

dr hab. inż. Andrzej Nowotnik
Katedra Nauki o Materiałach
Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa
Politechnika Rzeszowska
ul. Żwirki i Wigury 4, 35-959 Rzeszów

Rzeszów, 11 sierpnia 2023 r.

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr. inż. ŁUKASZA ŻRODOWSKIEGO pt. „**Kształtowanie struktury i właściwości kompozytów na bazie szkieł metalicznych, wytwarzanych metodą selektywnego przetapiania proszków**”. Podstawa opracowania recenzji: pismo Przewodniczącej Rady Naukowej Dyscypliny Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej, Pani prof. dr hab. inż. Małgorzaty Lewandowskiej z dnia 26 czerwca 2023 r.

Ogólna charakterystyka rozprawy

Opiniowana rozprawa doktorska mgr. inż. Łukasza Żrodowskiego pt. „*Kształtowanie struktury i właściwości kompozytów na bazie szkieł metalicznych, wytwarzanych metodą selektywnego przetapiania proszków*” stanowi opracowanie charakteryzowanych zagadnień uściślonych w jej tytule. Dotyczy opracowania procesu kształtowania właściwości kompozytów charakteryzujących się wymaganą strukturą krystaliczno-amorficzną uzyskiwaną poprzez kontrolowane przechłodzenie i krystalizację w warunkach realizowanych prób technologicznych selektywnego przetapiania laserowego. Wyniki badań prowadzonych przez Pana mgr. inż. Łukasza Żrodowskiego stanowiły podstawę opracowania innowacyjnej metody atomizacji ultradźwiękowej wytwarzania proszków o określonym składzie chemicznym przeznaczonych m.in. do zastosowania w technologiach przyrostowych. Autor rozprawy realizował w ramach swoich prac badania dotyczące optymalizacji technik przetwarzania tych proszków w warunkach selektywnego przetapiania laserowego i spiekania impulsowo-plazmowego, co również zostało opisane w recenzowanej pracy. Ważnym osiągnięciem działalności badawczej Pana Łukasza Żrodowskiego jest opracowana metoda kształtowania mikrostruktury szkieł metalicznych w procesie prasowania izostatycznego na gorąco HIP. Uniwersalność opracowanej metody potwierdzona została w próbach wykonanych na pięciu różnych stopach na osnowie żelaza i cyrkonu. Praca prezentuje kompleksowe podejście do procesu wytwarzania materiałów metodami przyrostowymi w odniesieniu do uzyskania wymaganej dokładności geometrycznej gotowych produktów przy uwzględnieniu osiągnięcia zakładanych właściwości jakościowych i wytrzymałościowych elementów, wynikających z powstałej mikrostruktury w układach nierównowagowych. Wyniki badań zostały

opublikowane w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym, charakteryzujących się wysokimi parametrami bibliometrycznymi.

