

Dr hab. inż. Jarosław Marcisz

Sieć Badawcza Łukasiewicz – Górnośląski Instytut Technologiczny

ul. Karola Miarki 12-14

44-100 Gliwice

E-mail: Jaroslaw.Marcisz@git.lukasiewicz.gov.pl; Tel.: +48 600 297 300

RECENZJA

rozprawy doktorskiej, której autorem jest mgr inż. Piotr Garbień, pt. *„Wysokowytrzymałe staliwa do odlewania cienkościennych wyrobów o dużej dokładności powierzchni. Modelowanie, wytwarzanie, mikrostruktura i właściwości”*, opracowana na podstawie umowy nr 26/2024 z dnia 16.01.2024 oraz zgodnie z uchwałą Rady Naukowej IMIM PAN z dnia 16 listopada 2023 o wyznaczeniu recenzenta w osobie dr. hab. inż. Jarosława Marcisza (pismo IMIM PAN DP.520.5.2023 z 16.01.2024).

Tematyka, zakres i teza pracy

Recenzowana praca została wykonana w ramach programu Doktorat Wdrożeniowy w Instytucie Metalurgii i Inżynierii Materiałowej PAN w Krakowie, a wdrożenie wyników badań zrealizowano w przedsiębiorstwie Specodlew sp. z o.o. Promotorem pracy doktorskiej jest dr hab. inż. Wojciech Maziarz, prof. PAN, a promotorem pomocniczym dr inż. Adam Kokosza z Akademii Górniczo-Hutniczej. Opiekunem merytorycznym ze strony zakładu jest dr inż. Zdzisław Żółkiewicz.

Tematyka pracy jest ściśle związana z głównym profilem działalności firmy i dotyczy jednego z priorytetowych kierunków rozwoju, tj. obszaru projektowania, badań i eksploatacji nowych gatunków staliw, wytwarzanych z zastosowaniem zaawansowanych technologii odlewania i zabiegów obróbki cieplnej. Staliwa będące materiałem badań w pracy doktorskiej są stosowane na elementy urządzeń, które w trakcie eksploatacji ulegają zużyciu w wyniku ścierania.

Optymalizacja procesów wytwarzania poprzez projektowanie składu chemicznego, w połączeniu z doborem parametrów odlewania i finalnej obróbki cieplnej w oparciu o analizy przemian fazowych i mikrostruktury to wciąż aktualny trend w rozwoju materiałów. Nowe możliwości wynikają obecnie z dostępności coraz bardziej zaawansowanych urządzeń, które zapewniają precyzyjne sterowanie i kontrolę parametrów procesu.

Materiałem badań było staliwo o składzie chemicznym zaprojektowanym w ramach realizacji pracy, uwzględniającym zastosowaną technologię odlewania i

kolejne innowacyjne zabiegi obróbki cieplnej. W pracy doktorskiej w celu wdrożenia wyników badań, wykonano szereg testów w skali przemysłowej, w tym wytworzono materiał badań w postaci eksperymentalnych odlewów oraz zastosowano te odlewy jako elementy urządzeń produkcyjnych.

Wykonane wyroby/odlewy zostały zastosowane na:

- łopatki wału mieszarko-nasypywarki OMEGA Spartan 320AB,
- tuleje oczyszczarki wirnikowej hakowej OWH Technical,
- łopatki oczyszczarki wirnikowej hakowej OWH Technical.

Wytypowane elementy urządzeń pracują w trudnych warunkach eksploatacyjnych a ich wymiana jest częsta i czasochłonna, co bezpośrednio wpływa na wzrost kosztów użytkowania. Biorąc pod uwagę powyższe uzasadnione są prace rozwojowe w celu optymalizacji ww. elementów.

Przedmiotowa praca obejmowała szeroki zakres działań od zaprojektowania materiału i procesu jego wytwarzania, przez zaawansowane badania mikrostruktury, pomiary właściwości mechanicznych do testów eksploatacyjnych opracowanych wyrobów, które potwierdziły zasadność wdrożenia.

