

Opole, 2018-06-04

Dr hab. inż. Mirosław Mrzygłód
Katedra Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn
Politechnika Opolska
ul. Mikołajczyka 5
45-271 Opole

Wpłynęło: Data 12 CZE. 2018
300 WIM
Jan

Szanowny Pan Dziekan
prof. dr hab. inż. Janusz Sempruch
Wydział Inżynierii Mechanicznej
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
Al. prof. S. Kaliskiego 7
85-796 Bydgoszcz

Szanowny Panie Dziekanie,

w odpowiedzi na prośbę Pana Dziekana z dnia 5.04.2018r. przesyłam recenzje rozprawy doktorskie **mgra inż. Michała Stopela** p.t. „Projektowanie konstrukcji mechanicznych poddanych działaniu obciążeń narastających z dużą prędkością”.

Z wyrazami szacunku,

Dr. Mrzygłód

Prof. dr hab. inż. Janusz Sempruch

12.6.18
Dziekan

Prof. dr hab. inż. Janusz Sempruch

Dr hab. inż. Mirosław Mrzygłód
Katedra Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn
Politechnika Opolska
ul. Mikołajczyka 5
45-271 Opole

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Michała Stopela
p.t. „Projektowanie konstrukcji mechanicznych poddanych działaniu obciążeń
narastających z dużą prędkością”.**

Cel i zakres rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska zawiera krótki wstęp, przegląd stanu wiedzy, badania własne, badania aplikacyjne oraz wnioski końcowe i przesłanki do dalszych badań, spis literatury obejmujący 121 pozycji. Całość pracy zawiera 117 stron maszynopisu i 91 rysunki.

Cel pracy został jasno sformułowany w rozdziale 1.2. Celem głównym recenzowanej rozprawy doktorskiej jest zaproponowanie metod pozwalających na wyznaczenie, w możliwie niedrogi i szybki sposób dla modelu Johnsona-Cooka dwóch stałych materiałowych: współczynnika wrażliwości materiału na prędkość odkształcenia C oraz współczynnika wpływu prędkości odkształcenia na uszkodzenia D_4 .

Przegląd stanu wiedzy (rozdział 2) podzielono na trzy części. W pierwszej opisano plastyczne odkształcenie metali: model fizyczny umocnienia odkształceniowego, wpływ prędkości odkształcenia i temperatury na umocnienie oraz matematyczny model umocnienia. Druga część przeglądu literatury dotyczy problemów pękania ciągliwego: model fizyczny pękania ciągliwego, wpływ wybranych parametrów na przebieg procesu pękania ciągliwego oraz kryteria pękania ciągliwego. Część trzecia przeglądu obejmuje wybrane aspekty modelu materiałowego Johnsona-Cooka oraz przesłanki do opracowania własnej metodologii wyznaczania stałych materiałowych dla tego modelu.

Rozdział trzeci (3.1-3.4.) stanowi zasadniczą część rozprawy i obejmuje prezentację oryginalnej hybrydowej metodyki badawczej mającej na celu wyznaczenie parametrów wrażliwości materiału na prędkość odkształcenia oraz umocnienia Johnsona-Cooka. W dalszej części tego rozdziału (3.5) przedstawiono weryfikację zaproponowanej metodyki z zastosowaniem symulacji numerycznej.

dalszej części tego rozdziału (3.5) przedstawiono weryfikację zaproponowanej metodyki z zastosowaniem symulacji numerycznej.

Rozdział 4 zawiera opis badań eksperymentalnych fizycznych oraz symulacyjnych zderzenia pojazdu drogowego z konstrukcją wsporczą tablicy informacyjnej. W badaniach symulacyjnych zastosowano model materiałowy uwzględniający wpływ prędkości odkształcenia na zachowanie się konstrukcji.

W ostatnim, piątym rozdziale rozprawy podkreślono jej główny wynik w postaci opracowania nowej hybrydowej metodyki wyznaczania stałych materiałowych modelu umocnienia Johnsona-Cooka. Omówiono wnioski wynikające z uzyskanych w pracy wyników badań eksperymentalnych i numerycznych oraz przedstawiono kierunki dalszych prac Autora w zakresie sprawdzenia czy zaproponowaną metodykę można zastosować do wyznaczania kolejnych stałych materiałowych modelu Johnsona-Cooka. Ponadto, Autor przewiduje weryfikację metodyki dla większej liczby materiałów oraz innych modeli matematycznych umocnienia i uszkodzenia.

Ocena rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska dotyczy bardzo ważnego z punktu widzenia zastosowań inżynierskich problemu kalibracji modeli numerycznych używanych przy projektowaniu konstrukcji mechanicznych poddanych działaniu obciążeń narastających z dużą prędkością. Badania zderzeniowe są obecnie wymogiem normatywnym zarówno w zakresie infrastruktury drogowej jak i pojazdów. Pomimo intensywnych prac badawczych w wielu laboratoriach na całym świecie ich dokładność oraz wysoki koszt ekonomiczny są zasadniczym problem otwartym. W tym kontekście tematyka pracy doktorskiej mgr inż. Michała Stopela dotycząca metod szybkiego i dokładnego kalibrowania modeli matematycznych stosowanych do analiz szybkozmiennych jest bez wątpienia ważna z technicznego względu i aktualna z naukowego punktu widzenia.

