

Prof. dr hab. inż. **Wiesław Ostachowicz**
Kierownik Zakładu Mechaniki Struktur Inteligentnych
Kierownik Ośrodka Mechaniki Maszyn
INSTYTUT MASZYN PRZEPLYWOWYCH PAN
ul. J. Fiszera 14 80-952 GDAŃSK
fax: (0-58) 341-61-44
tel.: (0-58) 6995-285
e-mail: wieslaw@imp.pg.gda.pl

Gdańsk, 2 stycznia 2013

R E C E N Z J A
dotycząca postępowania habilitacyjnego
dr inż. Marcina Białasa

Przedmiotem recenzji jest rozprawa habilitacyjna i dorobek naukowy dr inż. Marcina BIAŁASA. Recenzję opracowałem w związku z pismem Sekretarza Rady Naukowej Instytutu Podstawowych Problemów Techniki PAN z dnia 4 października 2012. We wspomnianym wyżej piśmie Pan Profesor Zbigniew Ranachowski przekazał mi wiadomość, że Centralna Komisja ds. Stopni i Tytułów wybrała mnie do składu Komisji, której celem jest przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego dr inż. Marcina BIAŁASA i jednocześnie powołała mnie na recenzenta tej Komisji.

1. INFORMACJE OGÓLNE

Dr inż. Marcin BIAŁAS urodził się 18 października 1974 w Puławach. W latach 1993–1998 studiował na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej. W roku 1998 uzyskał na podstawie pracy pt.: *Modele konstytutywne warstw kontaktowych* tytuł zawodowy magistra inżyniera budownictwa. Od 1998 roku jest zatrudniony w Instytucie Podstawowych Problemów Techniki PAN w Warszawie. Stopień naukowy doktora uzyskał dnia 30 października 2003 roku podstawie przedstawionej rozprawy doktorskiej pt.: *Modelowanie rozwoju uszkodzeń w warstwach kontaktowych materiałów*. Stopień naukowy doktora w zakresie *Mechaniki* został nadany uchwałą Rady Naukowej Instytutu Podstawowych Problemów Techniki PAN. Od 2003 roku pracuje w IPPT PAN na stanowisku adiunkta.

2. WSKAZANIE OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO

Dr inż. Marcin BIAŁAS przedstawił do oceny rozprawę pt.: *Mechanical Modelling of Thin Films (Stress Evolution, Degradation, Characterization)*, IPPT Reports on Fundamental Technological Research, 1/2012, Warszawa **2012**, ISSN 0208–5058, ISBN 978–83–89687–72–2. Wspomniana rozprawa liczy 238 stron (233 poz. literatury) i jest dziełem jednego autora (tzn. M. Białasa).

Ogólna charakterystyka pracy

Autor rozprawy w sposób jednoznaczny przedstawił cel pracy i nakreślił jej zakres. Zasadniczym celem było opracowanie różnych metod mechanicznej analizy cienkich

warstw ze szczególnym uwzględnieniem opisu stanu naprężenia, wywołanego nim rozwoju uszkodzeń oraz identyfikacji cech mechanicznych warstwy. Opracowane przez Habilitanta modele fizyczne bazują na prawach mechaniki continuum a więc nie uwzględnia się w tych modelach efektów wywołanych ziarnistą strukturą materiałów a także efektów dyslokacji lub wtrąceń obecnych w cienkim filmie.

W rozdz. 3 rozprawy przedstawiono model zjawiska pęknięcia cienkiej warstwy po jej grubości na skutek rozciągania podłoża. W szczególności podano prosty, jednowymiarowy opis i model zjawiska pęknięcia segmentacyjnego, który umożliwił uzyskanie analitycznych wyników. W obliczeniach uwzględniono naprężenia początkowe oraz plastyczny poślizg na granicy warstw. Opracowany model analityczny wskazuje na dwuetapowy proces uplastycznienia się powierzchni kontaktowej, zachodzący podczas rozciągania podłoża. Charakterystyczne dla obydwu etapów jest wytworzenie obszaru wewnątrz cienkiego filmu i powstanie pęknięć po grubości warstwy, które są zależne od znajdujących się w niej mikrouszkodzeń, wywołujących koncentracje naprężeń. Habilitant w sposób interesujący opisał rozwój uszkodzeń i przejście do stanu z ustabilizowaną i nie wzrastającą liczbą spękań. Do tego celu wykorzystał model energii powierzchniowej dla cienkiej warstwy, bazujący na topologicznej transformacji pomiędzy stanem początkowym (bez spękań), a stanem końcowym, odpowiadającym maksymalnie popękanej warstwie. Uzasadnił, że przeprowadzona procedura może być znacznie uproszczona, w przypadkach gdy warstwa jest znacznie cieńsza od podłoża. Należy jednak w tym przypadku wziąć pod uwagę fakt, iż w rozważanym przez Autora przypadku nie można uwzględnić procesów związanych z historią procesu, na przykład zależności pomiędzy przyłożoną siłą a liczbą spękań.

