

Lublin, dn. 08.04.2013 r.

dr hab. inż. Andrzej Teter, prof. PL
Katedra Mechaniki Stosowanej
Wydział Mechaniczny
Politechnika Lubelska

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Przemysława Siedlaczka zatytułowanej:
„Numerycznie wspomagana metoda prognozowania trwałości zmęczeniowej
z uwzględnieniem gradientu naprężeń własnych”
Promotorzy: dr hab. inż. Tomasz Kubiak, prof. nadzw. PL, dr inż. Jacek Sawicki

Podstawą do opracowania niniejszej oceny stanowi pismo W1/43/2013 Prodziekana Wydziału Mechanicznego Politechniki Łódzkiej, prof. dr hab. inż. Zbigniewa Kołakowskiego z dnia 20.03.2013 r.

1. OMÓWIENIE PRACY

W przedstawionej do oceny rozprawie doktorskiej mgr inż. Przemysława Siedlaczka zajmowano się prognozowaniem trwałości zmęczeniowej dla próbek zawierających naprężenia własne wywołane procesem hartowania. W rozważaniach teoretycznych zastosowano metodę elementów skończonych, bazując na komercyjnym systemie ANSYS. Dodatkowo przeprowadzono badanie eksperymentalne na zaprojektowanym stanowisku pozwalającym prowadzić przyspieszone badania trwałości zmęczeniowej próbek w pobliżu rezonansu.

Praca przedstawiona do recenzji została napisana na 147 stronach i zawiera: stronę tytułową, spis treści, dziewięć rozdziałów stanowiących zasadniczą część merytoryczną pracy z wnioskami końcowymi, spis literatury. W teksie rozprawy zabrakło jednak streszczenia rozprawy zarówno w języku polskim jak i angielskim.

Rozdział 1 to analiza stanu wiedzy z zakresu wytrzymałości zmęczeniowej, w której Autor na tle bogatego przeglądu literatury opisuje zasadność podejmowanego zagadnienia. W następnym rozdziale Autor zamieszcza cel oraz tezę pracy. W rozdziale 3 przedstawiono symulacje MES powstawania naprężeń własnych w hartowanych próbkach. Opisano dodatkowo modelowanie wymiany ciepła oraz przemian fazowych w procesie hartowania.

W rozdziałach 4 i 5 Autor przeanalizował wpływ naprężeń własnych na wytrzymałość zmęczeniową. Powadzono symulacje MES oraz badania eksperymentalne na kilku próbkach,

które zestawiono z wynikami badań prowadzonych przez innych autorów. Autor otrzymał najniższe wartości wytrzymałości zmęczeniowej ze wszystkich prezentowanych wyników. Kolejne rozdziały to podsumowanie oraz wnioski.

Na końcu rozprawy znajdują się: spis cytowanej literatury liczący 245 pozycji, w tym 4 prace, w których Autor miał swój udział. Prace Autora są tematycznie powiązane z problematyką ocenianej rozprawy doktorskiej.

2. OCENA PRZEDŁOŻONEJ ROZPRAWY

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mgr inż. Przemysława Siedlaczka stanowi oryginalne opracowanie Autora. Do najważniejszych oryginalnych osiągnięć przedstawionych przez Autora zaliczam:

- 1) opracowanie dwu- i trójwymiarowych modeli MES procesów hartowania, co pozwala śledzić zmianę odkształceń i naprężeń w czasie i tym samym określić powstałe rozkłady naprężeń własnych;
- 2) zaproponowanie nowych skalarnych parametrów określających rozkład naprężeń własnych w próbce przestrzennej;
- 3) adaptację stanowiska badawczego do badań zmęczeniowych w pobliżu rezonansu;
- 4) opracowanie oprzyrządowania, zaprojektowanie próbki oraz zaproponowanie procedury przyspieszonych badań zmęczeniowych;
- 5) opracowanie metody prognozowania właściwości zmęczeniowych dla próbek zawierających naprężenia własne;
- 6) zaproponowanie metody przekształcenia naprężenia średniego.

