

Bielsko-Biała, 9.12.2020

dr hab. inż. Dorota Pawlus, prof. ATH
Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej
Wydział Budowy Maszyn i Informatyki
Katedra Podstaw Budowy Maszyn
ul. Willowa 2
43-309 Bielsko-Biała

Ocena rozprawy doktorskiej

mgra inż. Pawła Szczerby, pt.: „Dynamics of thin functionally graded cylindrical shells – tolerance modelling”

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Barbara Tomczyk

Promotor pomocniczy: dr hab. inż. Artur Wirowski

Podstawą do opracowania oceny rozprawy doktorskiej jest Uchwała Rady ds. Stopni Naukowych w dyscyplinach Inżynieria Lądowa i Transport, Architektura i Urbanistyka nr 1.1/13/2020 Politechniki Łódzkiej wraz z pismem wiodącym Przewodniczącego Rady Prof. dr hab. inż. Dariusza Gawina z dnia 27.10.2020.

1. Ogólna charakterystyka pracy

Przedmiotem rozprawy doktorskiej przedstawionej przez Pana mgra inż. Pawła Szczerbę jest ocena makro- i mikrodynamicznej reakcji cienkiej powłoki walcowej o nieregularnie niejednorodnej strukturze. Analitycznej, ale także numerycznej analizie

poddana została cienka, liniowa, sprężysta, otwarta powłoka walcowa lub pasmo powłokowe o obwodowo zmiennych zasadniczo nieperiodycznych własnościach w modelowaniu której przyjęto założenia Kirchhoffa-Love'a. Dynamiczną reakcję badanej struktury oceniono pod kątem jej cech charakterystycznych, które ujawnia analiza drgań własnych. Zwrócono uwagę na oczywisty wpływ podstawowej makroskopowej budowy powłoki oraz udział dodatkowych: materiałowych lub geometrycznych i materiałowych elementów jej struktury stanowiących o tzw. mikroskopowej budowie elementu konstrukcyjnego i mikrodynamice jego zachowań. Przedstawienie przez Autora pracy istnienia bezpośredniego wpływu mikrostruktury powłoki na wyniki analiz dynamicznych, w tym szczególnie analiz mikrodynamicznych jest bardzo ważnym osiągnięciem naukowym zasługującym na szczególne podkreślenie. W tym celu Doktorant wykorzystuje techniki tolerancyjnego i asymptotycznego modelowania ze zwróceniem uwagi na metodę łączoną asymptotyczno-tolerancyjną, której możliwości prowadzące do selektywnej oceny zachowań makro oraz mikro wraz z rozdzieleniem rozwiązań w wybranym kierunku elementu są szczególnie interesujące zarówno w ocenie teoretycznej, jak i w zastosowaniu praktycznym.

Przedstawiona dysertacja jest obszernym dziełem naukowym, które systematycznie, logicznie wyjaśnia i prowadzi czytelnika do zamierzonych rozwiązań, analiz i wnikliwych wniosków końcowych. Zapis pracy w języku angielskim jest na bardzo wysokim poziomie. Układ i edycja pracy są idealne.

2. Szczegółowa charakterystyka pracy połączona z oceną oryginalności i wartości naukowej oraz tematami do dyskusji.

Praca złożona jest z ośmiu rozdziałów, wykazu symboli, obliczeniowego dodatku, streszczeń w języku angielskim i polskim.

W rozdziale pierwszym scharakteryzowany jest obiekt i metody badawcze. Przedstawione są trzy cele pracy, a w opisie też przyjęte założenia. Występuje także krótka charakterystyka poszczególnych rozdziałów i dodatkowych punktów pracy oraz wyjaśnienia zasad stosowanej notacji symboli. Autor zwraca uwagę na zasadniczą komórkową budowę struktury powłoki, w której występuje podobieństwo mechanicznych cech komórek sąsiednich i możliwe różnice dla odległych. Komórki są idealnie powiązane, a ich rozkład jest w kierunku

obwodowym powłoki. Parametr wymiaru komórki jest określony jako dostatecznie mały w odniesieniu do promienia krzywizny płaszczyzny środkowej powłoki i jej rozmiaru w kierunku obwodowym, a dostatecznie duży w odniesieniu do grubości powłoki. Zastosowane metody rozwiązania powłoki z mikrostrukturą i funkcyjną poprzeczną gradacją własności nawiązują do technik modelowania przedstawionych w pracy, wymienionej w dysertacji, pod redakcją profesora Czesława Woźniaka, pt.: "Mathematical modelling and analysis in continuum mechanics of microstructured media". Budowa trzech matematycznie nowych modeli powłoki: tolerancyjnego, asymptotycznego i łączonego asymptotyczno-tolerancyjnego wyznaczają główny cel pracy. Analizy makro- i mikroskopowe dla wyprowadzonych zależności wytyczają odpowiednio dwa kolejne cele.

