



Dr hab. inż. Jerzy Małachowski, prof. nadzw. WAT

Warszawa, 22.04.2013 r.

Tel.: +48 22 6839683

E-mail: jerzy.malachowski@wat.edu.pl

WWW: <http://kmiis.wme.wat.edu.pl/>

Ocena

rozprawy doktorskiej pt. „**Numerycznie wspomagana metoda prognozowania trwałości zmęczeniowej z uwzględnieniem gradientu naprężeń własnych**”
napisanej przez mgr inż. **PRZEMYSŁAWA SIEDLACZKA**

1. Podstawa opracowania

Podstawę opracowania stanowi pismo Prodziekana ds. Nauki Wydziału Mechanicznego Politechniki Łódzkiej prof. dr hab. inż. ZBIGNIEWA KOŁAKOWSKIEGO podyktowane uchwałą Rady Wydziału z dnia 15 marca 2013 r. i dołączona do niego rozprawa doktorska mgr inż. PRZEMYSŁAWA SIEDLACZKA pt. *Numerycznie wspomagana metoda prognozowania trwałości zmęczeniowej z uwzględnieniem gradientu naprężeń własnych*. Promotorem pracy jest dr hab. inż. TOMASZ KUBIAK, prof. nadzw. PŁ.

2. Omówienie pracy

Recenzowana praca została napisana na 147 stronach maszynopisu formatu A4 w języku polskim. Składa się z 8 rozdziałów i wykazu literatury. Rozprawa zawiera 150 rysunków i 17 tabel. Spis literatury zawiera 242 pozycje, w tym 3 pozycje z udziałem Doktoranta. Tytuły poszczególnych rozdziałów są następujące: (1) Analiza stanu wiedzy; (2) Cel, zakres i teza pracy; (3) Modelowanie naprężeń własnych po procesie hartowania; (4) Modelowanie zmęczenia w obecności naprężeń własnych; (5) Badania zmęczeniowe; (6) Zastosowanie opracowanej metody na elementach przestrzennych; (7) Podsumowanie; (8) Wnioski.

Przedmiotem rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Przemysława Siedlaczka jest opracowanie metody projektowania właściwości zmęczeniowych dla konstrukcji zawierających gradient naprężeń własnych, wynikający z procesu hartowania. Autor stawia następującą tezę: „Istnieje możliwość opracowania numerycznej metody służącej prognozowaniu trwałości elementów konstrukcyjnych posiadających naprężenia własne, wynikające ze sposobu wytwarzania i/lub obróbki cieplnej”, którą następnie potwierdza dzięki zrealizowanym badaniom numerycznym i eksperymentalnym.

3. Omówienie zakresu rozdziałów i uwagi

Rozdział 1. Analiza stanu wiedzy (16 stron)

W rozdziale 1 Autor dokonał wprowadzenia, przeanalizował stan literatury oraz omówił czynniki wpływające na wytrzymałość zmęczeniową. Na tej podstawie stwierdzenie:

„Nieliczni autorzy wspominają o możliwości prognozowania zmian wartości granicy zmęzeniowej na skutek zastosowania różnego typu obróbki, a jeśli, to głównym zainteresowaniem jest obróbka plastyczna. Dlatego niniejsza praca, poruszając temat prognozowania trwałości zmęzeniowej z uwzględnieniem gradientu naprężeń własnych po procesie obróbki cieplnej ma charakter nowatorski” należy uznać za jak najbardziej uprawnione. Na podkreślenie zasługuje bogate studium literaturowe i umiejętne zaprezentowanie problematyki badawczej, która będzie podstawą dalszych badań przedstawionych w rozprawie.

Uwagi. Autor w trakcie przeglądu literaturowego w dwóch miejscach przedstawił serię cytowanych publikacji bez ich szczegółowej analizy np. „[232], [18], [16], [157], [133], [209], [204]” , „[103], [149], [241], [216], [69], [32], [13]”. Ten sposób cytowania, w opinii Recenzenta, nie pozwala na dogłębną prezentację zawartości tych prac i dyskusji na temat zawartych w nich wnioskach.

Rozdział 2. Cel, zakres i teza pracy (1 strona)

Autor prezentuje cel pracy, zakres oraz stawia tezę rozprawy.

