

Białystok, 07.08.2018 r.

Prof. dr hab. inż. Andrzej Seweryn
Profesor zwyczajny
Katedra Mechaniki i Informatyki Stosowanej
Wydział Mechaniczny Politechniki Białostockiej
15-351 Białystok, ul. Wiejska 45 C
e-mail: a.seweryn@pb.edu.pl

RECENZJA

pracy doktorskiej autorstwa mgr inż. Macieja Kotyka pt. „Analiza odporności na pękanie materiału warstwowego Al-Ti”

Podstawa opracowania opinii: pismo Dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich w Bydgoszczy, prof. dr hab. inż. Janusza Semprucha, z dnia 18.06.2018 roku.

1. Charakterystyka i ogólna analiza pracy

Badania dotyczące zastosowania nowoczesnych, niejednorodnych materiałów w budowie maszyn mają duże znaczenie poznawcze, naukowe, ale przede wszystkim aplikacyjne. Szczególne miejsce wśród tych materiałów zajmują materiały warstwowe stopów metali. W chwili obecnej badania te są prowadzone w następujących zasadniczych kierunkach:

1. opracowanie nowych i udoskonalanie istniejących technologii produkcji materiałów warstwowych oraz ich późniejszej obróbki, a w szczególności wytwarzania elementów konstrukcyjnych;
2. tworzenie modeli obliczeniowych odkształcania, rozwoju uszkodzeń i pękania, w szczególności uwzględniających fizyczne podstawy procesów degradacji tych materiałów;
3. opracowanie doświadczalnych metod badawczych, pozwalających na wyznaczenie ich właściwości mechanicznych (w różnej temperaturze);
4. zastosowanie nowych materiałów w budowie maszyn (przede wszystkim w konstrukcjach lotniczych oraz okrętowych).

Niniejsza praca doktorska wpisuje się bezpośrednio w drugi i trzeci nurt badań.

Rozprawa obejmuje 149 stron. Jest ona podzielona na 9 rozdziałów, spis treści, wykaz ważniejszych oznaczeń i spis literatury oraz streszczenia w języku polskim i angielskim.

Pierwszy rozdział (3 strony) zawiera wprowadzenie do tematyki pracy oraz motywację podjętych badań. W rozdziale tym przedstawiono również cel, tezę oraz zakres pracy. Zasadniczym celem rozprawy było eksperymentalne wyznaczenie i analiza właściwości wytrzymałościowych i odporności na pękanie stopu aluminium AA2519 i stopu tytanu Ti6Al4V oraz kompozytu warstwowego otrzymanego na ich bazie, w warunkach otoczenia oraz kriogenicznych, a także opracowanie metodologii modelowania pól naprężeń i odkształceń w próbkach wykonanych z tych materiałów i zawierających pęknięcie oraz wyznaczania ich odporności na pękanie.

Rozdziały od drugiego do piątego obejmują dość obszerny przegląd literatury dotyczący tematyki rozprawy. W rozdziale drugim (16 stron) przedstawiono podstawowe pojęcia wykorzystywane w mechanice pęknięcia oraz informacje na temat badań eksperymentalnych właściwości mechanicznych metalicznych materiałów warstwowych, w szczególności bimetalii otrzymywanych na bazie stopów aluminium oraz stopów tytanu.

Rozdział trzeci (16 stron) poświęcono metodom badań odporności na pękanie materiałów. W szczególności opisano metody: krytycznych współczynników intensywności naprężeń K_{IC} i K_{ID} , krytycznej wartości całki niezmienniczej J oraz krytycznego rozwarcia szczeliny COD.

W rozdziale czwartym (2 strony) przedstawiono metody badań doświadczalnych właściwości mechanicznych materiałów konstrukcyjnych w warunkach bardzo niskiej temperatury (kriogenicznej).

Rozdział piąty (8 stron) zawiera informacje na temat właściwości mechanicznych materiałów konstrukcyjnych: stopu aluminium AA2519, stopu tytanu Ti6Al4V oraz materiału warstwowego otrzymanego na ich bazie metodą zgrzewania wybuchowego. Opisano również możliwości zastosowania materiału warstwowego Al-Ti w budowie maszyn.

