnie założonym procesie technologiczno – produkcyjnym było wytrącanie się ferrytu w strefach giętych. Wytrącanie ferrytu udało się poprzez optymalizację parametrów konstrukcyjnych stabilizatora (w szczególności promienia gięcia) i oprzyrządowania na tyle ograniczyć, że w konsekwencji uzyskano wymaganą liczbę cykli zmęczeniowych.

Stabilizator masywny wykonany ze stali **55Cr3** osiągnął podczas testów zmęczeniowych wymaganą liczbę cykli zmęczeniowych. Właściwie dobrano proces technologiczno – produkcyjny i rodzaj oprzyrządowania.

Przedstawiona w rozdziałach od piątego do dziesiątego obszerna dokumentację i analiza badań doprowadziła do następujących wartościowych naukowo i praktycznie wniosków:

1. Przeprowadzone kompleksowe obliczenia i symulacje potwierdzają ich celowość i zasadność w fazie konstrukcyjnej. Dobór prawidłowych optymalnych parametrów geometrycznych stabilizatora takich jak np. stosunek promienia gięcia do średnicy, sztywności jest gwarantem uzyskania wymaganej wytrzymałości zmęczeniowej.
2. Obliczenia wytrzymałościowe stabilizatorów powinny być przeprowadzone zarówno metodą analityczną jak i z wykorzystaniem **MES**. Aby zapewnić prawidłową weryfikację modeli obliczeniowych muszą być przeprowadzone **bezwzględnie** testy zmęczeniowe.
3. Należy podkreślić, że mamy w pracy do czynienia ze stabilizatorami z seryjnej produkcji. Optymalizacja oprzyrządowania i samego stabilizatora wymaga

- każdorasowego przyzwolenia zlecniodawcy. Powiązane jest to z dużym nakładem pracy i kosztami. Aby uniknąć tego rodzaju problemów należy (jak przedstawiono i przeanalizowano w pracy) przeprowadzić kompleksowe obliczenia i symulacje w fazie konstrukcyjnej (stabilizatora i oprzyrządowania) przed przystąpieniem do produkcji seryjnej. Wszystkie analizowane stabilizatory zostały poddane badaniom metalograficznym i testom zmęczeniowym w fazie prototypowej i w produkcji seryjnej.
4. Optymalizacja samego procesu produkcyjnego w wstępnej produkcji seryjnej jest tylko częściowo możliwa. Uzależnione jest to od możliwości technologiczno – produkcyjnych zakładu
 5. Przeprowadzone prawidłowo obliczenia, symulacje i weryfikacja modeli obliczeniowych są bazą wyjściową do doboru prawidłowego, optymalnego procesu produkcyjnego (ustalenia wszystkich parametrów) bez potrzeby prowadzenia próbnych gięć w linii produkcyjnej.
 6. Jak wykazano w pracy wyniki obliczeń i symulacji pokrywają się z testami i analizami przeprowadzonymi na stabilizatorach z produkcji prototypowej i seryjnej.
 7. Na bazie dokonań i wyciągniętych z pracy wniosków zaproponowano firmie ThyssenKrupp Federn & Stabilisatoren GmbH zmianę – optymalizację procesu konstrukcyjno – technologicznego (rys. 4.1 i 4.2 podrozdział 4). Propozycje zmian zostały pozytywnie przyjęte i są sukcesywnie wdrażane.

Uważam, że pokazana w pracy struktura i rezultaty łączenia obliczeń, badań stabilizatorów i technologii produkcji zasługują na wysoką ocenę naukową.

Praca jest napisana i opracowana starannie. Zwraca tu uwagę kompleksowość analizy obliczeniowej, doświadczalnej i technologicznej.

3. Uwagi krytyczne.

Pracę cechuje dobry poziom merytoryczny. Doktorant nie ustrzegł się jednak pewnych niedociągnięć.

- Została zachwiana równowaga objętościowa części literaturowej w stosunku do części prezentującej oryginalne wyniki badań.

- Słabością pracy są popełniane miejscami błędy w nazewnictwie naukowym i technicznym.
- Brakuje też szerszego oglądu analizy pracy stabilizatorów z punktu widzenia zastosowań modeli opartych na związku teorii nośności granicznej i wytrzymałości zmęczeniowej.

Powyższe uwagi nie obniżają mojej wysokiej oceny pracy i wynikają z braku doświadczenia publicystycznego Autora.

4. Wniosek końcowy.

Mgr inż. Adam Marek Wittek wniósł oryginalne elementy do inżynierskiej mechaniki i technologii pojazdów. Wykazał to wdrożeniem kompleksowej analizy pól naprężeń, wytrzymałości zmęczeniowej, struktury i technologii produkcji do wytwarzania stabilizatorów samochodowych w nowoczesnych pojazdach osobowych.

Doktorant wykazał się umiejętnością korzystania z programów numerycznych. Jednocześnie wykonał dużo doświadczeń związanych z wyznaczaniem zaawansowanych własności mechanicznych materiału.

Doktorant udokumentował dobrze wiedzę naukową techniczną z zakresu podstaw mechaniki materiałowej i konstrukcji maszyn.

Uwzględniając oryginalne wyniki Doktoranta i możliwość ich wdrożeń w przemyśle samochodowym uważam, że recenzowana rozprawa zasługuje na wyróżnienie i spełnia wszystkie wymagania Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym, w dziedzinie nauk technicznych, w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn i wnioskuję o dopuszczenie rozprawy doktorskiej mgr inż. Adama Marka Wittek do publicznej obrony.



Jan Piłchowski