Realizacja prac badawczo-rozwojowych oraz prowadzenie badań podstawowych z obszaru wytwarzania szkieł metalicznych oraz technologii przyrostowych (AM) wciąż należą do istotnych w kontekście rozwoju nauki i przemysłu. Wynika to przede wszystkim ze szczególnych właściwości szkieł metalicznych charakteryzujących się wyjątkową kombinacją wytrzymałości, udarności i odporności na korozję. Dalsze badania nad tymi materiałami determinują odkrycia nowych, nieznanych wcześniej możliwości ich zastosowań. Technologie przyrostowe umożliwiają wytwarzanie skomplikowanych geometrii i struktur, które są trudne lub nawet niemożliwe do uzyskania tradycyjnymi metodami, co w tym przypadku zapewnia perspektywę wdrożenia tych rozwiązań w aplikacjach medycznych, w lotnictwie, motoryzacji czy kosmonautyce. Stąd, bardzo ważne jest prowadzenie działań projektowych z obszaru optymalizacji procesów kształtowania właściwości materiałów, również amorficznych, z uwzględnieniem m.in. procesu HIP, jak i prac nad technologiami przyrostowymi uwzględniającymi osiągnięcie większej efektywności, niższych kosztów produkcyjnych, ale przede wszystkim lepszej jakości wytwarzanych produktów. Bardzo ważne, obecnie, w dobie wprowadzanych globalnie restrykcji środowiskowych, jest również uwzględnienie w tych pracach aspektów ekologicznych. Technologie przyrostowe pozwalają na bardziej efektywne wykorzystanie materiałów i mogą przyczynić się do zmniejszenia ilości odpadów w procesie produkcyjnym. Dzięki temu mają one potencjał do przyczynienia się do zrównoważonego rozwoju przemysłu. Zrozumienie podstawowych mechanizmów i właściwości szkieł metalicznych oraz technologii przyrostowych jest kluczem do ich dalszej optymalizacji. Prowadzone wciąż badania w tym zakresie, kluczowe dla dalszego rozwoju nauki i przemysłu, dostarczają fundamentów dla innowacji technologicznych, przyczyniając się do tworzenia nowych miejsc pracy w sektorze naukowym, inżynierskim i produkcyjnym. Zainteresowanie tymi obszarami na poziomie doktoratu oraz analiza danych literaturowych potwierdza ich aktualność i znaczenie w kontekście globalnych potrzeb rynkowych. Zatem, w mojej ocenie zagadnienia naukowo-badawcze podjęte w opiniowanej rozprawie są istotne dla rozwoju dyscypliny inżynieria materiałowa. Aktualny stan wiedzy z zakresu procesów konstruowania i technologii materiałowych wskazuje, że procesy umożliwiające modyfikować stan materiału poprzez zmiany właściwości wynikające z mikrostruktury kształtowanej w czasie wytwarzania gotowych produktów stanowią kluczowy element postępu technicznego i kierunku rozwoju cywilizacji. W tym przypadku nie będą to wyroby/materiały tradycyjne, pochodzące z konwencjonalnej przeróbki surowców naturalnych, a produkty zaawansowanych metod wytwarzania, bazujących na precyzyjnie dobranych modelach fizycznych oraz technikach wspomaganych bazami danych materiałowych pochodzących z realizacji badań podstawowych oraz prac B+R, jako podstawy działań z obszaru aplikacyjnego np. w zakresie procesów wytwarzania gotowych produktów przy zastosowaniu technologii przyrostowych. Pozostanie

czynnym uczestnikiem rozwoju tych innowacyjnych materiałów i technik wymaga ciągłego poszerzania wiedzy również z zakresu materiałów wytwarzanych za pomocą oryginalnych procesów, jak np. szkła metaliczne czy selektywne spiekanie za pomocą wiązki lasera czy wiązki elektronowej, z uwzględnieniem zastosowania metod oceny właściwości weryfikujących procesy zapewniające wytworzenie gotowego produktu charakteryzującego się pożądanymi właściwościami w kontekście planowanych aplikacji. Selekcja i badania materiałów proszkowych, wytwarzanych w tym przypadku za pomocą autorskiej metody, musi zapewnić uzyskanie największych lub prognozowanych właściwości produktów oraz wysoką ich jakość i wydajność przy uwzględnieniu kryteriów ekonomicznych. Trzeba w tym przypadku uwzględnić wyzwania związane z wprowadzaniem na rynek nowoczesnych metod wytwarzania materiałów proszkowych, uwzględniających optymalizację procesów ich przetwarzania np. przy zastosowaniu technologii przyrostowych. Wymaga to głębokiej wiedzy w zakresie nauki o materiałach w kontekście istniejących ograniczeń determinujących ich szerokie zastosowanie w praktyce inżynierskiej. Przedmiotem badań prowadzonych przez Pana mgr. inż. Łukasza Żrodowskiego są kluczowe w obszarach interdyscyplinarnych, procesy decydujące o możliwościach kształtowania właściwości materiałów z przeznaczeniem do zastosowania w zaawansowanych konstrukcjach lub podzespołach. Szkła metaliczne, czy wyroby wytwarzane z proszków metalicznych przy zastosowaniu technologii przyrostowych charakteryzują się wyjątkowymi właściwościami, różniąc się znacząco od tradycyjnych materiałów technicznych, których powszechne stosowanie staje się coraz bardziej perspektywiczne. Metody wytwarzania proszków metalicznych, dobór parametrów dla procesów ich spiekania są przedmiotem zainteresowania wielu ośrodków naukowo-badawczych. Osiągnięcia w tym zakresie nadają kierunek rozwoju nowych technik kształtowania materiałów charakteryzujących się unikatowymi właściwościami w porównaniu z powszechnie stosowanymi konwencjonalnymi stopami metali. Temat rozprawy jest aktualny ze względu na skomplikowaną naturę badanych procesów i analizowanych parametrów – jest wyjątkowo ambitny i idealnie wpisuje się w nurt współczesnej inżynierii materiałowej.

