

Prof. dr hab. inż. Jerzy Wysocki

Katedra Fizyki

Wydział Inżynierii Produkcji
i Technologii Materiałów

Politechnika Częstochowska

Al. Armii Krajowej 19

42-200 Częstochowa

tel.: (34) 325-06-18; (34) 325-07-95

e-mail: jerzy.wysocki@pcz.pl

RECENZJA

pracy doktorskiej mgr inż. Wojciecha Łońskiego na temat:

**„Struktura i właściwości stopów o wysokiej entropii $AlCoCr_xFeNiSi_y$
oraz $AlCoFeNi(Ti,Si)$ wytwarzanych metodami szybkiego chłodzenia”**

Recenzja została opracowana na podstawie listu Przewodniczącej Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej prof. dr hab. inż. Marii Sozańskiej, informującym o powołaniu na recenzenta pracy doktorskiej uchwałą RD z dnia 9 lipca 2024 r.

1. Wybór tematyki pracy

Przedstawiona do recenzji praca doktorska mgr inż. Wojciecha Łońskiego zatytułowana: „Struktura i właściwości stopów o wysokiej entropii $AlCoCr_xFeNiSi_y$ oraz $AlCoFeNi(Ti,Si)$ wytwarzanych metodami szybkiego chłodzenia” została wykonana w Katedrze Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych Wydziału Mechanicznego Technologicznego Politechniki Śląskiej w Gliwicach pod promotorską opieką Pana dr hab. inż. Rafała Babilasa, prof. PŚ i Pani dr inż. Moniki Spilki jako promotor pomocniczej.

Rozprawa obejmuje wyniki prac badawczych prowadzonych w ramach projektu „Interdyscyplinarne studia doktoranckie Mechanika-Inżynieria Materiałowa na Wydziale Mechanicznym Technologicznym Politechniki Śląskiej”, POWR.03.02.00-00-I031/16 (10/990/FSD17/0082), finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach programu POWER realizowanego w latach 2018-2023.

Rozprawa doktorska dotyczy badań stopów o wysokiej entropii (HEA) w celu określenia ich struktury, właściwości mechanicznych, antykorozyjnych, magnetycznych a także aktywności fotokatalitycznej i potencjalnych zastosowań w zależności od szybkości chłodzenia ze stanu ciekłego oraz składu chemicznego.

Tematyka rozprawy doktorskiej mgr inż. Wojciecha Łońskiego jest naturalną konsekwencją prac realizowanych w Katedrze Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych Wydziału Mechanicznego Technologicznego Politechniki Śląskiej, które zawsze dotyczą istotnych, będących w głównym nurcie badań światowych a nawet często je wyprzedzając czy

Biurowo Dziekana

wpłynęło dnia 21.08.2024
RDJMa.RMF.631511.2024
nr zał.

wyznaczając nowe kierunki badań. Atutem tej pracy, istotnie zwiększającym szanse Doktoranta na pozytywne zakończenie postępowania w sprawie nadania stopnia doktora, jest duże doświadczenie Pana Promotora dr hab. inż. Rafała Babilasa, prof. PŚ w zakresie inżynierii (wytwarzania i badania) nowoczesnych materiałów, do jakich niewątpliwie należą stopy o wysokiej entropii. O tym doświadczeniu świadczą publikacje jak również kierowanie realizacją projektu finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki w latach 2023-2026 w ramach konkursu OPUS-24 zatytułowanego: „Poprawa właściwości stopów o wysokiej entropii przez projektowanie składu chemicznego, modelowanie mikrostruktury oraz wytwarzanie struktur komórkowych z wykorzystaniem technologii przyrostowych” (2022/47/B/ST8/02465).

