

Gliwice, 10.07.2025

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Grzegorza Łukaszewicza

**pt. „Wpływ wygrzewania pośredniego (IAT) na przemianę bainityczną
oraz właściwości mechaniczne i użytkowe stali EN X37CrMoV5-1”**

Uwagi formalne

Opinię niniejszą wykonałam na podstawie przesłanego do mnie pisma Pani Przewodniczącej Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa w Politechnice Warszawskiej prof. dr hab. inż. Małgorzaty Lewandowskiej z dnia 29 kwietnia 2025 roku.

Opracowując recenzję rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Grzegorza Łukaszewicza, zgodnie z przyjętymi standardami oraz literą i duchem regulacji prawnych, jako recenzent kierowałam się przede wszystkim następującymi kryteriami:

- trafność wyboru tematyki badawczej oraz umiejętność określenia przedmiotu i zakresu pracy,
- oryginalność rozwiązania problemu naukowego, poprawność ustalenia celów rozprawy, tez rozprawy, strategii i procedur badawczych oraz struktury rozprawy,
- jakość rozprawy z punktu widzenia warsztatu naukowego i poziomu pisarskiego,
- stopień realizacji przyjętego celu rozprawy,
- wykazanie ogólnej wiedzy z zakresu objętego tematyką rozprawy oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia dyskursu naukowego.

Ocena istotności podjętego problemu naukowego i ocena merytoryczna rozprawy

Zasadniczym problemem podjętym w rozprawie doktorskiej Pana mgr inż. Grzegorza Łukaszewicza, jest skupienie się na zagadnieniu wpływu dodatkowej obróbki cieplnej w postaci wygrzewania pośredniego pomiędzy austenityzowaniem a bainityzowaniem na kinetykę przemiany austenitu w bainit i tym samym na zmianę właściwości badanej stali jaką jest stal średniowęglowa stopowa chromowo-molibdenowa, w której dzięki zastosowaniu dodatkowego wygrzewania pośredniego w sposób kontrolowany ma zachodzić wydzielanie węglików stanowiących akceleratory zarodkowania płytek ferrytu bainitycznego. Tym samym powstała w stali mikrostruktura charakteryzowała się będzie podwyższonymi właściwościami mechanicznymi i zwiększoną odpornością na pękanie w porównaniu do mikrostruktury stali poddanej klasycznej obróbce cieplnej. Takie podwyższone właściwości uzyskane będą dzięki wygenerowaniu w mikrostrukturze stali składnika w postaci bainitu nanostrukturalnego.

Zagadnienie badań nad ulepszaniem właściwości oraz zmianą możliwych zastosowań znanych już od dawna gatunków stali, jest wciąż rozwijane w inżynierii materiałowej i dotyczy nie tylko stopów żelaza, ale też innych stopów inżynierskich. Między innymi, poprzez coraz to nowsze osiągnięcia nauki, które prowadzą do coraz to głębszych analiz materiałowych w wyniku rozwoju technik badawczych, możliwe jest rozważanie wpływu czynników technologicznych na kształtowanie nowych, dotąd nieznanymi lub też poznanych lecz nieznaczająco eksplorowanych obszarów tradycyjnych technologii, które realizowane w sposób nowy mogą zmienić końcowe właściwości znanych materiałów. Takie podejście nazywamy w praktyce innowacjami. Dążenie do wprowadzania takowych innowacji jest nie lada wyzwaniem, gdyż wymaga dobrego i szerokiego zasobu wiedzy z danej tematyki, a także szeregu analiz dotychczasowych wyników badań, w których można choć coraz trudniej jest odnaleźć lukę badawczą. Takie podejście w swojej rozprawie doktorskiej zastosował Pan mg inż. Grzegorz Łukaszewicz. Na podstawie doświadczeń zespołu badawczego pod kierunkiem profesora Wiesława Świątnickiego, promotora rozprawy, który to od lat zajmuje się zagadnieniami wpływu obróbki cieplnej na możliwości generowania nanostruktur w stalach konstrukcyjnych i narzędziowych, doktorant odnalazł lukę w postaci zastosowania w swojej pracy naukowej dodatkowego przystanku izotermicznego podczas obróbki cieplnej stali narzędziowej, który to przystanek postanowił użyć do wygenerowania nowej idei obróbki cieplnej jaką można będzie z powodzeniem przenieść na inne gatunki stali o podobnym składzie chemicznym. Luka ta na podstawie studium literaturowego ma doprowadzić do kontrolowanego wydzielania się węglików, jako potencjalnych miejsc zarodkowania heterogenicznego płytek ferrytu bainitycznego i sprzyjać tworzeniu ferrytu gwiazdzistego jako składnika o wyjątkowych właściwościach przeciwdziałających powstawaniu pęknięć i zwiększającego odporność na pękanie w stali. Te znane właściwości ferrytu gwiazdzistego zostały już wcześniej analizowane w stalach podczas ich spawania. Niemniej jednak, nie analizowano dotychczas kontrolowanego sposobu tworzenia celowo

