

Prof. dr hab. Tomasz Goryczka
Instytut Inżynierii Materiałowej
Wydział Nauk Ścisłych i Technicznych
Uniwersytet Śląski w Katowicach
Ul. 75 Pułku Piechoty 1A, 41-500 Chorzów

20.12.2025 r., Katowice

.....
(data i miejsce)

Recenzja pracy doktorskiej

pod tytułem: **"Obróbka cieplno-plastyczna ultradrobnoziarnistych stali bainitycznych z metastabilnym austenitem szczątkowym o wytrzymałości powyżej 1 GPa"** autorstwa mgr inż. **Anna Wojtachy**, przygotowanej pod kierunkiem: dr hab. inż. Marka Opieli, prof. PŚ.

1. Podstawa opracowania

Recenzja została wykonana na zlecenie Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej, przekazanej w piśmie Przewodniczącego – prof. dr hab. inż. Adama Grajcara z dnia 30.10.2025 r. (RDMIMa.512.45.2025).

Podstawę prawną do opracowania recenzji stanowiły: art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz. U. z 2024 r. poz. 1571) oraz rozporządzenie Ministra Nauki z 19 grudnia 2023 r. w sprawie stopni naukowych.

2. Charakterystyka rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska dotyczy opracowania i optymalizacji parametrów obróbki cieplno-plastycznej stali bainitycznej z metastabilnym austenitem szczątkowym, ukierunkowanej na wytworzenie ultradrobnoziarnistej mikrostruktury prowadzącej do podwyższenia właściwości mechanicznych. Autorka koncentruje się na zoptymalizowaniu parametrów procesów prowadzących do ukształtowania ferrytu bainitycznego oraz austenitu szczątkowego, których mikrostruktura przekłada się korzystnie na możliwości przetwarzania takiego materiału z zastosowaniem metod kuźnictwa.

Pomimo faktu, że stale bainityczne są dobrze znane, nadal pozostają przedmiotem intensywnych badań i modyfikacji składu chemicznego oraz mikrostruktury wynikających z konieczności dostosowania ich właściwości do zmieniających się warunków eksploatacji oraz nowych zastosowań. Fakt ten ma swoje źródło w rosnących wymaganiach dotyczących wytrzymałości, uderzalności i odporności na pękanie przy jednoczesnym ograniczaniu kosztów

wytwarzania. Współczesny rozwój przemysłu motoryzacyjnego i kuźniczego generuje szczególne potrzeby w zakresie materiałów zdolnych do pracy pod obciążeniami zmiennymi i dynamicznymi, w których kontrolowana stabilizacja austenitu szczątkowego oraz precyzyjnie kształtowanej mikrostruktury są wiodącymi parametrami.

W tym kontekście rozprawa podejmuje istotne zagadnienia związane z rozwojem nowoczesnych stali wysokowytrzymałych (AHSS), ze szczególnym uwzględnieniem bainitu bezwęglkowego oraz metastabilnego austenitu szczątkowego, których właściwości determinują zachowanie materiału podczas kształtowania na gorąco. Dotychczasowe badania przedstawiane w opracowaniach naukowych skupiały się przede wszystkim na stalach przeznaczonych do wytwarzania cienkościennych elementów konstrukcyjnych pojazdów, natomiast problematyka mikrostruktury stali stosowanych w odkuwkach matrycowych, przeznaczonych do elementów pracujących pod obciążeniami zmiennymi i dynamicznymi, była podejmowana zdecydowanie rzadziej.

Stąd w mojej ocenie podjęta tematyka jest w pełni aktualna i wpisuje się w nowe trendy projektowania materiałów konstrukcyjnych, szczególnie istotnych dla dynamicznie rozwijającej się branży motoryzacyjnej.

3. Ocena układu i treści rozprawy

Rozprawa została przygotowana w klasycznym i przejrzystym układzie, zgodnym z wymaganiami stawianymi pracom doktorskim z zakresu inżynierii materiałowej. Liczy 148 stron i zawiera liczne rysunki, fotografie mikrostruktur oraz tabele, które znacząco ułatwiają śledzenie toku rozważań. Struktura pracy obejmuje część przeglądową, szczegółowy opis badań własnych oraz syntetycznie przedstawione wnioski końcowe. Warto podkreślić, że temat rozprawy został sformułowany trafnie i precyzyjnie, w sposób właściwie oddający charakter oraz zakres przeprowadzonych badań, a jego brzmienie jednoznacznie wskazuje na główne obszary problemowe podjęte przez Autorkę.