Uwagi. W opinii Recenzenta, ten rozdział powinien stanowić podrozdział rozdziału pierwszego lub być bardziej rozbudowany. Trudno jest nazwać rozdziałem objętość tekstu przedstawioną na ½ strony.

Rozdział 3. Modelowanie naprężeń własnych po procesie hartowania (35 strony)

Rozdział ten Autor poświęcił modelowaniu naprężeń własnych po procesie hartowania. Zawarł w nim następujące główne podrozdziały: modelowanie wymiany ciepła podczas hartowania, modelowanie przemian fazowych podczas hartowania oraz modelowanie naprężeń własnych.

Uwagi. Recenzent chciałby podkreślić, że rozdział ten potwierdza duży wysiłek poniesiony przez Doktoranta w tym obszarze. Rodzą się jednak pewne wątpliwości i pytania, na które brak jest odpowiedzi w treści rozprawy. W zagadnieniu pierwszym Autor przedstawia problematykę związaną z procesem nagrzewania próbki. Doktorant jednak nie zawarł opisu przyjętych założeń i sposobu realizacji tego zagadnienia od strony numerycznej tj. opisu modelu, przedstawienia równań równowagi oraz sposobu ich rozwiązania. Brak jest też informacji czy zagadnienie to ma charakter sprzężony tj. termomechaniczny? A jeżeli tak, to jakie Doktorant uzyskał wartości w aspekcie oceny wyężenia/odkształcenia materiału analizowanego elementu, gdyż jak rozumiem Autora, to kolejnym krokiem będzie opisanie i numeryczna realizacja procesu hartowania, który będzie bazował na residuum otrzymanym po procesie nagrzewania? W kolejnym z podrozdziałów Autor przechodzi do realizacji numerycznej wyznaczenia naprężeń własnych hartowniczych. W punkcie tym Autor nie tłumaczy, dlaczego nagle dokonuje zmiany kształtu próbki na próbkę typu C i nie odnosi się w swojej analizie do wyników uzyskanych w procesie nagrzewania. Rodzi się więc pytanie, czy taka analiza była dla tej próbki zrealizowana? Autor używa w pracy wielokrotnie sformułowania „redukowane” np. naprężenia czy odkształcenia. W opinii Recenzenta winno używać się sformułowania „zredukowane” z dopiskiem nazwiska/nazwisk autorów danej hipotezy wyężeniowej np. Hubera-Misesa-Hencky'ego i podać skrót HMH. Przedstawiając proces modelowania naprężeń własnych w próbce Waismana-Phillipsa przy opisie modelu numerycznego, Doktorant podaje, że w celu stworzenia modelu dyskretnego użył „elementów Plane13” (podobnie jak w rozdziale 4). Tego typu zapis, w opinii Recenzenta, nie wnosi żadnej wiedzy merytorycznej, a używanie nazw własnych elementów skończonych

związanych z danym kodem numerycznym uniemożliwia stwierdzenie czy jest to poprawny opis czy też nie i na ile poprawnie opisuje on występujące w tym procesie zjawiska fizyczne. W rozdziale tym można też spotkać także mało fachowe sformułowania, jak np. „W przyjętym modelu w płaskim stanie odkształcenia, odkształcenia mechaniczne w kierunku osi Z są zablokowane”. Zachęcam Doktoranta do bardziej precyzyjnego opisu procesu modelowania z odniesieniem do znanych w teorii wytrzymałości materiałów sformułowań. W tymże samym podrozdziale Autor opisując proces modelowania naprężeń własnych w próbce 3D Waismanna-Phillipsa, przedstawia „naprężenia zredukowane ze znakiem” (rys. 43, 48) nie wyjaśniając, wg jakiej hipotezy (brak Autorów oraz opisu od strony matematycznej) dokonuje redukcji i co ma na myśli wprowadzając znak (jaki znak?). Dodatkowo, analizując wyniki z tych badań, Recenzent stawia pytanie, czy badając wpływ promienia zaokrąglenia próbki na stan naprężenia nie jest celowym zastosowanie analiz wrażliwości konstrukcji i następnie przeprowadzenie na tej podstawie procesu optymalizacji?

Rozdział 4. Modelowanie zmęczenia w obecności naprężeń własnych (6 stron)

W rozdziale tym Autor dokonuje analizy zmęczeniowej na płaskiej próbce wykonanej ze stali C55 hartowanej powierzchniowo z wykorzystaniem komercyjnego oprogramowania HBM/nCode DesignLife. Badania te są przeprowadzone dla przyjętych założeń odnośnie grubości warstwy zahartowanej. Wyniki końcowe przedstawiają otrzymane charakterystyki zmęczeniowe. Wyniki te są zbieżne w pewnym zakresie z wynikami literaturowymi.

