

Dr hab. inż. Sebastian Molin, prof. PG  
Katedra Inżynierii Materiałów Funkcjonalnych  
Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki  
Politechnika Gdańska

02-10-2023

Recenzja rozprawy doktorskiej

**“Kształtowanie struktury i właściwości kompozytów na bazie szkieł  
metalicznych, wytwarzanych metodą przetapiania proszków”**

Autorstwa mgr. inż. Łukasza Źródowskiego

**Wstęp**

Niniejsza recenzja powstała na zlecenie Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Materiałowa na Politechnice Warszawskiej na podstawie uchwały z dnia 26 czerwca 2023.

Praca powstała na Wydziale Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej, w dyscyplinie naukowej – inżynieria materiałowa, w dziedzinie nauk – nauki inżynieryjno-techniczne. Promotorem recenzowanej rozprawy jest prof. dr hab. inż. Marcin Leonowicz, promotorem pomocniczym dr inż. Rafał Wróblewski, pracownicy Wydziału Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej.

**Tematyka badawcza oraz tytuł rozprawy**

Tematyka rozprawy doktorskiej dotyczy aspektów związanych z niezwykle aktualnymi zagadnieniami związanymi z przyrostowymi metodami wytwarzania materiałów (AM – Additive Manufacturing), w szczególności odnoszącymi się do ciekawej i unikalnej grupy materiałów określanych szkłami metalicznymi. Rozwój technologii AM w ostatnich latach, zarówno w zakresie konsumenckich drukarek 3D jak i zaawansowanych materiałów metalicznych np. dla przemysłu lotniczego, rewolucjonizują życie codzienne. Praca doskonale wpisuje się także w tzw. Cele

Zrównoważonego Rozwoju ONZ (Sustainable Development Goals). Wg ostatnich raportów<sup>1</sup>, metody AM mają lub będą miały znaczny wpływ na większość celów SDG, w tym w szczególności na SDG1 (No poverty), SDG3 (Good Health and Wellbeing), czy SDG9 (Industry, innovation, and Infrastructure).

Tytuł rozprawy: „*Kształtowanie struktury i właściwości kompozytów na bazie szkieł metalicznych, wytwarzanych metodą selektywnego przetapiania proszków*” bardzo dobrze definiuje cele oraz rzeczywistą zawartość pracy.

### **Motywacja do wykonania pracy**

We wstępie krótko zaznaczono najważniejsze powody podjęcia się realizacji pracy doktorskiej, które wydają się rzeczywiście bardzo ważne i istotne z kilku punktów widzenia. Autor rozprawy w szczególności wskazuje na bardzo słabą dostępność szkieł metalicznych w postaci proszkowej oraz rozwijające się nowoczesne metody metalurgii proszków, umożliwiające otrzymywanie materiałów o kontrolowanej mikrostrukturze, np. o projektowanej strukturze i udziale fazy krystalicznej i amorficznej. Motywacja pracy wydaje się więc „oddolna” i polega na rozwiązaniu konkretnego istniejącego problemu czy wyzwania technologicznego.

### **Opis poszczególnych części pracy wraz z uwagami**

Praca została napisana jako zbiór publikacji naukowych i patentów wraz z dołączonym krótkim wstępem opisującym najważniejsze wg autora zagadnienia.

Recenzowana praca zawiera 54 strony wprowadzenia, uwzględniając bibliografię (5 stron). Dodatkowo przedstawiono listę pięciu publikacji stanowiącą rozprawę oraz listę jedenastu patentów, z czego do rozprawy dołączono opisy trzech wybranych.

Jako ogólny wstęp wprowadzający do zagadnień rozprawy należy potraktować rozdziały: *1. Wstęp, 2. Wytwarzanie proszków – atomizacja ultradźwiękowa, 3. Spiekanie impulsowo-plazmowe, 4. Laserowa fuzja w złożu proszkowym, zajmujące objętość sześciu stron.*

Rozdział 1, zajmujący niecałe 2 strony zwięźle wprowadza do tematu szkieł metalicznych, wskazując na ich początki w latach 60-tych XX wieku. Jak wspomniano powyżej, zawarto tutaj także niejako motywację do wykonania pracy.