Wykonane badania eksperymentalne, symulacje numeryczne MES, opracowane modele oraz uzyskane wyniki są oryginalne i stanowią wkład Autora w rozwój mechaniki. Uzyskane wyniki są wartościowe, co znajduje potwierdzenie w postaci opublikowanych przez Autora prac oraz z porównania otrzymanych wyników z danymi publikowanymi przez innych autorów. Podjęta problematyka prognozowania trwałości zmęczeniowej jest ważnym zagadnieniem zarówno z punktu widzenia praktyki inżynierskiej, jak i celów poznawczych. Podjętą przez Autora problematykę uważam za ważną z naukowego punktu widzenia. Przedstawiona metoda symulacji numerycznej MES oraz uzyskane wyniki są oryginalne i stanowią wkład Autora w rozwój mechaniki.

Mgr inż. Przemysław Siedlaczek posiada ogólną wiedzę teoretyczną w zakresie wytrzymałości zmęczeniowej, obliczeń numerycznych MES oraz potrafi wykorzystać możliwości komercyjnych pakietów obliczeniowych. Autor postawił sobie jasny cel i samodzielnie rozwiązał oryginalny problem naukowy. Posiada umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Układ pracy jest logiczny, poprawny i czytelny.

3. UWAGI KRYTYCZNE, PYTANIA MERYTORYCZNE I DYSKUSYJNE

Przedstawiona do oceny rozprawa zawiera wszystkie niezbędne elementy pracy naukowej. Przy pozytywnej ocenie przedstawionej do oceny rozprawy muszą jednak zwrócić uwagę na niektóre jej mankamenty:

- 1) Praca jest obszerna. Moim zdaniem zawiera materiały powszechnie znane, które bez straty dla wartości rozprawy należy pominąć lub istotnie skrócić: np. punkt 1.1, str. 4-9 (rozwój pęknięcia zmęczeniowego, opis wyznaczenia granicy zmęczenia z przykładowym wykresem Wöhler - rys. 3, str. 9), punkt 1.3, str. 14-19 (czynniki wpływające na wytrzymałość zmęczeniową). Dotyczy to również treści, z których Autor nie korzysta: np. punkt 3.3.5 (modelowanie naprężeń własnych w kole zębatym).
- 2) Str. 4²- nie zgadzam się z poglądem Autora, że „...*zmęczenie materiału dotyka wielu konstrukcji poddanych zmiennym obciążeniom...*”, moim zdaniem zjawisko to dotyka większości (nie wielu) nowoczesnych konstrukcji projektowanych dla wymaganych resursów.
- 3) Przedstawiony bogaty przegląd literatury oraz wstęp wskazują, że Autor dobrze poznał omawianą w rozprawie tematykę. Logicznie umotywował zasadność podjętych badań opisanych w rozprawie. Mam pytanie, czy zdaniem Autora konieczne jest dalsze pogłębianie wiedzy z zakresu wpływu naprężeń wstępnych na wytrzymałość zmęczeniową, skoro z raportu o częstość wystąpienia uszkodzeń zmęczeniowych (rys. 5, str 17) naprężenia własne spowodowały ok. 5% uszkodzeń zmęczeniowych elementów narażonych na obciążenie zmienne? Dodatkowo uwzględniając konkluzję końcową: „*Wyznaczone numerycznie współczynniki wpływu ulepszenia warstwy na granicę zmęczeniową mieszczą się w zakresie podanym w literaturze*”.