Uwagi. Analizując zawarte w rozdziale treści, Recenzent nie znalazł jednak odpowiedzi z czego wynikają przyjęte do analizy wymiary próbki oraz warunki początkowo-brzegowe. Proszę także Autora o wyjaśnienie zwrotu „dwuliniowy model plastyczności z umocnieniem kinematycznym”.

Rozdział 5. Badania zmęczeniowe (51 stron)

Rozdział ten opisuje szereg badań i analiz wykonanych przez Doktoranta zarówno od strony eksperymentalnej, jak też numerycznej. Należy przyznać, że przedstawione procedury, wyniki i analizy potwierdzają poczyniony bardzo duży wysiłek od strony badawczej, analitycznej, a także wykonawczej związanej z opracowaniem samego stanowiska badawczego. Autor bardzo rzetelnie prezentuje cały proces badawczy, czego wyrazem są treści zawarte w następujących podrozdziałach: kształt próbki oraz uchwytu (stanowisko badawcze i układ pomiarowy, wymagania stawiane uchwytom oraz próbkom, projekt uchwytu, projekt próbki, stan naprężenia w próbce podczas testu, numeryczna analiza stanu naprężenia w próbce, współczynnik działania karbu) oraz wibracyjna próba zmęczeniowa (charakterystyki sztywności, charakterystyka częstotliwościowa i tłumienie, wyznaczenie trwałości w teście rezonansowym, symptomy częstotliwościowe powstawania pęknięć, gradient naprężenia w punkcie pęknięcia, pomiar chropowatości, wyniki prób zmęczeniowych, opracowanie wyników prób zmęczeniowych, porównanie wyników z danymi literaturowymi). Rozdział ten, w opinii Recenzenta, stanowi najistotniejszą część przedstawionej do oceny rozprawy.

Uwagi. Za godne podkreślenia, w opinii Recenzenta, są zawarte i szczegółowo opisane i udokumentowane wyniki badań eksperymentalnych, jak też opisy tworzonych modeli i warunków do analiz numerycznych. W rozdziale tym są jednak pewne nieścisłości, które są źródłem pewnych wątpliwości. Autor w przyjętych badaniach doświadczalnych nie definiuje, czy swoje badania ukierunkowuje na badania zmęczeniowe niskocyklowe czy wysokocyklowe? Doktorant nie wyjaśnia także, jaką funkcję pełni część bierna badanej próbki płaskiej. Należałoby także uszczegółwić stwierdzenie użyte na stronie 84: „Z tego

powodu zwykle wymagane jest przeprowadzenie korelacji w skutek której zostają odpowiednio dopasowany podział oraz współczynniki masy i sztywności modelu do wyników eksperymentu”. Po analizie zawartości całego rozdziału rodzi się także pytanie, czy Autor widzi możliwość numerycznej realizacji testów zmęczeniowym z uwzględnieniem rozwoju procesu uplastycznienia i propagacji szczeliny pęknięcia, a następnie dokonania takich porównań i przewidzenie/potwierdzenie wniosków i ograniczeń płynących z testów eksperymentalnych (np. że, osiągnięcie limitu bezpieczeństwa obciążenia na urządzeniu wzbudnikowym) ?

Rozdział 6. Zastosowanie opracowanej metody na elementach przestrzennych (16 stron)

Autor podejmuje próbę sprawdzenia opracowanej metody na elementach przestrzennych. Zaprezentowany został także Doktoranta algorytm ideowy na bazie którego możliwa jest analiza trwałości zmęczeniowej z uwzględnieniem naprężeń własnych. Autor zaimplementował wspomniany algorytm i dokonał takiej analizy na płaskiej próbce z karbem oraz na próbce cylindrycznej. Obie próbki testowano w warunkach czystego zginania.