---

<sup>1</sup> J. Muth, A. Klunker, Ch. Völlmecke, "Putting 3D printing to good use—Additive Manufacturing and the Sustainable Development Goals", *Frontiers in Sustainability*, 4, 2023

Rozdział 2 na jednej stronie przedstawia metodę wytwarzania proszków metodą atomizacji ultradźwiękowej. Ze względu na wysokie wymagania proszków do metod LPBF (ang. Laser Powder Bed Fusion) lub FAST (ang. Field Assisted Sintering Technology), wytwarzane one są najczęściej metodą atomizacji gazowej, co wymaga produkcji większej ilości proszków, co niestety czyni tę metodę trudnodostępną lub wręcz niedostępną do produkcji w procesie badań podstawowych w małej skali. Atomizacja ultradźwiękowa stanowi jedną z najmniej zbadanych metod produkcji proszków, która została opracowana i rozwinięta w pracach doktoranta.

W tym miejscu chciałbym zaznaczyć, iż w swojej własnej pracy naukowej zajmuję się zagadnieniami metalurgii proszków, w tym w szczególności stali nierdzewnych. Niestety, dostępność zaawansowanych proszków stali nierdzewnych jest znikoma, co stanowi istotną przeszkodę w rozwoju nowoczesnych technologii, gdzie te materiały mogłyby zostać wykorzystane. Ich typowe metody produkcji także wykluczają prace podstawowe na małych seriach. Nawet projekty o wysokich budżetach nie są w stanie często pracować z wytwarzaniem nowych składów proszków i ich atomizacją.

Rozdział 3, również na objętości niecałej jednej strony, wprowadza zagadnienie spiekania impulsowo-plazmowego jako nowoczesnej metody formowania materiałów z zaznaczeniem, że w szczególności procesy szybkiego spiekania są obiecujące i nie zostały dobrze przebadane.

Rozdział 4, na niecałych dwóch stronach przedstawia metodę laserowej fuzji w złożu proszkowym (ang. Laser Powder Bed Fusion) jako dynamicznie rozwijającej się i przyszłościowej metodzie. Opisano wpływ ekspozycji lasera na strukturę materiałów, podkreślając rolę strefy wpływu ciepła (ang. Heat Affected Zone), małych gęstości energii na okno procesowe obróbki materiałów, w szczególności w zagadnieniu otrzymywania gęstych materiałów szklanych.

W rozdziałach wprowadzających zawarto niezbędne odniesienia literaturowe. Łącznie zacytowano tutaj 39 prac. Cytowane prace pochodzą z lat 60 do zupełnie nowych publikacji. Cytowane są wczesne prace dotyczące tematu atomizacji ultradźwiękowej, aż do współczesnych publikacji dotyczących szkieł metalicznych, uwzględniając także ważne publikacje przeglądowe. W pracy błędnie cytowana jest pozycja [38], której w tekście brakuje – występuje odnośnik do pracy [31].

Na podstawie przedstawionych rozdziałów wstępnych, w rozdziale 5 opisano cel i zakres pracy, zajmujące niecałą jedną stronę. Cytując za rozprawą: „Celem pracy było zaprojektowanie procesu wytwarzania kompozytów in situ na bazie szkieł metalicznych metodami metalurgii proszków, ze

szczególnym uwzględnieniem metody LPBF”. W ramach prac wykonano szereg badań/prac przygotowawczych. W szczególności opracowano metodę wytwarzania proszków w oparciu o atomizację ultradźwiękową, opracowano metodę spiekania proszków z zastosowaniem metody FAST. Na koniec opisano opracowanie metody LPBF, która umożliwia kontrolę przestrzennego rozmieszczenia fazy szklistej i krystalicznej. Wszystkie zadania wykonywano dla materiałów na bazie szkieł metalicznych.

Rozdział 6 rozprawy, Wyniki badań, jest najważniejszą częścią pracy podsumowującą niejako późniejsze publikacje. Rozdział zajmuje objętość 34 stron i stanowi główną część rozprawy (poza zawartymi kopiami publikacji). Zawarto tutaj łącznie 28 rysunków, co stanowi znaczną część rozdziału.