Doktorant w rozdziale 3.1 zatytułowanym „Teza i cel pracy” sformułował następującą tezę: **„Poprzez dobór odpowiedniego składu chemicznego oraz specjalnej (wielostopniowej) obróbki cieplnej można wytworzyć w warunkach przedsiębiorstwa SPECODLEW staliwo o mikrostrukturze zbliżonej do nanobainitycznej. Staliwo takie można z powodzeniem zastosować na precyzyjne odlewy o wytrzymałości na poziomie 1500 MPa przy plastyczności około 12%, jak również jako materiały odporne na zużycie ścierne”.**

Określił także następujący główny cel pracy:

„Opracowanie w warunkach przemysłowych przedsiębiorstwa SPECODLEW wysoko wytrzymałego staliwa przeznaczonego do odlewania metodą topionego wosku cienkościennych wyrobów o dużej dokładności powierzchni i wymiarów.”

Uzyskane wyniki badań materiałowych i testów wyrobów w warunkach eksploatacji stanowiły podstawę do podjęcia decyzji o wdrożeniu opracowanych w ramach pracy rozwiązań, w działalności przedsiębiorstwa Specodlew sp. z o.o., co stanowiło główny cel doktoratu. Doktorant w pracy wskazał na korzyści, wynikające z wdrożenia w postaci istotnie wyższej odporności na ścieranie opracowanych elementów urządzeń, w odniesieniu do obecnie stosowanych oraz dotyczące niższych kosztów ich wytwarzania. Zdaniem doktoranta wdrożenie przyniesie wymierne korzyści finansowe z uwagi na wydłużenie czasu pracy urządzeń pomocniczych stosowanych w procesach odlewania (np. mieszarko-nasypywarki lub oczyszczarki), a tym samym skrócenie czasu przestojów wynikających z wymiany zużywających się elementów.

Charakterystyka rozprawy

Praca ma tradycyjny układ z wydzieloną częścią dotyczącą wstępu teoretycznego i przeglądu literatury oraz opisu wyników badań własnych wraz z ich analizą, podsumowaniem i wnioskami. Rozprawa została podzielona na następujące rozdziały: motywacja badań i analiza wdrożenia (str. 13-18), wstęp teoretyczny i stan wiedzy (str. 19-53), wyniki badań oraz ich dyskusja wraz z metodami badawczymi (str. 54-123) i podsumowanie z wnioskami (str. 124-126). Sumarycznie praca zawiera 135 stron, 81 rysunków i 16 tablic.

W analizie literatury wskazano 126 pozycji. Zakres i obszar tematyczny pozycji literaturowych został prawidłowo dobrany w aspekcie zakresu badań i analiz pracy doktorskiej.

Układ pracy został sporządzony prawidłowo, co ułatwiło ocenę i analizę uzyskanych rezultatów. Obszerny materiał eksperymentalny stanowiący rezultaty pracy poddany został przez Doktoranta analizie i dyskusji, stanowiących podstawę do opracowania wniosków oraz potwierdzenia przyjętej tezy pracy i osiągnięcie założonego celu. Można stwierdzić, że sposób opracowania wyników badań, zrealizowanych z zastosowaniem wytypowanych metod badawczych, świadczy o dobrym przygotowaniu do samodzielnej pracy eksperymentalnej i naukowej. Na uwagę zasługuje fakt kompleksowego podejścia do rozwiązania postawionych problemów naukowych, w szczególności analiza charakterystyk materiałowych dotyczących mikrostruktury i właściwości mechanicznych oraz ich zmian w warunkach symulujących środowisko pracy. Istotny jest aspekt wdrożeniowy uzyskanych wyników, w postaci opracowania składu chemicznego, obróbki cieplnej zapewniających osiągnięcie założonych właściwości mechanicznych i eksploatacyjnych odlewów, stanowiących elementy maszyn.