Tak więc tematyka recenzowanej pracy doktorskiej – badania stopów o wysokiej entropii, nie tylko zgodna jest z priorytetowymi badaniami realizowanymi w Katedrze Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych ale także należy zaznaczyć, że dotyczy stosunkowo nowej grupy wieloskładnikowych materiałów metalicznych, bowiem po raz pierwszy termin ten został wprowadzony w roku 2004 w celu opisanie materiałów wielopierwiastkowych otrzymanych przez grupę angielskiego naukowca Briana Cantora. Wśród pierwszych otrzymanych stopów znalazły się materiały szesnasto- i dwudziestoskładnikowe zawierające między innymi takie pierwiastki jak: chrom, mangan, żelazo, nikiel, kobalt. Jednakże uzyskane materiały były kruche i twarde ze względu na wielofazową strukturę materiału. Wśród otrzymanych licznych faz międzymetalicznych stwierdzono obecność roztworu stałego nie będącego szkłem metalicznym, a wzbogaconego przez wymienione wcześniej metale przejściowe. Pierwiastki te wyselekcjonowano do dalszych badań nad zagadnieniem stopów wieloskładnikowych charakteryzujących się istnieniem roztworu stałego. Stąd otrzymano stopy równomolowe złożone z kobaltu, chromu, żelaza, manganu i niklu w zawartości równomolowej (zwane stopami Cantora).

Dlatego wybór tej tematyki pracy doktorskiej uznaję za właściwy, zarówno ze względu na jej ważność jak i aktualność. Ponadto, tematyka ta jest na tyle świeża, że daleka jest jeszcze od wyczerpania i niesie ze sobą element nowości naukowej.

2. Opinia merytoryczna

Recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Wojciecha Łońskiego ma klasyczną formę pracy doktorskiej, z tradycyjnym podziałem na następujące rozdziały: 1. Wprowadzenie; 2. Przegląd piśmiennictwa; 3. Badania własne; 4. Wnioski. Pracę uzupełniają: Symbole

i oznaczenia; Bibliografia; Streszczenie w języku polskim i angielskim a także Wykaz dorobku naukowego Doktoranta.

Układ pracy jest właściwy, tj. stosunek długości części przeglądu literaturowego – 36 stron, do długości części badawczej – 75 stron, stanowi mniej niż połowę. Oprócz tego praca zawiera 12 stron spisu literatury (185 pozycji) i 4 strony streszczeń.

Zacznijmy od części dotyczącej przeglądu literatury, która uważam, że jest bardzo dobrze napisana, tj. poprawnym językiem, w sposób przejrzysty i wyczerpując temat, bez zbędnych opisów. W rozdziale tym Autor podał charakterystykę stopów o wysokiej energii, tj. przedstawił wybrane właściwości tych stopów a także omówił ich potencjalne zastosowania. W kolejnym rozdziale zatytułowanym, według mnie niezbyt trafnie, „Różnice w budowie stopów o wysokiej entropii” Doktorant m.in. przedstawił definicję stopów klasycznych, przypomniał regułę faz Gibbsa, określił roztwory stałe, fazy międzymetaliczne a także mikrosegregację w stopach o wysokiej entropii. Czy różnica między fazą metaliczną a roztworem stałym ma być różnicą w budowie stopów o wysokiej entropii jak mówi nazwa rozdziału? Dalej Doktorant omawia techniki wytwarzania stopów o wysokiej entropii a także za prof. Yeh'em przytacza efekty charakterystyczne wyłącznie dla stopów HEA: wysokiej entropii, zniekształcenia sieci, powolnej dyfuzji i koktajlowy. Nieco szerzej Autor opisuje parametry stosowane do opisu struktury stopów o wysokiej entropii: stężenie elektronów walencyjnych, średnia różnica promieni atomowych, entropia, entalpia mieszania, parametr ϕ , parametr Ω . Kolejny rozdział przeglądu literatury uważam za bardzo ważny dla przeprowadzonych w pracy badań, tj. rozdział zatytułowany: „Charakterystyka stopów AlCoCrFeNi(Si,Ti)”. W rozdziale tym Autor skupia się na omówieniu dotychczasowych wyników badań stopów CoCrFeMnNi (stop Cantora) i ich modyfikacji dodatkami pierwiastków o różnych udziałach, a więc tych stopów, które stały się punktem wyjścia do badań prezentowanych w pracy doktorskiej, tj. stopu AlCoCrFeNi. Jednakże Autor omawiając wyniki cytuje tylko zagranicznych autorów, co dobrze świadczy o Jego znajomości literatury, jednocześnie jednak sprawia wrażenie, że tematyką tą w Polsce nikt się nie zajmuje (oprócz ośrodka Doktoranta), a tak przecież nie jest, że wspomnę tutaj tylko prace profesora Piotra Bały z AGH. Rozdział ten Doktorant kończy krótkim, dosyć ogólnym, podsumowaniem, będącym jednocześnie podsumowaniem części literaturowej, w którym uzasadnia tematykę i zakres podjętych w pracy badań.