w mikrostrukturze składników takich jak tlenki, siarczki, tlenosiarczki czy azotki i tlenoazotki Ti, Mn, Al, Si czy też innych pierwiastków mające bezpośrednie przełożenie na zarodkowanie ferrytu gwiaździstego. Podczas gdy ferryt bainityczny zarodkuje na granicach ziarn austenitu ferryt gwiaździsty zarodkuje na wydzieleniach takich jak wcześniej opisane. Tym samym zmienia się mechanizm wzrostu nie od granicy ziarna austenitu, ale od wewnątrz ziarna zakładając, iż to wydzielenia są miejscami nukleacji.

Takie przedstawienie tematyki jakiej Doktorant podejmuje się w swojej rozprawie jest ciekawe i stanowi nie eksplorowany dotychczas obszar badań w inżynierii materiałowej stopów żelaza. Poza pracami realizowanymi w ramach projektu NanoCarbain, w ramach którego projektowano obróbki cieplne tak aby doprowadzać do wydzielania się faz węglkowych jednak w wyniku tzw. reaustenitizowania, czy w pracach Zhao bądź Sobotka, tematyka podjęta w pracy Pana mgra Grzegorza Łukaszewicza wydaje się być innowacyjna i interesująca.

Prezentowane podejście do badań i ich zaprojektowanie na tle dostępnej literatury uważam za bardzo ciekawe. Szczególnie należy brać je pod uwagę w przypadku, gdy w dobie rozwijającej się gospodarki poszukujemy nie tylko wciąż nowych materiałów, ale przede wszystkim materiałów znanych, ale o nieodkrytych ich cechach, które to umożliwią pozyskanie dla nich coraz to lepszych właściwości a tym samym nowych zastosowań. Poznanie zagadnień wpływu dodatkowej obróbki międzyoperacyjnej w postaci wygrzewania pośredniego pomiędzy austenitizowaniem a bainityzowaniem stali może mieć odzwierciedlenie w kontrolowanej zmianie właściwości oraz przede wszystkim zmianie mikrostruktury decydującej o charakterystykach materiałowych w tym przypadku znanego gatunku stali. Holistycznie to zagadnienie wydaje się szczególnie interesującym tematem, zarówno z punktu widzenia naukowego jak i praktycznego.

W tym kontekście wybór tematyki rozprawy doktorskiej Pana mgra inż. Grzegorza Łukaszewicza jest w pełni uzasadniony. Ma to odzwierciedlenie zarówno w przyjętej strategii planowania, zaprojektowania oraz realizacji poszczególnych etapów rozprawy, które Autor przemyślał, na podstawie literatury przedmiotu oraz niewątpliwie doświadczeń Promotora rozprawy Pana Prof. dr hab. inż. Wiesława Świątnickiego, jak też w prowadzeniu i analizie kolejnych etapów prac badawczych dysertacji.