Zaplanowany i zrealizowany zakres eksperymentów i badań przemysłowych oraz dobrane metody były adekwatne do postawionego problemu badawczego. W szczególności wykonano badania mikrostruktury z zastosowaniem mikroskopii świetlnej i transmisyjnej mikroskopii elektronowej oraz dylatometru i dyfraktometru rentgenowskiego co jest szczególnie istotne w analizie przemian fazowych podczas innowacyjnych procesów obróbki cieplnej, której celem było m.in. wytworzenie elementów mikrostruktury o wymiarach nanometrycznych. Na etapie projektowania składu chemicznego materiału badań skutecznie wykorzystano narzędzia numeryczne. Szczególne znaczenie w procesie wdrożenia miały testy materiału w rzeczywistych warunkach eksploatacji. Tego rodzaju badania przemysłowe i ich rezultaty stanowiły kluczowy etap pracy doktorskiej wdrożeniowej.

Zastosowane metody badań i techniki pomiarowe pozwoliły na kompleksową ocenę mikrostruktury, a w szczególności charakterystykę fazową ilościową i jakościową oraz właściwości mechanicznych wyznaczonych w statycznej próbie rozciągania, twardości i udarności. Z kolei testy eksploatacyjne zweryfikowały opracowane rozwiązania w odniesieniu do stosowanych aktualnie materiałów.

Na podstawie przedstawionej analizy wyników badań i osiągniętych rezultatów można stwierdzić, że zaplanowany cel pracy został osiągnięty, a postawiona hipoteza w założonym zakresie merytorycznym udowodniona. Do najistotniejszych osiągnięć Doktoranta zaliczyć można:

- opracowanie składu chemicznego staliwa z zastosowaniem symulacji numerycznych i wytworzenie materiału badań,
- dobór parametrów obróbki cieplnej wieloetapowej, w tym temperatury i czasu austenitowania i wyżarzania izotermicznego,
- charakterystyka ilościowa i jakościowa składników strukturalnych i fazowych po zaprojektowanych cyklach wieloetapowej obróbki cieplnej staliwa,
- wyznaczenie właściwości mechanicznych w statycznej próbie rozciągania, pomiary twardości i udarności oraz korelacja uzyskanych wyników pomiarów ze składem fazowym staliwa w aspekcie planowanych zastosowań (wytworzeń),
- wyznaczenie odporności opracowanego materiału na zużycie w warunkach ścierania w odniesieniu do alternatywnych stopów stosowanych obecnie,
- opanowanie zaawansowanych metod badań i interpretacji uzyskanych wyników, w szczególności analizy mikrostruktury z zastosowaniem TEM (obserwacje w jasnym i ciemnym polu widzenia, mikrodyfrakcja),
- wdrożenie w warunkach techniczno-technologicznych firmy Specodlew sp. z o.o. odlewów stalowych opracowanych w wyniku zrealizowanego programu badań.

Opiniowana rozprawa zawiera sformułowania i interpretacje, które wymagają dyskusji i dodatkowych wyjaśnień. Poniżej przedstawiono główne uwagi w postaci komentarzy i pytań, które z punktu widzenia tematyki pracy są istotne i należy je uściślić.

Komentarz 1; Str. 59 (rys. 36)

Autor stwierdził „**wyraźną porowatość**” wytworzonego materiału badawczego. Proszę o oszacowanie udziału objętościowego porów (% porowatości). Czy jest to typowa liczba i wielkość porów w odlewach z tej grupy gatunkowej staliw. W jaki sposób można ograniczyć porowatość na etapie procesu wytwarzania lub wcześniej na etapie projektowania składu chemicznego? Które pierwiastki i jakie parametry odlewania mają znaczący wpływ na powstawanie porowatości?

Znany jest powszechnie bardzo niekorzystny wpływ nieciągłości wewnętrznych na właściwości, szczególnie w materiałach wysokowytrzymałych. Jaki jest wpływ tego rodzaju nieciągłości wewnętrznych na właściwości mechaniczne, w tym udarność, wytrzymałość i wydłużenie, także w aspekcie poprawności ich wyznaczania (karby wewnętrzne, stan naprężenia/odkształcenia itp.)?

Komentarz 2; Str. 62 i 86

Dlaczego w badaniach dylatometrycznych stosowano temperaturę austenitzowania 1200°C (jaki był czas wytrzymania w tej temperaturze?), podczas gdy w procesie obróbki cieplnej wyrobów, temperatura austenitzowania wynosiła 950°C? Jaki jest wpływ tej temperatury na stan austenitu w aspektach wielkości ziarna (różnice) oraz stopnia rozpuszczenia wydzieleni (węglików stopowych, węglikoazotków, siarczków) i innych?