Temat do dyskusji

Przyjęcie założeń w rozwiązaniu zawsze wprowadza określone ograniczenia i niedokładności. Dla badanej powłoki takim założeniem jest uproszczenie Kirchhoffa-Love'a. Doktorant bardzo słusznie w podsumowaniu pracy i opisie sugerowanych badań w przyszłości zwraca uwagę na słabości tego założenia. Na czym one polegają?

Rozdział pracy zawiera również istotną informację praktyczną o możliwych zastosowaniach badanych powłok. Trochę skromną. Powłoki anizotropowe wzmocnione podłużnymi żebrami – podłużnicami – są często spotykane w praktyce.

Przegląd literatury zawarty w rozdziale drugim rozprawy, zgodnie z tytułem, skoncentrowany jest na przeglądzie, szczególnie analitycznych technik modelowania struktur periodycznych, w sprężystych zagadnieniach statycznych, dynamicznych, termicznych czy struktur narażonych na wyboczenie. Organizacja zapisu jest przemyślana, trafnie ograniczona do podjętych w pracy zagadnień. Wyróżnione są, np. metody ogólne i specjalne z odniesieniem do bardzo szerokiego spektrum prac autorów polskich i zagranicznych.

Podstawy techniki tolerancyjnego modelowania ze zwróceniem uwagi na pojęcia podstawowe, takie jak: funkcje wolno-zmienne, fluktuacyjne funkcje kształtu, funkcje tolerancyjno-periodyczne oraz tolerancyjne uśrednianie i mikro-makro dekompozycję pola przemieszczeń przedstawiono w rozdziale trzecim dysertacji.

Matematyczną procedurę modelowania powłoki z obwodowo zmienną sztywnością wyrażoną parametrami materiałowymi lub/i geometrycznymi - bardzo dobrze zilustrowaną - z procesem parametryzacji i definicją rozpatrywanej komórki elementarnej mikrostruktury przedstawiono w rozdziale czwartym pracy. Rozwiązanie zagadnienia dynamicznego bazuje na pełnym opisie funkcji Lagrange'a z uwzględnieniem obok opisu energii odkształcenia i kinetycznej powłoki, także udziału sił zewnętrznych i wyprowadzeniu układu równań Eulera-Lagrange'a drugiego rodzaju w zagadnieniu brzegowo-początkowym.

Wykorzystanie trzech technik modelowania do budowy matematycznie nowych, uśrednionych modeli niejednorodnej powłoki walcowej Autor przedstawia w rozdziale piątym. Wyprowadzone równania końcowe wsparte szczegółową dyskusją otrzymanych zależności są głównym osiągnięciem Doktoranta realizującym pierwszy, podstawowy cel badań naukowych. Uwagę zwraca procedura modelowania asymptotyczno-tolerancyjnego oparta na dwóch krokach postępowania: wykorzystaniu równań dynamicznych modelu asymptotycznego powłoki i techniki modelowania tolerancyjnego wiążącej możliwości oceny zachowań makroskopowych, niezależnych od występującej mikrostruktury z reakcją mikrodynamiczną powłoki, w której rozmiary komórki odgrywają znaczenie. Równania mikro-makro dekompozycji mają ogólną rozbudowaną formę, w której fluktuacyjne amplitudy obu modeli asymptotycznego i tolerancyjnego skalowane są oscylującymi funkcjami kształtu.

Temat do dyskusji

Omówienie dla przykładowej analizy wpływu występujących postaci funkcji kształtu oraz powiązań zależności je opisujących.

Temat do dyskusji

Uzupełnienie spostrzeżenia zawartego w dyskusji wyników dotyczącego rozwiązania asymptotyczno-tolerancyjnego, w którym podkreśla się ważną cechę modelu łączonego związaną z możliwością rozdzielenia opisów makro- i mikroskopowego dla pewnych, szczególnych przypadków. Jakich przypadków to dotyczy?

Przykładowe wyniki analiz obliczeniowych modelu tolerancyjnego i asymptotycznego powłoki walcowej przedstawione są w rozdziale szóstym. Badaniom poddano strukturę złożoną z dwóch sprężystych istotnie różniących się materiałów, których zmienne rozmieszczenie w kierunku obwodowym powłoki opisują przyjęte funkcje rozkładu własności materiałów. Przebieg zmian funkcji materiałowych Autor zaprezentował graficznie. Doktorant przyjął jedenaście funkcji dla pasma powłokowego i dwie dla otwartej powłoki, które pokazują wyczerpujący zakres możliwych rozkładów własności materiałowych.