Zasadniczym celem pracy jest opracowanie efektywnej metodyki badawczej konstrukcji poddanych działaniu obciążeń narastających z dużą prędkością. Cel ten został w pracy osiągnięty a uzyskane wyniki nie tylko potwierdziły efektywność zaproponowanej w pracy procedury wyznaczania parametrów materiałowych modelu uszkodzenia i umocnienia Johnsona-Cooka, ale wykazały również, że oryginalna metodyka może być z powodzeniem zastosowana do analizy zderzeniowej rzeczywistych konstrukcji. Jest to ważny wynik pracy jeśli uwzględnić ekonomiczny aspekt prowadzenia tego typu badań, które można uzyskać dostępnymi narzędziami komercyjnymu, jednakże koszt i dokładność kalibracji modeli

numerycznych dla tego typu problemu byłyby znacząco różna na korzyść zaproponowanej przez Autora metodyki.

Istotnym osiągnięciem recenzowanej rozprawy jest oryginalna procedura hybrydowa uzyskania stałych materiałowych na podstawie badań próbą Charpy'ego możliwych do wykonania tanim kosztem i w krótkim czasie oraz powiązanie ich z modelem numerycznym próby Charpy'ego. Ograniczenie liczby analizowanych parametrów do dwóch wydaje uzasadnione z punktu widzenia efektywności prowadzonych badań. Uzyskano w ten sposób skuteczne rozwiązanie rzeczywistego problemu inżynierskiego, które może być w trakcie dalszych prac poprawiane przez rozszerzanie obszaru badań.

Uwagi dyskusyjne i krytyczne

Do uwag natury ogólnej można zaliczyć:

- I. Sformułowanie tytułu rozprawy wydaje się nawiązywać głównie do zawartości rozdziału 4.
- II. W określeniu zakresu pracy brak wzmianki o rozdziale 2.3, który jest bardzo istotnym elementem rozprawy. Rozdział 2.3.3 wydaje się zawierać niedociągnięcia redakcyjne – odnosi się do informacji o „problemie inżynierskim” opisanym dopiero w rozdziale 4 (podobnie 3.1.2).
- III. Badania eksperymentalne opisane w rozdziale 3.2.1 nie zawierają informacji o temperaturze w której były przeprowadzane (za wyjątkiem ostatniej serii badań (rys. 36,37)) oraz ilości wykonanych prób. Jaka jest dokładność pomiaru dla zastosowanych narzędzi pomiarowych?
- IV. „Algorytm optymalizacyjny” zamieszczony na rysunku 34 (rozdział 3.2.1) mógłby zostać dodany jako wartościowy dodatek w postaci skryptu na końcu rozprawy. Opis procedury optymalizacyjnej powinien zawierać zastosowanych wartościach parametrów sterujących algorytmem, np.: wartość przyjętego parametru zbieżności.
- V. W opisie badań zamieszczonym w rozdziale 3.2.2 brak informacji o dokładności pomiarowej, temperaturze i ilości prób.
- VI. Informacje o modelu MES wydają się zbyt ograniczone i zawierają pewne nieścisłości. Zastosowany typ elementu „SOLID typu *fully integrated S/R solid* o trzech stopniach swobody” – nie występuje w opisie programu LS-Dyna, czy chodziło o „*Fully Integrated S/R Solid: type 2 –3 DOF per node*”? Nie podano też opisu elementu „SHELL”. Zastosowane warunki brzegowe analizy MES

nie wydają się najlepiej dobrane. Odebranie wszystkich stopni swobody w miejscu utwierdzenia modelu próbki może wpływać na wartości naprężenia/odkształcenia, można by tego uniknąć np. przez zastosowanie modelu $\frac{1}{4}$ próbki z dodatkowymi warunkami brzegowymi symetrii i odebraniu tylko jednego stopnia swobody. W trakcie opisu badań numerycznych nie wspomniano o badaniu zbieżności rozwiązania i wartości błędu analizy. Czy Autor sprawdził te istotne dla dokładności przewidywania stałych materiałowych modelu hybrydowego informacje?

- VII. Badania eksperymentalne opisane w rozdziale 3.3 i 3.4 nie zawierają informacji o temperaturze, ilości prób oraz dokładności zastosowanych narzędzi pomiarowych. Jaki typ elementu zastosowano tych badaniach?
- VIII. W rozdziale 4.2.2 przedstawiono plan eksperymentu bez uzasadnienia przyjętych wartości zmiennych konstrukcyjnych, nie podano także dokładności zastosowanych narzędzi pomiarowych.
- IX. Opis modelu MES w dalszej części rozdziału 4 nie zawiera pełnej informacji typach zastosowanych elementów oraz analizie zbieżności.
- X. W pracy zauważono brak streszczenia w języku polskim i angielskim, które zwyczajowo zamieszcza się w tego typu dziełach.