Komentarz 3; Str. 65 (metodyka wykonania próbek udarnościowych – karb U)

Wykonanie karbu na próbkach udarnościowych (typu U) realizowano po finalnej obróbce cieplnej – materiał o wysokiej twardości i dużym udziale austenitu resztkowego. Czy podczas obróbki mechanicznej nie występowało ryzyko zmiany mikrostruktury i właściwości w obszarze karbu w wyniku naprężenia, wzrostu temperatury, tarcia itp.? Jaka jest stabilność mechaniczna i temperaturowa austenitu, np. ile wynosi temperatura M_d dla badanego stopu?

Komentarz 4; Str. 66 i 88, 89

Temperatura M_s dla badanego staliwa wynosi ok. 51°C. Autor stwierdza, że rozdrobnienie mikrostruktury uzyskuje się m.in. stosując obróbkę wygrzewania izotermicznego w okolicy temperatury M_s . W jaki sposób dobrano temperaturę izotermicznej przemiany bainitycznej wynoszącą 200°C oraz bardzo krótkie czasy tej obróbki, które biorąc pod uwagę tezę rozprawy, powinny zapewnić powstanie struktury zbliżonej do nanobainitycznej?

Komentarz 5; Str. 90, 91 (rys. 54) – twardość po 6 godzinach i chłodzeniu z piecem

Jaka jest przyczyna wysokiej twardości (ok. 700 HV) materiału poddanego wygrzewaniu w temperaturze 1100°C przez 6 godzin i chłodzeniu z piecem, szczególnie w odniesieniu do materiału wygrzewanego w tych samych warunkach ale w czasie 12, 24 i 48 godzin?

Komentarz 6; Str. 94

Czy w materiale w stanie po odlaniu oraz po obróbce cieplnej stwierdzono występowanie węglików stopowych (np. Mo) lub węglikoazotków zawierających np. V?

Komentarz 7; Str. 95

Bezpośrednio przed wyżarzaniem izotermicznym stosowano austenitzowanie w temperaturze 950°C przez 2 godziny. Czy wykonano badania stanu austenitu po tym procesie, w zakresie rozpuszczenia węglików (szczególnie w materiale wcześniej wygrzewanym w 650°C przez 4 godziny) oraz wielkości i równomierności ziarna? To istotne parametry materiału wpływające na właściwości użytkowe produktu.

Komentarz 8; Str. 96-97

W pracy stwierdzono: „wraz ze wzrostem czasu wytrzymania wzrasta intensywność piku (200) γ co świadczy o wzroście udziału objętościowego austenitu” (dotyczy to wytrzymania w temperaturze przemiany izotermicznej wynoszącej 200°C). Proszę o wyjaśnienie i opis przemian fazowych przechłodzonego austenitu w temperaturze 200°C, w wyniku których w

materiale po zakończeniu obróbki cieplnej zależnie od czasu w zakresie 0,5-8 godzin pozostaje wskazana w tablicy 4 zawartość austenitu ? Proszę o odniesienie wyników badań np. do rys. 41, 42 – diagramów CTPi i kinetyki przemiany ?

Proszę w aspekcie ww. wyjaśnień podać sposób chłodzenia (szybkość chłodzenia) próbek po zakończeniu wygrzewania izotermicznego w ciekłej soli.

Komentarz 9; Str. 97 (tablica 4)

Rozpuszczalność węgla w austenicie w porównaniu do rozpuszczalności w ferrycie jest znacząco większa. W jaki sposób wyjaśnić zawartość węgla w austenicie 0,88% (masowe), po wieloetapowej obróbce cieplnej, szczególnie w odniesieniu do wyższej zawartości w ferrycie (1,10-1,17%), przy średniej zawartości w staliwie na poziomie 0,85-0,95% ?