W rozdz. 4 rozprawy przedstawiono sposób modelowania warstw izolacji termicznej: APS (*Air Plasma Sprayed*) oraz TBC (*Thermal Barrier Coating*). Habilitant przedstawił ważne wnioski praktycznych zastosowań np. w przypadku pokryć elementów turbin gazowych. Przedstawione wyniki mogą służyć do odpowiedniego projektowania pokryć, tak aby liczba spękań po grubości była jak najniższa, co ma znaczenie w przypadku ochrony warstwy przed delaminacją. Do modelowania układu wykorzystano metodę elementów skończonych (MES). Autor przedstawił interesujący wniosek dotyczący sposobu prowadzenia obliczeń. Jego zdaniem aby uzyskać lokalizacje uszkodzeń w postaci dużej liczby spękań po grubości warstwy, należy zwracać uwagę na przyrost obciążenia (powinno być spełnione kryterium zniszczenia dla wszystkich elementów kohezyjnych jedynie w jednym punkcie całkowania podczas zadanego kroku przyrostu obciążenia).

W rozdz. 4 przedstawiono także problem delaminacji warstw izolacji termicznej oraz odrywania ich od podłoża. Habilitant zdefiniował element reprezentatywny, który zawiera typowe warstwy izolacji termicznej a także znajdujący się pod nimi materiał podłoża. Analiza reprezentatywnego elementu pozwala na ocenę zachowania się całego pokrycia. Obliczenia wykonane z jego pomocą pozwoliły na sformułowanie interesujących wniosków, np. że mikropęknięcia wokół nierówności mogą formować się głównie podczas chłodzenia łopatki; że efekt obciążeń cyklicznych nie prowadzi do dużych różnic w stanie naprężenia w porównaniu z obciążeniami monotonicznymi; oraz że gdy grubość warstwy tlenku przekracza pewną krytyczną wartość pojawia się w nim naprężenie rozciągające, itd.

Rozdz. 5 Autor poświęcił analizie zjawiska poślizgu ciernego pomiędzy warstwą izolacji termicznej a podłożem. Zjawisko następuje w przypadku delaminacji warstwy od podłoża. Przyjmując założenie, że materiał sprężystej warstwy ślizga się po chropowatym sztywnym podłożu Habilitant uzyskał przybliżone rozwiązania analityczne. Dodatkowo wyznaczył w pewnych warunkach kształt strefy zdelaminowanej.

W rozdz. 6 rozprawy sformułowano podstawy działania czujnika piezoelektrycznego, wykorzystanego do określania parametrów lepko – sprężystych cienkich warstw izolacji termicznych. Autor przyjął koncepcję, która jest oparta na stosowanej w geotektonice analizie fal powierzchniowych. Zaproponowany przez Autora czujnik składa się z szeregu równoległych, bardzo cienkich pasków wykonanych z piezoelektryku typu PVDF, które generują pod wpływem ruchu ładunki elektryczne. Ich wartości, zmierzone dla każdego z pasków PVDF, niosą w sobie informacje o charakterze fal powierzchniowych. Habilitant starał się wykazać efektywność działania modelu sensora zwracając uwagę na wpływ błędów pomiarowych.