Przechodząc do podsumowania tej części recenzji dotyczącej części literaturowej rozprawy uważam, że mgr inż. Wojciech Łoński właściwie i w sposób przemyślany przedstawił zagadnienia, dobrze wprowadzając czytelnika do badań własnych, zaczynając od pokazania

charakterystyki stopów o wysokiej entropii, pewnych rozważań teoretycznych, poprzez techniki wytwarzania, efekty zachodzące w stopach HEA, po parametry stosowane do opisu struktury tych stopów i charakterystykę wyjściowych stopów (z moją uwagą o braku odnośników do badań prowadzonych przez inne polskie ośrodki). Ponadto Doktorant stosuje poprawne słownictwo a użyty język powoduje, że tekst jest zrozumiały. **Dlatego uważam, że przedstawiona rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną mgr inż. Wojciecha Łońskiego na dobrym poziomie, w dyscyplinie w której ubiega się o nadanie stopnia, tj. inżynierii materiałowej.**

Ponadto, czytając pracę, zwróciłem uwagę na fakt, że mgr inż. Wojciech Łoński omawiając przegląd literatury cytuje także 3 wcześniejsze prace, których jest współautorem, co świadczy o dobrym osadzeniu Doktoranta w przedmiocie i posiadanym doświadczeniu w realizowanym temacie.

Część badawcza (rozdział 3, zatytułowany „Badania własne”) rozpoczyna się od postawienia przez Doktoranta tezy badawczej oraz sformułowania 5 szczegółowych celów badawczych, które mają służyć zweryfikowaniu tej tezy. W dalszej części rozdziału Autor przedstawia materiał użyty do badań oraz sposób jego wytwarzania a następnie opisuje metodykę badawczą i omawia otrzymane wyniki badań, kończąc czterostronicowym podsumowaniem, by w ostatnim rozdziale przejść do sformułowania 11 wniosków.

Tak więc część badawcza recenzowanej pracy także posiada klasyczny układ, typowy dla prac doktorskich, co sprzyja przejrzystości i klarowności przekazu i konsekwentnie prowadzi do przedstawienia uzasadnionych wniosków.

Sformułowana przez Doktoranta teza badawcza, zgodnie z którą: „Zastosowanie metody odlewania ciśnieniowego do formy miedzianej w otrzymywaniu stopów o wysokiej entropii $\text{AlCoCr}_x\text{FeNiSi}_y$ i $\text{AlCoFeNi}(\text{Ti},\text{Si})$ powoduje ujednorodnienie i rozdrobnienie ich struktury oraz wpływa na właściwości mechaniczne, antykorozyjne, magnetyczne oraz aktywność fotokatalityczną” według mnie została właściwie postawiona i zawiera element nowości.

Natomiast przedstawione przez mgr inż. Wojciecha Łońskiego szczegółowe cele badawcze, mające zweryfikować postawioną tezę, jednocześnie stanowią plan pracy i świadczą o bardzo szerokim zakresie przeprowadzonych badań, dlatego przytaczam je z pracy w całości:

- zidentyfikowanie kluczowych parametrów termodynamicznych opisujących stopy o wysokiej entropii;
- wytworzenie wybranych stopów o wysokiej entropii serii $\text{AlCoCr}_x\text{FeNiSi}_y$ ($x=0; 0,5; 1; y=0; 0,25; 0,5; 0,75; 1$) oraz $\text{AlCoFeNi}(\text{Ti},\text{Si})$ wykorzystując dwie szybkości chłodzenia

- ze stanu ciekłego – topienie indukcyjne pierwiastków w tyglu ceramicznym (wlewki) oraz odlewanie ciśnieniowe do formy miedzianej (płytki);
- zbadanie wpływu szybkości chłodzenia (stopy w postaci wlewków i płytek) na strukturę stopów o wysokiej entropii;
- zbadanie wpływu dodatku chromu, krzemu i tytanu na możliwość formowania struktury jednofazowej;
- określenie wpływu szybkości chłodzenia (stopy w postaci wlewków i płytek) oraz dodatku chromu, krzemu i tytanu na właściwości mechaniczne, antykorozyjne, magnetyczne oraz aktywność fotokatalityczną.