Temat do dyskusji

Wyjaśnienie, uzupełnienie dotyczące przyjętych zasad wyboru postaci funkcji materiałowej z uzasadnieniem dla niektórych znaczenia praktycznego.

Dla pasma powłokowego i otwartej powłoki walcowej zostały analitycznie wyprowadzone nowe, oryginalne wzory dla częstości drgań własnych struktury z ujawnieniem w przypadku modelu tolerancyjnego częstości niższej i wyższej drgań własnych związanej z parametrem mikrostruktury. Wyprowadzenie zależności wymagało wykorzystania przybliżonej metody Ritz'a. Doktorant przeprowadził bardzo wnikliwą analizę wartości bezwymiarowej częstości drgań własnych w zależności od ilorazu parametrów materiałowych oraz geometrii struktury uwzględniając, podstawowy w podjętych badaniach, wpływ wymiaru długości parametru mikrostruktury. Otrzymane wyniki oraz wyprowadzone zależności częstości drgań poddane zostały szczegółowej dyskusji. Dodatkowo obliczone wartości niższych częstości drgań własnych porównano z wartościami wyznaczonymi metodą elementów skończonych wykorzystując program Ansys. Doktorant udowodnił, że badany w części dotyczącej rozwiązania analitycznego przypadek otwartej powłoki charakteryzuje postać pięciu półfal drgań własnych w kierunku obwodowym dla najniższej częstości drgań. Prawidłowość budowy modelu MES powłoki Doktorant potwierdził analizą zbieżności z wyborem liczby elementów skończonych. Przeprowadzona została bardzo wnikliwa analiza wyników obliczeń i ich względnych różnic pomiędzy częstościami otrzymanymi w modelu tolerancyjnym i metodą elementów skończonych.

Temat do dyskusji

Zastanawia przypadek powłoki dla której iloraz wartości parametrów materiałowych jest równy jeden. Czy model MES takiej powłoki odpowiada strukturze jednorodnej i czy jest w pełni zgodny z modelem tolerancyjnym, którego budowa ma charakter komórkowy?

Temat do dyskusji

Uwagę zwraca iloraz wartości wyższej i niższej często drgań, który ma bardzo wysoką wartość. Jakie znaczenie w inżynierskim projektowaniu elementów konstrukcyjnych o budowie mikrostrukturalnej odgrywa wysoka wartość wyższej częstości drgań?

Siódmy rozdział pracy, w którym wykorzystano model asymptotyczno-tolerancyjny powłoki w analizie mikrodynamiki charakteryzują, warte szczególnego podkreślenia, cechy oryginalności, nowości i wysokiego znaczenia poznawczego, naukowego. Autor zwraca uwagę na rolę mikrostrukturalnej, nieperiodycznej budowy powłoki ujawniając jej cechy wewnętrzne poprzez szczegółową ocenę mikrodrgań w trzech podstawowych kierunkach: obwodowym, osiowym i normalnym do powierzchni środkowej. Wyprowadza trzy oryginalne wzory opisujące wyższe częstości drgań własnych otwartej powłoki w wymienionych kierunkach. Stosuje przybliżoną metodę Galerkina. Szczegółowo analizowane są cztery przypadki rozkładu wartości parametrów materiałowych w kierunku obwodowym powłoki – ładnie zilustrowane. Wykresy zmian wartości częstości drgań własnych wywołane mikrostrukturą powłoki obrazują jej dynamiczny wpływ na zachowanie różnych powłok o zmiennych obwodowo własnościach materiałowych. Powstają swoiste mikrodynamiczne mapy. Interesującą i zarazem ważną praktycznie jest obserwacja silnie zmieniających się wartości wyższych częstości drgań ze wzrostem wymiaru długości elementu mikrostruktury. Obniżenie wartości częstości drgań własnych dla badanych przypadków jest rzędu 6-7 razy, a w kierunku obwodowym prawie jedenastokrotne przy niewielkim wpływie rodzaju badanej struktury.

Temat do dyskusji

Interesującym byłoby przybliżenie rzeczywistej wartości wyższej częstości drgań własnych struktury o szczególnie małym wymiarze komórki podstawowej.

W rozdziale przedstawiono także przebiegi drgań mikroharmonicznych w kierunku współrzędnej osiowej powłoki w zależności od relacji wartości pomiędzy częstotliwością drgań harmonicznych amplitudy fluktuacyjnej a wyższą częstotliwością drgań własnych struktury powłoki. Wyniki pokazują przypadki drgań zanikających i silnie oscylujących; wpływ wartości i postaci funkcji rozkładu parametrów materiałowych struktury oraz geometrycznego wymiaru elementu mikrostruktury.