Ocena rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr. inż. Łukasza Żrodowskiego pt. „*Kształtowanie struktury i właściwości kompozytów na bazie szkieł metalicznych, wytwarzanych metodą selektywnego przetapiania proszków*” (stron 196) składa się z 7 rozdziałów, wykazu literatury i załączników w tym: 5 artykułów wchodzących w skład cyklu publikacji oraz 3 decyzji o przyznaniu patentów wynikających bezpośrednio z prowadzonych badań przez Pana Łukasza Żrodowskiego, spisem tablic i rysunków, także streszczeniem pracy w języku polskim i angielskim. Wykaz cytowanej literatury dla przedstawionego opisu syntetycznego uzyskanych wyników badań, które stanowiły podstawę opublikowanych prac

obejmuje 55 pozycji w dobrym stopniu charakteryzującym stan wiedzy związanej z tematyką rozprawy. Analiza treści rozprawy wskazuje, że można wyróżnić trzy jej podstawowe części:

1) charakterystyki dotychczasowego stanu wiedzy zarówno w zakresie:

- metod wytwarzania proszków metodą atomizacji ultradźwiękowej (z ang. *Ultrasonic Atomization* -UA);

- metod wytwarzania elementów z zastosowaniem proszków metalicznych za pomocą spiekania impulsowo-plazmowego (z ang. *Field Assisted Sintering Technology* - FAST)

- metody laserowego spajania w złożu proszku (z ang. *Laser Powder Bed Fusion* – LPBF).

2) badania własne – metodyka ich prowadzenia i analiza wyników – dobór i charakterystyka materiałów (proszki stopów: Zr50Cu50, AMZ4 (ZrCuAlNb) oraz AMZ4+20%W) i wytworzenie w procesie spiekania FAST oraz LPBF próbek, które poddano badaniom dyfraktometrycznym, mikrostrukturalnym i badaniom mechanicznym.

2) wnioski.

W części pierwszej rozprawy, zgodnie z jej tematyką i przeznaczeniem, Doktorant zawarł najważniejsze informacje dotyczące zarówno materiałów, jak i technologii ich wytworzenia w procesie atomizacji ultradźwiękowej i następnej konsolidacji uzyskanych elementów w wyniku spiekania impulsowo-plazmowego FAST. W ramach przeprowadzonych prac opracowano atomizer ultradźwiękowy, którego częścią krytyczną jest sonotroda stanowiąca autorskie, opatentowane rozwiązanie Pana Łukasza Żrodowskiego. Atomizer zastosowano w badaniach, które potwierdziły jego skuteczne i efektywne działanie w procesach wytwarzania proszków z różnych stopów metali charakteryzujących się wymaganą sferycznością, frakcją oraz składem chemicznym. Przeprowadzone badania SEM wykazały amorficzną strukturę proszków ze stopu AMZ4, szczególnie dla cząstek o średnicy poniżej 50 μm , co wynikało z zastosowania wysokiego stopnia przechłodzenia ciekłego stopu. Cząstki o większych rozmiarach cechowały się natomiast dendrytyczną strukturą, charakterystyczną dla materiałów krystalizujących w warunkach wysokiego gradientu temperatury. Prowadzone próby spiekania umożliwiły dokonać oceny wpływu parametrów spiekania z uwzględnieniem zastosowania różnych stempli z matrycami grafitowymi na mikrostrukturę i właściwości wytworzonych próbek. Wyniki wykazały, że zastosowanie odpowiedniej temperatury i czasu obróbki cieplnej jest kluczowe dla uzyskania próbek charakteryzujących strukturą amorficzną. Dodatkowo próbki spiekane powyżej 420°C wykazywały niską porowatość, ciężar właściwy na poziomie wzorcowego stopu odlewniczego, jak i również wysoką wytrzymałością na ściskanie. Najlepszymi właściwościami cechowała się próbka poddana obróbce w temperaturze 440°C przez 60 sekund. Opisane wyniki badań stanowią cenną bazę danych dla rozwoju technologii wytwarzania i przetwarzania amorficznych proszków metalicznych. Potwierdzają, że zastosowanie odpowiedniej metody i parametrów obróbki można uzyskać wysokiej jakości materiały amorficzne, które mają potencjał w zastosowaniach przemysłowych. W kolejnej części pracy opisano wyniki badań przetapiania komercyjnego, amorficznego proszku Kuamet

