



prof. dr hab. inż. Zbigniew Kołakowski
zbigniew.kolakowski@p.lodz.pl

Łódź, 25.11.2016 r.

Recenzja
dorobku naukowego i wyodrębnionego jednotematycznego cyklu publikacji
pt. „Modelowanie numeryczne procesów zachodzących podczas ablacji
nanosekundowym impulsem lasera”
oraz dorobku dydaktycznego i organizacyjnego w postępowaniu habilitacyjnym
dr inż. Tomasza Mościckiego

Niniejsza recenzja wykonana została na podstawie decyzji Centralnej Komisji ds. Stopni i Tytułów z dnia 9 września 2016 r., na zlecenie Sekretarza Rady Naukowej Instytutu Podstawowych Problemów Techniki PAN z dnia 7 października 2016 r.

1. Wstęp

Dr inż. Tomasz Mościcki ukończył studia na Wydziale Mechanicznym Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej w 2001 roku, a następnie rozpoczęła pracę na stanowisku asystenta w Instytucie Podstawowych Problemów Techniki PAN w Warszawie. W roku 2007 uzyskał stopień doktora nauk technicznych za pracę pt. „Badanie właściwości fizycznych obłoku plazmowego powstającego przy spawaniu laserowym stali”. W tym samym roku awansował na stanowisko adiunkta w IPPT PAN.

2. Ocena osiągnięcia naukowego (jednotematycznego cyklu publikacji)

Jednotematyczny cykl publikacji przedstawiony jako osiągnięcie naukowe zatytułowano „Modelowanie numeryczne procesów zachodzących podczas ablacji nanosekundowym impulsem lasera”. Na cykl prac składa się siedem artykułów opublikowanych w czasopiśmie z bazy JCR i są to:

1. Mościcki T., Hoffman J., Szymanski Z. Modelling of plasma formation during nanosecond laser ablation. Archives of Mechanics 63 (2011), 99-116.
2. Mościcki T., Hoffman J., Szymański Z. Laser ablated carbon plume: Experiment and modelling. Nukleonika. International Journal of Nuclear Research 57 (2012), 283-286.
3. Mościcki T., Hoffman J., Szymanski Z. The effect of laser wavelength on laser-induced carbon plasma. Journal of Applied Physics 114 (2013), 083306.
4. Mościcki T. Expansion of laser-ablated two-component plume with disparate masses. Physica Scripta T161 (2014).



Politechnika Łódzka, Katedra Wytrzymałości Materiałów i Konstrukcji

ul. B. Stefanowskiego 1/15, 90-924 Łódź,

tel.: 42 631 22 14 tel./fax.: 42 636 49 85

e-mail: mechmat@info.p.lodz.pl <http://www.kwm.p.lodz.pl>



5. Mościcki T., Hoffman J., Chrzanowska J. The absorption and radiation of a tungsten plasma plume during nanosecond laser ablation. *Physics of Plasmas* 22 (2015), 103303.
6. Mościcki T., Radziejewska J., Hoffman J., Chrzanowska J., Levintant-Zayonts N., Garbiec D., Szymanski Z. WB2 to WB3 phase change during reactive spark plasma sintering and pulsed laser ablation/deposition processes. *Ceramics International* 41 (2015), 8273-8281.
7. Mościcki T. Differences in nanosecond laser ablation and deposition of tungsten, boron and WB2/B composite due to optical properties. *International Journal of Optics* (2016), Art. ID 5438721, 1-13 (<http://dx.doi.org/10.1155/2016/5438721>).

Dr inż. Tomasz Mościcki jest autorem 2 (pozycje 4 i 7) i współautorem pozostałych 5 artykułów z prezentowanego cyklu publikacji. Zgodnie z oświadczeniami współautorów udział Habilitanta jest dominujący i wynosi odpowiednio: 65% w przypadku pozycji 6 oraz od 80% do 90% w przypadkach pozycji 1-3 i 5.

Obecnie znanych jest wiele materiałów o odmiennych strukturach i zdecydowanie różnych właściwościach. Z tego względu szczególnego znaczenia nabierają metody teoretycznej symulacji komputerowych umożliwiające dokładny opis wybranych zjawisk zachodzących podczas ablacji laserowej i formowania się obłoku plazmowego.

Ablacja laserowa jest to proces usuwania materiału z jego powierzchni na skutek oddziaływania promieniowania laserowego o dużym natężeniu. W zależności od czasu trwania impulsu można rozróżnić dwa rodzaje ablacji tj. ablację termiczną i ablację fotochemiczną. W przypadku ablacji termicznej dla impulsu nanosekundowego, zaabsorbowana energia lasera w całości zamienia się w ciepło.