Jako pierwsze zostały opisane wyniki badań dotyczące atomizacji stopów i otrzymywanie proszków (podrozdział 6.1, 4 strony objętości). Wyniki badań zostały opublikowane w pracy C1 z listy publikacji<sup>2</sup>. Z niezrozumiałych powodów nie są tutaj cytowane żadne patenty/zgłoszenia patentowe, chociaż niektóre z nich (np. P1) wydają się połączone z przedstawianymi wynikami. Niestety żadna z pozycji patentowych nie zostaje cytowana w tym rozdziale. Także, publikacja oznaczona jako C1, podawana jako pierwsza na liście publikacji stanowiących rozprawę na stronie 55, jest umieszczona jako trzecia w kolejności. Ta nielogiczna struktura przedstawiania kolejności publikacji, utrudnia łatwe poruszanie się po rozprawie. Wraz z brakiem odnośników do podanych patentów, stanowi to bardzo duże uchybienie edytorskie rozprawy.

Po przedstawieniu schematu atomizera ultradźwiękowego, przedstawiono wyniki otrzymane dla trzech stopów  $Zr_{50}Cu_{50}$ , AMZ4 (ZrCuAlNb) oraz AMZ4+20%W. W opisie wyników wskazano wysoką sferyczność wytworzonych proszków, wskazano także na zawartość użytecznego proszku, zdefiniowanego jako frakcja  $<50 \mu m$ . Dla stopu  $Zr_{50}Cu_{50}$  użyteczny proszek stanowił 23%, podczas gdy dla proszku AMZ4+W było to jedynie 1.7%. Autor zwraca także uwagę na niewielkie ubytki cyrkonu oraz zanieczyszczenie żelazem (dane nie podane w rozprawie), mogące być spowodowane małą ilością przygotowanego proszku oraz zanieczyszczeniami komory. W publikacji C1, gdzie nie przedstawiono wyników stopu  $Zr_{50}Cu_{50}$ , jako rozmiar charakterystyczny podano wielkość  $100 \mu m$ , względem którego porównano dane z procesem atomizacji gazowej w skali laboratoryjnej. Skąd wynika różnica wykazanych wielkości oraz jak czy możliwe jest

---

<sup>2</sup> Ł. Żrodowski, R. Wróblewski, T. Choma, B. Morończyk, M. Ostrysz, M. Leonowicz, W. Łacisz, P. Błyskun, J.S. Wróbel, G. Cieślak, B. Wysocki, C. Żrodowski, K. Pomian, „Novel cold crucible ultrasonic atomization powder production method for 3D printing”, *Materials*, 14, 2021.

porównanie uzyskanych wyników na tle innych procesów atomizacji, w tym atomizacji ultradźwiękowej (jeżeli takie wyniki są dostępne)?

Kolejny podrozdział (6.2, objętość 6 stron) opisuje spiekanie impulsowo plazmowe wybranego proszku amorficznego. Wyniki dotyczące badań zostały opublikowane w pracy C3<sup>3</sup>. Autor wskazuje, iż atomizowane gazowo proszki AMZ4 były spiekane z wykorzystaniem urządzenia U-FAST (w pracy podano U-AST) w grafitowych matrycach lub w specjalnie wykonanym zestawie stempli. Do badań zastosowano komercyjny proszek AMZ4 produkcji firmy Heraeus. Po lekturze poprzedniego rozdziału nasuwa się naturalne pytanie, dlaczego nie wykorzystano proszku własnej produkcji? Przy opisywanym procesie spiekania zauważono istotne różnice w krzywych spiekania, które wyjaśniono jakościowo. Przedstawiono także wyniki dotyczące próbek wykonanych w matrycy kształtowej, tj. kół zębatych. Dla materiałów z formy grafitowej przedstawiono także dyfraktogramy, zdjęcia mikrostruktur oraz wyniki badań strukturalnych i mechanicznych. Część wartości porównano z wynikami uzyskanymi dla materiałów odlewanych klasy laboratoryjnej. Jako podsumowanie zauważono, iż spośród amorficznych próbek spiekanych, próbka 440°C/60 wykazała najwyższą gęstość jak i wytrzymałość na ściskanie, na poziomie porównywalnym z materiałem odlewanym. Z czego może wynikać trochę wyższa, jednak powyżej błędu pomiarowego, wartość twardości otrzymana dla próbki spiekanej (519 vs. 480 dla odlewanej)? Jak te dane odnoszą się do dostępnych raportów literaturowych? Dla dwóch próbek określanych jako 100% amorficzne i wytworzonych poprzez spiekanie, wartość twardości przyjmuje taką samą wartość.