Do zasadniczych osiągnięć Habilitanta zaliczam:

- opracowanie energetycznego modelu pęknięcia segmentacyjnego przystosowanego do opisu zjawisk zachodzących w warstwie tlenku krzemu na podłożu polimerowym oraz wyjaśnienie wpływu naprężeń wstępnych na proces pęknięcia segmentacyjnego;
- przeprowadzenie analizy procesu rozwoju dużej liczby nie połączonych ze sobą spękań i wskazanie na istotne znaczenie wielkości przyrostu obciążenia w procesie obliczeń (w celu uniknięcia problemów ze zbieżnością obliczeń);
- przeprowadzenie analizy znaczenia głównych parametrów decydujących o rozwoju stanu naprężenia w warstwach izolacji termicznej oraz przedstawienia hipotetycznego scenariusza opisującego proces delaminacji tych warstw;
- sformułowanie metody pozwalającej na półanalityczne oszacowanie procesu dwuwymiarowego poślizgu ciernego warstwy na sztywnym podłożu oraz wyprowadzenie wzorów opisujących kształt strefy zdelaminowanej;
- sformułowanie zasad działania czujnika piezoelektrycznego pozwalającego na pomiar sprzężonych modułów sprężystych wielowarstwowego materiału oraz przedstawienie warunków jego efektywnego działania.

Stosowane przez Habilitanta narzędzia badawcze są adekwatne do rozważanej problematyki. Autor rozprawy szeroko korzysta ze swoich wcześniejszych publikacji.

Wyszczególnione powyżej osiągnięcia badawcze Habilitanta stanowią istotny wkład do rozwoju dyscypliny naukowej *Mechanika*. Uważam, że przedstawiona do oceny rozprawa w stopniu wystarczającym spełnia wymagania Ustawy o Stopniach i Tytule Naukowym i może stanowić podstawę do ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie *Mechanika*.

Uwagi krytyczne

W tym miejscu chciałbym zapytać Habilitanta o zakres praktycznej stosowalności opracowanej metody. Wprawdzie w pracy podano kilka możliwych zastosowań (np. pokrycia izolacji termicznej łopatek turbin gazowych) lecz przypuszczam, iż w tym konkretnym przypadku należy również wziąć pod uwagę zmienność naprężeń w materiale nośnym na skutek skomplikowanych procesów dynamicznych (np. drgań giętno – skrętnych).

Podsumowanie rozprawy

Podsumowując sposób przedstawienia zagadnień opisanych w pracy należy stwierdzić, że rozprawa zawiera dobrze sformułowany problem badawczy, jego rozwiązanie oraz wnioski o charakterze aplikacyjnym. Autor podjął się rozwiązania trudnego zadania badawczego. Zarówno sformułowanie problemu jak i sposób jego rozwiązania spełniają warunki stawiane pracom habilitacyjnym.

Uważam, że przedłożona do recenzji rozprawa habilitacyjna podsumowuje i zamyka ważny etap dorobku naukowego Habilitanta i wskazuje na jego dużą aktywność badawczą. Osiągnięcia badawcze przedstawione w rozprawie moim zdaniem wnoszą istotne elementy do rozwoju dyscypliny naukowej *Mechanika*.

3. OCENA ISTOTNEJ AKTYWNOŚCI NAUKOWEJ:

Obszarem zainteresowań naukowych Habilitanta są aspekty mechaniki pęknięcia związane z rozwojem uszkodzeń na granicy różnych materiałów.

Tematyce modeli konstytutywnych dla warstw kontaktowych poświęcona była jego rozprawa doktorska, w której przedstawił model rozwoju uszkodzenia w strefie kohezijnej w oparciu o formalizm stosowany w teorii plastyczności. Rozwój uszkodzenia w obszarze połączenia w zaproponowanym sformułowaniu polega na izotropowej ewolucji procesu zniszczenia, natomiast charakter osłabienia materiału opisany jest trzema rodzajami funkcji: nieciągłą, malejącą liniowo oraz malejącą wykładniczo.

W prowadzonych pracach badawczych Habilitant interesował się zjawiskami zniszczenia na powierzchniach kontaktu różnych materiałów (cienkich warstw). W szczególności badał dwa ważne aspekty: odspajanie warstw od podłoża oraz problem pęknięcia po grubości warstwy. Do opisu stref kohezijnych stosował narzędzia wykorzystywane do opisu delaminacji cienkiej warstwy natomiast w przypadkach zjawisk pęknięcia po grubości warstwy stosował kryteria naprężeniowe.

Mając świadomość, iż wymienione powyżej modele zjawisk delaminacji i pęknięcia poprzecznego warstwy zostały sformułowane na podstawie jednowymiarowego sprężystego paska i model ten nie uwzględnia szeregu efektów obserwowanych w przypadku badań warstwy rzeczywistej Habilitant zaproponował model warstwy w postaci dwuwymiarowej tarczy. Rozważania Habilitanta na temat wyników w tym przypadku są pionierskie w literaturze przedmiotu i zasługują na uwagę.

