

dr hab. inż. Andrzej Nowotnik prof. PRz
Katedra Nauki o Materiałach
Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa
Politechnika Rzeszowska
al. Powstańców Warszawy 12
35-959 Rzeszów

Rzeszów, 03.09.2024 r.

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej **mgr. inż. Bartosza Terleckiego**
pt.: „**Niejednorodność orientacji i struktury w monokrystalicznych odlewach CMSX-4
i CMSX-6**”

Podstawą opracowania recenzji jest pismo (nr WNST/IIM/BEOI.411.2.2022)
Przewodniczącego Rady Naukowej Instytutu Inżynierii Materiałowej Uniwersytetu Śląskiego
w Katowicach dr. hab. inż. Józefa Deniszczyka, prof. UŚ z dnia 10.07.2023 r.

1. Ocena celowości i aktualności tematyki badawczej

Przemysł lotniczy jako jedna z najbardziej zaawansowanych technologicznie gałęzi przemysłu, nieustannie poszukuje nowatorskich rozwiązań, które pozwolą na zwiększenie wydajności i niezawodności komponentów w ekstremalnych warunkach pracy. W szczególności dotyczy to elementów silników turbinowych, takich jak łopatki wykonane z monokrystalicznych nadstopów niklu, które muszą sprostać obciążeniom mechanicznym i cieplnym. Wobec tego, zapotrzebowanie na badania z zakresu zarówno nauki stosowanej, jak i badań podstawowych, jest w tej branży coraz większe. Praca doktorska pt. „*Niejednorodność orientacji i struktury w monokrystalicznych odlewach CMSX-4 i CMSX-6*” doskonale wpisuje się w te potrzeby, dostarczając wartościowych informacji, które mają znaczenie nie tylko dla bezpośredniego zastosowania w procesach produkcyjnych, ale również dla poszerzania fundamentalnej wiedzy o właściwościach strukturalnych nadstopów na osnowie niklu. Praca stanowi zatem istotny wkład w dziedzinie badań materiałowych, szczególnie w kontekście wytrzymałości monokrystalicznych łopatek turbinowych, które są kluczowym elementem w konstrukcji silników lotniczych oraz turbin gazowych. Jest odpowiedzią na zapotrzebowanie przemysłu lotniczego na wyniki, które stanowią podstawę realizacji działań produkcyjnych w zakresie poprawy niezawodności i wydajności tych komponentów, które muszą sprostać ekstremalnym warunkom pracy, takim jak wysoka temperatura, korozyjne środowisko gazów spalinowych i destrukcyjny dla mikrostruktury, a więc właściwości fizycznych i mechanicznych proces pełzania. Autor w pracy przeprowadził szczegółową analizę niejednorodności orientacji krystalicznej i struktury dendrytycznej, co pozwala lepiej zrozumieć mechanizmy zarodkowania i propagacji niekorzystnych zjawisk, takich jak koncentracja naprężeń, które mogą prowadzić do uszkodzeń łopatek turbinowych. Przeprowadzone badania potwierdzają, że zrozumienie mikrostrukturalnych niejednorodności jest kluczowe dla dalszego doskonalenia materiałów stosowanych w przemyśle lotniczym. Wyniki pracy dowodzą, że różnice w strukturze nadstopów CMSX-4 i CMSX-6, wynikające z parametrów procesu krystalizacji, mają istotny wpływ na ich właściwości wytrzymałościowe. To z kolei podkreśla konieczność kontynuacji badań w tym kierunku, aby jeszcze lepiej przewidywać zachowanie tych materiałów pod obciążeniem oraz optymalizować procesy ich wytwarzania.

Opiniowana praca, łącząc elementy badań podstawowych z praktycznymi implikacjami dla przemysłu, świadczy o rosnącej roli interdyscyplinarnych badań naukowych w tworzeniu bardziej zaawansowanych i niezawodnych komponentów dla lotnictwa. Świadczy to o tym, że badania mikrostrukturalne, takie jak te przeprowadzone w niniejszej dysertacji, są nie tylko pożądane, ale wręcz niezbędne dla dalszego rozwoju nowoczesnych technologii materiałowych. W związku z powyższym, tematyka podjęta w pracy doktorskiej jest nie tylko zgodna z aktualnym zapotrzebowaniem, ale także niezwykle istotna dla rozwoju technologii w kluczowych sektorach przemysłu. Przedstawiona analiza i uzyskane wyniki mają potencjał do bezpośredniego zastosowania w praktyce inżynierskiej, co potwierdza zasadność przeprowadzenia i publikacji tych badań. Doktorant już na wstępie jasno wskazuje jakie znaczenie w ocenie trwałości i bezpieczeństwa eksploatacji łopatek, a także w optymalizacji procesów produkcyjnych ma analiza niejednorodności orientacji krystalicznej i struktury dendrytycznej oraz fazowej struktury γ/γ' w łopatkach z nadstopów stosowanych w produkcji lotniczej. Badania przeprowadzone w ramach tej dysertacji, wykorzystujące zaawansowane techniki, takie jak dyfrakcyjna topografia rentgenowska oraz skaningowa i transmisyjna mikroskopia elektronowa, przyczyniają się do pogłębienia wiedzy na temat mikrostrukturalnych niejednorodności w nadstopach na osnowie niklu.

Dlatego też postawiony cel pracy, jakim jest charakterystyka porównawcza przestrzennych rozkładów składowych orientacji krystalicznej oraz parametru sieci fazy γ' w monokrystalicznych łopatkach nadstopów CMSX-6 i CMSX-4, uważam za właściwy i bardzo aktualny. Przeprowadzenie takiej analizy jest niezbędne do lepszego zrozumienia wpływu stężenia pierwiastków stopowych na lokalne zmiany orientacji krystalicznej oraz na strukturę dendrytyczną, co ma kluczowe znaczenie dla optymalizacji procesów technologicznych i poprawy jakości odlewów łopatek. Ponadto, uwzględnienie nowoczesnych technik badawczych, wzbogaca analizę i przyczynia się do precyzyjnego określenia związków między składem chemicznym a powstawaniem defektów, co czyni cel pracy nie tylko istotnym, ale również kompleksowym w podejściu do zagadnienia.

Zakres pracy został poprawnie dobrany i obejmował, zgodnie z przedstawioną w pracy metodyką, następujące etapy badań, które świadczą o imponującym zaangażowaniu doktoranta oraz zaawansowanym stopniu wykorzystanych metod:

1. Badania nad odlewami monokrystalicznymi nadstopów CMSX-6 i CMSX-4 – przeprowadzenie szczegółowej analizy dwóch generacji nadstopów niklu, obejmującej zarówno skład chemiczny, jak i właściwości odlewnicze, dostarczonych przez renomowane instytucje badawcze i przemysłowe.
2. Preparatyka zgładów metalograficznych – niezwykle ważne dla jakości uzyskiwanych wyników w trakcie realizowanych badań prawidłowe przygotowanie próbek, uwzględniające zaawansowane techniki szlifowania i polerowania, w tym polerowanie elektrochemiczne, co zapewniło uzyskanie powierzchni o najwyższej jakości, kluczowej dla dalszych analiz.
3. Charakterystyka struktury krystalicznej metodami rentgenowskimi – wykorzystanie dyfrakcyjnej topografii rentgenowskiej oraz metody Laue do szczegółowej analizy orientacji krystalograficznej monokrystalicznych łopatek, co pozwoliło na określenie wpływu dodatków stopowych na strukturę krystaliczną nadstopów.
4. Zmodyfikowana metoda Auleytnera – przeprowadzona w ramach dyfrakcyjnej topografii rentgenowskiej, umożliwiła szczegółowe odwzorowanie struktury mozaikowej monokrystalicznych odlewów. Zastosowanie szerokiej i skupionej wiązki w technice dyfrakcji odbiciowej pozwoliło na precyzyjne określenie położenia mikroobszarów o różnej orientacji krystalicznej, co było kluczowe dla zrozumienia dezorientacji krystalograficznej i jej wpływu na właściwości mechaniczne nadstopów.

5. Rejestracja struktury dendrytycznej w technice BSE w SEM – dzięki tej technice badawczej możliwe było uzyskanie obrazów przedstawiających rozkład i morfologię dendrytów w nadstopach niklu CMSX-4 i CMSX-6.
6. Pomiar orientacji bloków mozaiki metodą EBSD – wykorzystanie tej techniki, pozwoliło na szczegółowe zobrazowanie lokalnych zmian w orientacji krystalograficznej w obszarach występowania granic niskiego kąta.
7. Rozkład pierwiastków faz γ/γ' metodą EDS – zastosowanie spektroskopii dyspersji energii promieniowania rentgenowskiego (EDS) pozwoliło na analizę składu chemicznego pierwiastków w fazach nadstopów.
8. Badania przy zastosowaniu skaningowej oraz transmisyjnej mikroskopii elektronowej (SEM i TEM) do oceny mikrostruktury, w tym struktury dendrytycznej, oraz analizy chemicznej z wykorzystaniem spektroskopii dyspersji energii promieniowania rentgenowskiego (EDS), co umożliwiło precyzyjne określenie rozkładu pierwiastków w fazach nadstopów.
9. Mapowanie orientacji krystalograficznej metodą Ω -scan – zastosowanie innowacyjnego podejścia do badania rozkładu orientacji w monokrystalicznych łopatkach, które zostało opracowane we współpracy z czołowymi instytutami badawczymi, umożliwiło dokładne odwzorowanie rozkładu orientacji krystalicznej w odniesieniu do całej powierzchni zglądu.

Zastosowanie wszystkich metod badawczych, obejmujących zarówno techniki rentgenowskie, jak i mikroskopię elektronową, miało znaczący wpływ na uzyskanie kompleksowego obrazu struktury i właściwości nadstopów CMSX-4 i CMSX-6. Integracja tych interdyscyplinarnych metod pozwoliła na precyzyjną analizę i zrozumienie złożonych procesów zachodzących w odlewach o strukturze monokrystalicznej, co stanowi istotny wkład w rozwój badań nad materiałami lotniczymi. Szeroki i zaawansowany zakres badań, obejmujący interdyscyplinarne metody fizyki, chemii oraz metaloznawstwa, świadczy o dużym stopniu zaawansowania pracy doktorskiej i jej istotnym wkładzie w rozwój wiedzy z obszaru inżynierii materiałowej.