Kolejnym oryginalnym dopełnieniem badań dynamiki mikromechaniki struktury powłoki jest wyprowadzony wzór prędkości propagacji fali w kierunku osiowym powłoki zależny od wymiaru mikrostruktury oraz analiza zmian wartości prędkości uzależniona od parametrów materiałowych i budowy struktury.

Obraz wpływu geometrycznych wymiarów mikrostruktury na historię zmian w czasie amplitudy fluktuacji Doktorant przedstawił w ostatnim badawczym podrozdziale pracy rozwiązując zagadnienie początkowe mikrodynamiki. Analiza jest wartościowym dopełnieniem obserwacji wcześniejszych, a jej podjęcie potwierdza naukowo-badawczą wnikliwość Doktoranta.

Dysertację kończy obszerne, bardzo starannie opracowane podsumowanie, w którym Autor przedstawia opis najważniejszych osiągnięć, potwierdza realizację wytyczonych celów i przyjętych w tezie pracy założeń. Proponuje ciekawe kierunki dalszych badań.

3. Podsumowanie

Doktorant Pan Paweł Szczerba zainteresował się niełatwym zagadnieniem naukowym związanym z modelowaniem struktur niejednorodnych. Dodatkową trudnością jest geometryczna złożoność wybranego elementu powierzchniowego - powłoki oraz problem mechaniki, jakim jest dynamika. Poszukiwanie nowych rozwiązań dla powłokowych elementów konstrukcyjnych jest tematem bardzo aktualnym, oczekiwanym w wielu obszarach zastosowań, szczególnie tych podstawowych, jak budownictwo czy motoryzacja. Przyjęty przez Doktoranta sposób rozwiązania przedstawionej w pracy tematyki ma charakter uniwersalny, wprowadza ogólne zależności, wzory, których praktyczne wykorzystanie jest w pełni możliwe. Nie dotyczy przypadku powłoki o kształcie szczególnym, lecz powłoki podstawowej, której ocena jest konieczna do prowadzenia dalszych analiz. Co więcej zbadany

przez Doktoranta problem drgań własnych, który jest jednym z zasadniczych w dynamice, poprzez rozpoznanie i ujawnienie cech struktury powłoki inicjuje dalsze kierunki badań.

Doktorant przedstawia i przez liczne szczegółowe analizy potwierdza oraz silnie podkreśla znaczenie dynamiki mikrostruktury w ogólnej ocenie zachowań powłoki niejednorodnej. Przedstawia skuteczne narzędzie do mniej skomplikowanego, a więc inżyniersko-praktycznego, obliczania jej wpływu zależnie od wybranego kierunku zmian mikrostruktury. W ten sposób uwalnia oryginalny, nowy naukowo temat dla nowych rozwiązań i badań rozwijających się zagadnień mikromechaniki struktur.

Przedstawienie, pokazanie możliwości modelowania łączonego asymptotycznego-tolerancyjno uważam za szczególnie ważne osiągnięcie Doktoranta, które w mojej ocenie stanowi podstawę do wyróżnienia pracy. Pracy, która poprzez doskonałą formę i organizację zapisu stopniowo, szczegółowo wyjaśniając i powtarzając ważne elementy niełatwych metod przedstawia naukowo nowe rozwiązania metodą tolerancyjną i asymptotyczną dla makro- i mikroprzemieszczeń struktury z porównaniem do podstawowych wyników całej makrostruktury, aby ostatecznie zaakcentować znaczenie geometrii i cech materiałowych mikrostruktury powłoki i ważności mikrodynamiki jej reakcji.

Badawcza praca Doktoranta potwierdzona znajomością wykorzystywania różnych technik analizy, naukowa wnikliwość oraz edycyjna i graficzna staranność zasługują na bardzo wysokie uznanie i stanowią pełną podstawę do nadania Panu magistrowi Pawłowi Szczerbie stopnia doktora nauk technicznych. Dotychczasowy, wymieniony w rozprawie doktorskiej, dorobek publikacyjny Doktoranta, w którym wyróżniają się trzy wysokopunktowe współautorskie artykuły uzupełnia wymienioną i podkreśloną bardzo wysoką wartość pracy doktorskiej, która uważam, zasługuje także na wyróżnienie.

4. Wniosek końcowy

Oceniana praca Pana mgr inż. Pawła Szczerby, pt.: „Dynamics of thin functionally graded cylindrical shells – tolerance modelling” spełnia wymagania określone w ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2014r. poz.1852 oraz z 2015r. poz.249 i 1767).

Wnioskuje o jej przyjęcie jako podstawy do ubiegania się o stopień doktora nauk technicznych przez Pana mgra inż. Pawła Szcherbę i dopuszczenie Doktoranta do publicznej obrony.

Wnioskuje o wyróżnienie rozprawy doktorskiej.

Dowolny