W podrozdziale 6.3 (o objętości 6 stron) opisano laserowe przetapianie szkieł metalicznych o niskiej zdolności do zeszklenia. Przedstawione wyniki obejmują zakres publikacji C2<sup>4</sup>. W badaniach wykorzystano komercyjny proszek Kuamet 52, który został wykorzystany na maszynie 3D Realizer SLM50. Jak podkreślił autor, było to stop o niskiej zdolności do zeszklenia, celem było więc otrzymanie wysokiej zawartości fazy szklistej i badanie procesu dewitryfikacji. Autor podaje tutaj odnośnik do pracy [29], która okazuje się prawdopodobnie pozycją P5 z listy ze strony 56. Jest to niestety kolejne niedopatrzenie edytorskie autora.

---

<sup>3</sup> Ł. Żrodowski, R. Wróblewski, T. Choma, T. Rygier, M. Rosiński, B. Morończyk, M. Kasonde, M. Leonowicz, J. Jaroszewicz, M. Ostrysz, W. Łacisz, P. Błyskun, K. Pomian, „Ultrashort sintering and near net shaping of Zr-based AMZ4 bulk metallic glasses”, *Materials*, 14, 2021.

<sup>4</sup> Ł. Żrodowski, B. Wysocki, R. Wróblewski, A. Krawczyńska, B. Adamczyk-Cieślak, J. Zdunek, P. Błyskun, J. Ferenc, M. Leonowicz, W. Świąszkowski, „New approach to amorphization of alloys with low glass forming ability via selective laser melting”, *Journal of Alloys and Compounds*, 771, 2019.

Badania przedstawiają efekt różnych strategii przetapiania, obróbki cieplnej na strukturę i mikrostrukturę próbek. Autor zaproponował nową metodę przetapiania, określana jako P-R (point-random), która była podstawą wspomnianego patentu. Na podstawie wykonanych badań, w tym zdjęć optycznych i TEM, wyjaśniono obserwowane efekty stosowania nowej metody. Dla zaproponowanego procesu możliwe jest osiągnięcie wysokiego stopnia zeszklenia z ciągłą fazą szklistą. Przy opisie wyników dotyczących przemian fazowych pojawia się stwierdzenie skaningowej dyfrakcji promieni rentgenowskich (XRD). Czy słowo skaningowych jest tutaj odpowiednie? Ciekawy wydaje się także możliwy wpływ kolejnego procesu spiekania na możliwe zwiększenie np. gęstości lub innych wielkości mechanicznych? Jak opracowany proces wpływa czasowo na proces przygotowania końcowego materiału?

Podrozdział 6.4 (w objętości 3 stron) dotyczy laserowego przetapiania szkieł metalicznych o zmiennej plastyczności, gdzie porównano dwa stopy o wysokiej zdolności do zeszklenia na bazie żelaza o różnej plastyczności pod względem możliwości druku LPBF. Prace zostały opublikowane w C4<sup>5</sup>. Badano materiały  $\text{Fe}_{48}\text{Mo}_{14}\text{Cr}_{15}\text{Y}_2\text{C}_{15}\text{B}_6$  oraz  $(\text{Fe}_{0.9}\text{Co}_{0.1})_{76}\text{Mo}_4(\text{P}_{0.45}\text{C}_{0.2}\text{B}_{0.2}\text{Si}_{0.15})_{20}$ , które zostały przygotowane przez atomizację gazową. Stopy drukowano w oparciu o przedstawioną powyżej strategię point-random. Ciekawym wnioskiem jest stwierdzenie, że zachowanie sferycznego kształtu proszku ma istotny wpływ na ograniczenie utleniania podczas procesu LPBF. Autor opiera ten wniosek na podstawie mikrostruktury oraz pomiarze zawartości tlenu w analizowanych proszkach. Otrzymane mikrostruktury obu stopów wykazały spękania, których źródło nie do końca zostało zidentyfikowane, chociaż podano możliwe przyczyny. Pojawia się tutaj pewna wielkość charakterystyczna, odstęp między spękaniem, wynoszący  $\sim 120 \mu\text{m}$ , czy autor mógłby doprecyzować więcej geometrycznych parametrów procesu spiekania (rozmiar „plamki”, odległości między liniami)? Rozdział ten niejako potwierdził skuteczność czy możliwość, stosowania nowej strategii skanowania w procesie spiekania na kolejnych proszkach.