2. Ogólna charakterystyka rozprawy

Opiniowana praca doktorska pt.: „*Niejednorodność orientacji i struktury w monokrystalicznych odlewach CMSX-4 i CMSX-6*” podzielona została na część literaturową (rozdział str. 9-49) oraz obszerną część doświadczalną (57-205), po której zamieszczono spis literatury. Praca obejmuje 217 stron i składa się z dziewięciu rozdziałów (co wynika ze spisu treści, w którym Doktorant nie dokonał podziału pracy na ponumerowane rozdziały). Bibliografia zawiera 120 pozycji literaturowych, spośród których większość przywoływanych prac powstała w okresie ostatnich kilku lat, co potwierdza aktualność podjętego przez Doktoranta tematu.

Na początku dysertacji, po spisie treści, Doktorant zamieścił streszczenie pracy w języku polskim i angielskim. W rozdziale pierwszym, zatytułowanym „*Wstęp*”, Doktorant wprowadził czytelnika w tematykę pracy, akcentując znaczenie rozwoju technologii silników turboodrzutowych w nowoczesnych konstrukcjach lotniczych. Podkreślono kluczową rolę nowych materiałów o podwyższonych właściwościach użytkowych, które wydłużają okres eksploatacji silników i poprawiają ich parametry ekonomiczne, takie jak zmniejszenie zużycia paliwa oraz zwiększenie efektywności. Szczególną uwagę zwrócono na maksymalną temperaturę gazów spalinowych na wejściu do turbiny, która bezpośrednio zależy od właściwości materiałów użytych do produkcji kluczowych komponentów, jakimi są łopatki pierwszego i drugiego stopnia turbiny wysokiego ciśnienia.

Wstęp szczegółowo opisuje agresywne warunki pracy łopatek oraz konieczność stosowania zaawansowanych technik ich wytwarzania i kontroli jakości, w tym badania orientacji krystalicznej i procesy trawienia. Doktorant wskazał, że odpowiedzią na te wyzwania jest technologia monokrystalicznych odlewów łopatek z nadstopów niklu, które dzięki swojej

wyjątkowej strukturze i właściwościom, takim jak żaroodporność i żarowytrzymałość, są niezastąpione w konstrukcjach silników lotniczych. Wprowadzenie omawia również metody przemysłowe, takie jak Bridgman'a HRS i LMC, które są wykorzystywane do produkcji monokrystalicznych odlewów, oraz wyzwania związane z powstawaniem defektów strukturalnych podczas tych procesów. Doktorant odwołuje się do literatury przedmiotu, analizując wpływ tych defektów na właściwości mechaniczne odlewów oraz przedstawiając wnioski z wcześniejszych badań, co stanowi podstawę do dalszej analizy prowadzonej w dysertacji. W podsumowaniu wstępu Doktorant jasno określił cele pracy, koncentrując się na analizie porównawczej rozkładu przestrzennego orientacji krystalicznej oraz morfologii i struktury nadstopów CMSX-4 i CMSX-6, co stanowi fundament dla dalszych badań przedstawionych w kolejnych rozdziałach pracy.

W rozdziale „*Studium literatury*” Doktorant dokonał wszechstronnej analizy dostępnych źródeł naukowych, tworząc podstawy teoretyczne dla podjętych badań oraz precyzyjnie identyfikując obszary wymagające dalszej eksploracji. W pierwszej części studium literatury, zatytułowanej „*Wzrost monokryształów*”, Doktorant szczegółowo opisał procesy i mechanizmy związane z krystalizacją monokrystalicznych materiałów. Omówiono klasyczne metody wzrostu monokryształów, takie jak metoda Czochralskiego czy Bridgmana, podkreślając ich zalety i ograniczenia w kontekście wytwarzania materiałów o wysokiej jakości krystalograficznej. Doktorant zwrócił uwagę na wpływ parametrów procesu, takich jak szybkość chłodzenia czy gradient temperatury, na powstawanie defektów krystalicznych i jednorodność struktury. W kolejnym rozdziale poświęconym „*Rozwojowi nadstopów na bazie niklu*”, Doktorant przeanalizował historyczny i współczesny rozwój nadstopów na osnowie niklu, uwzględniając ich ewolucję od pierwszej do najnowszych generacji. Przedstawiono kluczowe modyfikacje składu chemicznego oraz ich wpływ na właściwości mechaniczne i odporność na wysoką temperaturę. Szczególną uwagę zwrócono na rolę dodatków stopowych, takich jak ren, wolfram czy tantal, w poprawie parametrów eksploatacyjnych nadstopów. Rozdział dotyczący „*Technologii wytwarzania monokrystalicznych nadstopów*” zawierał dogłębną analizę nowoczesnych metod produkcji, ze szczególnym naciskiem na techniki *DS (Directional Solidification)* oraz *SC (Single Crystal)*. Doktorant opisał procesy technologiczne, takie jak *Bridgman HRS (High Rate Solidification)* i *LMC (Liquid Metal Cooling)*, omawiając ich wpływ na strukturę i właściwości końcowych produktów. Scharakteryzowano także wyzwania związane z kontrolą procesów krystalizacji oraz metody minimalizacji powstawania defektów strukturalnych. W części poświęconej „*Wadom odlewniczym w nadstopach niklu*”, Doktorant szczegółowo opisał różnorodne typy defektów, takie jak porowatość, segregacja składników czy powstawanie granic niskiego kąta. Analizowano mechanizmy powstawania tych wad w kontekście parametrów procesu odlewniczego oraz wpływu składu chemicznego stopów. Doktorant omówił również konsekwencje obecności defektów dla właściwości mechanicznych i trwałości komponentów w warunkach eksploatacyjnych. W rozdziale „*Charakterystyka nadstopów niklu*”, Doktorant przedstawił kompleksowy opis mikrostruktury nadstopów, ze szczególnym uwzględnieniem faz γ i γ' , ich morfologii oraz rozkładu w materiale. Omówiono wpływ różnych dodatków stopowych na stabilność fazową, wytrzymałość na pełzanie oraz odporność na korozję w wysokich temperaturach. Doktorant podkreślił znaczenie kontroli mikrostruktury dla optymalizacji właściwości użytkowych nadstopów. W części dotyczącej „*Anizotropii właściwości monokrystalicznych łopatek*”, Doktorant przeanalizował wpływ orientacji krystalograficznej na mechaniczne i fizyczne właściwości łopatek turbinowych. Omówiono, jak różnice w orientacji wpływają na wytrzymałość, moduł sprężystości oraz odporność na pełzanie, podkreślając konieczność precyzyjnej kontroli orientacji podczas procesu produkcyjnego. Rozdział „*Niejednorodność rozkładu przestrzennego orientacji krystalicznej łopatek*” dotyczy analizy czynników prowadzących do lokalnych odchyłań orientacji

krystalograficznej w strukturze łopatek. Doktorant omówił wpływ geometrii odlewów, parametrów krystalizacji oraz obecności dodatków stopowych na powstawanie niejednorodności. Przedstawiono również konsekwencje tych odchyżeń dla właściwości mechanicznych i trwałości komponentów w warunkach eksploatacyjnych. W rozdziale „*Właściwości nadstopów CMSX-6 i CMSX-4*”, Doktorant dokonał szczegółowego porównania obu nadstopów, analizując ich skład chemiczny, mikrostrukturę oraz właściwości mechaniczne. Podkreślono różnice wynikające z obecności dodatków takich jak ren i wolfram w CMSX-4 oraz ich wpływ na poprawę odporności na pełzanie i stabilność fazową w wysokiej temperaturze. Doktorant zwrócił uwagę na brak systematycznych badań porównawczych w literaturze, co podkreślało potrzebę podjęcia takich analiz w ramach niniejszej pracy. W ostatnim rozdziale studium literatury, zatytułowanym „*Dyfrakcyjna topografia rentgenowska*”, Doktorant opisał teoretyczne i praktyczne aspekty zastosowania tej metody w analizie struktury krystalicznej nadstopów. Szczegółowo omówiono mechanizmy kontrastu orientacyjnego i ekstynkcyjnego, które pozwalają na identyfikację i charakterystykę defektów strukturalnych oraz lokalnych odchyżeń orientacji krystalograficznej. Przedstawiono również przegląd dotychczasowych zastosowań tej techniki w badaniach materiałowych oraz możliwości jej wykorzystania w analizie nadstopów CMSX-6 i CMSX-4.

Na podstawie własnego doświadczenia oraz szczegółowej analizy literatury, Doktorant uzasadnił podjęcie tematyki rozprawy, formułując tezę pracy i określając jej główne cele. Wskazano na istotną lukę badawczą polegającą na braku bezpośrednich porównań rozkładów przestrzennych orientacji krystalicznej oraz parametrów sieciowych fazy γ' w nadstopach CMSX-4 i CMSX-6. Doktorant podkreślił, że zrozumienie wpływu dodatków stopowych, takich jak ren i wolfram, na lokalne właściwości strukturalne i mechaniczne jest kluczowe dla dalszej optymalizacji tych materiałów i poprawy ich wydajności w ekstremalnych warunkach eksploatacyjnych. Doktorant sformułował hipotezę, że dodatkowe składniki stopowe obecne w nadstopie CMSX-4 drugiej generacji znacząco wpływają na niejednorodność orientacji krystalicznej i struktury zamków łopatek w porównaniu do nadstopu CMSX-6 pierwszej generacji. W celu zweryfikowania tej hipotezy określono zakres badań obejmujący wykorzystanie zaawansowanych technik analitycznych, takich jak dyfrakcyjna topografia rentgenowska, metoda Ω -scan, skaningowa oraz transmisyjna mikroskopia elektronowa. Doktorant wskazał również na konieczność opracowania odpowiedniej metodyki badawczej oraz adaptacji istniejących technik analitycznych do specyfiki analizowanych materiałów. Zaplanowane badania mają na celu nie tylko wypełnienie istniejącej luki wiedzy, ale również przyczynienie się do lepszego zrozumienia mechanizmów powstawania defektów strukturalnych i ich wpływu na właściwości eksploatacyjne monokrystalicznych nadstopów niklu.