Rozdziały od szóstego do dziewiątego zawierają wyniki badań własnych Autora rozprawy. W rozdziale szóstym (19 stron) przedstawiono metodykę własnych badań doświadczalnych właściwości mechanicznych materiału warstwowego Al-Ti oraz jego materiałów bazowych, zarówno w warunkach temperatury otoczenia, jak i kriogenicznej. W szczególności opisano program badań, wykorzystane próbki oraz stanowisko badawcze. Zaprezentowano wykorzystane metody badawcze: test monotonicznego rozciągania, metodę wyznaczania odporności na pękanie w zakresie liniowo sprężystym i sprężysto-plastycznym,

numeryczną metodę określania pól przemieszczeń, odkształceń i naprężeń w pobliżu wierzchołka szczeliny za pomocą metody elementów skończonych, doświadczalną metodę wyznaczania pól przemieszczeń z użyciem cyfrowej korelacji obrazu oraz metodę generowania pęknięć zmęczeniowych i pomiaru ich długości na podstawie zmiany podatności w próbkach typu CT.

Rozdział siódmy (21 stron) zawiera wyniki przeprowadzonych badań doświadczalnych właściwości wytrzymałościowych oraz odporności na pękanie wyznaczonej za pomocą metody krytycznej wartości współczynnika intensywności naprężeń oraz krytycznej wartości całki niezmienniczej J . Badania te przeprowadzono niezależnie dla materiału warstwowego Al-Ti oraz jego materiałów bazowych.

W rozdziale ósmym, największym w rozprawie (38 stron), przedstawiono analizę otrzymanych wyników badań w zakresie wpływu temperatury na właściwości wytrzymałościowe i odporność na pękanie materiału warstwowego i materiałów bazowych. Przeprowadzono porównanie właściwości mechanicznych bimetalu Al-Ti z właściwościami materiałów bazowych (w warunkach otoczenia i kriogenicznych). W rozdziale tym przedstawiono także wyniki numerycznego modelowania za pomocą metody elementów skończonych pól naprężeń i odkształceń w próbkach typu CT, wykorzystywanych do wyznaczania krytycznej wartości współczynnika intensywności naprężeń K_{IC} oraz całki niezmienniczej J_{IC} . Zaprezentowano ponadto mikroskopowe zdjęcia przełomów kompozytu warstwowego i materiałów bazowych uzyskanych w warunkach otoczenia oraz kriogenicznych.

Rozdział dziewiąty (3 strony) zawiera podsumowanie i wnioski dotyczące przeprowadzonych badań. Przedstawiono w nim także propozycję kierunków dalszych badań.

W spisie literatury zamieszczono 166 publikacji, z czego jedna jest autorstwa, a 6 współautorstwa Doktoranta. Wśród nich należy wyróżnić pracę [25], która ukazała się w 2017 roku w uznanym czasopiśmie *Materials & Design*.

2. Ocena pracy

Oceniając wybór tematu pracy, uważam, że jest on wartościowy i aktualny naukowo, ma duże znaczenie poznawcze i uytylitarne.

Autor postawił tezy o następującym brzmieniu:

- 1) „*Odporność na pękanie materiału warstwowego wytwarzanego poprzez zgrzewanie wybuchowe stopu aluminium AA2519 i stopu tytanu Ti6Al4V nie wynika bezpośrednio z odporności na pękanie materiałów bazowych.*”
- 2) „*Kriogeniczne warunki badań wpływają na charakter pękania materiału warstwowego i materiałów bazowych.*”

W moim przekonaniu zacytowane tezy są zbyt ogólnikowe i oczywiste, choć w pewnym stopniu oddają ideę zaprezentowanych badań. Tak sformułowane tezy można z powodzeniem potwierdzić bez przeprowadzania badań przedstawionych w rozprawie, wystarczy podstawowa znajomość literatury przedmiotu. Natomiast wytrzymałość i odporność na pękanie materiału warstwowego wynika pośrednio z właściwości mechanicznych materiałów bazowych: stopów aluminium AA2519 i AA1050 oraz stopu tytanu Ti6Al4V. Oczywiście, warunkiem koniecznym jest prawidłowe modelowanie numeryczne pól naprężeń i odkształceń w elementach (np. próbkach) wykonanych z tego kompozytu. Na podstawie wyników tych obliczeń można wyznaczyć właściwości mechaniczne, w tym odporność na pękanie, materiału warstwowego.