Również cel pracy został określony jasno i rzeczowo, a jego przedstawienie wzbogacono o schemat ilustrujący logikę planowanych działań badawczych. Zabieg ten niewątpliwie podnosi czytelność i ułatwia odbiór całości. Warto przy tym wskazać, że formułowanie celu, — choć przedstawione w sposób autorski i uzasadniony — mogłoby zostać wyodrębnione, jako osobny, kończący przegląd literatury rozdział, co uporządkowałoby formalną strukturę pracy. Choć autorka nie formułuje wprost tezy ani hipotezy badawczej, co mogłoby dodatkowo uwydatnić naukowy charakter opracowania, to jednak konsekwentnie akcentuje najważniejszy problem badawczy dotyczący wpływu parametrów obróbki cieplno-plastycznej na stabilizację wielofazowej mikrostruktury stali o ultradrobnych ziarnach, nadając rozprawie klarowny i spójny kierunek.

Bibliografia stanowi jeden z mocniejszych elementów recenzowanej rozprawy i obejmuje 207 pozycji, z czego około 130 zostało wykorzystanych w części przeglądowej, natomiast pozostałe pozycje przywołano w opisie metodyki, analizie wyników oraz ich dyskusji. Takie rozłożenie cytowań świadczy o szerokim i świadomym odwołaniu się do dorobku naukowego zarówno w zakresie podstaw teoretycznych, jak i szczegółowych aspektów eksperymentalnych związanych z obróbką cieplno-plastyczną, kinetyką przemian fazowych i charakterystyką mikrostruktury stali średniomanganowych.

W mojej ocenie zestawienie literaturowe cechuje wysoki poziom merytoryczny. Dobór literatury należy ocenić jako bardzo trafny, aktualny i adekwatny do zakresu merytorycznego pracy. Dominują w nim artykuły z recenzowanych czasopism naukowych o ugruntowanej pozycji w dziedzinie inżynierii materiałowej i metalurgii, takich jak *Metallurgical and Materials Transactions A*, *Materials Science and Engineering A*, *Acta Materialia*, *Scripta Materialia*, *Steel Research International* czy *Journal of Alloys and Compounds*. Obecność tak reprezentatywnych źródeł dowodzi, że Autorka pracy posługuje się literaturą odpowiadającą najwyższemu standardowi naukowemu i jest dobrze zorientowana w aktualnych trendach badawczych. Na szczególne podkreślenie zasługuje uwzględnienie w bibliografii publikacji własnych Autorki, w tym artykułów poświęconych zachowaniu stali wielofazowych podczas odkształcania na gorąco oraz wpływowi odkształcenia na kinetykę przemian fazowych. **Fakt, że część wyników rozprawy była już prezentowana w czasopismach i materiałach konferencyjnych, wskazuje na wcześniejszą naukową weryfikację tych wyników.**

Od strony formalnej bibliografia została przygotowana starannie: numeracja pozycji jest ciągła, brak powtórzeń, a całość zestawienia utrzymana jest w jednolitej stylistyce. Przeważają źródła naukowe, oparte na publikacjach recenzowanych, co zwiększa rzetelność podstaw teoretycznych pracy. Wszystkie cytowane źródła są przywołane poprawnie.

W ocenie prac doktorskich istotnym elementem jest również analiza stosowanego języka oraz technicznej strony opracowania. W recenzowanej rozprawie warstwa edytorska została przygotowana starannie: układ tekstu jest przejrzysty, numeracja stron i nagłówków spójna, a rozmieszczenie treści — zgodne ze standardami dysertacji naukowych. Ilustracje, schematy i fotografie mikrostruktur charakteryzują się wysoką jakością wizualną, są właściwie opisane i powiązane z treścią.