W części pracy, w której Doktorant przedstawił wyniki realizowanych badań, opisano uzyskane efekty prowadzonych prób zmierzających do osiągnięcia zakładanego celu badawczego, obejmujące:

1. Analizę niejednorodności orientacji sieci krystalicznej – Doktorant przeprowadził szczegółową analizę struktury krystalicznej zamków łopatek wykonanych z nadstopów CMSX-6 i CMSX-4. Przedstawiono wyniki badań Laue oraz topogramy rentgenowskie, które ukazały blokową strukturę badanych próbek i granice niskiego kąta. Wykonano również mapowanie parametrów orientacji oraz parametru sieci fazy γ' metodą Ω -scan, co pozwoliło na dokładną charakterystykę rozkładu dezorientacji i lokalnych zmian parametru sieciowego w obrębie zamków łopatek.
2. Badanie wpływu prędkości wyciągania na mikrostrukturę – w ramach badań porównano wpływ prędkości wyciągania na mikrostrukturę i właściwości krystalograficzne nadstopów CMSX-6 i CMSX-4. Przeprowadzono badania dla dwóch prędkości wyciągania ($V_t = 1$

- mm/min oraz $V_t = 3$ mm/min), co umożliwiło ocenę wpływu parametrów procesu na stabilność strukturalną, rozkład granic niskiego kąta oraz zmiany parametrów sieciowych.
3. Porównanie składowych orientacji α , β , γ – Doktorant porównał składowe orientacji α , β , γ dla obu badanych nadstopów, co pozwoliło na identyfikację różnic w charakterystyce granic niskiego kąta oraz zmianach parametrów orientacji w zależności od składu chemicznego i parametrów technologicznych. Wyniki te wskazują na istotne różnice w rozkładzie dezorientacji między nadstopami CMSX-6 i CMSX-4, szczególnie w kontekście wpływu dodatków stopowych, takich jak ren i wolfram.
 4. Analiza porównawcza parametrów sieciowych – wyniki badań dotyczące parametrów sieciowych a_0 fazy γ' wskazały na zróżnicowanie stabilności struktury krystalicznej w badanych nadstopach. Doktorant wykazał, że nadstop CMSX-4 charakteryzuje się większymi zmianami parametru sieciowego w obszarze zamka w porównaniu do CMSX-6, co ma istotny wpływ na właściwości mechaniczne i trwałość łopatek.
 5. Zestawienia porównawcze wyników – na podstawie zebranych danych Doktorant opracował szczegółowe zestawienia porównawcze, które umożliwiły pełniejszą interpretację różnic w mikrostrukturze, orientacji krystalicznej i parametrach sieciowych między badanymi nadstopami. Tabele porównawcze zawierają kluczowe wartości zmian parametrów orientacji oraz parametrów sieciowych, co pozwala na kompleksową ocenę wpływu składu chemicznego i parametrów procesu na właściwości analizowanych materiałów.
 6. W części pracy dotyczącej analizy porównawczej mikrostruktury nadstopów, Doktorant przedstawił charakterystykę strukturalną faz γ i γ' w nadstopach CMSX-6 oraz CMSX-4. Rozdział ten opisuje morfologię krystalitów γ' , ich rozmiary, kształty, a także zmiany w strukturze w różnych obszarach materiału, takich jak rdzeń dendrytu czy obszary międzydendrytyczne. Doktorant opisał obserwacje dotyczące zmiany kształtów krystalitów fazy γ' .
 7. Doktorant przeprowadził badania mikrostrukturalne nadstopów CMSX-6 i CMSX-4 z wykorzystaniem transmisyjnej mikroskopii elektronowej (TEM). W swojej pracy szczegółowo opisał proces przygotowania próbek, które obejmowały zastosowanie metody FIB (Focus Ion Beam) do wykonania cienkich folii.
 8. W dalszej części pracy doktorant scharakteryzował morfologię krystalitów fazy γ' w nadstopie CMSX-6 jako regularną, z rozmiarami zbliżonymi i powtarzalnymi w całym badanym obszarze. Zwrócił uwagę na obecność pojedynczych dyslokacji, które przecinają zarówno fazę γ , jak i γ' , co sugeruje, że są to dyslokacje wzrostowe powstałe podczas krystalizacji pierwotnej fazy γ .
 9. Doktorant prawidłowo porównał mikrostrukturę nadstopów CMSX-6 i CMSX-4, zauważając różnice w morfologii krystalitów fazy γ' . Wskazał również na większe zróżnicowanie geometryczne krystalitów fazy γ' w CMSX-4 oraz na większą szerokość kanałów osnowy fazy γ w porównaniu do CMSX-6.
 10. Ponadto, Doktorant wykazał zrozumienie trudności związanych z precyzyjnym trafieniem w środek rdzenia dendrytu podczas przygotowania lamel, co mogło wpływać na wyniki obserwacji. Mimo tych trudności, Doktorant prawidłowo oszacował rozmiary krystalitów γ' i zauważył, że nie odbiegają one znacznie od tych zarejestrowanych dla CMSX-6.
 11. W pracy podjęto także próbę porównania struktury γ/γ' w różnych obszarach dendrytu, w tym w rdzeniu i obszarach zewnętrznych ramion II rzędowych. Doktorant zastosował kombinację technik polerowania elektrolitycznego oraz ścieniania jonowego do przygotowania próbek, co umożliwiło mu badanie większych obszarów, choć z ograniczoną precyzją selekcji badanych obszarów.
 12. Doktorant rzetelnie opisał obserwacje różnic w strukturze w różnych obszarach dendrytów, wskazując na obecność dyslokacji głównie w fazie γ oraz na siatkę dyslokacyjną otaczającą

krystalicy fazy γ' . Sugerował również, że różnice te mogą wskazywać na zróżnicowanie procesów krystalizacji i formowania się defektów w różnych częściach materiału.

13. W końcowej części pracy Doktorant skupił się na analizie obszarów granic niskiego kąta (LAB) w badanych nadstopach. Dokonał szczegółowej analizy obrazów uzyskanych w trybie szeroko kąтового ciemnego pola (HAADF), co pozwoliło mu na obserwację różnic w składzie chemicznym elementów struktury..
14. Doktorant przeprowadził także obserwacje dyslokacji w fazie γ występujących na granicach niskiego kąta, wskazując na zróżnicowane ułożenie ich linii na granicy.

Podsumowując, doktorant przeprowadził kompleksową analizę mikrostruktury nadstopów CMSX-6 i CMSX-4, wykorzystując zaawansowane techniki TEM. Jego praca wykazuje głębokie zrozumienie procesów krystalizacji, kształtowania się defektów oraz wpływu składu chemicznego na strukturę badanych materiałów. Wnioski wyciągnięte na podstawie obserwacji są logiczne i uzasadnione, co świadczy o dobrym poziomie merytorycznym pracy.

Na podstawie przedstawionego opisu osiągnięć Doktoranta można dokonać pewnej analizy krytycznej i wyciągnąć następujące wnioski:

- Choć dokładny opis metodologii jest ważny, miejscami jest on zbyt szczegółowy i mógłby zostać skrócony bez utraty wartości merytorycznej. W niektórych fragmentach pracy pojawia się nadmierna liczba detali technicznych, które nie zawsze wnoszą dodatkową wartość do głównych wniosków pracy. Skondensowanie tych fragmentów mogłoby poprawić czytelność pracy. Np.: w części pracy dotyczącej przygotowania próbek metodą FIB, Doktorant szczegółowo opisuje cały proces, łącznie z każdym krokiem technicznym, takim jak „naniesienie paska platynowego”, „usunięcie nadmiaru materiału” czy „połączenie igły manipulatora z lamelką”. Tego rodzaju detale są ważne, ale można je zsyntetyzować, skupiając się na kluczowych aspektach, które mają bezpośrednie znaczenie dla wyników badań.

- W pracy można zauważyć pewną niespójność w stosowaniu terminologii naukowej, szczególnie w odniesieniu do opisu faz i struktur materiałowych. Różnorodne określenia używane do opisu tych samych zjawisk mogą wprowadzać niepotrzebne zamieszanie i utrudniać odbiór treści. Zastosowanie jednolitej terminologii w całej pracy poprawiłoby klarowność przekazu. Np.: w jednym fragmencie pracy faza γ' jest nazywana „krystalitami γ' ”, a w innym „kostkami γ' ”. Takie zmiany terminologii mogą prowadzić do niejasności. Lepszym rozwiązaniem byłoby konsekwentne stosowanie jednej nazwy dla każdej fazy lub zjawiska w całej pracy.

- Praca mogłaby być wzbogacona o więcej odniesień do literatury naukowej, szczególnie w kontekście porównania wyników z innymi badaniami. W wielu miejscach Doktorant nie odnosi się wystarczająco do istniejących prac w dziedzinie, co sprawia, że kontekst naukowy może być niepełny. Mocniejsze powiązanie wyników z dotychczasową wiedzą mogłoby pomóc w lepszym osadzeniu pracy w szerszym kontekście naukowym (przykładem prac o podobnym charakterze, dość szeroko opisujących strukturę stopów krystalizujących kierunkowo są prace Pana dr inż. Kamila Gancarczyka oraz Pana dr inż. Dariusza Szelię – mimo przedstawienia w pracy wyników powiązanych z ich pracami, Doktorant nie powołuje się w literaturze na publikacje, w których zawarto właśnie te wyniki).

- Mimo że praca ma istotne znaczenie naukowe, brakuje w niej wystarczającej dyskusji na temat praktycznych implikacji wyników. Doktorant bardzo często opisuje wyniki, ale nie prowadzi dyskusji wskazującej na to jakie wnioski wynikają z osiągnięcia rezultatów w postaci przeprowadzonych analiz. Jak te wyniki wpływają na proces kształtowania struktury, defektów, decydujących o finalnych właściwościach fizycznych badanych materiałów. Jak badania te mogą wpłynąć na rozwój nowych materiałów lub na przemysł? Rozszerzenie dyskusji o

aplikacyjnych aspektach wyników mogłoby zwiększyć wartość pracy z punktu widzenia potencjalnych zastosowań.