Jednakże prawidłowo sformułowana teza nie jest warunkiem koniecznym pozytywnej oceny pracy.

Rozprawa zawiera elementy oryginalne, które omówię poniżej.

1. Zasadniczym osiągnięciem Autora było opracowanie stanowiska i metodyki badawczej właściwości wytrzymałościowych i odporności na pękanie materiałów konstrukcyjnych w warunkach kriogenicznych, opisanych w rozdziale 6. Zasadniczym elementem stanowiska była maszyna wytrzymałościowa Instron 8501 wraz z 3-kanałowym układem rejestracji mierzonych wielkości (siły obciążającej próbkę, przemieszczenia tłoka maszyny wytrzymałościowej i wydłużenia bazy pomiarowej ekstensometru). Sterownik maszyny przesyła rejestrowane dane do komputera, który pracuje w sprzężeniu zwrotnym ze sterownikiem. Stanowisko zostało wyposażone w komorę termiczną wykorzystywaną podczas badań w warunkach kriogenicznych. Wychłodzenie komory, a następnie utrzymanie temperatury kriogenicznej było realizowane za pomocą ciekłego azotu, który gromadzony był w specjalnych pojemnikach z płaszczem próżniowym (dewarach). W zbiorniku wykorzystano także dedykowaną głowicę, pozwalającą na utrzymanie wewnątrz zbiornika nadciśnienia i przez to na wydłużenie przechowywania ciekłego azotu. Jednym z elementów stanowiska był generator Elan 2 Office służący do pozyskiwania azotu bezpośrednio z powietrza i jego skraplania. Przed rozpoczęciem badań w warunkach kriogenicznych komorę (wraz z uchwytami i próbką) napełniano ciekłym azotem, aż do

wyrównania temperatury. Badania prowadzono w środowisku ciekłego azotu, co powodowało bardzo duże jego zużycie. Do mocowania próbek typu CT wykorzystano dedykowane uchwyty widlaste z zastosowaną bieżnią pozwalającą na obtaczanie się sworznia i redukcję momentu tarcia.

Analizę pól przemieszczeń i odkształceń w pobliżu wierzchołka pęknięcia przeprowadzono metodą cyfrowej korelacji obrazu (z wykorzystaniem kamer cyfrowych). Polega ona na porównaniu dwóch obrazów wycinka powierzchni próbki w pobliżu tego wierzchołka (obszaru referencyjnego) przed i po obciążeniu oraz wyznaczeniu różnic w postaci przemieszczenia charakterystycznych jego punktów. Do automatyzacji procesu generowania pęknięcia zmęczeniowego na maszynie wytrzymałościowej w próbce typu CT (do badania odporności na pękanie) zastosowano cyfrowe kamery umieszczone po obu stronach próbki. Pomiar długości pęknięcia realizowano także za pomocą wspomnianej metody cyfrowej korelacji obrazu.

2. Wysoko oceniam, przedstawione w rozdziale 7, oryginalne wyniki badań doświadczalnych właściwości mechanicznych stopu aluminium AA2519, stopu tytanu Ti6Al4V (materiałów bazowych) oraz materiału (kompozytu) warstwowego Al-Ti, szczególnie w warunkach kriogenicznych (temperatura -197°C). Wśród nich należy wyróżnić:
 - a) wykresy rozciągania próbek gładkich wykonanych z materiałów bazowych oraz kompozytu warstwowego w warunkach otoczenia oraz kriogenicznych oraz wyznaczone na ich podstawie: granice plastyczności, granice wytrzymałości, wydłużenie przy zerwaniu itp.;
 - b) zależności siły obciążającej próbkę typu CT od rozwarcia wygenerowanego zmęczeniowo pęknięcia służące do wyznaczania krytycznej wartości współczynnika intensywności naprężeń, otrzymane dla materiałów bazowych oraz kompozytu warstwowego w warunkach otoczenia oraz kriogenicznych;
 - c) zależności wartości całki niezmienniczej J od przyrostu długości pęknięcia uzyskane dla próbek typu CT wykonanych z obu materiałów bazowych oraz kompozytu warstwowego, w warunkach otoczenia i kriogenicznych.
3. Pozytywnie oceniam analizę mikroskopową przełomów przedstawioną w rozdziale 8.5. Przedstawiono nie tylko zdjęcia z mikroskopu skaningowego, ale także analizę różnic między przełomami (np. porównano liczbę i wielkość zagłębień po pustkach) w przypadku tych samych materiałów, w zależności od temperatury oraz od tego, czy próbki były wykonane z materiału jednolitego, czy też z kompozytu warstwowego. Opisano także fizyczny proces rozwoju uszkodzeń i pękania (nukleacji i rozwoju uszkodzeń (pustek), ich

koalescencji oraz propagacji pęknięcia, także transkryystalicznego) zachodzący w tych materiałach.