Recenzowane osiągnięcie naukowe dotyczy numerycznego modelowania termicznego w przypadku zjawiska ablacji laserowej i formowania się obłoku plazmowego zachodzącego podczas nanoszenia powłok metodą nanosekundowego impulsu laserowego (*PLD, pulsed laser deposition*).

W modelowaniu numerycznym wykorzystano pakiet ANSYS Fluent do rozwiązywania układów równań zachowania masy, pędu i energii. Dla różnych materiałów tarczy zamodelowano różne mechanizmy ablacji takie jak: wrzenie wybuchowe, parowanie czy mieszany charakter (kropelkowa struktura osadzonej warstwy). Wprowadzono dwa współczynniki absorpcji (tj. dla różnych temperatur w czasie do zapłonu plazmy i po zapłonie kiedy obydwie temperatury są sobie równe) i uwzględniono wszystkie mechanizmy pochłaniania w plazmie. Przyjęcie źródła pochłaniania objętościowego pozwoliło na analizę wpływu długości fali lasera na przebieg procesu ablacji. Uwzględnienie tego rodzaju pochłaniania we wczesnej fazie formowania się obłoku prowadzi do znacznego wzrostu ciśnienia i temperatury plazmy. To powoduje wcześniejszy zapłon plazmy i uzyskanie większych prędkości obłoku plazmowego. Habilitant wyjaśnił mechanizm przyspieszania obłoku plazmy podczas ablacji zjawiskami gazodynamicznymi, które są zgodne z wynikami eksperymentu. Wykazał także, że nie można zaniedbywać pochłaniania na nanocząstkach powstałych wskutek kondensacji lub wyrzuconych w wyniku eksplozji fazy. Badania nad formowaniem obłoku plazmowego pozwoliły zaobserwować dodatkowe, niezbadane do tej pory zjawisko powstania fali detonacyjnej po zapłonie plazmy.



Politechnika Łódzka, Katedra Wytrzymałości Materiałów i Konstrukcji

ul. B. Stefanowskiego 1/15, 90-924 Łódź,

tel.: 42 631 22 14 tel./fax.: 42 636 49 85

e-mail: mechmat@info.p.lodz.pl <http://www.kwm.p.lodz.pl>



Ponadto zaproponował nowy, nieuwzględniany do tej pory mechanizm usuwania materiału podczas ablacji tzw. „detonacja w fazie ciekłej”. We wszystkich obliczeniach obłoku jest spełnione założenie lokalnej równowagi termodynamicznej (LTE) w rozważanym przedziale czasowym. W obliczeniach numerycznych zastosowano metodę iteracyjną polegającą na operacji modyfikacji gęstości i ciepła właściwego. Pozwoliło to na otrzymanie wymaganej dokładności modelu.

Opracowany model umożliwia wyznaczenie parametrów plazmy, które są bardzo trudne do wyznaczenia eksperymentalnie (np. pola ciśnień, temperatur, gęstości).

Dr inż. Tomasz Mościcki przeanalizował wpływ długości fali promieniowania laserowego, gęstości energii oraz składu tarczy na przebieg procesu ablacji i na parametry obłoku plazmowego, co zostało wykorzystane do osadzania super-twardych warstw. Wykazał różnice w zachowaniu się obłoku podczas ablacji różnych materiałów, w których skład wchodzi pierwiastki o znacząco różnych masach. Przeprowadzona analiza pozwoliła na opis rozwoju obłoku, określenie optymalnego czasu i położenia widma emisyjnego. Ponadto umożliwiła wyznaczenie strat wynikających z ekranowania tarczy przez obłok plazmowy, co ma istotny wpływ na przebieg ablacji.

Zastosowany model zweryfikowano eksperymentalnie przy wykorzystaniu metod profilometrycznych i optycznych uzyskując dobrą zgodność wyników eksperymentalnych i obliczeń numerycznych dla pól prędkości i temperatur, kształtu obłoku plazmowego oraz objętości kraterów powstałych w wyniku ablacji.

Opracowany model jest użytecznym narzędziem pozwalającym w prosty sposób na dobór parametrów lasera niezbędnych do osadzania warstw impulsem laserowym. Tak powstały model został wykorzystany do opisu zjawisk zachodzących podczas ablacji boru, wolframu oraz kompozytu WB₂/B. Uzyskane wyniki posłużyły do doboru parametrów osadzania super-twardych warstw z borków wolframu.

Podsumowując stwierdzam, że przedstawiony cykl prac jest spójny, bardzo aktualny i ważny ze względu na duże, w ostatnim czasie, zainteresowanie i stosowanie metod osadzania super-twardych warstw.

Powyższe potwierdza łączna liczba cytowań prac stanowiący cykl prac opublikowanych w czasopiśmie z listy JCR według bazy Web of Science (WoS) wynosząca 25 (bez autocytowań), indeks Hirscha = 7, sumaryczny 5-letni Impact Factor $IF_5=9.364$, zaś liczba punktów z wykazu czasopism naukowych mających IF MNiSW wynosi 180.