Mozna mieć również pewne uwagi do strony edytorskiej pracy:

Doktorant stara się posługiwać specjalistyczną terminologią, jednak nie unika również żargonu lub wręcz używa nieprawidłowej terminologii. Oto kilka przykładów:

- Doktorant stosuje skróty myślowe, które utrudniają czytelnikowi zrozumienie przekazywanych w pracy treści. Oczywiście jest, że Autor wie co ma na myśli, czytelnik niekoniecznie! Wiele zdań jest sformułowanych nieskładnie, niegramatycznie. Ponadto w pracy pojawiają się bardzo długie, kilkuwersowe zdania, bez znaków interpunkcyjnych – głównie przecinków, co nie sprzyja lekturze dysertacji i utrudnia poprawny odbiór tekstu. Stwierdzono występowanie błędów gramatycznych i składniowych. Poniżej kilka wybranych przykładów:

„Ponadto fazę γ obserwuje się również w Eutektyce (Rysunek 110-118). Okazuje się że kanaliki γ niejako dzielą stosunkowo duże obszary eutektyki przyjmując bardziej lub mniej regularne formy przestrzenne. Obserwuje się tendencje do regularnych równych oraz stosunkowo najbardziej cienkich kanałków w głębi eutektyki (centrum) do nieregularnych form kanałków o wyraźnie zwiększonych rozmiarach. Stwierdzenie centrum nie jest równoznaczne z środkiem arytmetycznym eutektyk należy o tym pamiętać ponieważ wyżej omawiane obserwacje występują niezadko na jednej z krawędzi Eutektyki. Nie do końca jasna jest tego przyczyna, najbardziej prawdopodobną przyczyną jest kierunek dyfuzji ciepła podczas chłodzenia/kryształizacji ciekłej formy stopu w przestrzeniach między-dendrytycznych”.

W podanym przykładzie Doktorant stosuje kilka skrótów myślowych i nieprecyzyjne sformułowania, które mogą wprowadzać w błąd lub utrudniać zrozumienie treści:

Stwierdzenie „*Ponadto fazę γ obserwuje się również w Eutektyce*” sugeruje, że faza γ występuje w całej eutektyce, co nie jest precyzyjne. Faza γ stanowi jedną z faz tworzących eutektykę, więc powinno być to jasno zaznaczone.

Zapis „*kanaliki γ niejako dzielą stosunkowo duże obszary eutektyki*” jest nieprecyzyjny. W rzeczywistości chodzi o to, że faza γ w postaci cienkich kanałów dzieli obszary fazy γ' w strukturze eutektyki.

Termin „*kanaliki*” w kontekście fazy γ nie jest właściwy. Powinno się raczej mówić o „*cienkich kanałach fazy γ* ” lub „*przestrzeniach międzydendrytycznych wypełnionych fazą γ* ”.

Sformułowanie „*centrum eutektyki*” jest niejasne. W odniesieniu do mikrostruktury, bardziej odpowiednie byłoby określenie „*wewnętrzna część obszaru eutektyki*” lub „*centralna część obszaru eutektycznego*”.

- Stosowana jest nieprecyzyjna argumentacja. Np. wyrażenie „*Nie do końca jasna jest tego przyczyna, najbardziej prawdopodobną przyczyną jest kierunek dyfuzji ciepła podczas chłodzenia/kryształizacji ciekłej formy stopu w przestrzeniach między-dendrytycznych*” sugeruje niepewność co do wniosków i jednocześnie wskazuje przyczynę bez dostatecznego uzasadnienia. Lepiej byłoby dokładniej wyjaśnić mechanizm związany z dyfuzją ciepła i jego wpływu na morfologię faz.

- Tylko na dwóch stronach pracy zauważono dwa błędy ortograficzne!!: „niezadko” i „wachlżem”.

- Kolejny przykład ze strony 136, 137: „Analiza obszarów eutektyki wykazały również zróżnicowanie w jej budowie. Współistniejące we wnętrzu eutektyki kanaliki fazy γ dzielą eutektykę na obszary zbliżone kształtem do prostokątów. Jednak w tym przypadku rozpatrujemy strukturę wewnątrz objętości eutektyki. Faza γ dzieli eutektykę na stosunkowo regularne prostopadłościennie formy w jej wnętrzu, Wraz z przybliżaniem się do granicy eutektyki zmieniają one formę na wydłużone prostopadłościennie pasma o nieregularnych kształtach i większych rozmiarach. Dowodzi to, że eutektyka w rzeczywistości nie jest zamkniętą objętością jest połączona przez kanaliki fazy γ granicy fazy z jej wnętrzem. Potwierdza to możliwość poruszania się defektów również przez eutektykę. Teorie tą wydaje się potwierdzać seria zdjęć mikroskopowych dla nadstopów o wydłużonym czasie elektro-trawienia (Rysunek 110). Zabieg ten pozwolił na zebranie większej ilości materiału z powierzchni zglądu ujawniając dokładną budowę wewnątrz eutektyk. Na rysunku 110 są bardzo dobrze widoczne nieregularne formy struktury eutektyki oddzielone od siebie kanałami po fazie γ ”

W przedstawionym cytacie pojawia się kilka istotnych problemów merytorycznych i stylistycznych, które wpływają na klarowność oraz poprawność przekazu naukowego:

Stwierdzenie „Analiza obszarów eutektyki wykazały również zróżnicowanie w jej budowie” jest nieprecyzyjne. Lepiej byłoby napisać, że „Analiza obszarów eutektyki wykazała zróżnicowanie w jej mikrostrukturze” – co dokładniej odnosi się do badań mikrostrukturalnych, jakie są zapewne przedmiotem pracy.

Zapis „eutektyka nie jest zamkniętą objętością” jest niezręczny i niejasny. Lepszym sformułowaniem byłoby „eutektyka nie stanowi jednorodnej i zamkniętej objętości, lecz zawiera wewnętrzne kanały fazy γ , które łączą jej wnętrze z granicami fazy.”

Zdanie „Potwierdza to możliwość poruszania się defektów również przez eutektykę” jest zbyt ogólne i nieprecyzyjne. Powinno być jasno wyjaśnione, jakie defekty mają być obserwowane (np. dyslokacje) i w jaki sposób przemieszczają się one przez strukturę eutektyki.

W zdaniu „Teorie tą wydaje się potwierdzać seria zdjęć mikroskopowych...” użycie słowa „teoria” jest niewłaściwe. W kontekście naukowym powinno się mówić o „hipotezie”, ponieważ teoria jest znacznie szerszym i bardziej ugruntowanym pojęciem.

W zdaniu „Współistniejące we wnętrzu eutektyki kanaliki fazy γ dzielą eutektykę na obszary zbliżone kształtem do prostokątów” występuje powtórzenie, które utrudnia odbiór tekstu. Lepszym sformułowaniem byłoby: „Współistniejące w eutektyce cienkie kanały fazy γ dzielą ją na obszary o kształcie zbliżonym do prostokątów.”

Fragment „dowodzi to, że eutektyka w rzeczywistości nie jest zamkniętą objętością jest połączona przez kanaliki fazy γ granicy fazy z jej wnętrzem” zawiera błędy składniowe i logiczne. Poprawny zapis mógłby brzmieć: „Sugeruje to, że eutektyka nie jest zamkniętą objętością, lecz poprzez cienkie kanały fazy γ łączy się z granicami fazy, umożliwiając przemieszczanie się defektów.”

Autor używa sformułowania „duże obszary eutektyki”, co jest zbyt ogólne i nieprecyzyjne. W pracy naukowej należy podać konkretne wymiary lub przynajmniej szacunkowe rozmiary tych „obszarów”.

Zdanie „Zabieg ten pozwolił na zebranie większej ilości materiału z powierzchni zglądu ujawniając dokładną budowę wewnętrzną eutektyki” jest nieskładne. Lepszym rozwiązaniem byłoby: „Przedłużone elektrotrawienie pozwoliło na lepsze odsłonięcie wewnętrznej struktury eutektyki, co uwidoczniło jej dokładną budowę.”

- Kolejne zdanie: „Ponadto fazę γ obserwuje się również w Eutektyce (Rysunek 110-118). Okazuje się że kanaliki γ niejako dzielą stosunkowo duże obszary eutektyki przyjmując bardziej lub mniej regularne formy przestrzenne. Obserwuje się tendencje do regularnych równych oraz stosunkowo najbardziej cienkich kanałków w głębi eutektyki (centrum) do nieregularnych form kanałków o wyraźnie zwiększonych rozmiarach. Stwierdzenie centrum nie jest równoznaczne z środkiem arytmetycznym eutektyk należy o tym pamiętać ponieważ wyżej omawiane obserwacje występują nieżadko na jednej z krawędzi Eutektyki. Nie do końca jasna jest tego przyczyna, najbardziej prawdopodobną przyczyną jest kierunek dyfuzji ciepła podczas chłodzenia/kryształizacji ciekłej formy stopu w przestrzeniach między-dendrytycznych”.

W swojej pracy Doktorant używa terminu "kanaliki" do opisu struktury fazy γ . Należy jednak zauważyć, że termin ten jest nieprecyzyjny i nie do końca odpowiada naukowym standardom języka technicznego. W literaturze naukowej dotyczącej nadstopów niklu, bardziej odpowiednie jest stosowanie terminów takich jak "cienkie kanały fazy γ " lub "przestrzenie międzydendrytyczne." Słowo "kanalik" może być odbierane jako zbyt potoczne, a nawet eufemistyczne, co może obniżać klarowność i precyzję opisu naukowego. Dlatego zaleca się unikanie takich określeń na rzecz bardziej formalnych i technicznie precyzyjnych terminów. Zatem często stosowany przez Doktoranta termin „kanaliki” w kontekście fazy γ nie jest właściwy. Powinno się raczej mówić o „cienkich kanałach fazy γ ” lub „przestrzeniach międzydendrytycznych wypełnionych fazą γ ”.