Jako bazowy stop użyto do badań stop o składzie AlCoCrFeNi, który modyfikowano krzemem, a następnie, aby ograniczyć ilość faz (m.in. Cr₃Si) badano stopy w których zmniejszono lub wyeliminowano udział Cr i/lub Si. Kolejną modyfikacją składu było zastąpienie chromu tytanem (ze względu na zdolność tytanu do pasywacji). Taka procedura zmiany składu doprowadziła do opracowania 11 składów stopu, które były badane w recenzowanej pracy: AlCoCrFeNi, AlCoCrFeNiSi_{0,25}, AlCoCrFeNiSi_{0,5}, AlCoCrFeNiSi_{0,75}, AlCoCrFeNiSi, AlCoCr_{0,5}FeNiSi_{0,5}, AlCoCr_{0,5}FeNi, AlCoFeNiSi_{0,5}, AlCoFeNiSi, AlCoFeNiTi, AlCoFeNiTiSi. Stopy te były wytwarzane dwiema technikami gwarantującymi różne szybkości chłodzenia w czasie procesu krystalizacji: topienie indukcyjne czystych pierwiastków w tyglu ceramicznym (otrzymano wlewki) oraz odlewanie ciśnieniowe ciekłego metalu do formy miedzianej chłodzonej wodą, szybkość chłodzenia ok. 1000 K/s (otrzymano płytki). Oba procesy prowadzono w atmosferze ochronnej argonu.

Jak już można było zorientować się czytając szczegółowe cele badawcze, recenzowaną pracę charakteryzuje duża różnorodność zastosowanych technik badawczych, dających ogromną ilość wyników. Należy podkreślić, że badania te zostały zaplanowane w przemyślany sposób, tak aby ich rezultaty uzupełniały się. Aby nie być gołosłownym, dla potwierdzenia mych słów, wymienię zastosowane przez mgr inż. Wojciecha Łońskiego metody badawcze. Otóż, Doktorant w swojej pracy:

- przedstawił analizę składu fazowego próbek za pomocą dyfraktometru rentgenowskiego Rigaku MiniFlex 66 z lampą miedzianą i detektorem paskowym D/TEX;
- wykorzystał spektroskopię mössbauerowską dla bardziej szczegółowego opisu struktury oraz określenia właściwości magnetycznych stopów, stosując spektrometr ze stałym przyspieszeniem ze źródłem ⁵⁷Co:Rh;
- przeprowadził obserwacje mikroskopowe za pomocą: skaningowego mikroskopu elektronowego Supra 35 Carl Zeiss ze spektroskopią dyspersji energii rozproszonego

promieniowania rentgenowskiego EDAX; mikroskopu świetlnego Zeiss Axio Observer; transmisyjnej mikroskopii elektronowej stosując mikroskop S/TEM TITAN 80-300, rejestrując mikrostruktury w trybie klasycznym TEM oraz wysokorozdzielczym HRTEM;

- określił odporność na korozję, prowadząc pomiary elektrochemiczne w 3,5% roztworze NaCl w temperaturze 25 °C przy użyciu potencjostatu Autolab 302 N wyposażonego w układ trójelektrodowy; jako elektrodę odniesienia stosowano nasyconą elektrodę kalomelową, a jako przeciwelektrodę – platynowy pręt;
- w celu określenia mechanizmu krystalizacji wlewków i płytek zastosował różnicową analizę termiczną (DTA) za pomocą analizatora termicznego NETSCH Jupiter STA 449 F3;
- przeprowadził pomiar parametrów magnetycznych (pola siły koercji H_c , magnetyzacji nasycenia M_s i remanencji magnetycznej M_r) za pomocą magnetometru wibracyjnego LakeShore 7307;
- określił właściwości mechaniczne na podstawie badań twardości (za pomocą twardościomierza Future Tech FM-700 Vickers z obciążeniem 1000 g) oraz nanoindentacji (na urządzeniu NanoTest Vantage firmy Micro Materials przy użyciu diamentowego wgłębnika);
- przeprowadził testy tribologiczne z wykorzystaniem techniki pomiaru sił tarcia między obracającą się próbką a nieruchomą przeciwpóbką wykonaną ze stali 100Cr6;
- przeprowadził badania właściwości katalitycznych w procesach zaawansowanego utleniania na przykładzie rozkładu barwnika Rodamina B o stężeniu 0,005 g/l.