W mojej ocenie do najbardziej oryginalnych i najważniejszych osiągnięć dr. inż. Tomasza Mościckiego należy zaliczyć:

- Teoretyczne zamodelowanie zjawiska ablacji laserowej i formowania się obłoku plazmowego podczas osadzania powłok metodą nanosekundowego impulsu laserowego (PLD),
- Zamodelowanie różnych mechanizmów ablacji różnych tarcz wykonanych z aluminium, grafitu, wolframu oraz kompozytu WB₂/B,
- Uwzględnienie wszystkich mechanizmów pochłaniania w plazmie,
- Wyjaśnienie zjawiska przyspieszania obłoku plazmy podczas ablacji,
- Opisanie zjawiska powstawania fali detonacyjnej po zapłonie plazmy,



Politechnika Łódzka, Katedra Wytrzymałości Materiałów i Konstrukcji

ul. B. Stefanowskiego 1/15, 90-924 Łódź,

tel.: 42 631 22 14 tel./fax.: 42 636 49 85

e-mail: mechmat@info.p.lodz.pl <http://www.kwm.p.lodz.pl>



- Zaproponowanie nowego mechanizmu usuwania materiału podczas ablacji (tzw. detonacja w fazie ciekłej),
- Ocena wpływu długości fali promieniowania laserowego, gęstości energii oraz składu tarczy na przebieg procesu ablacji i na parametry obłoku plazmowego,
- Eksperymentalna weryfikacja opracowanego modelu numerycznego wykorzystując metody profilometryczne i optyczne.

Stwierdzam, że przedstawione do oceny osiągnięcie naukowe stanowi znaczący wkład Habilitanta w rozwój dyscypliny mechanika i spełnia kryteria oceny w zakresie osiągnięć naukowo-badawczych.

3. Ocena dorobku naukowo-badawczego

Podstawowym nurtem zainteresowań badawczych Habilitanta, poza głównym cyklem publikacji, są zjawiska ablacji węgla i formowania się obłoku plazmowego zachodzących podczas osadzania powłok metodą PLA/PLD (Pulsed Laser Ablation /Deposition).

Drugim obszarem zainteresowań są super-twarde warstwy wykonane z borków metali z grupy 6 układu okresowego pierwiastków tj. renu i wolframu metodą PLD i rozpylania magnetronego. Dorobek publikacyjny uzupełniają prace dotyczące zjawiska przetapiania laserowego z oscylacjami źródła energii i spawania przewodnościowego materiałów różnoimiennych.

Dorobek naukowo-badawczy Habilitanta, z wyłączeniem publikacji zgłoszonych jako jednotematyczny cykl publikacji, uzyskany po obronie rozprawy doktorskiej, tj. w latach 2007-2016 składa się z 12 artykułów wydanych w czasopismach znajdujących się w części A wykazu czasopism naukowych MNiSW znajdujących się w bazie JCR. Dorobek ten uzupełnia 14 publikacji w recenzowanych czasopismach i abstrakty konferencji międzynarodowych, w tym tylko 2 konferencji krajowych.

Łączna liczba cytowań tych prac bazy Web of Science (*WoS*) wynosi 44 (bez autocytaowań), sumaryczny 5-letni Impact Factor $IF_5=18.766$, zaś liczba punktów z części A wykazu czasopism naukowych MNiSW mających IF wynosi 335, zaś Indeks Hirscha = 7.

Dr inż. Tomasz Mościcki jest promotorem pomocniczym doktoranta mgr. inż. Rafała Banaka na Wydziale Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej. Przewód doktorski pt. „Analiza pola temperatur i kształtu strefy przetopieniowej w procesie spawania laserowego” wszczęto w dniu 11 grudnia 2014 r. Był także opiekunem naukowym podczas stażu w IPPT PAN.

Kierował projektem własnym SONATA NCN „Super-twarde pokrycia osadzone impulsem laserowym” realizowany w latach 2013-2016. Brał lub bierze udział w sześciu projektach, w tym NCN i NCBiR, jako wykonawca.

Habilitant otrzymał dwa wyróżnienie Dyrektora IPPT PAN za osiągnięcia naukowe:

- w kategorii młodych pracowników, a w szczególności za publikacje w najwyższej punktowanych czasopismach (2012),
- w kategorii pracowników >35 lat, a w szczególności publikacje w najwyższej punktowanych czasopismach (2016).



Politechnika Łódzka, Katedra Wytrzymałości Materiałów i Konstrukcji

ul. B. Stefanowskiego 1/15, 90-924 Łódź,

tel.: 42 631 22 14 tel./fax.: 42 636 49 85

e-mail: mechmat@info.p.lodz.pl <http://www.kwm.p.lodz.pl>



Wykonał recenzje dla czasopism z listy JCR: Plasma Chemistry and Plasma Processing (Springer, IF = 2.056, 2011) i Computational Materials Science (Elsevier, IF=2.131, 2016).

