

Lublin, dn. 02.03.2015 r.

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

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Andrzeja Mroza zatytułowanej: „Wpływ procesu starzenia na zachowanie dynamiczne giętych profili hybrydowych”. Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Radosław Mania, prof. nadzw. PŁ.

Podstawą do opracowania niniejszej oceny stanowi pismo W1/530/11.1/2013 z dnia 11.02.2015 r. Prodziekana ds. Nauki Wydziału Mechanicznego Politechniki Łódzkiej, prof. dr hab. inż. Zbigniewa Kolakowskiego.

1. OMÓWIENIE PRACY

Przedmiotem rozprawy doktorskiej mgr inż. Andrzeja Mroza jest analiza wpływu procesu obróbki cieplnej stopu aluminium na zachowanie impulsowo ściskanych, krótkich słupów cienkościennych. W analizie numerycznej zastosowano metodę elementów skończonych. Obiektem badań jest swobodnie podparty ceownik wykonany ze stopu Al6060 w różnych stanach utwardzenia oraz z kompozytu boro-aluminiowego. Przeprowadzono badania numeryczne w warunkach ściskania: statycznego, quasi-statycznego oraz dynamicznego dla różnych czasów trwania impulsu obciążenia. W celu oceny obciążeń krytycznych zastosowano trzy kryteria: Budianskiego-Hutchinsona, Volmira, Petry-Fahlbusha. Dodatkowo wyznaczono eksperymentalne krzywe rozciągania dla analizowanego stopu w różnych stanach utwardzenia, który następnie opisano modelem Perzyny. Szczegółowe obliczenia przeprowadzono dla różnych charakterystyk materiału. Omawiana rozprawa została napisana na 101 stronach i składa się z ośmiu rozdziałów stanowiących zasadniczą część merytoryczną rozprawy z wnioskami końcowymi oraz spisem literatury. Dodatkowo zamieszczono streszczenia w języku polskim oraz angielskim.

W rozdziale pierwszym Autor przedstawia wprowadzenie do rozprawy. Rozdział 2 to krytyczny przegląd literatury dotyczącej stateczności dynamicznej w tym problematyki wpływu prędkości odkształcenia. W kolejnym rozdziale bardzo szczegółowo opisuje problematykę wytwarzania elementów wykonanych ze stopów aluminium oraz kompozytów na bazie aluminium. Przedstawia: aluminium jako materiał konstrukcyjny, procesy obróbki termicznej stopów na bazie aluminium, rzeczywiste charakterystyki materiałowe stopu AL6060 oraz model Perzyny. Na zakończenie rozdziału Autor opisuje kompozyt boro-aluminiowy oraz

wyznacza jego parametry wytrzymałościowe. W rozdziale 4 Autor umieszcza cel i tezy pracy. W kolejnym rozdziale opisuje metodykę modelowania konstrukcji cienkościennych w tym sposób przyłożenia obciążenia, warunki brzegowe oraz procedurę prowadzonych obliczeń. Szczegółowo omawia kryteria stosowane do oceny obciążeń krytycznych. W rozdziale szóstym prezentuje uzyskane wyniki dla obciążeń krytycznych. Kolejno analizuje różne przypadki wyboczenia: statyczne oraz quasi-statyczne dla liniowo-sprężystego modelu materiału, quasi-statyczne dla nieliniowego (eksperymentalnego) modelu materiału, dynamiczne dla liniowego, nieliniowego (eksperymentalnego) modelu materiału oraz modelu Perzyny. Dalej analizowano wyboczenie dynamiczne dla nieliniowego (eksperymentalnego) modelu materiału, gdy czas trwania impulsu obciążenia skrócono o połowę. Na zakończenie przedstawiono wyniki dla ceowników wykonanych z kompozytu aluminiowo-borowego dla liniowo-sprężystego modelu materiału. W ostatnim rozdziale Autor formułuje wnioski oraz opisuje kierunki dalszych prac. Na końcu rozprawy umieścił spis cytowanej literatury liczący 120 pozycji. Autor rozprawy opublikował 5 prac, w tym jedną w wysokopunktowanym czasopiśmie *Thin-Walled Structures* będącym na liście A MNiSW.