- we fragmencie tekstu (strona 134) znajdują się istotne błędy merytoryczne i terminologiczne, które wymagają korekty:

Morfologia fazy γ : w odlewach monokrystalicznych faza γ jest dobrze zdefiniowana i jednorodna, co umożliwia dokładne jej scharakteryzowanie. Twierdzenie, że „ciężko rozprawić o morfologii owej fazy”, jest nieuzasadnione, ponieważ istnieją metody umożliwiające precyzyjne badanie jej struktury.

Termin "ciekła materia": użycie określenia "ciekła materia" jest nieprecyzyjne i nieodpowiednie w kontekście materiałoznawstwa. W przypadku stopów bardziej właściwe jest stosowanie terminu "ciekły stop." Termin "materia" jest ogólnym określeniem stosowanym w fizyce, ale nie odnosi się specyficznie do materiałów metalurgicznych.

Termin "twór": w tekście znajduje się sformułowanie „stosunkowo duży twór”, które jest nieodpowiednie w naukowym opisie mikrostruktury materiałów. Zamiast tego, należy odnieść się do "objętości ciekłego stopu" lub opisać fazę γ w kontekście jej rozmieszczenia i kształtu w strukturze monokrystalicznego odlewu.

Opisana trudność scharakteryzowania fazy γ : stwierdzenie, że „scharakteryzowanie początku i końca fazy jest niemożliwe” również jest mylące. Faza γ , mimo mniejszego udziału objętościowego, może być precyzyjnie zidentyfikowana i scharakteryzowana dzięki nowoczesnym technikom mikroskopowym i analizom strukturalnym.

Zaleca się, aby Doktorant unikał takich nieprecyzyjnych sformułowań i stosował bardziej odpowiednie terminy oraz dokładne opisy, które są zgodne z naukowymi standardami języka technicznego i materiałoznawstwa.

- Przykład ze strony 185: „W ostatnim etapie analizy mikrostruktury nadstopów niklu CMSX-6 oraz CMSX-4 za pomocą technik elektronicznej mikroskopii transmisyjnej (TEM), skupiono się na fragmentach cienkich folii, które zostały zidentyfikowane jako potencjalne obszary granic niskiego kąta. Na rysunku 145 zaprezentowano obszar granicy (LAB) w szeroko kątowym ciemnym polu (HAADF). Metoda ta umożliwia ujawnienie różnic w składzie chemicznym elementów struktury poprzez zmianę poziomu kontrastu w zależności od absorpcji, przy założeniu, że badana lamelka ma stałą grubość. Granica niskiego kąta „wije się” pomiędzy krystalitami fazy γ' . Po obu stronach granicy tj. w sąsiadujących blokach różnice poziomu kontrastu krystalitów fazy γ' są niezauważalne co sugerowałoby niezmienny skład chemiczny”.

W przedstawionym fragmencie tekstu pojawia się kilka problemów merytorycznych oraz stylistycznych, na które warto zwrócić uwagę Doktorantowi, w celu poprawy przyszłych opisów wyników zapewniających klarowność i naukową precyzję.

Użycie wyrażenia „wije się” w kontekście opisu granicy niskiego kąta (LAB) jest nieodpowiednie dla tekstu naukowego. Zwrot ten jest zbyt potoczny i nie oddaje precyzyjnie opisywanego zjawiska. W tekstach naukowych zaleca się stosowanie bardziej technicznych i precyzyjnych sformułowań, takich jak „przebiega nieliniowo”, „przebiega nieregularnie”, czy „...w kształcie spirali”. Takie określenia oddają charakterystykę opisywanego zjawiska i są bardziej odpowiednie w kontekście naukowym.

Zamiast „Metoda ta umożliwia ujawnienie różnic w składzie chemicznym elementów struktury poprzez zmianę poziomu kontrastu w zależności od absorpcji”, lepiej napisać: „Metoda HAADF w szerokokątym ciemnym polu (STEM-HAADF) pozwala na zobrazowanie różnic w składzie chemicznym elementów mikrostruktury na podstawie zmian kontrastu, który zależy od liczby atomowej (Z-contrast) badanych składników.”

Stwierdzenie „przy założeniu, że badana lamelka ma stałą grubość” jest ogólnikowe i pozostawia pytania o to, czy i w jaki sposób ta grubość była kontrolowana lub mierzona. Lepszym rozwiązaniem byłoby dodanie informacji o metodzie, która zapewnia jednorodną grubość folii, np.: „przy założeniu, że badana lamelka ma jednorodną grubość, kontrolowaną za pomocą technik FIB (Focus Ion Beam).”

„Po obu stronach granicy tj. w sąsiadujących blokach różnice poziomu kontrastu krystalitów fazy γ' są niezauważalne, co sugerowałoby niezmienny skład chemiczny” – ten fragment jest poprawny, ale można by go ulepszyć, dodając kontekst, który wyjaśnia, dlaczego to obserwacja jest ważna: „Brak zauważalnych różnic w poziomie kontrastu po obu stronach granicy w sąsiadujących blokach krystalitów fazy γ' sugeruje brak zmian w składzie chemicznym, co może wskazywać na jednorodność chemiczną wzdłuż tej granicy niskiego kąta.”

- Doktorant często używa terminu „wizualizacja” w sposób nieprawidłowy. Zamiast używać terminu „wizualizowana,” bardziej odpowiednim sformułowaniem (precyzyjnym i oddającym proces wykrycia granicy niskiego kąta), byłoby użycie słowa „ujawniona” lub „zidentyfikowana”:

„Granica niskiego kąta jest **ujawniona** przez wyraźną zmianę kąta γ o wartości $0,82^\circ$ (Rysunek 81).”

lub

„Granica niskiego kąta jest **zidentyfikowana** na podstawie wyraźnej zmiany kąta γ o wartości $0,82^\circ$ (Rysunek 81).”

- Doktorant często popełnia błąd ortograficzny polegający na użyciu formy „charakteryzuję” zamiast poprawnej formy „charakteryzuje” w trzeciej osobie liczby pojedynczej. Na przykład na stronie 104 (podobnie na stronie 111, 113, 116, 121, 124 itd.) w zdaniu „Rozkład składowej γ charakteryzuję się dużym stopniem niejednorodności...” powinno być „Rozkład składowej γ charakteryzuje się dużym stopniem niejednorodności...”. Doktorant powinien zwracać szczególną uwagę na poprawną odmianę czasowników, aby unikać takich błędów w swojej pracy.

Doktorant wykazał się dużą znajomością metod badawczych i przeprowadził w szerokim zakresie analizy materiałowe. Niemniej jednak, praca mogłaby zyskać na wartości naukowej i praktycznej poprzez poprawę opisów metodologicznych, zapewnienie spójności terminologicznej oraz rozwinięcie skrótów myślowych czy praktycznych implikacji wyników. Doprecyzowanie i uszczegółowienie opisów uzyskanych wyników badań również poprawiłoby jakość pracy. Pragnę podkreślić, że powyższe uwagi i błędy natury edytorskiej nie umniejszają wartości naukowej pracy, zwłaszcza, że cel został przez Doktoranta osiągnięty, a teza udowodniona. Chcę tylko zwrócić uwagę Doktoranta na wykazanie większej staranności przy redagowaniu kolejnych opracowań naukowych

3. Uwagi o charakterze merytorycznym oraz pytania do Autora

- w tekście pracy używa Pan terminu „kontynuator” w kontekście opisu elementu znajdującego się nad selektorem ziaren w procesie krystalizacji monokrystalicznych nadstopów niklu. Chciałbym zwrócić uwagę, że termin ten nie jest standardowy ani powszechnie stosowany w literaturze dotyczącej inżynierii materiałowej i nauk o materiałach. Typowo, po przejściu przez selektor, ziarno przechodzi bezpośrednio do formowania głównej części odlewu (zamka i pióra), bez wyodrębniania osobnego elementu o nazwie „kontynuator”. Proszę o wyjaśnienie, czy „kontynuator” odnosi się do specyficznej funkcji lub elementu, który nie jest powszechnie opisany w literaturze. Jeśli nie, sugerowałbym rozważenie użycia bardziej standardowej terminologii, aby uniknąć nieporozumień i zapewnić klarowność przekazu. Czy rzeczywiście istnieje jakaś specyficzna funkcja, którą chce Pan tym terminem opisać?

- w części dotyczącej analizy topogramów rentgenowskich refleksu 113 pojawia się opis (strona 93), który może być trudny do zrozumienia dla czytelnika. Stwierdzenie, że „*nasunięcie obrazów bloku I na bloki II powoduje powstanie podwyższonego pasma wizualizującego granicę niskiego kąta (LAB)*”, jest niejasne i wymaga doprecyzowania. Proszę o szczegółowe wyjaśnienie tego zjawiska oraz rozważenie bardziej przystępnego przedstawienia tej informacji, aby ułatwić zrozumienie procesu powstawania granic niskiego kąta i ich wizualizacji na topogramach;

- w części dotyczącej analizy map orientacji krystalicznej oraz parametru sieciowego fazy γ' (a_0) (strona 94) pojawia się po raz kolejny termin „bloki”, który może być mniej precyzyjny i mylący w kontekście mikrostruktury materiałów. Czy nie byłoby bardziej odpowiednie użycie terminu „ziarna” zamiast „bloki”, aby lepiej oddać strukturę krystaliczną? Dodatkowo, sformułowanie „*zaburzenia te korespondują z wynikami topografii rentgenowskiej*” jest niejasne. Proszę o dokładniejsze wyjaśnienie, jakie konkretnie zaburzenia są tu opisane i jak są one powiązane z wynikami topografii rentgenowskiej;

- w analizie wyników Doktorant używa sformułowania „*zmiany parametru*”, co może wprowadzać niejasności, ponieważ bardziej precyzyjnym określeniem byłoby „*zmiany wartości dla parametru a_0* ”. Ponadto, Doktorant odnosi się do fluktuacji wartości parametru

sieciowego a_0 w zakresie 0,002 Å, określając je jako "fluktuacje statystyczne" (strona 94). W rzeczywistości, bardziej adekwatnym terminem byłyby "wahania wartości w zakresie błędu". Jeżeli te „fluktuacje” rzeczywiście mieszczą się w granicach błędu pomiarowego, to pojawia się pytanie o ich fizyczną wartość naukową. W takim kontekście, interpretacja tych wyników może być problematyczna, ponieważ może sugerować, że są one nieistotne z punktu widzenia analizy strukturalnej. Na stronie 98 Doktorant pisze również o "spadku wartości parametru a_0 o 0,008 Å w pobliżu granicy niskiego kąta bloków I i II", co ponownie budzi wątpliwości co do znaczenia tych wyników, zwłaszcza w kontekście niewielkich „fluktuacji”, które są traktowane jako statystyczne. Warto zwrócić uwagę, że jeśli te wahania są efektem niepewności pomiarowej, to należy zadać pytanie, czy można na ich podstawie wyciągać wnioski o istotnym znaczeniu strukturalnym.