52 techniką LPBF przy zastosowaniu urządzenia Realizer SLM50, które miały na celu wytworzenie elementu charakteryzującego się wysoką zawartością fazy amorficznej, co stanowiło podstawę opisu mechanizmu przechłodzenia/przejścia stopu ze stanu ciekłego w stan szklisty. W tym celu przeprowadzono eksperymenty z wykorzystaniem różnych strategii przetapiania, w tym jednej opisanej w dokumencie patentowym. Badaniom poddano trzy rodzaje materiałów: proszek amorficzny, po procesie przetapiania z zastosowaniem dwóch różnych strategii krystalizacji. Badania wytworzonych próbek wykazały, że w procesie krystalizacji tworzy się faza Fe_3Si oraz metastabilne fazy borków, które później krystalizują do Fe_2B . Próbki wytworzone przy zastosowaniu dwuetapowej strategii P-R, charakteryzowały się wyższym udziałem objętościowym obszarów amorficznych w porównaniu do stopów uzyskanych w procesie bez dodatkowego przetapiania materiału. Obrazy TEM ujawniły występowanie trzech zróżnicowanych pod względem morfologii składników fazowych mikrostruktury w strefie wpływu ciepła, co wskazuje na istnienie w czasie przetapiania z zastosowaniem procesu LPBF, różnych mechanizmów krystalizacji. Uzyskane wyniki badań potwierdziły, że parametry zastosowanej w procesie LPBF strategii skanowania determinują prędkość krystalizacji, a więc mikrostrukturę wytworzonych elementów, co ma wpływ na finalne ich właściwości. Stwierdzono, że uzyskanie elementów charakteryzujących się wysokim stopniem nieuporządkowania struktury wymaga ciągłego kontrolowania procesu krystalizacji w strefie wpływu ciepła.

W pracy przedstawiono również wyniki badań szkieł metalicznych charakteryzujących się różną plastycznością, wytworzonych przy zastosowaniu proszków metalicznych ze stopów: A ($Fe_{48}Mo_{14}Cr_{15}Y_{2}C_{15}B_6$) i B ($Fe_{0.9}Co_{0.1}76Mo_4(P_{0.45}C_{0.2}B_{0.2}Si_{0.15})_{20}$). Badania mikrostrukturalne wykazały, że parametry geometryczne wynikające z procesu atomizacji proszku mają wpływ na jego utlenienie podczas procesu LPBF. Uzyskane wyniki potwierdzają możliwość wytworzenia w procesie oraz spiekania LPBF, przy zastosowaniu zoptymalizowanych parametrów lasera, kompozytów charakteryzujących się strukturą krystaliczno-amorficzną. W celu dokonania modyfikacji mikrostruktury wytworzonych materiałów w procesie spiekania LPBF przeprowadzono procesy konsolidacji przy zastosowaniu procesu HIP (z ang. *Hot Isostatic Pressing*). Zastosowanie procesu HIP umożliwiło uzyskanie jednorodnej mikrostruktury stopów, a usunięcie porowatości wpłynęło na zwiększenie odporności materiału na pękanie oraz poprawę jego właściwości tribologicznych, zapewniając wyższą odporność na korozję oraz wyższą twardość materiału. W celu charakteryzacji mikrostruktury przed i po procesie HIP, materiały poddano badaniom z użyciem tomografii rentgenowskiej. Stwierdzono, że porowatość materiałów ma istotny wpływ na właściwości mechaniczne szkieł metalicznych i kompozytów, co potwierdzono wynikami z prób zginania wytworzonych elementów. Wykonane badania z użyciem dyfrakcji rentgenowskiej wykazały zmiany składu fazowego stopów po obróbce HIP, co potwierdza wpływ procesu konsolidacji na zmiany w mikrostrukturze badanych materiałów. Powstanie

kruchej fazy krystalicznej w tym przypadku determinuje właściwości mechaniczne stopów, które opisano za pomocą wyników uzyskanych w próbach zginania. To potwierdza konieczność optymalizacji procesów spiekania i procesu HIP w kierunku wytworzenia mikrostruktury gwarantującej uzyskanie wymaganej mikrostruktury determinującej osiągnięcie przez materiał wysokiej wytrzymałości. Uzyskane wyniki badań pozwoliły stwierdzić, że zarówno materiały amorficzne, jak i kompozyty charakteryzujące się strukturą krystaliczną i amorficzną mogą być stosowane w szerokim zakresie aplikacji charakteryzujących się właściwościami anizotropowymi, takich jak np. koła zębate czy narzędzia. Kluczowe jest w tym przypadku zaprojektowanie procesów gwarantujących uzyskanie kierunkowo krystalizującej mikrostruktury. Opisane przez Doktoranta wyniki badań potwierdzają, że dalsze badania w tej dziedzinie wydają się być nie tylko interesujące, ale także kluczowe dla rozwoju nowoczesnych materiałów o optymalnych, projektowanych na etapie procesów wytwarzania, właściwościach.