2. OCENA PRZEDŁOŻONEJ ROZPRAWY

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mgr inż. Andrzeja Mroza zatytułowana „*Wpływ procesu starzenia na zachowanie dynamiczne giętych profili hybrydowych*” porusza problematykę znajdującą się w głównym nurcie aktualnie prowadzonych badań naukowych. Podjętą próbę opisu wpływu parametrów procesu technologicznego wytwarzania na odpowiedź dynamiczną ściskanych słupów cienkościennych uważam za ważny z naukowego punktu widzenia. Według mojej wiedzy, rozprawa doktorska mgr inż. Andrzeja Mroza stanowi oryginalne opracowanie Autora oraz zawiera wszystkie niezbędne elementy pracy naukowej. Układ pracy jest logiczny, poprawny i czytelny. Do najważniejszych osiągnięć przedstawionych przez Autora zaliczam:

- 1) opracowanie zweryfikowanych modeli MES pozwalających opisać wpływ parametrów obróbki termicznej stosowanej w procesie wytwarzania cienkościennych elementów konstrukcyjnych wykonanych ze stopów aluminium na ich odpowiedź dynamiczną, gdy poddane są impulsowemu ściskaniu;
- 2) określenie rzeczywistej charakterystyki materiału, parametrów modelu Perzyny oraz zastosowanie ich do przeanalizowania zachowań elementów cienkościennych pracujących w zakresie sprężysto-plastycznym w warunkach impulsowego ściskania;

- 3) porównanie krytycznych wartości dynamicznych współczynników obciążenia wyznaczonych zgodnie z różnymi kryteriami z zastosowaniem kilku modeli materiału.

Przedstawione symulacje numeryczne MES, opracowane modele oraz uzyskane wyniki stanowią istotny wkład Autora w rozwój mechaniki. Mgr inż. Andrzej Mróz posiada ogólną wiedzę teoretyczną w zakresie stateczności konstrukcji, obliczeń numerycznych MES oraz potrafi wykorzystać możliwości komercyjnego pakietu obliczeniowego ANSYS. Autor postawił sobie jasny cel i samodzielnie rozwiązał oryginalny problem naukowy. Posiada więc umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

3. UWAGI KRYTYCZNE, PYTANIA MERYTORYCZNE I DYSKUSYJNE

Przy całkowicie pozytywnej ocenie przedstawionej do recenzji rozprawy doktorskiej nasuwają się wątpliwości, pytania oraz uwagi krytyczne:

- 1) W mojej ocenie zaproponowano nieadekwatny tytuł rozprawy doktorskiej: „*Wpływ procesu starzenia na zachowanie dynamiczne giętych profili hybrydowych*”. Moim zdaniem Autor badał: **wpływ procesu starzenia stopów na bazie aluminium na odpowiedź dynamiczną impulsowo ściskanego słupa cienkościennego** i taki powinien być tytuł rozprawy.
- 2) W pracy nie zamieszczono pełnego opisu badań eksperymentalnych prowadzonych w celu określenia własności mechanicznych omawianych stopów aluminium. Nie wystarczy podać normę ISO. Należało szczegółowo opisać przebieg badań, liczbę przeprowadzonych prób, opis próbek oraz pełną analizę statystyczną otrzymanych pomiarów. Nie sposób ocenić, czy wykres z rys. 18 str. 30 jest reprezentatywny dla omawianych materiałów.
- 3) W przypadku dopasowania modelu Perzyny mam wątpliwości, czy przeprowadzona procedura jest poprawna. Autor korzysta z danych literaturowych dla stopu IN905XL (rys. 19, str. 32) i wyznacza stałe modelu Perzyny. Nie wiadomo, jaki jest skład stopu oraz czy podlegał starzeniu? Ile wykonano prób, jak była powtarzalność? Zaś z rys. 21, str.34 wynika, że Autor przebadał po 1 próbce stopu Al6060 w 3 stanach? Zaproponowane dopasowanie ma różny wpływ na granicę plastyczności dla próbek T4-T66, a to dalej przekłada się na wyniki. Moim zdaniem w dalszej analizie należało się ograniczyć wyłącznie do krzywych eksperymentalnych.