- strona 104: co dokładnie doktorant ma na myśli, mówiąc o "zdezorientowanych blokach"? Czy chodzi o bloki o różnej orientacji krystalograficznej, które są w pewnym stopniu od siebie odchylone? Termin "zdezorientowany" nie jest standardowy w literaturze naukowej i może prowadzić do niejasności. Może warto byłoby użyć bardziej precyzyjnego określenia, np. "bloki o różnej orientacji krystalograficznej." Dalej sformułowanie "Niejednorodności pasm wartości orientacji wewnątrz bloków" jest niejasne. Czy chodzi o zmiany w orientacji krystalicznej wewnątrz jednego bloku, które są widoczne jako pasma na mapach orientacji? Proszę wyjaśnić, co dokładnie oznacza to sformułowanie i jakie jest jego znaczenie w kontekście badań. Doktorant stwierdza, że "zakres kąta α jest tożsamy dla wszystkich map". Czy oznacza to, że zmiany orientacji pierwotnej α są jednolite na wszystkich mapach, czy że zakres zmian jest podobny, ale niekoniecznie równy? Warto to doprecyzować, aby uniknąć nieporozumień. Dalej, wspomina, że "zaburzenia te są szczególnie widoczne w centralnym obszarze próbki, który jest miejscem usytuowania selektora S". Dlaczego Doktorant nie pisze w tym przypadku o „kontynuatorze”?

- w części dotyczącej analizy topogramów powierzchni CLR3 dla refleksu 113, w której opisywane są zaniki kontrastu, strona 101 pisze Pan: „Efekt obniżonego kontrastu w środkowych częściach topogramów wskazuje na lokalne dezorientacje dendrytów. Blżej prawej krawędzi (Rysunek 76 c1) zaobserwowano silny zanik kontrastu związany z lokalnym zdefektowaniem. [...] Na górnej i dolnej krawędzi topogramów obserwuje się brak regularności kontrastu”. Proszę wyjaśnić, dlaczego te zaniki kontrastu się pojawiają. Jakie konkretne mechanizmy fizyczne powodują, że dezorientacja dendrytów czy lokalne defekty strukturalne prowadzą do obniżenia lub zaniku kontrastu na topogramach? Czy termin „zanik kontrastu” jest tutaj używany właściwie, czy może chodzi o coś innego, na przykład o efekty interferencyjne lub absorpcyjne w wyniku defektów strukturalnych?

- w opisanej analizie porównawczej składowej α dla stopów CMSX-6 i CMSX-4 (Tabela 6), Doktorant wykazuje różnice w liczbie i charakterystyce granic niskiego kąta oraz zmiany w zakresie kąta odchylenia dendrytów od osi łopatki. Istnieje jednak kilka kwestii, które wymagają wyjaśnienia i doprecyzowania:

a) termin "dezorientacja pierwotnej składowej α " oraz "zwiększenie dezorientacji pierwotnej sąsiednich dendrytów wewnątrz bloków" jest używany wielokrotnie. Proszę wyjaśnić, co dokładnie rozumie Pan przez "dezorientację pierwotnej składowej α "?

b) proszę również rozważyć, czy obecny sposób opisu różnic w granicach niskiego kąta i odchylenia dendrytów od osi łopatki (składowa α) może być przedstawiony w inny sposób. Na przykład, czy zamiast używania terminu "blok", bardziej odpowiednio nie byłoby stosowanie

terminu "ziarno" lub "obszar dendrytyczny"? Proszę także wyjaśnić, dlaczego zaobserwowano wzrost dezorientacji dendrytów w CMSX-4, szczególnie przy prędkości wyciągania 3 mm/min. Jakie są tego potencjalne przyczyny i jakie ma to znaczenie dla właściwości materiału?

c) w analizie porównawczej składowej orientacji β dla stopów CMSX-6 i CMSX-4, Doktorant używa terminu "precesja" w odniesieniu do kąta i zmian orientacji dendrytów (Tabela 7 – strona 129). Termin "precesja" w kontekście krystalografii i opisu orientacji dendrytów może być mylący. W fizyce i mechanice, precesja odnosi się do zmiany kierunku osi obrotu obiektu. W przypadku dendrytów, bardziej odpowiednim terminem mogłoby być "kąt nachylenia" lub "obrót orientacji krystalicznej". Proszę wyjaśnić, czy użycie terminu "precesja" jest tutaj zasadne, czy też istnieje bardziej precyzyjne określenie, które lepiej odda charakter zmian orientacji dendrytów. Proszę także doprecyzować, co dokładnie oznacza "obniżenie kąta precesji dendrytów" oraz "wzrost precesji". Czy chodzi o zmiany orientacji dendrytów w czasie wzrostu krystalicznego, czy może o zmiany kąta nachylenia osi dendrytów względem określonej płaszczyzny lub osi krystalograficznej? Jakie znaczenie ma obserwowany "mniejszy zakres zmian precesji β " w CMSX-6 w kontekście właściwości mechanicznych materiału? Czy mniejsze zmiany orientacji dendrytów mogą sugerować większą jednorodność strukturalną, a jeśli tak, jakie to ma implikacje dla wytrzymałości i trwałości materiału?

d) Doktorant w opisie fazy umacniającej γ' używa terminów (strona 131), które nie są odpowiednie w kontekście precyzyjnego języka naukowego. Na przykład, określenie "kostki" w odniesieniu do fazy γ' nie oddaje w pełni charakteru tej fazy jako wydzielenia. Wydzielenia te nie są kostkami w klasycznym znaczeniu tego terminu, a raczej składnikami fazowymi o określonej morfologii. Dodatkowo, termin "kostki" w opisie morfologii γ' jest zbyt potoczny. W literaturze naukowej bardziej odpowiednim określeniem byłby "sześcian" lub "kształt zbliżony do sześcianu". Zamiast "kanty" należy użyć "krawędzie", co lepiej oddaje geometryczny charakter tych struktur. Co więcej, sformułowanie "powszechne zjawisko" w odniesieniu do tendencji tworzenia pakietów przez wydzielenia γ' również wymaga precyzyjniejszego wyrażenia. Wydzielenia γ' mogą wykazywać tendencję do organizowania się w określone układy, jednak termin "pakiety" nie jest właściwym określeniem w naukowym kontekście. Bardziej trafnym terminem mogłoby być "układ" lub "grupa", które lepiej oddają charakterystyczne dla fazy γ' struktury. Sugeruję również zwrócić uwagi na precyzyjne opisywanie kształtów. Zamiast mówić o "niewielkich deformacjach" czy "wyciągnięciu skrajnych narożników" – co to znaczy???, warto bardziej szczegółowo opisać, jak te zmiany kształtu (przecież tu nic nie ulega odkształcania) wpływają na funkcjonalne właściwości materiału.

Czy Doktorant mógłby rozważyć te sugestie w celu poprawy precyzji i klarowności w opisie morfologii fazy γ' ? Czy mógłby również wyjaśnić, w jaki sposób zjawiska te wpływają na właściwości mechaniczne materiału?

- (strona 132-133) sformułowanie "Efekt ubytków na krawędziach" wymaga doprecyzowania. Można rozważyć użycie terminu "defekty na krawędziach" lub "mikroubytki na powierzchniach krawędzi". Fragment "Zwiększony poziom nieregularności krawędzi ścianek może być wynikiem zwiększonym naprężen w obszarze międzydendrytycznym przez wzajemne oddziaływania krystalitów γ' sąsiednich dendrytów" wymaga wyjaśnienia. Warto dodać, dlaczego i jak dokładnie te naprężenia mają wpływ na kształt wydzielen γ' . Stwierdzenie "Określenie swobodnego kształtu jest niemal niemożliwe" jest zbyt ogólne i może sugerować brak precyzyjnych obserwacji. Lepszym rozwiązaniem byłoby opisanie specyficznych trudności w określeniu kształtu oraz wyjaśnienie, co dokładnie sprawia, że jest to wyzwaniem. Fragment

opisu wyników (strona 132-133) zawiera liczne błędy gramatyczne, które utrudniają zrozumienie treści. Na przykład, *"Krystalicy γ' rdzenia tarcą swoją regularność"* czy *"Najbardziej odpowiednim było by stwierdzenie iż kształt γ' jest nieregularny"*;