Analiza uzyskanych wyników badań z zastosowaniem metod transmisyjnej i skaningowej mikroskopii elektronowej umożliwiła Doktorantowi ustalenie sekwencji przemian fazowych silnie oddziaływujących na morfologię składników fazowych mikrostruktury badanych stopów wytworzonych w procesie spiekania LPBF o prognozowanych właściwościach mechanicznych. Przedstawione w tym zakresie wyniki badań i rezultaty prowadzonej ich analizy uznają za szczególnie istotne uzupełnienie aktualnego stanu wiedzy w obszarze charakteryzacji zjawisk występujących podczas przemian fazowych w materiałach wytwarzanych przy zastosowaniu technologii przyrostowych z materiałów proszkowych uzyskanych w procesie atomizacji z wykorzystaniem autorskiej metody. Doktorant opisuje zjawiska mające wpływ na morfologię składników fazowych mikrostruktury stopów o strukturze amorficznej i mieszanej, oddziałujące na ich właściwości mechaniczne, co stanowi poszerzenie wiedzy z zakresu projektowania mikrostruktury elementów wytwarzanych metodami AM, determinującej uzyskanie wysokiej jakości półwyrobów bądź wyrobów.

W rozdziale 7. (*Podsumowanie i wnioski*) zawarto podsumowanie wyników wykonanych badań. Doktorant, mgr inż. Łukasz Żrodowski wykazuje w tym rozdziale, że stanowią one pełne uzasadnienie dla uzyskanych i sformułowanych wniosków o charakterze poznawczym i aplikacyjnym w zakresie oceny możliwości zastosowania autorskich procesów wytwarzania proszków przeznaczonych do aplikacji przyrostowych. Stara się, z powodzeniem, potwierdzić sformułowany cel rozprawy i opiera się na wiedzy dotyczącej zagadnień podjętych dla jego osiągnięcia. Bardzo istotne dla potwierdzenia możliwości zastosowania wyników badań przedstawionych w pracy w praktyce produkcyjnej, w aplikacjach przyrostowych było dokonanie opisu procesu atomizacji ultradźwiękowej, podkreślając jego potencjał w zakresie produkcji proszków metalicznych. Metoda ta może być stosowana w procesie wytwarzania proszków metalicznych, nawet przy użyciu małych objętości stopów. Kolejny ważny aspekt opisanych w pracy wyników badań, jest możliwość wytworzenia materiałów

charakteryzujących się amorficzną lub mieszaną strukturą poprzez zastosowanie ponownego przetapiania w strategii procesu LPBF.

Rozdziały części badań własnych rozprawy potwierdzają prawidłową organizację zaplanowanych i realizowanych zadań eksperymentalnych, których wyniki opublikowano w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym. Niewątpliwym walorem prowadzonych badań weryfikujących zadania badawcze jest dążenie do uzyskania danych potwierdzających przyjęte założenia na etapie formułowania celów wdrożeniowych i wykazania synergii oddziaływania parametrów technologicznych i strukturalnych charakteryzujących technologie wytwarzania proszków metali i ich przetwarzania w procesie spiekania. Jednocześnie uzyskano potwierdzenie prawidłowego opracowania warunków procesu technologicznego umożliwiających wytwarzanie szkielek metalicznych charakteryzujących się obiecującymi pod względem aplikacyjnym właściwościami fizycznymi i mechanicznymi.

Podsumowanie i ocena rozprawy

Analiza treści rozprawy doktorskiej mgr. inż. Łukasza Żrodowskiego zawierająca wyniki badań własnych pozwala stwierdzić, że spełnione zostały założone cele realizowanych jej kolejnych zadań badawczych. Opracowano metody wytwarzania proszków metalicznych, parametry technologii ich przetwarzania oraz poprawnie stosowano odpowiednie metody badań dla charakteryzacji struktury i mikrostruktury wytwarzanych próbek oraz prawidłowo opisano wyniki ich badań.