Podsumowując ocenę dorobku naukowo-badawczego (z wyłączeniem osiągnięcia naukowego) dr inż. Tomasza Mościckiego oceniam go jako „wyróżniający się”, gdyż składa się on z 26 prac naukowych w tym 12 zamieszczonych w czasopismach posiadających IF.

Stwierdzam, że zgodnie z kryteriami oceny w zakresie osiągnięć naukowo-badawczych, oceniany dorobek spełnia wymagania stawiane Kandydatom ubiegającym się o stopień doktora habilitowanego.

4. Ocena stopnia spełnienia pozostałych wymagań ustawowych

Dr inż. Tomasz Mościcki spełnia, spośród 14 kryteriów wymienionych art. 5 Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 1 września 2011(Dz. U. Nr 196, poz. 1165), dziewięć następujących:

1. brał czynny udział w 12. konferencjach międzynarodowych i 2. krajowych;
2. otrzymał dwa wyróżnienie Dyrektora IPPT PAN za osiągnięcia naukowe (za publikacje w najwyższej punktowanych czasopismach);
3. brał udział w 2. projektach badawczych realizowanych w ramach konsorcjów finansowanych przez NCBiR:
 - Technologie laserowego spawania dla energetyki i ochrony środowiska (LAS-ENERG), PBS1/B5/13/2012 (Koordynator Politechnika Świętokrzyska, czas realizacji 2012-2015, całkowita wartość projektu 3 480 892 PLN);
 - Zdalne wykrywanie i identyfikacja skażeń biologicznych z zastosowaniem zaawansowanych metod optoelektroniki, K147/T02/2007 (Koordynator WAT, czas realizacji 2007-2011, całkowita wartość projektu 17 446 000 PLN);
4. kierował projektem własnym SONATA NCN;
5. we współpracy z dr. Grabcem z Instytutu Obróbki Plastycznej w Poznaniu popularyzował naukę w aspekcie oceny wpływu parametrów spiekania i stechiometrycznego składu proszków na jakość spieków;
6. był opiekunem naukowym podczas stażu w IPPT PAN;
7. jest promotorem pomocniczym na Wydziale Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej;
8. opracował na potrzeby Zakładu Precyzyjnego Iskra Sp. z o.o. model numeryczny spawania elektrod świec niklowych;
9. opracował recenzje artykułów dla czasopism z listy JCR.

Na podstawie powyższego stwierdzam, że zgodnie z kryteriami oceny w zakresie dorobku dydaktycznego i popularyzatorskiego oraz współpracy międzynarodowej dr inż. Tomasz Mościcki spełnia wymagania stawiane Kandydatom ubiegającym się o stopień doktora habilitowanego w zakresie dorobku dydaktycznego i popularyzatorskiego oraz współpracy międzynarodowej.



Politechnika Łódźka, Katedra Wytrzymałości Materiałów i Konstrukcji

ul. B. Stefanowskiego 1/15, 90-924 Łódź,

tel.: 42 631 22 14 tel./fax.: 42 636 49 85

e-mail: mechmat@info.p.lodz.pl <http://www.kwm.p.lodz.pl>



5. Wniosek końcowy

Po zapoznaniu się z całokształtem działalności naukowo-badawczej, dydaktycznej, popularyzatorskiej i współpracy międzynarodowej oraz jednotematycznym cyklem publikacji, stwierdzam, że dorobek naukowy dr inż. Tomasza Mościckiego jest znaczący i wystarczający do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego. Dorobek ten charakteryzuje się dużą aktualnością tematyki, wysokim stopniem oryginalności oraz odpowiada bieżącym potrzebom gospodarki.

Podsumowując uważam, że dr inż. Tomasz Mościcki spełnia wszystkie wymagania wynikające z: Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym (Dz. U. Nr 65 poz. 595 ze zmianami wprowadzonymi ustawą z dnia 18 marca 2011 roku) i Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 1 września 2011 roku w sprawie kryteriów oceny osiągnięć osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora habilitowanego (Dz.U. Nr 196, poz. 1165).

W świetle powyższego popieram wniosek o nadanie dr. inż. Tomaszowi Mościckiemu stopnia naukowego doktora habilitowanego nauk technicznych w dyscyplinie mechanika.



Politechnika Łódźka, Katedra Wytrzymałości Materiałów i Konstrukcji

ul. B. Stefanowskiego 1/15, 90-924 Łódź,

tel.: 42 631 22 14 tel./fax.: 42 636 49 85

e-mail: mechmat@info.p.lodz.pl <http://www.kwm.p.lodz.pl>