Przedłożona do recenzji praca doktorska wpisuje się więc, swoją tematyką w interesujące i bardzo aktualne obszary badań podstawowych, jednocześnie nakreślających wymierne podstawy aplikacyjne w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria materiałowa.

Przedłożone do oceny zwarte, ale i kompleksowe opracowanie zostało przygotowane w formie oprawionego dzieła książkowego opatrzonego sygnowaniem Politechniki Warszawskiej

o objętości 201 stron. Atutem pracy jest estetyka, przejrzystość, dokładność i spójność opracowania. Struktura rozprawy nie odbiega od przyjętych standardów. Doktorant podzielił pracę na 10 części.

Pierwsza z nich, zatytułowana „Wprowadzenie”, zajmuje 2 strony i przedstawia ogólnie koncepcję rozprawy i jej cele a także skrótowo opis poszczególnych rozdziałów. Ciekawie Doktorant podszedł do czytelnika zadając na wstępie pytanie:” Co przyniesie dodatkowy przystanek izotermiczny wprowadzony w trakcie obróbki cieplnej pomiędzy austenitizowaniem a bainityzowaniem stali X37CrMoV5-1?...” Samo w sobie pytanie Autora skłania do eksploracji dalszych rozdziałów pracy i poszukiwania odpowiedzi.

Dalsza część pracy zawiera kolejno rozdziały 2 do 4 w których Doktorant opisuje przemianę bainityczną w stopach żelaza, dokonuje opisu zastosowania wygrzewania pośredniego w kontekście tworzenia struktur ferrytycznych o morfologii gwiazdzistej oraz wprowadza czytelnika w ideę stosowania obróbki międzyoperacyjnej, w postaci wygrzewania pośredniego pomiędzy austenitizowaniem a bainityzowaniem. Kolejny rozdział 4 poświęcony jest stali w gatunku EN X37CrMoV5-1. W nim znajdujemy charakterystykę badanej stali a także opis znanych sposobów obróbki dotychczas realizowanych na badanym gatunku celem uzyskania struktury bainitycznej. Dalsza część opracowania rozpoczyna się rozdziałem 5, w którym Autor przedstawia metody badań eksperymentalnych użyte w rozprawie, a także opisuje materiał użyty do badań jakim jest wskazana powyżej stal narzędziowa w stanie kutym w postaci prętów o średnicy 170mm o mikrostrukturze ferrytyczno – perlitycznej z wydzieleniami drobnych węglików i twardości wynoszącej 215 HV2.

Rozdział 6 stanowi w rozprawie właściwy początek tzw. pracy własnej Autora. Obejmuje on analizę wygrzewania pośredniego, nazywanego skrótowo w pracy IAT, w tym analizę przemian fazowych jakie zachodzą w stali podczas tej obróbki w badanej stali. Ma on na celu dokonanie wyboru, na podstawie szeregu badań w postaci: wyników symulacji komputerowych w programie JMatPro, badań dylatometrycznych, oceny mikrostruktury wraz z wynikami mikroanalizy składu chemicznego w mikroobszarach, wybór strategii obróbki cieplnej jaką będzie podążał Autor w dalszych krokach w rozprawie. W tym miejscu muszę stwierdzić, że choć opis dylatogramów i wyników symulacji JMatPro i ich interpretacja są dociekliwe i właściwe to w całym rozdziale 6 brakuje mi na wykresach wyraźnie zaznaczonych temperatur przemian fazowych, które ułatwiłyby analizę czytelnikowi i pozwoliły na dowiedzenie wiedzy i doświadczenia Autora w zakresie ich opracowywania. Ponadto można zauważyć, że mikrofotografie struktury wykonane techniką SEM, pomimo że wraz z analizą EDS wskazują na wydzielenia węglików nie są bardzo dobrej jakości. Gdyby Doktorant potraktował badania mikrostrukturalne na nieco głębszym poziomie nawet tylko techniką SEM można by dokonać analizy morfologii poszczególnych węglików, porównując je z morfologiami typowych węglików znanych w literaturze ich interpretacja byłaby łatwiejsza i bardziej dowodowa, a tym samym można byłoby zgromadzić ciekawy i jakościowo bardzo zadowalający zestaw wyników badań. W tym miejscu proszę Autora o szersze wyjaśnienie oraz podstawy naukowe