Stwierdzam, że przyjęty sposób prowadzenia dyskusji wyników jest na dobrym poziomie. Doktorant prawidłowo definiuje cele badawcze dla stosowanych metod wytwarzania i spiekania wybranych materiałów metalicznych, opisuje główne wyniki badań niezbędne dla realizacji przyjętych celów prac w kolejnych zastosowanych technikach procesowych. Potwierdza dobrą znajomość zagadnień związanych z tematyką rozprawy. Przedstawiony opis badań prezentowanych również w załączonych do pracy publikacjach, jak i również patentów autorskich rozwiązań technologicznych potwierdza umiejętność Pana Łukasza Żrodowskiego formułowania problemów badawczych o interdyscyplinarnym charakterze oraz ich rozwiązywania. Udowodnił w swoich pracach możliwość wykorzystania opracowanej własnej metody atomizacji do wytwarzania materiałów proszkowych, z przeznaczeniem do zastosowania w procesach spiekania materiałów/elementów o prognozowanych właściwościach mechanicznych i użytkowych z uwzględnieniem kryteriów ustalonych i wymaganych dla gotowych półwyrobów czy wyrobów w postaci np. kół zębatach, czy narzędzi.

Osiągnięcia naukowe i technologiczne scharakteryzowane w rozprawie, uważam za nowatorskie i o dużym znaczeniu dla rozwoju technologii z obszaru metalurgii proszków. Uzyskane wyniki prowadzonych przez Pana mgr. inż. Łukasza Żrodowskiego mają zdecydowanie charakter użyteczny, ale i również poznawczy w zakresie opisu wyników badań

materiałów wytworzonych w procesach spiekania z zastosowaniem proszków metalicznych uzyskanych w trakcie realizacji autorskiej metody atomizacji. Rozprawę doktorską przedstawioną do oceny przygotowano prawidłowo, choć Doktorant nie dokonał np. wyczerpującej charakterystyki mikrostruktury, czy też właściwości fizycznych dla wytworzonych elementów, co pozwoliłoby na szerszą ocenę możliwości zastosowania opracowanych metod w odniesieniu do planowanych aplikacji. Dodatkowo wykonanie innych prób, niż próba zginania w zakresie oceny właściwości mechanicznych umożliwiłoby Doktorantowi weryfikację opracowanych parametrów technik przyrostowych w kontekście walidacji projektowanej mikrostruktury wytworzonych w pracach materiałów. Braki w tym zakresie wynikają zapewne z realizowanych równoległe badań weryfikujących autorską metodę wytwarzania proszków w odniesieniu do możliwości ich zastosowania w procesach spiekania, co w tym przypadku jest krytyczne dla praktycznego zastosowania tych metod w aplikacjach przemysłowych. Dodatkowo stwierdzono występowanie w treści błędów dotyczących terminologii i słownictwa technicznego, jednakże nie wpływają one na obniżenie poziomu pracy. Brakuje w pracy zdefiniowanych przez Doktoranta głównych tez i założeń rozprawy, wynikających z motywacji, która decyduje konieczność prowadzenia prac w zakresie przedstawionych w rozprawie wyników i sformułowanych wniosków, głównych kryteriów doboru stopów, czy metod walidacji wytworzonych w procesach przyrostowych elementów.

W podsumowaniu mojej opinii stwierdzam, że przedstawiona rozprawa doktorska mgr. inż. Łukasza Żrodowskiego prezentuje wysoki poziom naukowy, co wynika przede wszystkim z połączenia badań o charakterze podstawowym z pracami badawczo-rozwojowymi zmierzającymi do praktycznego zastosowania opracowanych technologii w przemyśle metalurgicznym. Osiągnięcie naukowe stanowi interdyscyplinarne opracowanie zagadnień określonych w celu rozprawy i ma cechy nowości w zakresie technologii wytwarzania proszków metalicznych przy zastosowaniu autorskiej metody atomizacji oraz w zakresie charakteryzacji mikrostruktury i struktury po procesach spiekania proszków wytworzonych przy zastosowaniu tej metody. Uzyskane rezultaty wymagały zrealizowania złożonych i rozbudowanych zadań badawczych oraz analizy ich wyników. Dlatego uznaję rozprawę za wyróżniającą w scharakteryzowanym obszarze wiedzy i technologii. W mojej ocenie wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez Ustawę z dnia 20 lipca 2018 r. są w pełni spełnione. Stąd wnioskuję o dopuszczenie mgr. inż. Łukasza Żrodowskiego do publicznej obrony przed Radą Naukową Dyscypliny Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej.