Uwagi. Analiza na tzw. płaskiej próbce wykazała w zasadzie brak różnicy w poziomie naprężeń dla próbki hartowanej i próbki bez naprężeń własnych, odpowiednio 320 i 329 MPa. Jaki więc był stan naprężenia po procesie hartowania ? Czy nie należałoby w tym przypadku rozpatrzyć przeprowadzenia analiz probabilistycznych ? A może przyczyną tego małej różnicy w poziomach naprężeń jest brak elementu związanego z oceną tzw. residuum po procesie nagrzewania lub też potrzeba odwzorowania parametrów mikrostrukturalnych ? W obu przedstawionych przykładach nie ma także wyraźnie opisanych warunków początkowo-brzegowych dla prowadzonych analiz numerycznych.

Rozdział 7. Podsumowanie (2 strony)

Doktorant przedstawia podsumowanie, wykaz opracowanych metod i trudności związane z niewystarczającą liczbą badań doświadczalnych oraz wnioski wypływające z własnych „zbyt ubogich” badań eksperymentalnych. Całość konkluduje stwierdzeniem: „Rozwiązanie i rozwinięcie powyższych zagadnień może stanowić kierunki dalszych badań”. Recenzent nie wnosi uwag do ww. podsumowania

Rozdział 8. Wnioski (4 strony)

Przedstawione wnioski są bardzo obszerne i rzeczowo odnoszą się do treści pracy. Na podkreślenie zasługuje fakt, że tak szerokie badania zrealizowano przy minimalnych nakładach opartych na finansowaniu wewnątrzuczelnianym.

4. Pytania szczegółowe

Zdaniem Recenzenta, Doktorant winien ustosunkować się do następujących kwestii:

1. Czy Autor podejmował próbę oceny stanu naprężeń własnych na drodze badań doświadczalnych? A jeżeli nie, to czy widzi taką szansę i jaki aparat badawczy jest niezbędny do realizacji tego typu badań ?
2. Na ile przedstawiony w pracy algorytm badawczy jest możliwy do zastosowania w przypadku realizacji badań dla próbek poddanych złożonym stanom obciążenia, np. zginanie ze skręcaniem ?

3. Czy Doktorant widzi możliwość uwzględnienia w opracowanej metodzie numerycznej takich efektów jak chropowatość badanych próbek czy też mikrokarby? A jeżeli tak, to jak widzi realizację tych efektów w procesie modelowania i sposobie analizy wyników ?

5. Ocena ogólna pracy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska wnosi duży wkład i nową jakość do modelowania numerycznego i obliczeń inżynierskich w zakresie prognozowania trwałości zmęczeniowej z uwzględnieniem gradientu naprężeń własnych. Na wartość naukową rozprawy składa się przede wszystkim realizacja metody modelowania numerycznego i wyznaczania naprężeń własnych, by na tej bazie opracować metodę pozwalającą prognozować trwałość zmęczeniową badanych elementów poddanych procesowi hartowania.

Za bardzo cenne Recenzent uważa rozwiązanie zagadnienia, które ma także duże praktyczne uzasadnienie, a zawarte w pracy badania naukowe są jak najbardziej celowe i aktualne w kontekście stanu wiedzy. Jednocześnie Recenzent zachęca Doktoranta do zapoznania się publikacją autorstwa pana dr hab. inż. Wiesława Szymczyka pt. „Numeryczne badania rozkładów naprężeń własnych w powłokach gradientowych”, która pozwala na szersze poznanie problematyki badań naprężeń własnych z uwzględnieniem parametrów mikrostrukturalnych i z zastosowaniem modeli probabilistycznych.

Recenzent w przedstawionej do oceny pracy znalazł błędy interpunkcyjne, edycyjne oraz błędy z zakresu zastosowanej terminologii. Niektóre z przedstawionych rysunków także wymagają lepszej czytelności z uwagi na niski poziom zastosowanej rozdzielczości przy wydruku pracy. Uwagi te jednak nie wpływają na całościową ocenę merytoryczną, która świadczy, że Doktorant wykonał pracę doktorską na odpowiednim poziomie naukowym z wykorzystaniem aktualnych metod i technik badawczych.

6. Wniosek końcowy

Recenzent stwierdza, że opiniowana rozprawa doktorska Pana mgr inż. PRZEMYSŁAWA SIEDLACZKA „Numerycznie wspomagana metoda prognozowania trwałości zmęczeniowej z uwzględnieniem gradientu naprężeń własnych” spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim przez ustawę „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” (Dz. U. Nr 65, poz. 595, z dnia 14 marca 2003 roku) i wnioskuję o dopuszczenie do jej publicznej obrony.