Komentarz 10; Str. 100

„Udział objętościowy austenitu i martenzytu wyraźnie różnił się w badanych próbkach, dla wariantu 1 wartości te wynosiły odpowiednio 67,8 i 32,2 % podczas gdy dla wariantu 2 58,8 i 41,2 %. Dane te potwierdzają obserwacje mikrostrukturalne ... oraz pomiary twardości. Twardość próbek po zastosowaniu wariantu 1 wynosiła 658HV30, podczas gdy obróbka cieplna przeprowadzona wg wariantu 2 skutkowała twardością 663HV30.”

Biorąc pod uwagę błąd pomiaru i nieuniknione różnice w twardości wynikające np. z niejednorodności materiału, można przyjąć że jest ona zbliżona dla wariantu 1 i 2 obróbki cieplnej (różnica 5 jednostek HV przy tak wysokiej wartości nie jest istotna) ? Proszę o wyjaśnienie przyczyny porównywalnej twardości dla badanych wariantów staliwa ?

Komentarz 11; Str. 102 (rys. 64, skład chemiczny w mikroobszarach)

Pierwiastkiem o dużej skłonności do segregacji jest Mo. Wykazały to przedstawione wyniki pomiarów w obszarach 1, 2, 3 i 4. Proszę o komentarz dotyczący bardzo wysokiej zawartości Mo w obszarze 4 (2,89%) w odniesieniu do pozostałych obszarów (0,19; 0,43; 0,44%) oraz do średniej zawartości tego pierwiastka w staliwie ? Jakie mogą być konsekwencje tak dużych różnic w zawartości Mo w obszarach międzydendrytycznych ?

Komentarz 12; Str. 126 (wniosek 6)

Proszę o wskazanie przyczyn wysokiej odporności na ścieranie opracowanego materiału w odniesieniu do mikrostruktury i twardości oraz w porównaniu do mikrostruktury stosowanych aktualnie stopów Fe ? Czy w warunkach eksploatacji istnieje możliwość wywołania efektu przemiany austenitu w martenzyt, np. w wyniku działania naprężenia ? Proszę o komentarz nt. możliwych mechanizmów zużycia w aspekcie właściwości poszczególnych składników fazowych i strukturalnych w badanym stopie ?

Uwagi ogólne

W literaturze zdefiniowano mikrostrukturę **nanobainityczną**, która w głównej mierze składa się z listew bainitu bezwęglkowego o szerokości mniejszej niż 100 nm i usytuowanego pomiędzy tymi listwami austenitu resztkowego w postaci cienkiej warstwy (filmu). Ponadto występuje austenit resztkowy w postaci ziaren o wielkości od dziesiątych części μm do kilku μm (tzw. blokowy). W recenzowanej pracy używano tego rodzaju określenia (np. w streszczeniu)

ale przedstawione wyniki badań nie wykazały obecności tego rodzaju mikrostruktury materiału.

W tezie pracy użyto sformułowania **plastyczność** około 12%, poniżej określając cel pracy napisano **ciągliwość** ~12%. W rzeczywistości autor pisze o **WYDŁUŻENIU** całkowitym w statycznej próbie rozciągania. Należy ściśle określać parametry charakteryzujące materiał (str. 54).

Granica wytrzymałości na rozciąganie (str. 46, rys. 28). Zgodnie z obowiązującą normą PN-EN dotyczącą wyznaczania właściwości mechanicznych w statycznej próbie rozciągania istnieje:

- granica plastyczności ($R_{p0,2}$ lub R_e) oraz
- wytrzymałość na rozciąganie (R_m) (**NIE** granica wytrzymałości).

Sformułowania i usterki edycyjne

Str. 31. Rys. 15. Jednostka osi OX: należy zdefiniować % masowe lub atomowe

Str. 38 (5 linia od dołu): „Krzywa T_0 jest to zmodyfikowana krzywa T_0 ” – lepiej Krzywa T_0 została zmodyfikowana aby ...

Str. 41. (9 linia od góry): „austenit powinien kontynuować przemianę” (?)

Str. 42. (6 linia od dołu): „W stalach cienkich...” (?)

Str. 43. (5 linia od góry): Bor zwiększa hartowność bainitu (?) – raczej hartowność stali/materiału...

Str. 43. (10 linia od góry): „...węgiel oddziela się od ferrytu...”