- opis (strona 135), że faza γ *"przyjmuje postać wąskich kanałków tworząc zazwyczaj regularną kratkę"* jest nieco problematyczny. W rzeczywistości, w monokrystalicznych nadstopach niklu, faza γ nie tworzy "kratki", ale raczej wypełnia przestrzenie między wydzieleniami fazy γ' . Ważne jest, stosowanie jasnych i czytelnych form opisu składników fazowych, np. "Faza γ wypełnia przestrzenie między wydzieleniami γ' i może przybierać formę wąskich, równoległych kanałów." Stwierdzenie, że *"osnowa nadstopów jest nośnikiem naprężeń i zdefektowania"*, jest prawdziwe, ale napisane językiem potocznym, więc wymaga dokładniejszego rozwinięcia. Warto podkreślić, że faza γ , będąca osnową, odgrywa kluczową rolę w przenoszeniu naprężeń i jest głównym miejscem, gdzie mogą występować defekty takie jak dyslokacje. Jednakże sformułowanie *"nośnikiem zdefektowania"* jest mało precyzyjne – lepiej byłoby powiedzieć, że "faza γ jest głównym miejscem akumulacji dyslokacji i innych defektów strukturalnych." Opis struktury fazy γ w eutektyce również wymaga doprecyzowania. Zamiast *"kanałki γ niejako dzielą stosunkowo duże obszary eutektyki"* można było napisać, że "faza γ tworzy cienkie kanały w obrębie eutektyki, dzieląc ją na mniejsze obszary, co prowadzi do zróżnicowania form przestrzennych." Sformułowanie, że *"regularność formy zanika"* oraz *"efekt poszerzenia kanałków γ "* jest niewystarczająco wyjaśnione. Należy bardziej precyzyjnie opisać, co powoduje tę zmianę w regularności i jak wpływa to na strukturę. Można rozważyć wyjaśnienie, że "w miarę wzrostu odległości między wydzieleniami γ' , kanały fazy γ stają się szersze i mniej regularne, co może wpływać na zwiększenie ruchliwości dyslokacji." Stwierdzenie, że *"najbardziej prawdopodobną przyczyną jest kierunek dyfuzji ciepła podczas chłodzenia/kryształizacji ciekłej formy stopu"* jest niejasne i wymaga rozwinięcia. Warto było podać więcej szczegółów na temat tego, jak kierunek dyfuzji ciepła wpływa na formowanie się struktur fazy γ i γ' w różnych obszarach odlewu.

- stwierdzenie (strona 136-137), że eutektyka γ/γ' jest *"mniej istotnym elementem strukturalnym"* jest mylące. W rzeczywistości, eutektyka ma znaczący wpływ na właściwości mechaniczne nadstopów, w tym na ich kruchość oraz odporność na wysokie temperatury. Dlatego lepiej byłoby stwierdzić, że "eutektyka γ/γ' jest kluczowym składnikiem struktury, który mimo swojej kruchości, odgrywa istotną rolę w kształtowaniu właściwości mechanicznych nadstopów typu CMSX-4 i CMSX-6". Warto podkreślić, że zróżnicowanie kształtów i rozmiarów eutektyki γ/γ' ma istotne konsekwencje dla mikrostruktury i właściwości stopów poprzez np. heterogeniczne zarodkowanie fazy umacniającej. Powinno się wyjaśnić, jak te różnice mogą wpływać na wytrzymałość, twardość czy odporność na pękanie nadstopów. Opis, że *"eutektyka w rzeczywistości nie jest zamkniętą objętością"* jest nieprecyzyjny. Należy wyjaśnić, że "eutektyka γ/γ' tworzy skomplikowaną, trójwymiarową sieć, która jest połączona z fazą γ przez wąskie kanały, co umożliwia interakcje między fazami i może prowadzić do migracji defektów strukturalnych." Słowa takie jak *"kanałki"* mogą sugerować niewłaściwy obraz struktury na poziomie mikro. Zamiast tego lepiej użyć terminów takich jak "wąskie kanały fazy γ " lub "przestrzenie międzyfazowe." Stwierdzenie *"dowodzi to, że eutektyka w rzeczywistości nie jest zamkniętą objętością"* może być poprawione, by lepiej oddać złożoność struktury. Można napisać: "Pokazuje to, że eutektyka γ/γ' nie jest strukturalnie odizolowana, ale stanowi złożoną sieć połączoną z fazą γ przez wąskie kanały." Termin *"możliwość poruszania się defektów również przez eutektykę"* jest niejasny. Lepiej byłoby wyjaśnić, że "defekty strukturalne, takie jak dyslokacje, mogą migrować przez fazę γ , co może wpływać na właściwości mechaniczne eutektyki, takie jak kruchość czy odporność na pękanie."

- opisując niejednorodność formy eutektyki (strona 138), należy wyraźnie wskazać, że różnice w rozmiarach i kształtach form wewnątrz eutektyki są wynikiem złożonego procesu krystalizacji, a nie deformacji, ponieważ deformacja sugeruje mechaniczne odkształcenie, co tutaj nie ma miejsca. Zamiast tego warto użyć terminów takich jak "zróżnicowanie morfologiczne wynikające z procesu krystalizacji." Hipoteza dotycząca scalenia w jedną objętość dwóch eutektyk krystalizujących w pobliżu powinna być lepiej ujęta. Można powiedzieć: "Możliwe, że zróżnicowanie wewnętrznej struktury eutektyki bez wyraźnego przejścia wskazuje na połączenie się dwóch eutektyk, które krystalizowały blisko siebie, co skutkuje niejednorodnością obserwowaną na mikrofotografiach." Stwierdzenie "*regularna siatka kanalików znajduje się w środku objętościowym eutektyki*" jest nieprecyzyjne. Lepiej byłoby napisać: "W centralnych obszarach eutektyki można zaobserwować bardziej regularną strukturę kanalików fazy γ , która zbliża się do siatki o regularnym układzie. W miarę oddalania się od centrum ku granicom eutektyki, struktura ta staje się mniej regularna, a formy stają się większe i mniej zdefiniowane."

- termin "*peryferyjny*" w kontekście opisu obszarów strukturalnych dendrytów (strona 131) może być mylący, ponieważ sugeruje coś zewnętrznego lub marginalnego, co może nie oddawać w pełni specyfiki omawianego obszaru. W opisie struktury dendrytów lepiej jest użyć terminologii bardziej precyzyjnej i technicznej. Zaproponuję, na przyszłość zastąpienie "obszaru peryferyjnego" bardziej odpowiednim terminem, takim jak "strefa zewnętrzna", "obszar zewnętrzny" lub "zewnętrzna część ramion II rzędu". Taka terminologia lepiej oddaje położenie tego obszaru w stosunku do pozostałej części dendrytu, pozwalając uniknąć skojarzeń z czymś marginalnym lub mniej istotnym.

- użycie określenia "*wartość uśredniona oraz przybliżona*" (strona 144) jest niepotrzebne i może wprowadzać w błąd. Jeśli wartość jest uśredniona, to już sama w sobie jest pewnym przybliżeniem rzeczywistości. Należy więc wyjaśnić, czy chodzi o to, że wartość ta jest średnią z wielu pomiarów, czy może chodzi o to, że wartość ta jest szacowana, co wprowadza dodatkową niepewność. Zaleca się stosowanie terminu "wartość średnia" lub "wartość szacowana", w zależności od intencji autora. Stwierdzenie, że "*wartość średnia wielkości krystalitów γ jest wartością uśrednioną oraz przybliżoną i nie odzwierciedla rzeczywistego stanu rozkładu rozmiarów γ w danej strefie*" wymaga doprecyzowania. Warto wskazać, że wartość średnia jest statystycznym ujęciem wielkości krystalitów, ale nie pokazuje pełnego rozkładu tych rozmiarów, co może być istotne przy ocenie mikrostruktury materiału. Zaleca się dodanie wyjaśnienia dotyczącego znaczenia tej wartości oraz jej ograniczeń w kontekście analizy mikrostrukturalnej.

- dalej (strona 144) wyrażenie "*efekt bardziej uwypuklony*" jest nieprecyzyjne i mało naukowe. Lepiej byłoby napisać, że "efekt jest bardziej widoczny" lub "efekt staje się bardziej wyraźny". Ważne jest, aby unikać metafor, które mogą być trudne do zrozumienia w kontekście naukowym. Sformułowanie "*rejestruje się większą liczebność i analogicznie mniejszą wielkość krystalitów γ* " jest niejasne. Warto sprecyzować, czy chodzi o objętość względną krystalitów, ich geometrię, czy też wymiary liniowe. Dokładne określenie czy mowa o liczbie krystalitów na jednostkę powierzchni/przestrzeni, czy też o ich całkowitej liczbie w badanym obszarze, jest kluczowe dla jasności przekazu.

- w opisie wyników badań przy zastosowaniu metody EBSD (np. strona 151) pojawiają się sformułowania, które mogą być niejasne lub opisy bez odpowiedniego wyjaśnienia. Na przykład, termin "*zdezorientowane dendryty*" może być mylący. Lepszym określeniem może być "dendryty o zróżnicowanej orientacji krystalograficznej". Stwierdzenie, że "*mapy uzyskane*"

dla map Euler 1 oraz Euler 2 charakteryzują się dyskretnym przebiegiem zmian obrotu kątów Eulera Φ ", jest niejasne. Warto doprecyzować, co oznacza "dyskretny przebieg" w kontekście tych map i jakie są dokładne różnice w interpretacji między mapami Euler 1, Euler 2 i Euler 3. Opis obszaru eutektyki γ/γ' jest nieco niejasny. Zamiast "obwiedni", lepiej użyć terminu "granica" lub "krawędź", aby było jasne, że chodzi o przebieg granic fazowych. Sformułowanie "granice przebiegają nie tylko po obwiedni ramion dendrytów, ale również po obwiedni występowania eutektyki γ/γ' " sugeruje, że granice są "po obwodzie", co może być zbyt ogólnym stwierdzeniem – Proszę o wyjaśnienie. Sformułowanie "mapy uzyskane z wykorzystaniem czynnika Schmidta najlepiej obrazują przebieg granicy niskiego kąta" jest poprawne, ale warto dodać, dlaczego tak jest, co dokładnie obrazuje ten czynnik, i jakie znaczenie ma to w kontekście analizy. Doktorant używa zbyt długich i skomplikowanych zdań w opisie, co utrudnia ich zrozumienie. Przykładowo, zdanie "W przypadku map przedstawiających intensywność (pasm) ujawniono obniżenie kontrastu nie tylko na granicach ramion, lecz również w wewnętrznej strefie ramienia dendrytu, nieopodal obszaru ich styku" można by podzielić na dwa zdania, aby było bardziej klarowne.