Kolejny obszar działalności naukowej Habilitanta stanowi zagadnienie modelowania warstw izolacji termicznej TBC (ang. *Thermal Barrier Coating*). Zagadnienie ma duże znaczenie praktyczne z uwagi na konieczność opracowania procedur umożliwiających przewidywanie czasu użytkowania pokryć izolacji termicznych w stacjonarnych turbinach gazowych. Punktem wyjścia w przypadku modelowania tych zagadnień jest modelowanie wielkoskalowe, w którym punktem wyjścia jest stan koncentracji naprężeń w pobliżu połączenia cienkiej warstwy z podłożem. W następnym etapie przeprowadza się badania zjawisk powstawania mikrouszkodzeń a następnie makroskopowych rys.

Innym obszarem zainteresowań naukowych Habilitanta jest diagnostyka cech mechanicznych skóry na podstawie analizy propagacji w niej fal harmonicznym. Habilitant opracował i opisał podstawy funkcjonowania czujnika piezoelektrycznego, który poprzez analizę odwrotną rejestrowanych sygnałów może być wykorzystywany do rekonstrukcji modułów zespolonych lepko – sprężystego medium.

Innym polem zainteresowań badawczych Habilitanta jest rozwój metod elementów skończonych w aspektach dotyczących rozwoju modelowania uszkodzeń w materiałach. W swoich pracach badawczych Habilitant przedstawił dwuwymiarowy element skończony pozwalający na opis zjawiska delaminacji i poślizgu ciernego. Habilitant uczestniczył także w opracowaniu metody analizy procesu pęknięcia po grubości warstwy TBC stosując specjalny element skończony.

Dr inż. Marcin BIAŁAS po doktoracie opublikował 10 artykułów w czasopismach naukowych zamieszczonych na liście Filadelfijskiego Instytutu Informacji Naukowej.

Prace Habilitanta opublikowano w czasopismach:

<i>Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics</i>	(w)	50%
<i>International Journal of Solids and Structures</i>	(w)	90%
<i>Materials Science and Engineering A</i>	(w)	70%
<i>Engineering Fracture Mechanics</i>	(w)	90%
<i>Engineering Fracture Mechanics</i>	(w)	90%
<i>Mechanics of Materials</i>	(w)	90%
<i>Surface and Coatings Technology</i>	(s)	100%
<i>Advanced Engineering Materials</i>	(w)	10%
<i>International Journal of Solids and Structures</i>	(w)	90%
<i>Journal of Elasticity</i>	(s)	100%

W tabeli zaznaczono procentowy udział Habilitanta w każdej z ww. prac.

Dr inż. Marcin BIAŁAS po doktoracie opublikował 3 referaty w materiałach międzynarodowych konferencji naukowych:

<i>Symposium on Multiscale Modelling of Damage and Fracture Processes in Composite Materials</i>	Kazimierz Dolny (2005)	80%
<i>8th Liege Conference: Materials of Advanced Power Engineering</i>	Liege, Belgia (2006)	70%
<i>31th International Conference on Advanced Ceramics and Composites</i>	Daytona Beach, USA (2007)	90%

W tabeli zaznaczono procentowy udział Habilitanta w każdej z ww. prac.

Pandto Habilitant jest współautorem rozdziału w książce: M. Białas, Z. Mróz (2005), *Multiscale Modelling of Damage and Fracture Processes in Composite Materials*, CISM Courses and Lectures, Vol. 474, Springer, Wien, (213–270). Jego deklarowany udział w pracach nad przygotowaniem rozdziału wynosi 90%.

Liczba publikacji Habilitanta podawana przez bazę ISI *Web of Knowledge* (dnia 2 stycznia 2013) wynosiła 12; liczba cytowań 51; bez samo cytowań 36; indeks Hirscha=5. Wszystkie czasopisma, w których Habilitant publikował prace po doktoracie znajdują się na liście filadelfijskiej.

Dr inż. Marcin BIAŁAS był recenzentem prac publikowanych w kilku ważnych czasopismach naukowych: *Materials Science and Engineering A*, *Engineering Fracture Mechanics*, *Surface & Coatings Technology*, *An International Journal of Mechanics Based Design of Structures and Machines*, *Archives of Mechanics*, *Journal of Engineering Mechanics ASCE*.