Język rozprawy jest na ogół fachowy i precyzyjny, zwłaszcza w części przeglądowej, gdzie Autorka posługuje się poprawną i konsekwentną terminologią stosowaną na gruncie inżynierii materiałowej. Styl prowadzenia narracji jest uporządkowany i logiczny, co sprzyja dobremu odbiorowi złożonej tematyki. Opisy przebiegu eksperymentów oraz interpretacje wyników prezentowane są klarownie i rzeczowo. Nieliczne drobne usterki stylistyczne nie zakłócają odbioru całości i nie wpływają na merytoryczną poprawność wyводу.

Zasygnalizować można jedynie sporadyczne wystąpienia **bezpośrednich tłumaczeń** przyjętych z języka angielskiego, które nie wpływają istotnie na czytelność pracy, jednakże w przyszłości mogłyby zostać zastąpione formami bardziej zakorzenionymi w polskiej terminologii technicznej, np.: warstwa w zamian za "film" itd.

Uwagi te mają jedynie charakter porządkujący i nie wpływają **na ogólnie pozytywną ocenę języka oraz technicznej strony opracowania, które w całości zostały przygotowane na dobrym poziomie, zgodnym z wymogami dysertacji doktorskiej.**

prof. dr hab. inż.

4. Ocena merytoryczna

Recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Anny Wojtacha przedstawia merytorycznie uporządkowane opracowanie zagadnień związanych z obróbką cieplno-plastyczną stali bainitycznej zawierającej metastabilny austenit szczątkowy, ukierunkowane na uzyskanie ultradrobnoziarnistej struktury oraz poprawę właściwości mechanicznych. Zagadnienia te mają szczególne znaczenie z punktu widzenia przewidywanych praktycznych zastosowań w

przeróbce plastycznej elementów kutych przeznaczonych dla przemysłu motoryzacyjnego. Merytoryczny zakres pracy jest szeroki i obejmuje zarówno szczegółową analizę procesów przemian fazowych, jak również wielokierunkową charakterystykę mikrostruktury oraz właściwości przerabianej stali.

Na szczególnie pozytywną ocenę zasługuje fakt, że przed przystąpieniem do części eksperymentalnej Autorka zastosowała szereg obliczeń teoretycznych opartych zarówno na przyjętym nominalnym, jak i rzeczywistym składzie chemicznym stali. Obejmowały one analizę wpływu wielkości ziarna austenitu na temperaturę początku przemiany martenzytycznej M_s , wyznaczenie udziału faz w poszczególnych zakresach temperatur, ocenę możliwości tworzenia się węglików, określenie przebiegu przemian fazowych w zależności od szybkości chłodzenia oraz opracowanie wykresów CTPc i CTPI. Jest to podejście w pełni zgodne ze współczesnymi standardami inżynierii materiałowej, w której modelowanie numeryczne oraz obliczenia termodynamiczno-kinetyczne stanowią integralny element projektowania procesów technologicznych. Tak przeprowadzona analiza wstępna pozwala znacząco ograniczyć liczbę koniecznych eksperymentów, a jednocześnie umożliwia przewidzenie zakresów temperatur istotnych dla formowania mikrostruktury, jak również ocenę potencjalnych problemów związanych z niepożądanymi przemianami i wydzieleniami. *W rezultacie zastosowanie symulacji i obliczeń wstępnych należy uznać za podejście nowoczesne, metodycznie uzasadnione i wyraźnie podnoszące wartość merytoryczną rozprawy.*

W dalszej części Autorka słusznie konfrontuje wyniki modelowania z rezultatami uzyskanymi metodą dylatometrii, obserwacjami mikrostruktury oraz pomiarami twardości, które – choć należą do podstawowych i stosunkowo prostych narzędzi badawczych – stanowią fundament oceny przebiegu przemian fazowych w warunkach zbliżonych do rzeczywistych procesów obróbki cieplno-plastycznej oraz pozwalają na jednoznaczne powiązanie zachodzących przemian z kształtującą się mikrostrukturą i jej właściwościami mechanicznymi.