4. W pewnym stopniu osiągnięciem Doktoranta jest także przeprowadzone numeryczne modelowanie pól naprężeń i odkształceń za pomocą metody elementów skończonych w próbkach typu CT (z pęknięciem zmęczeniowym), zaprezentowanego w rozdziale 8.6 rozprawy. Wykorzystano model materiału sprężysto-plastyczny oraz przestrzenną siatkę podziału na elementy skończone. Założono uśrednioną długość pęknięcia po grubości próbki, brak warstwy spajającej kompozyt i idealny kontakt między warstwami. Przeanalizowano rozkłady naprężeń i odkształceń w próbkach z materiałów bazowych w porównaniu z rozkładami w próbkach wykonanych z materiałów bazowych, zarówno w temperaturze otoczenia, jak i kriogenicznej.

Przechodząc do uwag krytycznych, w dużej mierze dyskusyjnych, poniżej wymienię ważniejsze z nich w kolejności ich powstawania podczas analizy niniejszej rozprawy doktorskiej.

1. Mam pewne zastrzeżenia do numerycznego modelowania pól naprężeń i odkształceń za pomocą metody elementów skończonych, zaprezentowanego w rozdziale 8.6 rozprawy. Nie przedstawiono bowiem informacji na temat modelowania pól naprężeń i odkształceń w pobliżu wierzchołka szczeliny (bardzo duże gradienty odkształceń), w szczególności założonego w obliczeniach promienia jego zaokrąglenia, a także na temat przyjętych zależności w modelu obliczeniowym (zależności geometryczne dla małych, czy też dużych odkształceń?). W obliczeniach nie uwzględniono efektu warstwy przejściowej ze stopu aluminium AA1050 (co nie stanowiłoby problemu obliczeniowego w modelu 3D). Ważne jest bowiem określenie wpływu tej warstwy na rozkład naprężeń i odkształceń w materiale warstwowym. W modelowaniu przyjęto też uśrednioną długość wygenerowanego pęknięcia zmęczeniowego w próbkach CT. Dotyczy to zarówno kształtu pęknięcia, jak i różnej jego długości w poszczególnych warstwach. Dlaczego w modelu przestrzennym nie przyjęto kształtu i różnej długości pęknięcia w warstwach, otrzymanego w badaniach doświadczalnych? Dlaczego nie wykorzystano symetrii kształtu i obciążenia próbki? Wyjaśnienia wymaga także niższa maksymalna wartość naprężeń na wykresach pokazanych na rysunkach 8.29, 8.31, 8.33 i 8.35 w porównaniu do rozkładów naprężeń przedstawionych na rysunkach 8.28, 8.30, 8.32 i 8.34.
2. Rozdział 8.5 powinien być także uzupełniony o mikroskopową analizę przełomów znajdujących się na granicy warstw. Nasuwają się bowiem dwa pytania: po pierwsze - czy

podczas pęknięcia materiału warstwowego w kierunku prostopadłym do ułożenia warstw, następuje także proces delaminacji, a po drugie – w jaki sposób następuje proces delaminacji, czy poprzedza go rozwój uszkodzeń?