- 4) Dlaczego w przypadku kompozytu boro-aluminiowego przyjęto liniową charakterystykę materiału (str. 43, rys. 27)?
- 5) Warunki brzegowe przedstawione na rys. 39 oraz 40 str. 55 moim zdaniem bliższe są utwierdzenia niż przegubowego podparcia, a wynika to z założenia że końce słupa nie ulegają deplanacji. Należało w rozprawie sprawdzić wrażliwość konstrukcji na warunki brzegowe.
- 6) Na rysunkach, które posłużyły Autorowi do oceny obciążeń krytycznych, wyznaczone punktu połączono odcinkami prostej. Może należało pokusić się o dopasowanie krzywej sklejaney? Otrzymane wyniki będą się różnić od tych wyznaczonych przez Autora, ale będą łatwiejsze w interpretacji.
- 7) Proszę wyjaśnić dlaczego nie wyznaczono wartości krytycznych obciążeń dynamicznych zgodnie z kryterium Petry-Fahlbusha dla materiału liniowo-sprężystego (tabela 7 str. 70 oraz tabela 10 str.77)? Moim zdaniem wyjaśnienie Autora ze str.70¹ i dalej: „*Wobec prowadzenia analizy stateczności dynamicznej dla materiału liniowo-sprężystego nie ma zastosowania kryterium Petry-Fahlbusha. Ocena naprężeń zredukowanych występujących w badanym profilu ceowym dla amplitudy obciążenia dynamicznego z zakresu 1,2÷1,3 (Rys. 60), w którym określono dynamiczne obciążenie krytyczne według pozostałych kryteriów, jest niższa od granicy plastyczności rzeczywistego materiału*” jest fałszywy, bo wszystkie kryteria działają niezależnie. Obliczania można prowadzić dla wyższych przeciążeń?
- 8) Dane do obliczeń zamieszczone w tabeli 8 str. 71, a dotyczące modułu Younga podstawowej częstości drgań własnych oraz najniższych obciążeń krytycznych we wszystkich przypadkach powinny być identyczne. Z rys. 18 str. 30 wynika, że nachylenie prostych dla liniowej części wykresu rozciągania są identyczne. Jeżeli nie to potrzebny jest zoom tego obszaru. Jeżeli tak to dla zakresu liniowo-sprężystego pozostałe wielkości powinny być stałe. W przypadku najniższych naprężeń krytycznych wynika to wprost ze wzoru (6.1.12) str. 66 i dalszych dla przyjętych wymiarów słupa oraz warunków brzegowych.
- 9) Z przedstawionych rys. 62 oraz 63 str. 72 nie sposób odczytać obciążeń krytycznych zgodnie z kryterium Budianskiego-Hutchinsona zamieszczonych w tabeli 9 str. 73. Konieczne jest zagęszczenie kroku obliczeń.
- 10) Dlaczego na rys. 92 str. 93 wyniki dla różnych przypadków połączono prostą? Przecież jest to funkcja dyskretna. Inna sprawa, że zestawienie wszystkich wyników na jednym rysunku zamazuje obraz zjawiska.

4. USTERKI EDYCYJNE I JĘZYKOWE

Pod względem językowym praca nie budzi moich zastrzeżeń. Praca pod względem edytorskim jest przygotowana wzorowo. Rysunki są bardzo starannie przygotowane oraz czytelne dzięki temu, że wydrukowano je w kolorze. Układ pracy jest logiczny oraz przejrzysty. Wzory, oznaczenia są czytelne oraz podano odpowiednie miana. Niestety Autor rozprawy nie uniknął błędów:

- 1) Razi pewna nieporadność językowa Autora. Dodatkowo wiele pojęć jest niedookreślonych. Podam przykłady tylko z rozdziału 1: str. 3¹⁵ „...przeprowadzono analizę *Eigen-Buckling*”, może należało napisać, że przeprowadzono numeryczną analizę modalną. Analogicznie nie „...*pierwsza postać drgań własnych*” lecz podstawowa postać drgań własnych oraz nie „*pierwsza statyczna postać wyboczeniowej*” lecz najniższa statyczna postać wyboczenia. Dalej nie zgadzam się ze stwierdzeniami: np. str. 7² „*Zagadnienie stateczności konstrukcji było i jest przedmiotem naukowych analiz od bardzo wielu lat, a w ich wyniku formułowane były i są metody wyznaczenia obciążenia krytycznego analizowanej konstrukcji.*” Podane określenie jest co najmniej niewystarczające. Dalej czytamy: str 7⁸ „*Zasadniczym celem analizy stateczności konstrukcji jest, poza wyznaczeniem wartości obciążenia krytycznego, także określenie charakteru pokrytycznej ścieżki równowagi*” ale str. 8² „...w większości przypadków o nośności konstrukcji *cienkościennych w głównej mierze, decyduje wspomniana stateczność*”, a może zamiast całego tego opisu należało podać definicję stateczności konstrukcji? Historycznie biorąc rozwój prac nad statecznością konstrukcji przebiegał w sposób opisy przez Autora. Str. 9³ czytamy: „*Na Rys. 1 przedstawiono samonośny kadłub samochodu osobowego jako ramę przestrzenną utworzoną z kształtowanych powłok (poszyć) cienkościennych oraz dodatkowych podłużnic i poprzecznic*”, moim zdaniem kadłub samochodu nie jest ramą lecz konstrukcją półskorupową. Co to jest „*poprzecznic*”, czy nie lepiej wręgi? Str. 9⁸ „*wykonanych z materiału izotropowego (np. odlewy)*”, czy odlew jest izotropowy? Str. 9¹² „*Analiza pozycji literaturowych*”, proszę podać jakich? Str. 9⁷ „*masa stopów aluminium jest trzykrotnie mniejsza od stali, co predystynuje je do szerokiego zastosowania...*”, pogląd nie do końca prawdziwy, bo pod uwagę należy brać nie tylko masę, ale również parametry wytrzymałościowe, czyli tzw. wytrzymałość właściwą. Str. 9⁴ „*autor pragnie przybliżyć i zweryfikować możliwość stosowania cienkościennych komponentów aluminiowych obciążonych dynamicznie*

w konstrukcjach samochodowych”, nie widzę związku tej deklaracji z treścią rozprawy. O jakie obciążenia dynamiczne chodzi, czy również obciążenia okresowo zmienne? Dlaczego rozważania ograniczone do konstrukcji samochodowych, a nie ogólnie konstrukcji nośnych?

- 2) Moim zdaniem z pracy należy usunąć opisy oraz rysunki z rozdziałów:
- 3) *Aluminium, 3.1 Aluminium, jako uniwersalny materiał, 3.2 Zastosowanie elementów aluminiowych w branży motoryzacyjnej, 3.5 Kompozyty aluminiowe wzmocnione włóknami borowymi, 5.2 Oprogramowanie ANSYS*, które nic nie wnoszą do rozprawy, a stanowią podstawową wiedzę z zakresu omawianych dziedzin.

Dodatkowo chciałbym zwrócić uwagę na kilka szczegółów:

- 1) W całej pracy bardzo często pojawia się niepoprawna konstrukcja językowa: „*W oparciu o badania laboratoryjne materiału...*”.
- 2) W języku polskim na końcu wiersza nie zostawiamy pojedynczych znaków tj. w, z itd.
- 3) W tekście nie piszemy słowa „rys.” wielką literą.
- 4) Rys. 28, str. 46 jest powtórzeniem rys. 17, str. 29.
- 5) Tabela 11, str. 78 jest powtórzeniem tabeli 8, str. 71.
- 6) W spisie treści brakuje podrozdziałów np. 5.5.1, 5.5.2, 5.5.3.

5. KONKLUZJA

Podsumowując – przedstawiona do oceny rozprawa doktorska ma słabe strony, które zostały przedstawione w poprzednich punktach. 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 stwierdzam, że przedłożona rozprawa stanowi podstawę merytoryczną do ubiegania się o stopień doktora nauk technicznych.

Stawiam wniosek o dopuszczenie mgr inż. Andrzeja Mroza do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