wprowadzenia w terminologii rozprawy pojęcia ZIPP czyli zaawansowania inkubacji przemiany perlitycznej. Proszę także o dyskusję w obszarze istotności wpływu samych węglików zlokalizowanych na PAGB, i nie tylko, na kinetykę przyspieszenia przemiany bainitycznej w kontekście celów jakie sobie postawił Doktorant w rozprawie, gdzie w żadnym z nich nie podano co dalej jest analizowane wpływu IAT na kinetykę przemiany bainitycznej, choć ta analiza stanowi bardzo dużą wartość rozprawy.

W rozdziale 7 rozprawy Autor dokonuje szczegółowych analiz wpływu IAT na przemianę bainityczną a ściślej mówiąc jak wskazano powyżej na jej kinetykę. Autor analizuje wpływ wygrzewania w temperaturze 800 °C, 700 °C, 600 °C i 500 °C na szybkość i postęp przemiany. Ciekawym spostrzeżeniem Autora jest wpływ martenzytu na przyspieszenie generowania przemiany o czym świadczy fakt, że wszystkie eksperymenty bainityzowania odbywały się w temperaturze poniżej Ms. Wyraźnie można stwierdzić wpływ fazy martenzytycznej na przyspieszenie przemiany bainitycznej. Autor ponadto dokonuje analizy wpływu IAT na przebieg przemiany bainitycznej i stwierdza, że zwiększenie czasu wygrzewania pośredniego przyspiesza zajście przemiany bainitycznej. Analizując szczegółowo przebiegi krzywych dylatometrycznych nasuwa się wiele ciekawych spostrzeżeń i uwag, które autor analizuje w rozprawie. Niemniej jednak również w tym miejscu nasuwa się pewna uwaga a zarazem pytanie: czym Autor wytłumaczyłby: a) niemal dwumodalny przebieg krzywej zależności szybkości przemiany od czasu bainityzowania i względnej zmiany długości dla IAT 800 °C 15 minut (rys 7.2), b) wyraźny dwumodalny przebieg krzywej zależności szybkości przemiany od czasu bainityzowania i względnej zmiany długości dla IAT 700 °C dla 40 minut (rys 7.9)?

Biorąc pod uwagę analizy prowadzone po każdej serii badań w tym rozdziale, w tym analizy mikrostruktury muszę stwierdzić, że Autor jest dociekliwym badaczem i nie boi się czasem poddać się autokrytyce co jest cenną zaletą. Oceniając opis przeprowadzonych badań mikrostrukturalnych chciałabym zapytać Autora, dlaczego w pracy w większości przypadków stosuje on skróty z języka angielskiego a jednak w wybranych przypadkach posługuje się skrótami z języka polskiego? Na przykład „Ferryt Wianuszkowaty” FW a PAGB.

W końcowej części rozdziału 7 Autor analizuje w jaki sposób i co mogłoby być przyczyną, nie do końca potwierdzonej w badaniach dylatometrycznych, hipotezy o wpływie tworzenia węglików podczas wygrzewania pośredniego na zarodkowanie i powstawanie ferrytu gwiaździstego. Owszem Autor wykazał przypadki obecności tej formy morfologicznej ferrytu, lecz nie do końca można uznać te eksperymenty za powtarzalne i gwarantujące jej powstanie. Autor poddaje pod analizę wiele innych prac między innymi teorii o niedopasowaniu sieci krystalicznej w tym o wtrąceniach niemetalicznych co jest cenne i wnosi o szerokiej analizie uzyskanych rezultatów w odniesieniu do innych badań w tym obszarze. To zasługuje na bardzo pozytywną ocenę dociekliwości naukowej Autora. Ciekawym również akapitem w rozprawie jest wskazanie prac z zakresu badań

nad polem naprężeń i odkształceń wokół wydzielen i jego wpływu na przemianę bainityczną a także przede wszystkim wskazanie i opis w jaki sposób lokalne zubożenie austenitu jako fazy macierzystej może wpływać na skrócenie czasu inkubacji przemiany bainitycznej i na jej przyspieszenie. Autor analizuje to zagadnienie pod kątem energii granic ziarn, czy granic międzyfazowych.