Str. 43. (11 linia od góry): „...izotropowego rozszerzenia objętości...”

Str. 43. (16 linia od góry): „...zgrubieniu wszelkich węglików...”

Str. 43. (6 linia od dołu): „...jednolitą plastyczność...”

Str. 43. (5 linia od dołu): „...ze wzmocnienia wywołanego przez rafinację ziarna...”

Str. 44. (4 i 5 linia od góry): „...subjednostek ferrytu... ... macierzystego austenitu...”

Str. 45. (8 linia od góry): „...substytucyjnych substancji rozpuszczonych...”

Str. 45. (13 linia od dołu): „...gdy temperatura przemiany jest hamowana...”

Str. 45. (7 linia od dołu): „...technologię opartą na grubości stali nanokrystalicznej...”

Str. 47. (10 linia od dołu): „...składa się z etapu: austenitzacji, krystalizacji i ujednorodnienia austenit...” (Co to za etap „krystalizacja” ?)

Str. 49. (4 linia od góry): „...wraz z zmniejszeniem się wielkości ziarna spada plastyczność...” Czy na pewno ? Jakie ziarno autor ma na myśli ?

Str. 52. (15 linia od góry): „...Morfologia blokowa austenitu zawiera wiele skutecznych miejsc zarodkowania martenzytycznego...” (?)

Str. 54. (6 linia od dołu): „dokładności powierzchni” , raczej dokładności wymiarów i wysokiej jakości powierzchni

Str. 65. (5 linia od dołu): „...pracy złamania KV wykonano na próbkach Charpy U...” – KV=Charpy V (?)

Str. 67. (11 linia od dołu): „... Dodatek krzemu na poziomie 1,5-1,6% rozdrabnia mikrostrukturę...” W jaki sposób Si „rozdrabnia” mikrostrukturę i co oznacza to sformułowanie ? Dlaczego w zakresie 1,5-1,6% ?

Str. 89. (9 linia od góry): powinno być „krystaliczną”. Jaka jest definicja „struktury krystalicznej” w odniesieniu do mikrostruktury ? Dodatkowo używane jest sformułowanie „mikrostruktura krystaliczna”-6 linia od dołu str. 89.

Str. 89. (10 i 11 linia od dołu): sformułowanie „...próby na mikrostrukturę...” oraz niedokończone zdanie – koniec akapitu (?)

Str. 104. (5 linia od góry): „...płytki te różnią się metrologią i kontrastem.” Co oznaczają określenia metrologia i kontrast w aspekcie opisu mikrostruktury ?

Str. 13. (15 linia od góry): powinno być „kombinację”

Str. 14. (10 linia od dołu): powinno być „produkcję”

Str. 18. (2 linia od dołu): powinno być „stosowanymi”

Str. 21. (6 linia od dołu): powinno być „na rysunku 6”

Str. 23. (8 linia od góry): powinno być „nieodpowiednią”

Str. 23. (3 linia od dołu): powinno być „z jednej”

Str. 29. Rys. 13. Brak opisu osi OY na wykresie

Str. 34. (3 linia od dołu): powinno być „przede”

Str. 41. (12 linia od dołu): powinno być „linię”

Str. 43. (2 linia od góry): powinno być „reakcję”

Str. 47. Rys. 29, powinno być „Hartowanie na wskroś”

Str. 48. (4 linia od dołu): powinno być „zawartości”

Str. 49. (1 linia od dołu): powinno być „pozwalającej”

Str. 51. (15 linia od góry): powinno być „charakteryzujących”

Str. 53. (6 linia od góry): powinno być „była stal”

Str. 53. (10 linia od góry): powinno być „Analiza”

Str. 53. (6 linia od dołu): powinno być „znany”

Str. 54. (3 linia od góry): powinno być „odpornością”

Str. 54. (5 linia od dołu): powinno być „które będzie charakteryzowało się”

Str. 55. (7 linia od dołu): powinno być „linię”

Str. 55. (2 linia od dołu): powinno być „staliwa”

Str. 56. Podpis pod rys. h) powinno być „staliwa”

Str. 61. (2 linia od góry): powinno być „przedstawiających”

Str. 61. (7 linia od góry): powinno być „uzyskanie”

Str. 61. (2 linia od góry): powinno być „dokładną”

Str. 66. (3 linia od dołu): powinno być „...jest z pozostawieniem...”