- 4) Na początku rozprawy brakuje spisu stosowanych oznaczeń. Bardzo to utrudnia lekturę pracy. Moim zdaniem jest to kluczowy element rozprawy naukowej. Dodatkowo pozwala wprowadzić jednolity system oznaczeń. W tekście rozprawy spotykamy, że Autor nie opisuje wszystkich wielkości w tekście np.: str. 26, wzór (3-8), czy str. 86 – wzory: (5-10), (5-11), str. 93 – wzór (5-12). Dodatkowo brak jednoznaczności oznaczeń np. w całej pracy naprężenia są oznaczane raz jako σ , w innych miejscach jako S . Szczególnie jest to widoczne na stronie 113 - wzory od (6-1) do (6-4). Analogicznie sztywność to: K , C , k (str. 63) oraz E (str. 65-66), czy współczynnik stanu powierzchni β_{pz} , czy B_{pz} (np. str.19). Przygotowanie spisu oznaczeń pozwala uniknąć opisywanych powyżej błędów.
- 5) W wielu miejscach rozprawy Autor stosuje zamiast notacji wykładniczej w zapisie liczb, notację naukową np.: str. 6, 9, 21, 65, 66, 71. Moim zdaniem należy ujednoczyć zapis liczb. Dodatkowo w zapisie liczb jako separator dziesiętny stosujemy przecinki nie kropki. Przy tej okazji nasuwają się dwie dodatkowe uwagi: po co Autor zapisuje wielkości bezwymiarowe z jednostką: np. str 27, $\Delta V/V$ [mm^3/mm^3]? Druga sprawa, czym podyktowana jest bardzo duża dokładność przy podawaniu wartości np. masy uchwytu z próbką (10 mg) str. 66, rys. 75 – $m=0,64252\text{kg}$, str. 70, rys. 79 – $0,37276\text{kg}$?
- 6) Następną ogólną uwagę dotyczy zamieszczonych w rozprawie rysunków, które nie mają cytowań w swoich opisach. Proszę podać źródło, z którego pochodzą rysunki: 3-6, 10 oraz uzupełnić autocytowania.
- 7) Dyskusyjne wydają się zarówno cel jak i teza pracy. Moim zdaniem celem pracy jest opracowanie procedury oceny trwałości zmęczeniowej, a nie „*metodologii projektowania właściwości zmęczeniowych*”. Zaś w tezie pracy należy usunąć stwierdzenie ogólne, dla źródeł pochodzenia naprężeń własnych. Autor w rozprawie skupił się na hartowaniu i nie badał procesów wytwarzania i innych typów obróbki cieplnej. Proponuję tezę w następującej formie: „*Istnieje możliwość opracowania modelu numerycznego MES służącego prognozowaniu trwałości elementów konstrukcyjnych posiadających naprężenia własne (z dodatkowym uszczegółowieniem) powstałe w procesie hartowania*”.

- 8) Dlaczego Autor do określenia rozkładu naprężeń własnych zastosował metodę usuwania warstwy Waismanna-Phillipsa, która uśrednia mierzone wartości naprężeń własnych, a nie zastosował metody wierconego otworu?
- 9) Str. 63⁷ nie zgadzam się z poglądem Autora: „Charakterystykę ... układu o jednym stopniu swobody jakim jest drgająca próbka...”. Belka jest układem o wielu stopniach swobody. Oczywiście można zbudować model zastępczy belki o masie zredukowanej (5-2) oraz sztywności (5-3). Należy jednak zauważyć, że wzór (5-3) jest błędnie zapisany, bo ρ nie może być gęstością. Występuje we wzorze niezgodność jednostek. Zaś sztywność dotyczy belki o stałym przekroju. Na zakończenie warto dodać, że Autor i tak nie korzysta z tych wzorów bo parametry układu określa doświadczalnie w próbie statycznej str. 80-81.
- 10) Str. 65-66, rys. 72-74, co to jest lokalna sztywność E ?
- 11) Moje wątpliwości budzi sama próbka. Czy nie lepiej było dobrać próbkę o stałym przekroju, krótszą, ale na końcu obciążoną masą skupioną? Przyjmuję, że grubość próbki 7,5mm nie może ulec zmianie, ze względu na wymagane warunki prowadzenia procesu hartowania. Dobierając wartość masy na końcu moim zdaniem w szerszym zakresie można by prowadzić badania doświadczalne na posiadanym wzbudniku.
- 12) W badaniach doświadczalnych np.: str. 67, rys. 76 i dalej Autor błędnie używa pojęcia ekstensometr. Na rysunku przedstawiono czujnik laserowy LTC-050-10, a nie ekstensometr, który mierzy przemieszczenia końca próbki. Dodatkowo wyjaśnienia wymaga sposób mocowania tego czujnika, aby można było określić czy mierzył przemieszczenie próbki względem nieruchomego czujnika, czy przemieszczenie względne próbki względem drgającego czujnika? W jaki sposób sprawdza, że czujnik jest na sztywno zamocowany do podłoża? Szczególnie jest to ważne w kontekście mierzonych wielkości podanych z bardzo dużą dokładnością (1 μ m): str. 76, $u_k=1,0755$ mm oraz $u_k=0,5512$ mm.
- 13) Dlaczego w pracy Autor nie używa powszechnie uznanej nazwy wykres Wöhlera?