Na podstawie eksperymentalnego wykresu CTPc oraz obserwacji mikrostruktury Doktorantka w sposób uporządkowany przedstawiła zależność tworzących się faz od szybkości chłodzenia. Wykazała, że w szerokim zakresie wysokich szybkości chłodzenia mikrostruktura pozostaje martenzytyczna, natomiast wraz z obniżaniem szybkości chłodzenia rośnie udział bainitu oraz austenitu szczątkowego. Tendencje te zostały jednoznacznie potwierdzone wynikami obserwacji mikrostruktury oraz pomiarami twardości. W kolejnej części badań Doktorantka przeanalizowała wpływ odkształcenia plastycznego zadanego w temperaturze 900°C na kinetykę przemian podczas chłodzenia ciągłego, wykazując wyraźne przesunięcia temperatury M_s oraz rozszerzenie zakresu szybkości chłodzenia sprzyjających tworzeniu bainitu. Obszerną część badań została poświęcona końcowemu etapowi, tj. analizie efektów wytrzymania izotermicznego.

W wyniku przeprowadzonej obróbki izotermicznej Doktorantka wykazała, że w zakresie temperatur 380–480°C zachodzi przemiana bainityczna, której kinetyka silnie zależy od temperatury wygrzewania. Najkrótszy czas inkubacji oraz najszybsze zakończenie przemiany uzyskano w temperaturze około 420°C, natomiast obniżenie temperatury wytrzymania do 400°C pozwoliło na uformowanie mikrostruktury o szczególnie korzystnym charakterze — z *minimalną ilością martenzytu i jednocześnie najwyższą zawartością termicznie stabilnego*

austenitu szczątkowego. Wynika stąd jednoznacznie, że zakres 380–400°C stanowi optymalne okno technologiczne dla izotermicznego kształtowania drobnolistwowej struktury bainitycznej zawierającej stabilny termicznie austenit szczątkowy. Ten wynik należy podkreślić, jako *jedno z najistotniejszych osiągnięć pracy*. Potwierdza on możliwość precyzyjnego sterowania przemianami fazowymi w celu uzyskania struktury o najlepszym potencjale eksploatacyjnym dla stali przeznaczonych na odkuwki.

Również za *istotny element rozprawy uważam wyniki badań plastometrycznych*. Łączą one analizy mechanicznego zachowania stali podczas odkształcenia na gorąco z jej późniejszym przeznaczeniem do kucia matrycowego. Doktorantka przeanalizowała przebieg krzywych płynięcia mierzonych podczas ściskania ciągłego, ukazując wpływ temperatury i prędkości odkształcenia na charakter umocnienia. Uzyskane wyniki potwierdziły dobrą podatność badanej stali na przeróbkę plastyczną w szerokim zakresie parametrów. Nie poprzestała na tym. W kolejnych etapach badań zastosowała dwuetapowe ściskanie, wykazując, że przerwa między odkształceniami sprzyja rekrytalizacji, obniża opory odkształcenia w drugim cyklu i pozwala uchwycić kinetykę procesów aktywowanych cieplnie w warunkach zbliżonych do przemysłowych. Zwieńczeniem tej części pracy są przeprowadzone symulacje pięcioetapowego odkształcenia plastycznego, odzwierciedlające realny przebieg kucia elementów. Uzyskane wyniki wskazują, że stal zachowuje stabilność mechaniczną i strukturalną w warunkach intensywnego oddziaływania cieplno-mechanicznego, a przeprowadzony cykl obróbki prowadzi do uformowania jednorodnej osnowy bainitycznej zawierającej termicznie stabilny austenit szczątkowy. Naturalne domknięcie części eksperymentalnej stanowią wyniki badań mikrostrukturalnych powiązanych z podstawowymi właściwościami mechanicznymi wyznaczonymi dla wybranych wariantów obróbki cieplnej. Szczególnie istotne jest potwierdzenie, że mikrostruktura uzyskana w optymalnym zakresie temperatur wytrzymania izotermicznego zapewnia najbardziej korzystny kompromis pomiędzy wytrzymałością a odkształcalnością. *Wyniki te niewątpliwie podkreślają praktyczny charakter badań i ich bezpośrednią przydatność dla inżynierskiego projektowania technologii przeróbki plastycznej*.