W rozdziale 8 Doktorant dochodzi do przeprowadzenia szeregu wariantów złożonych obróbki cieplnej badanej stali, celem wykazania wpływu wygrzewania pośredniego na jej właściwości mechaniczne oraz użytkowe. Jak sam wskazuje zadanie to było utrudnione z kilku powodów takich jak: wystąpienie zjawiska niepełnej przemiany, nie do końca uzgodnione schematy obróbki cieplnej w kontekście udziału objętościowego bainitu podczas danego wariantu IAT. Autor zdecydował o wyborze wariantów odzwierciedlających schematy jak we wcześniejszych badaniach dylatometrycznych – bainityzowanie w temperaturze 330 °C z wariantem drugiego bainityzowania w temperaturze 230 °C. Tak więc główny schemat obejmował schemat z IAT 15 minutowym w temperaturze 800 °C. Ten rozdział jest dobrze poprowadzony. Zestawienia szacowanych zmian udziału fazowego składników struktury są ciekawe i pozwalają ustalić podstawy dalszego projektowania parametrów obróbki cieplnej. Całość oceniam bardzo pozytywnie z tą jednak uwagą, że obserwacje mikrostruktury i jej opis są dość lakoniczne jak na tego typu zaawansowane prace. Na rys. 8.5 nie wskazano składników, o których pisze Autor na stronie 140.

W kolejnym rozdziale 8.3 Autor zaprojektował parametry obróbki cieplnej dla temperatury IAT tak jak miało to miejsce w rozdziale 7. Wskazał 16 wariantów jakie wykonał i analizował ich efekty w kolejnych rozdziałach swej pracy.

Rozdział 9 otwiera wprowadzenie oraz zestawienie 32 rysunków mikrostruktury badanej w pracy stali po różnych wariantach obróbki cieplnej. Autor w tym podrozdziale bardzo lakonicznie opisuje tzw. rozwój mikrostruktury w zależności od wariantu przyjętej obróbki cieplnej nie wskazując na konkretne przykłady charakterystyczne w mikrostrukturze, które to byłyby bardzo przydatne do oceny poprawności i skuteczności zastosowanego wariantu obróbki. Tutaj przykład: cyt. ...” Wśród wiązek bainitu można wyróżnić dwie populacje: z bainityzowania w 330 °C oraz bainityzowania w 230 °C. Widocznym jest, że w mikrostrukturze tworzą się skupiska wiązek bainitu z 300 °C (ciemniejsze obszary). Wiązki bainitu 230 °C rozpinają się pomiędzy wiązkami wyżjtemperaturowego bainitu, a także tworzą skupiska (jasne obszary) ...”. Czy opis cyt. ...” Wiązki bainitu często wchodzą ze sobą w kolizję tworząc w kontekście granic ziarn złożoną strukturę...” Proszę o wyjaśnienie szczegółów mikrostruktury jakie wskazuje Autor w tym opisie i przedstawienie/wskazanie ich dokładnie na obrazach mikrostruktury.

W dalszych podrozdziałach Autor analizuje wyniki właściwości mechanicznych badanej stali. Można zauważyć, że stal po obróbce cieplnej uwzględniającej przystanek izotermiczny ma wyraźnie niższą granicę plastyczności niż bez przystanku izotermicznego. Autor stwierdza, że jest to ciekawy wynik wbrew ogólnej inżynierskiej intuicji. Co możemy rozumieć przez takie stwierdzenie Autora?