Umiejętność zaplanowania i zastosowania uzupełniających się metod badawczych, a później opracowanie otrzymanych wyników, ich interpretacja i wyciągnięcie odpowiednich wniosków świadczy o dużej sprawności eksperymentatorskiej i posiadanym już praktycznym doświadczeniu mgr inż. Wojciecha Łońskiego. **Dlatego uważam, że mgr inż. Wojciech Łoński wykazał w swojej rozprawie doktorskiej posiadaną umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.**

Jak już wcześniej podkreślałem, recenzowana praca doktorska zawiera ogromną ilość dobrze udokumentowanego materiału doświadczalnego, na podstawie analizy którego mgr inż. Wojciech Łoński sformułował szereg wniosków. Według mojej opinii do ważnych i nowych wyników badań zawartych w pracy doktorskiej, należy zaliczyć przede wszystkim:

- określenie dla każdego z badanych stopów wpływu szybkości chłodzenia na strukturę i właściwości;
- wykazanie, że technologia wytwarzania materiałów polegająca na topieniu indukcyjnym czystych pierwiastków umożliwia otrzymywanie stopów o wysokiej entropii. Natomiast zastosowanie odlewania ciśnieniowego ciekłych stopów do form miedzianych chłodzonych wodą pozwala na uzyskanie próbek w stanie przechłodzonym;
- zaobserwowano we wszystkich badanych stopach segregację pierwiastków, w wyniku której tworzą się obszary bogate w Al-Ni-(Fe) i Cr-Si, natomiast rozkład kobaltu jest równomierny. Z kolei Ti występuje w obszarach bogatych w Fe. Duża szybkość chłodzenia ciekłego stopu pozwala na zmniejszenie obszarów segregacji pierwiastków oraz sprzyja homogeniczności;
- szybkość chłodzenia ma wpływ na skład fazowy i rozdrobnienie struktury stopów prowadząc do poprawy właściwości mechanicznych oraz korozyjnych. Ponadto, duża szybkość chłodzenia stopu AlCoCrFeNiSi uzyskana w procesie odlewania do form miedzianych zahamowała powstanie fazy międzymetalicznej Cr₃Si.
- istotny jest wpływ składu chemicznego na twardość i wartość modułu Younga stopów. Dodatek Si ma duży wpływ na strukturę, sprzyja segregacji, co jest szczególnie widoczne w stopach z Ti. Dodatek Si wpływa na twardość, powodując różnicę twardości pomiędzy stopem AlCoCrFeNiSi – 830 HV a dla AlCoCrFeNi – 438 HV. Powstawanie takich faz jak Cr₃Si w stopie wolno chłodzonym AlCoCrFeNiSi zdaniem Autora powoduje znaczące zwiększenie twardości. Zastąpienie Cr przez Ti prowadzi do obniżenia odporności korozyjnej i właściwości mechanicznych;
- badania DTA wykazały, że stabilność temperaturowa struktury fazowej w większości próbek sięga co najmniej 1200 °C, co pozwala na zastosowania badanych stopów w wysokich temperaturach. Dodatek krzemu skutkuje obniżeniem temperatury przemian fazowych. Według Doktoranta jest to związane ze zwiększeniem segregacji pierwiastków. To przypuszczenie jest oparte na obserwacjach mikroskopowych wskazujących na wpływ Si na zwiększoną segregację oraz występowanie obszarów bogatych w Al i Ni oraz bogatych w Fe, Cr i Si;
- badania magnetyczne stopów charakteryzują je jako materiały magnetycznie miękkie, poza stopem AlCoFeNiTiSi, który charakteryzuje się mniejszymi wartościami M_s i M_r. Wprowadzenie Si powoduje obniżenie właściwości ferromagnetycznych zarówno wlewków jak i płytek;

- zwiększenie szybkości chłodzenia poprawia odporność korozyjną badanych stopów o czym świadczą wartości parametrów: E_{OCP} , E_{corr} i R_p z nielicznymi wyjątkami. Wartość potencjału E_{OCP} jest zbliżona dla wlewka i płytki w przypadku stopu AlCoFeNiTiSi. Zaobserwowano również niewielkie zmniejszenie wartości E_{corr} dla płytki stopu AlCoCr_{0,5}FeNiSi_{0,5} względem wlewka oraz niewielkie obniżenie wartości R_p w przypadku szybko chłodzonego stopu AlCoCr_{0,5}FeNiSi_{0,5} względem wlewka. Autor łączy to z większą jednorodnością próbek, która przekłada się na ograniczenie powstawania mikroogniw;
- wytworzone stopy HEA, dzięki swojej trwałości i odporności na korozję, mogą przyczynić się do zmniejszenia zużycia materiałów oraz wydłużenia czasu eksploatacji komponentów i produktów, co będzie miało pozytywny wpływ na środowisko naturalne i zrównoważony rozwój.