W rozprawie zastosowano szeroki, a jednocześnie znakomicie dobrany zestaw metod badawczych obejmujący dylatometrię, badania plastometryczne, pomiary twardości, próby rozciągania oraz obserwacje mikrostrukturalne z wykorzystaniem mikroskopii świetlnej i skaningowej (SEM), analizy EBSD i TEM, a także ilościową analizę fazową metodą dyfrakcji rentgenowskiej (XRD). Zastosowane techniki tworzą *spójny i adekwatny zestaw narzędzi*. Umożliwiają one jednoczesną analizę kinetyki przemian fazowych, ewolucji mikrostruktury oraz ich przełożenia na właściwości mechaniczne. Świadczy to o świadomym i dojrzałym doborze metod przez Autorkę. Szczególnie istotnym jest fakt, że każda z metod wnosi odrębny, a zarazem uzupełniający wymiar poznawczy. Doktorantka umiejętnie posługuje się tym zestawem metod, a przedstawione interpretacje wyników są dojrzałe, logiczne i konsekwentnie osadzone w aktualnym stanie wiedzy, co potwierdzają liczne odniesienia do obszernej literatury cytowanej w tej części rozprawy. *Całość przedstawionego materiału badawczego jednoznacznie świadczy o samodzielności naukowej Autorki. Potwierdza również jej zdolność do prowadzenia złożonych badań eksperymentalnych zgodnie z aktualnymi standardami przyjętymi na gruncie inżynierii materiałowej*.

Pracę kończą wnioski - jest ich aż 11, które w mojej ocenie są sformułowane treściwe, logiczne i pozostają w wyraźnej zgodności zarówno z tematem rozprawy, jak i z założonym celem pracy. Wynikają one bezpośrednio z przeprowadzonych badań i stanowią poprawnie wyciągniętą syntezę najważniejszych obserwacji oraz zależności przedstawionych w poszczególnych rozdziałach. W tym miejscu należy podkreślić, że ich treść niesie również **znaczącą wartość praktyczną**, co jest szczególnie istotne w kontekście zastosowania. Autorka podaje w nich konkretne parametry procesów obróbki cieplno-plastycznej, dotyczą optymalnego zakresu temperatury wytrzymania izotermicznego, wpływu odkształcenia na stabilizację austenitu szczątkowego oraz relacji pomiędzy mikrostrukturą a właściwościami mechanicznymi. Są one nie tylko wartościowe naukowo, lecz także spójnie dowodzą, że opracowana technologia prowadzi do uzyskania struktury o pożądanych właściwościach eksploatacyjnych. **Tego typu wskazania stanowią istotny walor użytkowy pracy.** Wniosek 11, choć sformułowany poprawnie i stanowiący kwintesencję osiągnięć zawartych w rozprawie, ma jednak charakter bardziej podsumowujący niż wnioskowy. Nie umniejsza to jednak wartości całego zestawu — przeciwnie, wskazuje na dążenie Autorki do syntetycznego ujęcia rezultatów i ich uporządkowania z perspektywy praktycznej i naukowej.

Podsumowując, należy stwierdzić, że rozprawa prezentuje wysoki poziom merytoryczny i stanowi oryginalne rozwiązanie postawionego problemu naukowego dotyczącego sterowania przemianami fazowymi i stabilizacją austenitu szczątkowego w stalach bainitycznych poddawanych obróbce cieplno-plastycznej. Przedstawiony materiał badawczy jest spójny, kompletny i logicznie ustrukturyzowany, Autorka wykazuje umiejętność łączenia analizy teoretycznej z wynikami badań eksperymentalnych, co pozwala na sformułowanie wniosków o istotnym znaczeniu naukowym i aplikacyjnym.

W mojej ocenie mgr inż. Anna Wojtacha dysponuje szczegółową wiedzą z zakresu mechanizmów przemian fazowych w stalach wielofazowych oraz wpływu odkształcenia na procesy aktywowane cieplnie. Całość świadczy o dobrze ugruntowanej wiedzy Doktorantki, jej samodzielności badawczej oraz zdolności do formułowania wniosków o znaczeniu zarówno poznawczym, jak i praktycznym.

5. Uwagi szczegółowe

W trakcie czytania rozprawy dostrzegalne są pojedyncze miejsca, w których wskazane byłoby doprecyzowanie niektórych sformułowań lub rozbudowanie wyjaśnień.