Czy to dla badanej stali efekt pozytywny czy wręcz odwrotnie. Proszę o odpowiedź. Dalej w rozprawie znajdujemy wyniki badań twardości stali, krzywe ściskania a także na rysunku 9.16 krzywe zależności obciążenia od rozwarcia pęknięcia. Bardzo proszę Autora dysertacji o przedstawienie odpowiedzi na pytanie w tym zakresie: na jakich próbkach i z jakim karbem, zgodnie z podaną w metodyce normą prowadzono badania odporności na kruche pękanie. Jak generowano wstępne pęknięcie zmęczeniowe, jak rejestrowano długość szczeliny, jak dobrano zakres siły do generowania pęknięcia właściwego, z jakiej zależności obliczano wartość K_Q ? Czy dokonano walidacji wyniku w oparciu o kryteria dla $K_Q = K_{IC}$, skoro w wynikach autor prezentuje wartość K_Q ? To bardzo istotne wyniki a badania odporności na pękanie są nie częstą praktyką w pracach doktorskich stanowiąc jeden z ich składników. Bardzo proszę o syntetyczną analizę z czego wynikają takie różnice w uzyskanej wartości K_Q .

Autor dysertacji w rozdziale 9.4 przedstawia bardzo ciekawe wyniki wpływu udziału austenitu szczątkowego na własności mechaniczne stali. Wskazuje, że różny udział austenitu szczątkowego w zakresie od 25,6 do 33,9 % obj. Może mieć to znaczące przełożenie na właściwości badanej stali. W tym celu dokonuje porównania wyznaczonych w próbach rozciągania właściwości a także wyznaczonej pracy łamania z udziałem austenitu szczątkowego. Mając do dyspozycji dodatkowe możliwości Autor przeprowadził też serię eksperymentów, polegających na odkształceniu próbek z rosnącą wartością odkształcenia, w celu weryfikacji prezentowanych wyników i potwierdzenia zjawisk towarzyszących możliwej przemianie austenitu szczątkowego w martenzyt w wyniku efektu TRIP / SIMT. Jak można zauważyć Autor wykazał, że im większe odkształcenie tym udział austenitu szczątkowego maleje. Jest to cenny wynik badań. Autor sugeruje, że wyniku odkształcenia w stali zachodzi efekt SIMT – austenit szczątkowy przemianę się w martenzyt w wyniku przemiany indukowanej odkształceniem plastycznym. W tym miejscu nasuwa się uwaga a zarazem pytanie do Autora: czym wg Autora istotnie różnią się efekty TRIP i SIMP, że zasługują na ich wyraźne oddzielenie w dysertacji? Czy nie są one tożsame? Ponadto Autor nie do końca właściwie posługuje się w dysertacji pojęciami z zakresu przeróbki plastycznej. Nie można bowiem posługiwać się pojęciem odkształcenia plastycznego i jego wartości w %. Czymże jest pojęcie: odkształcenie plastyczne wynoszące 34%? Należy tutaj posługiwać się pojęciem wskaźnika odkształcenia, który faktycznie może mieć wartość procentową lub być wartością bezwymiarową. Bardzo proszę Autora o wskazanie jakim wskaźnikiem odkształcenia posłużył się w rozprawie i z jakiego wzoru obliczył wartości procentowe na wykresie 9.32.

Rozprawę kończy rozdział 10 zatytułowany podsumowanie i wnioski. W rozdziale tym Doktorant wysuwa 8 najistotniejszych wniosków płynących z jego badań. Wszystkie wnioski zostały sformułowane na podstawie szerokiego zakresu badań i wnikliwości oraz krytycznej analizy literaturowej w odniesieniu do badań własnych Autora.