Str. 77. (8 linia od dołu): powinno być „in.”

Str. 79. (2 linia od dołu): powinno być „określającą”

Str. 85. (3 i 9 linia od góry): powinno być „funkcję”

Str. 86. (3 linia od dołu): powinno być „naniesioną”

Str. 89. (6 linia od góry): powinno być „cieplną”

Str. 94. (1 linia od góry): „...w przypadku zawartości austenitu największa jego zawartość wynosi...” (styl)

Str. 94. (3 linia od góry): powinno być: „zmianą”

Str. 94. (7 linia od góry): powinno być: „zmiany”

Str. 96. (1 linia od góry): powinno być: „dwufazową”

Str. 97. (1 linia od góry): powinno być: „wyniki”

Str. 97. (4 linia od góry): powinno być: „poziomie”

Str. 100. (5 linia od góry): powinno być „dominującą”

Str. 104. (7 linia od góry): powinno być: SAED (Selected Area Electron Diffraction), podobnie w podpisie pod rys. 66.,

Str. 104. (4 linia od dołu): powinno być „że”

Str. 105. (6 linia od dołu): powinno być „dyfrakcję elektronową pochodzącą”

Str. 106. (3 linia od góry): jest HREM, czy nie powinno być HRTEM (High Resolution Transmission Electron Microscopy)

Str. 107. (3 linia od dołu): powinno być „wytrzymanie przez 2 godziny” (bez „w”)

Str. 119. (4 linia od góry): powinno być „pracowały”
Str. 124. (13 linia od góry): powinno być „uzyskanie”
Str. 124. (6 linia od dołu): powinno być „utrzymywanie”
Str. 125. (13 linia od góry): powinno być „wysoką”
Str. 125. (12 linia od dołu): powinno być „na podstawie” (bez „pod”)
Str. 125. (6 linia od dołu): powinno być „minimalną”
Str. 125. (1 linia od dołu): powinno być „składały się z płytek”
Str. 126. (3 linia od góry): powinno być „krystalograficzną”

Podsumowując, stwierdzam że wskazane powyżej komentarze i uwagi o charakterze polemicznym i uzupełniającym oraz edytorskie nie zmieniają pozytywnej oceny pracy, która stanowi samodzielne opracowanie naukowe rozwiązujące postawioną tezę oraz zawiera istotny element wdrożeniowy. Przedstawione komentarze nie obniżają istotnie wartości naukowej zamieszczonych w rozprawie oryginalnych wyników badań, dotyczących perspektywicznych materiałów konstrukcyjnych, a wskazują ewentualne dalsze analizy. W mojej opinii Doktorant wykazał umiejętność rozwiązania problemu badawczo-wdrożeniowego w szerokim kontekście zakresu działań od rozpoznania stanu wiedzy, przez zaprojektowanie materiału i dobór metod badawczych oraz zaplanowanie i wykonanie eksperymentów przemysłowych, po wnikliwą analizę i dyskusję uzyskanych wyników oraz opracowanie wniosków. Na szczególną uwagę zwraca fakt podjęcia wieloaspektowego zagadnienia badawczo-aplikacyjnego i w konsekwencji uzyskany w ramach realizacji pracy efekt w postaci praktycznego zastosowania wyników badań. Zrealizowany w ramach pracy doktorskiej zakres działań, potwierdza dojrzałość Doktoranta do samodzielnego prowadzenia prac badawczych o charakterze aplikacyjnym.

Stwierdzam, że przedstawiona do recenzji praca doktorska spełnia wymagania określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz. U. z 2020 roku poz. 85, z późn. zm.) i wnioskuję o dalsze procedowanie przewodu mgr. inż. Piotra Garbienia, w tym przyjęcie i dopuszczenie niniejszej rozprawy do publicznej obrony przed Radą Naukową Instytutu Metalurgii i Inżynierii Materiałowej PAN w Krakowie.