3. Moim zdaniem porównywanie właściwości mechanicznych stopu aluminium przed zgrzewaniem wybuchowym (materiał bazowy) oraz tego stopu w kompozycie warstwowym może prowadzić do istotnych nieścisłości. W procesie zgrzewania bowiem stop ten ulega silnemu odkształceniu plastycznemu, a co za tym idzie – znaczącemu umocnieniu. Powoduje to zmianę przede wszystkim granicy plastyczności, ale także i ciągliwości materiału. Aby dokładnie określić tę różnicę należałoby wykonać test rozciągania próbki ze stopu aluminium wyciętej z materiału warstwowego.
4. Ważne miejsce w modelowaniu procesów odkształcania, rozwoju uszkodzeń i pęknięcia metalicznych kompozytów warstwowych zajmuje problem kształtu warstwy spajającej kompozyt oraz nieidealnego kontaktu pomiędzy poszczególnymi warstwami. Pierwszy problem można rozwiązać wykorzystując zdjęcia mikroskopowe przekrojów kompozytu, a drugi - wprowadzając np. specjalne elementy skończone na granicach warstw. Skalę problemu można określić porównując np. krzywe rozciągania (w różnych kierunkach) próbek wykonanych z kompozytów z wynikami obliczeń numerycznych przy założeniu idealnego kontaktu między warstwami. Ma to szczególne znaczenie w modelowaniu procesów rozwarstwiania kompozytu.
5. W numerycznych obliczeniach rozkładów naprężeń i odkształceń (w zakresie sprężysto-plastycznym) w elementach (próbkach) ze szczelinami należy wykorzystać rzeczywiste krzywe rozciągania (umocnienia), a nie krzywe inżynierskie (przybliżone), które nie uwzględniają efektu „szyjkowania” i wywołanego tym niejednorodnego rozkładu naprężeń i odkształceń w próbkach. Krzywe rzeczywiste otrzymuje się metodą hybrydową. W początkowym etapie rozciągania wykorzystuje się pomiar odkształceń osiowych i promieniowych za pomocą dwóch ekstensometrów. Od momentu pojawienia się szyjki niezbędne są obliczenia numeryczne za pomocą metody elementów skończonych. W każdym kroku obciążenia dobiera się tak parametry umocnienia materiału, aby krzywe rozciągania (zależność siły od przemieszczenia), doświadczalne i numeryczne, uwzględniające efekt powstawania szyjki, były jednakowe. Tak otrzymana rzeczywista krzywa umocnienia materiału różni się znacząco od krzywej inżynierskiej, a jej zastosowanie w obliczeniach numerycznych zmienia jakościowo i ilościowo rozkłady naprężeń i odkształceń w elementach ze szczelinami (przy zastosowaniu zależności dla dużych odkształceń plastycznych). W pracy, co prawda, użyto określenia „krzywa

rzeczywista” i wykorzystano ją do obliczeń, ale jest to nadal krzywa przybliżona, nieuwzględniająca niejednorodnego rozkładu naprężeń i odkształceń w próbce gładkiej, wywołanego procesem „szyjkowania”. Prawdziwa krzywa rzeczywista charakteryzuje się bowiem większymi wartościami zarówno naprężeń, jak i odkształceń. W obliczeniach przedstawionych w rozprawie uwzględniono zapewne tylko zmianę przekroju próbki podczas obciążenia (ale dobre i to).

6. Bez wątpienia dyskusyjne jest wykorzystanie krytycznych wartości całki J (zapropozowanej przez Cherepanova, o czym Doktorant nie wspomniał, oraz Rice'a), a w szczególności współczynnika intensywności naprężeń K_I , do prognozowania pękania elementów konstrukcyjnych (lub próbek) z pęknięciami, w przypadku materiałów o właściwościach sprężysto-plastycznych. Przedstawiona w szeregu wcześniejszych prac weryfikacja kryterium całki J wykazuje dużą rozbieżność pomiędzy wynikami obliczeń i wynikami badań eksperymentalnych. Krytyczna wartość tej całki jest bowiem zależna nie tylko od krytycznej wartości energii odkształcenia uwalnianej w procesie pękania, ale także od energii dysypowanej na odkształcenia plastyczne, a więc i od wielkości i kształtu stref plastyczności przed wierzchołkiem szczeliny oraz kształtu próbki lub elementu konstrukcyjnego. Współczynnik intensywności naprężeń opisuje stan naprężenia w pobliżu wierzchołka szczeliny (człon osobliwy) w materiale liniowo sprężystym. Może być zastosowany do przypadków nieliniowych, ale tylko dla małej strefy plastyczności przed wierzchołkiem szczeliny, a w badaniach przedstawionych w rozprawie takiej sytuacji nie było. Ponadto oba parametry zostały wprowadzone dla zagadnień płaskich, a w przypadku kompozytu warstwowego zagadnienie jest już przestrzenne.