- 1) Str. 10 - w części dotyczącej czynników wpływających na stabilność austenitu szczątkowego warto doprecyzować klasyfikację podawanych parametrów. Granica plastyczności nie jest pierwotnym czynnikiem wewnętrznym determinującym stabilność RA, lecz raczej wtórną konsekwencją jego obecności i charakteru mikrostruktury. Analogicznie, 'stan naprężeń' może dotyczyć zarówno obciążeń zewnętrznych, jak i naprężeń wewnętrznych wynikających z przebytych przemian fazowych i historii obróbki, które w istotny sposób wpływają na stabilność austenitu. Rozróżnienie tych kategorii pozwoliłoby na bardziej precyzyjne ujęcie omawianych zjawisk.
- 2) „W zdaniu na str. 35, odnoszącym się do „teorii przemiany bainitycznej, oznaczanej jako T_0 ”, warto doprecyzować terminologię. Oznaczenie T_0 nie stanowi nazwy teorii, lecz symbolicznie określa charakterystyczną temperaturę T_0 , przy której energia swobodna faz

γ i α jest równa ($G\gamma = G\alpha$). Temperatura T_0 jest jednym z kluczowych parametrów opisujących warunki formowania bainitu bezwęglowego oraz stabilność austenitu szczytkowego, natomiast sama teoria nie jest w literaturze określana jako „ T_0 ”.

- 3) W opisie składu wsadowego stwierdzono, że stal została „uzupełniona dodatkami składników stopowych w postaci czystych metali”. Czy Autorka mogłaby doprecyzować, co dokładnie oznacza użyte określenie „czyste metale” — w szczególności, jaki stopień czystości pierwiastków stopowych został zastosowany oraz czy były to metale handlowej czystości, laboratoryjne czy wysokiej czystości (np. 99,9% lub 99,99%)?
- 4) W części dotyczącej oznaczenia składu chemicznego wlewka po chłodzeniu przez 2 godziny nie wskazano, z której jego strefy pobrano próbkę do analizy oraz czy podany skład odpowiada wartości średniej. Czy Autorka mogłaby doprecyzować, ile pomiarów wykonano, w jakich lokalizacjach przekroju je przeprowadzono oraz czy stwierdzono ewentualną niejednorodność składu na przekroju wlewka? Ponadto proszę o wyjaśnienie, czy po procesie austenitizacji (1200°C/2 h) skład chemiczny pozostawał jednorodny i zgodny z wartościami podanymi w Tablicy 6, czy przeprowadzano jego ponowną weryfikację?
- 5) W części dotyczącej ilościowej analizy fazowej wykonanej metodą Rietvelda proszę o doprecyzowanie sposobu rejestracji dyfraktogramów. Autorka podaje, że pomiary wykonano metodą ciągłą, podczas gdy klasyczna procedura Rietvelda została opracowana dla danych zbieranych metodą krokową, w której poszczególne punkty są niezależne. Metoda ciągła powoduje powiązanie kolejnych danych pomiarowych, co może wpływać zarówno na jakość dopasowania, jak i na dokładność wyznaczania parametrów sieci. Te parametry z kolei stanowiły podstawę do obliczenia zawartości węgla w austenicie oraz ilościowego określenia udziału faz. Czy Autorka mogłaby wyjaśnić, w jaki sposób zastosowany sposób rejestracji danych wpływa na dokładność wyznaczonych parametrów sieci oraz na wiarygodność wyników analizy ilościowej faz? Ponadto proszę o przedstawienie przykładowego graficznego wyniku dopasowania Rietvelda wraz z omówieniem współczynników jakości dopasowania (R_{wp} , R_p , χ^2), tak aby możliwa była ocena jakości przeprowadzonych obliczeń.
- 6) W pracy przedstawiono zarówno nominalny, jak i zmierzony skład chemiczny badanej stali, przy czym między nimi występują niewielkie, lecz zauważalne różnice. W części dotyczącej obliczeń teoretycznych i symulacje były one prowadzone raz dla składu nominalnego, a w innych miejscach dla składu zmierzonego. Czy Autorka mogłaby wyjaśnić, jakie były przesłanki takiego zróżnicowanego podejścia oraz w jakim stopniu różnice w składzie chemicznym mogły wpływać na wyznaczone wartości parametrów, takich jak temperatura B_s , M_s , czy sam przebieg przemian fazowych?
- 7) W pracy kilkakrotnie wskazano wzrost gęstości dyslokacji jako kluczowy czynnik wpływający na kinetykę przemian fazowych oraz na właściwości mechaniczne stali (np. str. 84, str. 104, wniosek nr 3). Przegląd załączonych obrazów mikrostruktury (TEM) nie wskazuje na obecność dyslokacji. Ponadto w tekście nie podano żadnej informacji o ich bezpośrednim wyznaczeniu. Czy Autorka mogłaby wyjaśnić, na jakiej podstawie formułowane są wnioski/stwierdzenia dotyczące jej wzrostu?