4. USTERKI EDYCYJNE I JĘZYKOWE

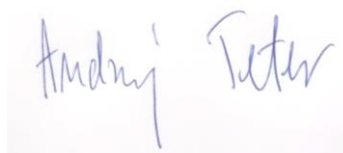
Pod względem językowym praca nie budzi moich zastrzeżeń. Drobne błędy i niezręczności językowe np.: str. 9₁ „...nauka o zmęczeniu materiałów opiera się silnie na wynikach doświadczeń eksperymentalnych...”, str. 11₃ „...informacje te traktuje się współczynnikami korygującymi wytrzymałość...” zaznaczyłem w przedstawionym do recenzji egzemplarzu pracy. Jednakże chciałbym zwrócić uwagę na kilka szczegółów:

- 1) zmienne w tekście muszą być pisane kursywą i co ważne indeksy muszą być obniżone,
- 2) cytowania w tekście należy grupować i umieszczać w ciągu rosnącym,
- 3) cytując prace należy posługiwać się wyłącznie nazwiskiem pierwszego autora i pomijać inicjały, czy imiona. W wielu cytowaniach Autor rozprawy posługuje się nazwiskiem ostatniego autora. Cytowania wymagają ujednoczenia,
- 4) język rozprawy jest miejscami zbyt kwiecisty, czego w rozprawach naukowych należy unikać, np.: str. 1 – rys. 1, str. 7⁸: „...pęknięcie meandruje...”, str. 9₅ „...w nauce o zmęczeniu materiałów wciąż pozostaje wiele otwartych pytań...”, str. 11¹³ „...Obecnie eksplorowane są wszelkie teorie...”,
- 5) mało czytelne rysunki, np.: rys. 4, str. 12. Dodatkowo brak opisu osi na wykresie,
- 6) str. 56, rys. 63 – brak układu współrzędnych,
- 7) str. 57, rys. 66 – zwrot momentu gnącego jest przeciwny jak na rys. 63, brakuje również układu współrzędnych,
- 8) ostatnia moja uwaga dotyczy spisu literatury. Proszę ze spisu usunąć lub zacytować w tekście rozprawy niecytowane prace umieszczone w spisie literatury: [15, 17, 19, 23, 25, 31, 33, 40, 48, 51, 55, 56, 58, 62, 68, 84, 90, 95, 97, 99, 101, 102, 107, 109, 111, 116, 118, 127, 129, 137, 141, 147, 153, 161, 164, 166, 181, 192, 205, 209, 211, 214, 220, 221, 227, 229, 230, 239, 240, 241].

5. KONKLUZJA

Podsumowując – przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mgr inż. Przemysława Siedlaczka zatytułowana: „*Numerycznie wspomagana metoda prognozowania trwałości zmęczeniowej z uwzględnieniem gradientu naprężeń własnych*” ma słabe punkty, które zostały przedstawione w poprzednim paragrafie. Przy pewnym nakładzie pracy można by podnieść jej wartość. Pomimo wskazanych uwag, zawartość merytoryczną recenzowanej rozprawy oceniam pozytywnie.

Biorąc pod uwagę wartość naukową i poznawczą rozprawy oraz wkład własny Autora uważam, że w omawianej rozprawie Autor rozwiązał ważny problem z zakresu mechaniki. W świetle obowiązującej ustawy z dnia 14 marca 2003 roku, wraz z późniejszymi zmianami, o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 z roku 2003) oraz rozporządzeniem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 22 września 2011 roku, stwierdzam, że przedłożona rozprawa stanowi podstawę merytoryczną do ubiegania się o stopień doktora nauk technicznych. Stawiam wniosek o dopuszczenie mgr inż. Przemysława Siedlaczka do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

A handwritten signature in blue ink, reading "Andrzej Teter". The signature is written in a cursive style and is centered on the page.