Redakcję opiniowanej pracy należy ocenić pozytywnie. Układ rozprawy jest przejrzysty, a rysunki (a w szczególności wykresy) czytelne. Krytyczne uwagi redakcyjne zostaną przedstawione poniżej.

1. Można mieć pewne zastrzeżenia do struktury pracy. Aż cztery rozdziały (od drugiego do piątego) poświęcono na przegląd literatury, przy czym rozdział czwarty ma zaledwie 2 strony. Przegląd ten powinien zajmować co najwyżej dwa rozdziały, tym bardziej, że nie zawsze informacje w nim zawarte są ściśle związane z tematyką rozprawy. Ponadto zawiera on dużo informacji oczywistych i „podręcznikowych”. Moim zdaniem rozdział ósmy powinien być podzielony na trzy rozdziały. Modelowanie numeryczne powinno stanowić oddzielny rozdział, podobnie jak mikroskopowa analiza przełomów. Zbyt dużo miejsca (cztery podrozdziały) poświęcono natomiast bardzo prostej analizie statystycznej,

- która niewiele wnosi do poznania procesów pękania metalicznych materiałów warstwowych.
2. Podział mechaniki pękania na trzy obszary, przedstawiony na str. 13, jest zdecydowanie niepełny.
 3. Cennym uzupełnieniem przeglądu literatury, a w szczególności opisu procedur obliczeniowych krytycznych wartości współczynnika intensywności naprężeń oraz całki niezmienniczej J (np. na str. 39) byłyby odpowiednie rysunki.
 4. W rozdziale 7 wskazane byłoby zamieszczenie zdjęć zniszczonych próbek, zarówno po teście rozciągania, jak i po badaniu odporności na pęknięcie, w szczególności wykonanych z materiału warstwowego.
 5. Szereg rysunków i tabel zamieszczonych w pracy jest oczywistych i nic do niej nie wnoszących, np. tab. 3.1, rys. 7.2, 7.4, 7.6, 7.8, 7.10, 7.12.
 6. Ekstensometrem nie mierzy się odkształcenia, lecz wydłużenie bazy pomiarowej.
 7. „Przebieg” dotyczy zmienności funkcji lub obciążenia, a w przypadku zależności jest to np. wykres.
 8. Mechanika pękania nie jest dyscypliną naukową (str. 12), jeżeli już, to specjalnością naukową.
 9. Autor zamiennie używa pojęć: pęknięcie i szczelina, podczas gdy pierwsze z nich dotyczy tworu fizycznego, a drugie geometrycznego.
 10. Występują błędy w nazewnictwie oraz w sformułowaniach, np. „aluminium” (zamiast „stop aluminium”), „tytan” (zamiast „stop tytanu”), „własności materiału” (powinno być „właściwości materiału”), „liniowo-sprężysty” (powinno być „liniowo sprężysty”), „ilość cykli” (powinno być „liczba cykli”), „ilość punktów” (powinno być „liczba punktów”), „analogicznie jak ...” (powinno być „analogicznie do ...”), „rozproszenie wyników” (lepiej: „rozzut wyników”).
 11. Praca zawiera dużą liczbę błędów interpunkcyjnych.

3. Podsumowanie

Na podstawie analizy rozprawy stwierdzam, iż badania w niej zaprezentowane zostały wykonane na poziomie naukowym odpowiednim dla prac doktorskich. W szczególności dotyczy to badań doświadczalnych właściwości wytrzymałościowych oraz odporności na pęknięcie materiałów bazowych oraz kompozytu warstwowego Al-Ti w warunkach kriogenicznych (temperatura -197°C). Należy podkreślić, iż badania

doświadczalne zostały uzupełnione o modelowanie numeryczne za pomocą metody elementów pól naprężeń i odkształceń w próbkach wykorzystanych w eksperymencie.

Zamieszczone w recenzji uwagi krytyczne oraz dyskusyjne może Autor wykorzystać w realizacji przyszłych badań naukowych. Wynikają one przede wszystkim z innowacyjności podjętej problematyki i nie obniżają mojej pozytywnej oceny.

Nie mam wątpliwości, że przedstawiona do recenzji praca spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim przez *Ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach naukowych i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r.* i powinna być dopuszczona do publicznej obrony, a mgr inż. Maciej Kotyk może ubiegać się o stopień naukowy *doktora nauk technicznych w dyscyplinie mechanika.*