Ostatni podrozdział 6.5 dotyczy ogólnej pracy pt. laserowe przetapianie szkieł metalicznych o projektowanej mikrostrukturze. Jest to zdecydowanie najbardziej obszerny podrozdział, o objętości 15 stron. Wyniki badań zostały przedstawione w pracy C5<sup>6</sup>. W badaniach tych autor podsumowuje i znacznie rozszerza swoje wyniki odnoszące się do stosowania metod

---

<sup>5</sup> A. Małachowska, Ł. Żrodowski, B. Morończyk, Ł. Maj, A. Kuś, T. Lampke, „Selective laser melting of Fe-based metallic glasses with different plasticity”, *Metallurgical and Materials Transactions A*, 658, 2023.

<sup>6</sup> Ł. Żrodowski, R. Wróblewski, M. Leonowicz, B. Morończyk, T. Choma, J. Ciftci, W. Świączkowski, A. Dobkowska, E. Ura-Bińczyk, P. Błyskun, J. Jaroszewicz, A. Krawczyńska, K. Kulikowski, B. Wysocki, T. Cetner, G. Moneta, X. Li, L. Yuan, A. Małachowska, R. Chulist, C. Żrodowski, „How to control the crystallization of metallic glasses during laser powder bed fusion? Towards part-specific 3D printing of in situ composites”, *Additive Manufacturing*, 76, 2023.

przyrostowych. W szczególności, celem prac było wytworzenie silnie zorientowanych kompozytów krystaliczno-amorficznych. Zastosowano tutaj atomizowane wcześniej stopy AMZ4 oraz CuZr. Dodatkowo, do obróbki wprowadzono prasowanie izostatyczne na gorąco. Dosyć szeroko opisano tutaj szereg istotnych zjawisk oraz otrzymywanie nowych mikrostruktur materiałów.

W badaniach dalej rozwijano strategię skanowania laserem w celu optymalizacji mikrostruktury. Poprzez dobór strategii skanowania osiągnięto kontrolę krystalizacji. Jak uwidoczniło na załączonych zdjęciach, dobór odpowiedniej szybkości skanowania, odległości między liniami oraz strategii skanowania linii, udało się osiągnąć w pełni amorficzne próbki materiału.

W celu zmniejszenia i tak niskiej już moim zdaniem, porowatości, zastosowano cykle prasowania izostatycznego na gorąco (HIP). Porowatość próbek wynosiła początkowo ok 0.5% (na podstawie danych tomograficznych), po zastosowaniu prasowania zmieniał się rozkład wielkości porów. Zbadano także wpływ prasowania na skład fazowy, gdzie zaobserwowano różnice.

Dla wytworzonych materiałów kompozytowych i amorficznych po druku i prasowaniu na gorąco zbadano wytrzymałość mechaniczną na zginanie. Te ciekawe badania wykonywano dla różnych próbek oraz dla różnych orientacji względem struktury kompozytu. Nie zauważono tutaj jakiś niespodziewanych zjawisk, same badania natomiast stanowią znaczący wkład do posiadanej wiedzy w zakresie właściwości materiałów na bazie szkielek metalicznych. Ciekawym wnioskiem jest obserwacja, iż porowatość nie jest głównym czynnikiem determinującym wytrzymałość drukowanych szkielek metalicznych.

Podrozdział ten zakończony jest wskazaniem możliwych zastosowań na przykładzie elementu koła zębatego oraz ostrza noża. Stanowi to niesamowicie interesujący przykład zastosowania opracowanej technologii. Koło zębate, dodatkowo obrabiane metodą HIP, z widoczną mikrostrukturą szklisto-krystaliczną robi bardzo duże wrażenie. Autor wskazuje, iż opracowana strategia skanowania może być przeniesiona szybko na inne układy nierównowagowe, wskazując przykład wspomnianego już stopu CuZr. Autor przygotował taki proszek opisaną własną metodą atomizacji ultradźwiękowej, po czym proszek ten został przetopiony i wykazał prawie całkowicie amorficzną strukturę.

Zawartość merytoryczna rozprawy kończy rozdział 7 – Podsumowanie i wnioski. Zwięźle przedstawione na dwóch stronach wnioski dobrze opisują dane przedstawione w rozprawie i uzyskane główne wyniki. Autor podkreśla rolę opracowania procesu atomizacji ultradźwiękowej,

która w dużej mierze pozwoliła na wykonanie dalszych badań przedstawionych w pracy. W szczególności, autor rozprawy podsumowuje swoje doświadczenia z metodą LPBF, na podstawie których przytacza cztery główne i bardzo ważne z punktu praktycznego punkty.