6. Podsumowanie i wnioski końcowe

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Anny Wojtacha stanowi opracowanie o *wysokim poziomie naukowym*, cechujące się zarówno dojrzałością metodologiczną, jak i umiejętnością prowadzenia samodzielnych, wieloaspektowych badań eksperymentalnych. Praca obejmuje pełny cykl badawczy – od analizy teoretycznej, poprzez metodyczne zaplanowanie i realizację eksperymentów, aż po krytyczną interpretację wyników. Oceniając całość rozprawy, należy podkreślić jej spójność, bogactwo materiału badawczego oraz istotny wkład Doktorantki w rozwój wiedzy dotyczącej obróbki cieplno-plastycznej stali bainitycznych z metastabilnym austenitem szczątkowym.

Uwagi/pytania/komentarze sformułowane w toku recenzji pracy mają charakter *dyskusyjny* i odnoszą się głównie do możliwości pogłębienia niektórych interpretacji czy sposobów prowadzenia eksperymentu. Nie wpływają na pozytywną ocenę merytoryczną dysertacji, a jedynie wskazują potencjalne kierunki dalszych badań.

Mając na uwadze przedstawioną ocenę pracy oraz spełnienie przez mgr inż. Annę Wojtacha wymogów określonych w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz. U. z 2024 r. poz. 1571) — stwierdzam, że rozprawa:

- stanowi *oryginalne rozwiązanie problemu naukowego*,
- potwierdza nabytą *wiedzę teoretyczną Autorki w dyscyplinie inżynieria materiałowa*,
- potwierdza *umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej*.

W związku z powyższym *wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Anny Wojtacha do publicznej obrony rozprawy doktorskiej*.

Dodatkowo pragnę podkreślić, że rozprawa doktorska mgr inż. Anny Wojtacha cechuje się wyjątkowo wysoką wartością merytoryczną, wyróżniającą ją na tle prac doktorskich zarówno zakresem, rzetelnością i jakością przeprowadzonych badań. Na szczególne uznanie zasługuje konsekwentne połączenie zaawansowanego modelowania i analiz teoretycznych z szeroko zakrojonymi badaniami eksperymentalnymi, prowadzonymi w warunkach zbliżonych do rzeczywistych procesów technologicznych. Uzyskane wyniki mają nie tylko istotną wartość poznawczą, lecz także wyraźny wymiar aplikacyjny, umożliwiając ich bezpośrednie wykorzystanie w projektowaniu technologii obróbki cieplno-plastycznej stali przeznaczonych na odkuwki. Dodatkowym argumentem przemawiającym za wyróżnieniem rozprawy jest fakt, że uzyskane wyniki badań zostały opublikowane w renomowanych czasopiśmie naukowych o wysokich współczynnikach wpływu, takich jak *Materials* oraz *Scientific Reports*. Ponadto Doktorantka występuje w tych pracach jako pierwszy autor, co spełnia kryteria obowiązującego Regulaminu w zakresie nadania stopnia doktora (uchwała nr 42/2023 Senatu Politechniki Śląskiej z dnia 25 września 2023 r.). *W mojej opinii całokształt osiągnięć przedstawionych w rozprawie w pełni uzasadnia wniosek o jej wyróżnienie.*

Prof. Tomasz Goryczka

/podpis odręczny/