Dr inż. Marcin BIAŁAS odbył kilka interesujących praktyk zagranicznych. W 1999 roku był praktykantem w firmie *Hibbitt, Karlsson & Sorensen, Inc.* (firma rozwijająca pakiet obliczeń metodą elementów skończonych ABAQUS). W latach 2004–2006 odbył staż naukowy w *Research Center Juelich, Institute for Materials and Processing in Energy Systems*, (Niemcy). W 2008 roku był praktykantem w *Research Center Juelich, Institute of Energy Research*, (Niemcy). W latach 2009–2010 odbył staż naukowy w *University of Minnesota, Department of Civil Engineering*, (USA)

Chciałbym również podkreślić dużą aktywność Habilitanta w zakresie pozyskiwania i realizacji europejskich i krajowych projektów badawczych.

Dr inż. Marcin BIAŁAS był głównym wykonawcą 3 projektów:

<i>Projekt KBN nr 8T07A00721</i>	promotorski
<i>Marie Curie European Reintegration Grant</i>	stypendium indywidualne
<i>Marie Curie Intra – European Fellowship</i>	stypendium indywidualne

oraz podwykonawcą w 6 innych projektach:

<i>Projekt nr T07A02220</i>	<i>Komitet Badań Naukowych</i>
<i>Projekt nr 3T08C02129</i>	<i>Komitet Badań Naukowych</i>
<i>Projekt Transferbereich 63</i>	<i>German Research Foundation</i>
<i>Projekt CMMI-0726884</i>	<i>National Science Foundation</i>
<i>Projekt MATRANS</i>	<i>finansowany przez Komisję Europejską</i>
<i>Projekt KomCerMet</i>	<i>finansowany z funduszy strukturalnych</i>

Uwagi krytyczne:

W tym miejscu chciałbym wskazać na stosunkowo małą aktywność Habilitanta w zakresie prezentacji swoich osiągnięć na zagranicznych i krajowych konferencjach naukowych. Prezentacja osiągnięć naukowych i podejmowanie dyskusji na forum publicznym stanowi ważny element pracy naukowej.

Innym ważnym elementem pracy naukowej jest współpraca z inżynierami zatrudnionymi w przemyśle i przemysłowych ośrodkach badawczych. W dostarczonych mi dokumentach nie znalazłem opisu takiej aktywności Habilitanta – a szkoda, ponieważ opracowane przez niego metody mogą zainteresować właśnie takich odbiorców. Nie znalazłem także informacji na temat zgłoszonych / przyznanych patentów. Jest to wprawdzie ogólny problem w naszym kraju lecz właśnie w przypadku Habilitanta widzę kilka możliwości pozytywnego działania w tym zakresie.

W dostarczonych dokumentach nie znalazłem także informacji na temat działalności dydaktycznej. Warto o tym pomyśleć – nie chodzi o podejmowanie dodatkowego zatrudnienia w uczelniach lecz na przykład o podjęcie wykładów w ramach projektów / programów unijnych.

Nie zauważyłem także wzmianki na temat działalności organizacyjnej Habilitanta w zakresie organizacji konferencji, seminariów, warsztatów naukowych, szkoleń, prac redakcyjnych, itp.

4. PODSUMOWANIE I WNIOSEK KOŃCOWY

Reasumując stwierdzam, że przedłożona do oceny w postępowaniu habilitacyjnym dr inż. Marcina BIAŁASA monografia pt.: *Mechanical Modelling of Thin Films (Stress Evolution, Degradation, Characterization)* zawiera szereg wyżej wymienionych oryginalnych wyników badań, które stanowią poważny wkład do rozwoju dyscypliny naukowej *Mechanika*. Dorobek naukowy Habilitanta po doktoracie jest oryginalny i wystarczający do nadania Mu stopnia doktora habilitowanego.

W moim przekonaniu dorobek naukowy i aktywność badawcza dr inż. Marcina BIAŁASA spełniają warunki określone w obowiązującej Ustawie o Stopniach i Tytule Naukowym i mogą stanowić podstawę do nadania Mu stopnia naukowego doktora habilitowanego nauk technicznych w dyscyplinie *Mechanika*.