Dlatego uważam, że wyniki uzyskane przez mgr inż. Wojciecha Łońskiego oraz ich analiza i interpretacja przedstawiona w recenzowanej pracy doktorskiej sprawiają, że rozprawa ta stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

Tak więc na podstawie przeprowadzonej analizy stwierdzam, że mgr inż. Wojciech Łoński udowodnił postawioną w pracy tezę a jednocześnie osiągnął zamierzony cel pracy doktorskiej, w czym wykazał dużą wiedzę, dojrzałość naukową, a przy tym dociekliwość i kompetencje wymagane od osób legitymujących się stopniem naukowym doktora.

3. Zagadnienia do dyskusji

Moja ogólna ocena recenzowanej pracy doktorskiej mgr inż. Wojciecha Łońskiego jest pozytywna, co starałem się wyrazić w napisanych wcześniej zdaniach. W pracy nie znalazłem informacji, które budziłyby moje merytoryczne wątpliwości czy zastrzeżenia. Dlatego też rozdział ten zatytułowałem nie jako: „Uwagi do pracy” tylko: „Zagadnienia do dyskusji”, w którym z obowiązku recenzenta chciałbym zwrócić uwagę na pewne zagadnienia i prosić Doktoranta o ustosunkowanie się do nich w dyskusji w trakcie obrony:

1. Jak już wcześniej pisałem (str. 3), uważam, że tytuł rozdziału: „2.3. Różnice w budowie stopów o wysokiej entropii” został wybrany niezbyt trafnie, ponieważ nie oddaje jego treści.
2. Również wcześniej, na trzeciej stronie, zwróciłem uwagę, że Doktorant omawiając wyniki cytuje tylko zagranicznych autorów, co sprawia wrażenie, że tematyką tą w

Polsce nikt się nie zajmuje (oprócz ośrodka Doktoranta), a tak przecież nie jest, że wspomnę tutaj tylko na przykład prace profesora Piotra Bały z AGH.

3. Proszę o porównanie podstawowych cech (podanie różnic i podobieństw) stopów o wysokiej entropii ze szklami metalicznymi, tj. materiałów wieloskładnikowych po raz pierwszy opisanych w ciągu ostatnich 50 lat.

4. Podsumowanie i wniosek końcowy

Stwierdzam, że praca doktorska mgr inż. Wojciecha Łońskiego stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz wykazuje ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta w dyscyplinie inżynieria materiałowa, a także umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Opiniowaną rozprawę doktorską oceniam pozytywnie. Autor pracy podjął współczesny i aktualny temat badawczy oraz wykazał się dobrą orientacją w przedmiocie badań, a także dużym stopniem samodzielności naukowej i inwencji badawczej. Praca doktorska jest dowodem na to, że mgr inż. Wojciech Łoński potrafi zaplanować i zrealizować badania naukowe przy wykorzystaniu dobrze dobranych różnorodnych metod badawczych. Praca ta przedstawia odpowiedni poziom naukowy i zawiera szereg nowych wartościowych rezultatów. Stwierdzam przy tym, że cel pracy doktorskiej mgr inż. Wojciecha Łońskiego został osiągnięty, a do jego realizacji użyto właściwych metod badań doświadczalnych, co zostało odpowiednio udokumentowane.

Podsumowując stwierdzam, że opiniowana praca mgr inż. Wojciecha Łońskiego zatytułowana: „Struktura i właściwości stopów o wysokiej entropii $\text{AlCoCr}_x\text{FeNiSi}_y$ oraz $\text{AlCoFeNi}(\text{Ti},\text{Si})$ wytwarzanych metodami szybkiego chłodzenia” spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim określone w stosownych przepisach w dyscyplinie inżynieria materiałowa, wobec czego wnoszę o dopuszczenie mgr inż. Wojciecha Łońskiego do publicznej dyskusji nad Jego rozprawą doktorską przed Radą Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej w Gliwicach.

Częstochowa, dnia 21 sierpnia 2024 r.