- w rozdziale 18 (strona 161) dotyczącym analizy składu chemicznego SEM EDS, Doktorant pisze: "Przy wykorzystaniu Specjalistycznych metod pomiarowych istotnym jest uwzględnienie przy analizie niedoskonałości metody oraz przewidywanie jak potencjalnie mogłyby one zaburzyć rzeczywiste wartości pomiarowe". Jest to przykład zdania wymagającego doprecyzowania. Takich przykładów zdań wymagających wyjaśnienia można podać więcej. Zamiast "Specjalistycznych metod pomiarowych", można bardziej precyzyjnie wskazać, o jakie metody chodzi (np. techniki mikroskopowe, metody spektroskopowe itp.). Słowo "istotnym" można zastąpić "ważne jest", aby nadać zdaniu bardziej formalny ton. Czy nie lepiej byłoby napisać: "Podczas prowadzenia badań z zastosowaniem zaawansowanych metod pomiarowych, ważne jest uwzględnienie niedoskonałości tych metod oraz przewidywanie, w jaki sposób mogą one wpłynąć na dokładność uzyskanych wyników." Dalej, sformułowanie "mapa rozkładu pierwiastków dendrytu dla poprzecznego zglądu" nie jest precyzyjne. Lepszym określeniem mogłoby być: "mikroanaliza składu chemicznego ziarna dendrytu uzyskana dla przekroju poprzecznego próbki". To bardziej precyzyjnie opisuje, że analiza dotyczy przekroju poprzecznego danej próbki, a nie tylko "zglądu" w ogóle. Dalej Doktorant pisze: "Na rysunku 135 przedstawiono mikroskopowe zdjęcie obszaru badanego, schemat rozkładu pierwiastków dla fragmentu badanego obszaru, grafikę składu chemicznego oraz obszarów zagęszczenia występowania składników stopowych (Rysunek 128)". Zdanie to nie jest przejrzyste, struktura informacji powinna zostać uproszczona. Dodatkowo, "Zagęszczenie pierwiastków" nie jest zbyt fortunnym sformułowaniem w kontekście materiałoznawstwa i analizy mikrostrukturalnej, choć zapewne odnosi się do obszarów w materiale, gdzie stężenie określonych pierwiastków jest wyraźnie wyższe niż w innych częściach próbki. W mikroskopowych mapach rozkładu pierwiastków może to oznaczać, że w danym obszarze próbki dochodzi do lokalnej akumulacji pewnych pierwiastków, co może wpływać na właściwości mechaniczne, fizyczne czy chemiczne materiału. W kontekście tekstu, bardziej precyzyjnym terminem zamiast "zagęszczenie pierwiastków" mogłoby być "rozkład powierzchniowy pierwiastków w mikroobszarze".

- uwaga ogólna dotycząca analizy mikrostruktury stopów (badania TEM) - tekst miejscami zawiera mało precyzyjne opisy, co może sugerować niepełne zrozumienie zjawisk zachodzących w mikrostrukturze stopów. Warto zwrócić uwagę na precyzyjne formułowanie myśli i unikanie ogólników, aby wyniki były jednoznacznie interpretowane przez czytelnika. Np.: opis na stronie 173 zawiera wiele niejasnych i nieprecyzyjnych sformułowań, które mogą wprowadzać czytelnika w błąd lub utrudniać zrozumienie wyników: "Większa intensywność

sygnału zwrotnego" - w kontekście analiz mikrostrukturalnych lepiej byłoby użyć określenia "wyższy sygnał detekcji dla danego pierwiastka", co wskazuje na wyższe stężenie danego pierwiastka w analizowanym obszarze. "Skład namiarowy" – termin ten nie jest powszechnie stosowany i może być mylący. W literaturze naukowej częściej stosuje się termin "skład nominalny", który odnosi się do projektowanego składu stopu przed procesem odlewania. "Znacznie mniejszy stopień wysycenia tytanu (Ti)" – jest to kolejne nieprecyzyjne wyrażenie. W kontekście mikrostruktury lepiej byłoby napisać "niższa koncentracja tytanu (Ti) w fazie γ ", co dokładniej opisuje zjawisko obserwowane w badaniu. "Mniejsza separacja rozkładu między fazami budulcowymi nadstopu" – to sformułowanie jest niejasne. Lepszym określeniem byłoby "mniej wyraźny rozdział koncentracji pierwiastków między fazą γ i γ' ", co sugeruje bardziej jednorodny rozkład pierwiastków w stopie, w porównaniu do bardziej wyraźnego rozdziału faz w innych próbkach. Takich „problematycznych” sformułowań w tekście jest więcej.

- Doktorant powinien unikać nieprecyzyjnych określeń, takich jak "przechodzenie dyslokacji" czy "dziedziczenie", i starać się opisać zjawiska w sposób bardziej zrozumiały i technicznie poprawny. Np.: w opisie wyników badań mikrostruktury za pomocą TEM: „Przechodzenie dyslokacji z fazy γ do krystalitów fazy γ' ” – stwierdzenie to jest nieprecyzyjne. Dyslokacje są defektami sieci krystalicznej, które mogą przemieszczać się w obrębie danej fazy, ale ich "przechodzenie" z jednej fazy do drugiej wymaga wyjaśnienia. Bardziej odpowiednim sformułowaniem byłoby: "Dyslokacje obserwowane w fazie γ mogą wpływać na powstawanie defektów w fazie γ' , co sugeruje, że pewne cechy strukturalne mogą być przenoszone między tymi fazami". "Dziedziczenie dyslokacji" – termin "odziedziczone" jest nieprecyzyjny w kontekście dyslokacji. Wzrostowe dyslokacje mogą wpływać na powstawanie defektów w fazie γ' , ale lepiej byłoby napisać, że "dyslokacje powstałe w fazie γ mogą prowadzić do powstawania defektów w fazie γ' podczas dalszego wzrostu kryształu". "Ukierunkowanie linii dyslokacji w stosunku do kierunku krystalizacji" – brakuje tutaj wyjaśnienia, dlaczego jest to istotne. Warto dodać, że "analiza ukierunkowania linii dyslokacji mogłaby dostarczyć informacji o mechanizmach wzrostu kryształu i wpływie warunków krystalizacji na powstawanie defektów w strukturze materiału".

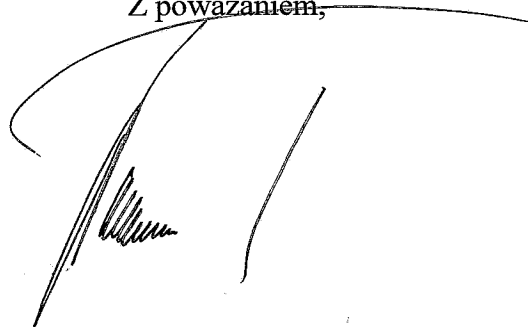
Podsumowując analizę przedstawionej pracy doktorskiej, należy podkreślić, że Doktorant wykonał znaczącą i wartościową pracę, której wyniki wnoszą istotny wkład do obszaru nauki, jakim jest inżynieria materiałowa. Dyskusja oraz wnioski zostały zaprezentowane w sposób umożliwiający pełne zrozumienie wpływu przeprowadzonych badań na rozwój nowej wiedzy w dziedzinie nadstopów na osnowie niklu. To dowodzi, że Autor posiada obszerną wiedzę z obszaru tematyki badań, które wykonał w trakcie realizacji projektu doktorskiego i jest w stanie krytycznie analizować wyniki swoich badań. Jednakże, podczas analizy pracy zauważono powtarzające się błędy językowe oraz nieprecyzyjne sformułowania, które mogą wprowadzać niejasności w interpretacji wyników. Choć te błędy nie umniejszają wartości naukowej pracy, ich poprawa jest istotna dla zwiększenia klarowności przekazu i precyzji w opisie zjawisk naukowych. Pomimo tych uwag, praca doktorska stanowi cenne źródło wiedzy w zakresie badań nad nadstopami niklu i bez wątpienia przyczyni się do dalszego rozwoju badań w tym obszarze. Osiągnięcia przedstawione w pracy są godne uznania i świadczą o dużym zaangażowaniu Doktoranta oraz jego potencjale naukowym. Praca ta z pewnością będzie ważnym punktem odniesienia dla przyszłych badań i opracowań w dziedzinie inżynierii materiałowej. Pomimo braków w warsztacie edytorskim, błędów w opisie wyników Doktorant wykonał szeroki zakres badań analitycznych w obszarze, który, mimo iż dobrze opisany w literaturze, nadal stanowi wyzwanie i otwiera nowe możliwości badawcze. Wykonane analizy z zakresu badań strukturalnych na poziomie nanometrycznym wymagają głębokiej wiedzy z fizyki, matematyki oraz inżynierii materiałowej. Dzięki temu Doktorant

zdołał przygotować wyniki, które stanowią cenne kompendium wiedzy analitycznej dla badań strukturalnych stopów o strukturze monokrystalicznej. Te wyniki wnoszą istotny wkład w rozwój naukowy w dziedzinie inżynierii materiałowej.

5. Wniosek końcowy

Opiniowana praca jest zatem oryginalnym rozwiązaniem zaprezentowanego w niej zagadnienia naukowego. Autor podjął w rozprawie problem naukowo-badawczy, który jest bardzo aktualny i ma istotne znaczenie z punktu widzenia poznawczego i aplikacyjnego. Wykazał się niezbędną wiedzą z zakresu przedmiotu pracy oraz umiejętnością do samodzielnego, twórczego prowadzenia badań oraz ich analizy. Podsumowując recenzję stwierdzam, że przedłożona do oceny praca doktorska zatytułowana „*Niejednorodność orientacji i struktury w monokrystalicznych odlewach CMSX-4 i CMSX-6*” spełnia formalne i zwyczajowe wymagania stawiane pracom doktorskim określone ustawą Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2022 r. poz. 574, z późniejszymi zmianami). Wnioskuje zatem do Rady Naukowej Instytutu Inżynierii Materiałowej Uniwersytetu Śląskiego o przyjęcie pracy, przeprowadzenie dalszych etapów postępowania doktorskiego oraz dopuszczenie Pana mgr. inż. Bartosza Terleckiego do publicznej obrony.

Z poważaniem,



Wpłynęło

16.03.2024r

Jedr