Praca doktorska mgr inż. Michała Stopela jest napisana starannie a drobne usterki redakcyjne nie wpływają na jej ogólną ocenę:

1. Strona 5: Określenie „opracowane zostały środowiska numeryczne” dotyczą chyba „procedur numerycznych”?
2. S. 7: Określenie „projektować obiekty” jest nieprecyzyjne, lepiej byłoby zastosować w tym wypadku „projektować konstrukcje” (oraz „nieprzewymiarowane” można by zastąpić przez „lekkie” lub „optymalne”).
3. S.8: „W punkcie pierwszym” zastąpić przez „W rozdziale pierwszym”.
4. S. 25: Określenie „koalescencja pustek” wydaje się niewłaściwe („koalescencja” używane jest w przypadku emulsji i pian – jest to łączenie się zdyspergowanych cząstek, w wyniku czego maleje całkowita powierzchnia granicy faz).
5. S. 25: Określenie „siła napędowa” mogło by być użyte, ale z cudzysłowem.
6. S.35: Wyraz „na” jest zbędny w zdaniu „[...] próba na dzielonego pręta Hopkinsona [73-75].”
7. S.36-37(39): Zamiast określenia „Próba na pręcie Hopkinsona” lepiej użyć np.: „Próba z użyciem pręta Hopkinsona”.
8. S.40: Powtórzenie słowa „parametry” („[...]parametry modelu J-C parametry w taki sposób,[...]”).

9. S.40: Co Autor rozumie przez „metody powszechne”? („[...] wyznaczone metodami powszechnymi zaprezentowano w pracy [93].”).
10. S.43: Literówka: zamienić „prętu” na „pręta”.
11. S.58: Określenie „zadawalająca zbieżność” jest nieprecyzyjne, należało by je zastąpić parametrem skwantyfikowanym.
12. S.59: Określenie „symulacja numeryczna pokrywa się z wynikami prób rzeczywistych” jest nieprecyzyjne.
13. S.99: Czy wartość prędkości 35 i 100 km/h zostały podane prawidłowo? Prędkość przyjęta do badań eksperymentalnych wynosiła 17 i 49 km/h (patrz s. 88).

Wniosek końcowy

Rozprawę doktorską mgra inż. Michała Stopela oceniam wysoko a na szczególne podkreślenie zasługuje fakt, że przedmiotem rozprawy jest uzyskanie efektywnego rozwiązania zagadnienia inżynierskiego.

Istotnym osiągnięciem recenzowanej rozprawy jest opracowanie oryginalnej hybrydowej procedury badawczej wyznaczania parametrów materiałowych modelu uszkodzenia i umocnienia Johnsona-Cooka z wykorzystaniem próby Charpy'ego. Uzyskano w ten sposób skuteczną metodykę badawczą charakteryzującą się niskimi kosztami i krótkim czasem wykonania.

Z całym przekonaniem stawiam wniosek o dopuszczenie rozprawy doktorskiej mgra inż. Michała Stopela p.t. „Projektowanie konstrukcji mechanicznych poddanych działaniu obciążeń narastających z dużą prędkością” do publicznej obrony.

Ol. An 97/20

11. S.58: Określenie „zadawająca zbieżność” jest nieprecyzyjne, należało by je zastąpić parametrem skwantyfikowanym.
12. S.59: Określenie „symulacja numeryczna pokrywa się z wynikami prób rzeczywistych” jest nieprecyzyjne.
13. S.99: Czy wartość prędkości 35 i 100 km/h zostały podane prawidłowo? Prędkość przyjęta do badań eksperymentalnych wynosiła 17 i 49 km/h (patrz s. 88).

Wniosek końcowy

Rozprawę doktorską mgra inż. Michała Stopela oceniam wysoko a na szczególne podkreślenie zasługuje fakt, że przedmiotem rozprawy jest uzyskanie efektywnego rozwiązania zagadnienia inżynierskiego.

Istotnym osiągnięciem recenzowanej rozprawy jest opracowanie oryginalnej hybrydowej procedury badawczej wyznaczania parametrów materiałowych modelu uszkodzenia i umocnienia Johnsona-Cooka z wykorzystaniem próby Charpy'ego. Uzyskano w ten sposób skuteczną metodykę badawczą charakteryzującą się niskimi kosztami i krótkim czasem wykonania.

Stwierdzam, że praca mieści się w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn i z całym przekonaniem stawiam wniosek o dopuszczenie rozprawy doktorskiej mgra inż. Michała Stopela p.t. „Projektowanie konstrukcji mechanicznych poddanych działaniu obciążeń narastających z dużą prędkością” do publicznej obrony.

M. Dziupła