### **Uwagi dodatkowe**

#### Dyskusja udziałów w publikacjach

W rozprawie zawarto łącznie pięć prac C1-C5. Na podstawie informacji o udziale wkładu doktoranta w powstanie publikacji, jest on głównym oraz pierwszym autorem w czterech pracach. W piątej publikacji jego udział jest także znaczący (30%). Na podstawie treści rozprawy, podany udział procentowy nie budzi zastrzeżeń i jednoznacznie wskazuje na znaczny dorobek doktoranta.

#### Krótki opis prezentowanych patentów oraz publikacji

Przedstawione w rozprawie publikacje, na podstawie załączonych opisów wstępnych, dobrze pasują do tytułu rozprawy i są z nim powiązane. Publikacje zostały opublikowane w uznanych czasopismach. W szczególności, ostatnia publikacja wydana w bardzo prestiżowym Additive Manufacturing jest godna podkreślenia. Jest to także bardzo rozległa praca, wykonana w dużej części we współpracy międzynarodowej, co stanowi o bardzo wysokiej jakości pracy.

#### Opracowanie edytorskie pracy

Niestety praca zawiera sporo braków, prawdopodobnie wynikających z pośpiechu przy przygotowywaniu pracy. Począwszy od numeracji i prezentacji własnych publikacji, poprzez wymienienie listy patentów, spośród których w rozprawie zawarto trzy, bez większego opisu, w związku z czym wydają się one powiązane z pracą w nieznanym sposób. Chociaż znacznie wpływają one na efekt końcowy rozprawy z perspektywy recenzenta/czytelnika, to nie mają one wpływu na jakość merytoryczną rozprawy.

#### Aspekt praktyczny pracy

Chociaż nie zostało to pokazane wprost przez doktoranta w pracy, myślę, że szczególnie warto podkreślić aspekt praktyczny, czy wręcz biznesowy prowadzonych badań. Doktorant jest założycielem firmy Amazemet, wywodzącej się z Wydziału Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej, która odnosi duże sukcesy na dynamicznie rozwijającym się rynku technologii addytywnych. Opracowana przez doktoranta metoda atomizacji ultradźwiękowej jest podstawą



urządzenia, które zostało już sprzedane do szeregu uznanych laboratoriów. Jest to bardzo rzadkie, zasługujące na uznanie połączenie licznych kompetencji doktoranta.

### **Podsumowanie recenzji**

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska dotycząca nowoczesnych metod kształtowania struktury i właściwości kompozytów na bazie szkieł metalicznych dotyczy bardzo interesującego, ciekawego i aktualnego zagadnienia naukowo-technicznego. Szkła metaliczne, pomimo już ugruntowanej pozycji w inżynierii materiałowej, nadal mają przed sobą szeroką perspektywę zastosowania.

Na podkreślenie oryginalności pracy zasługuje charakter badawczo-rozwojowy pracy. Autor opracowuje metodę atomizacji ultradźwiękowej oraz następnie korzysta z niej, dodatkowo wprowadzając nowe strategie obróbki. Jest to połączenie wielu zagadnień, począwszy od konstrukcji maszyn, aż po zaawansowane analizy mikrostrukturalne z wykorzystaniem nowoczesnych narzędzi naukowych.

Na podstawie rozprawy stwierdzam, iż doktorant opanował w stopniu bardzo dobrym warsztat naukowy związany z szkieł metalicznych, wykazał dużą dojrzałość naukową i poziom wiedzy. Opracowane narzędzia i metody mogą i powinny znaleźć zastosowanie także w innych polach, gdzie stosowane są metody LPBF.

W oparciu o powyższe, stwierdzam, iż rozprawa przedstawiona mi do recenzji rozprawa „Kształtowanie struktury i właściwości kompozytów na bazie szkieł metalicznych, wytwarzanych metodą selektywnego przetapiania proszków” autorstwa mgr. inż. Łukasza Żrodowskiego spełnia wszystkie wymagania ustawy o stopniach i tytule naukowym i wnoszę o dopuszczenie jej Autora do publicznej rozprawy przez Radę Naukową Dyscypliny Inżynieria Materiałowa na Politechnice Warszawskiej.

Z poważaniem,



Sebastian Molin