Za najważniejsze osiągnięcia rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Grzegorza Łukaszewicza uznaję:

- przeprowadzenie wnikliwego przeglądu literaturowego prac z zakresu generowania nanostruktur bainitycznych w stalach i jego krytyczna analiza wraz z czerpaniem inspiracji do prowadzenia własnych eksperymentów,
- szczegółowy opis kinetyki przemiany bainitycznej, z uwzględnieniem autorskiej propozycji wpływu dodatkowego wygrzewania pośredniego pomiędzy austenityzowaniem a bainityzowaniem,
- postawienie i dążenie do eksperymentalnej weryfikacji hipotezy, zawierającej znaczenie tworzenia węglików jako fazy wspomagającej heterogeniczne zarodkowanie ferrytu gwiaździstego nie tylko na granicach ziarn fazy macierzystej,
- przeprowadzenie szerokiej serii eksperymentów obróbki cieplnej, po której dokonano oceny i badań właściwości mechanicznych stali,
- wykonanie i analiza serii dodatkowych eksperymentów wpływu ściskania na udział objętościowy austenitu szczątkowego i powiązanie wyników tych badań z efektami przemiany martenzytycznej generowanej odkształceniem plastycznym.

Konkludując, Doktorant zrealizował ciekawy poznawczo, istotny naukowo i warty uwagi materiał z badań. Część eksperymentalna recenzowanej rozprawy została bardzo dobrze przygotowana. Dysertacja jest poprowadzona w sposób logiczny a Autor dołożył starań, aby zadbać o przemyślany tok realizacji pracy, w tym także odpowiednie przygotowanie i prowadzenie eksperymentów. Załączone rysunki, tabele oraz schematy są przejrzyste i uzupełniają tekst rozprawy. Muszę zaznaczyć, iż w tekście rozprawy odnalazłam błędy literowe. Poza standardowymi uwagami pozwolę sobie w tym miejscu na małą dygresję w kierunku sformułowania „stosunkowo” jakiego dość często Autor używa w pracy. Proszę w przyszłości unikać tego typu sformułowania, gdyż jest ono nazbyt ogólne a ponadto nie wskazuje żadnego odniesienia w stosunku do czego coś może być „stosunkowo większe” lub „stosunkowo mniejsze” itp.

Pozytywnie na podkreślenie zasługuje w pracy przygotowany wykaz oznaczeń i skrótów, do którego recenzentka często sięgała podczas przygotowania tej opinii.

W tym miejscu pragnę zaznaczyć, że wszystkie kwestie dyskusyjne zapisałam w mojej recenzji i bardzo proszę Pana mgr inż. Grzegorza Łukaszewicza o pisemne odniesienie się do nich przed obroną rozprawy. Ponadto Autor będzie miał możliwość odniesienia się do wybranych uwag się podczas publicznej obrony:

Wspomniane w mojej recenzji pytania oraz uwagi, w tym dyskusyjne, nie umniejszają mojej pozytywnej opinii o recenzowanej pracy doktorskiej Pana mgr inż. Grzegorza Łukaszewicza.

Rozprawa doktorska Pana mgra inż. Grzegorza Łukaszewicza stanowi ambitną i kompleksową próbę opracowania nowej, zaawansowanej technologii obróbki cieplnej średniowęglowej stali stopowej typu chromowo-molibdenowego, ukierunkowaną na poprawę jej właściwości mechanicznych i odporności na pękanie. Autor skupił się na wprowadzeniu innowacyjnego przystanku izotermicznego (IAT) pomiędzy etapami austenitizowania a bainityzowania. Głównym celem było wywołanie kontrolowanego wydzielania węglików, które stanowią efektywne miejsca zarodkowania dla ferrytu bainitycznego i gwiaździstego, co ma bezpośredni wpływ na kinetykę przemiany bainitycznej oraz końcową mikrostrukturę stali. Rozprawa otwiera interesujące kierunki dalszych prac badawczych, w szczególności takie jak: zastosowanie koncepcji IAT do innych stopów narzędziowych i konstrukcyjnych w celu uzyskania nanobainitu lub ferrytu gwiaździstego; zgłębienie mechanizmów zarodkowania na mikrowydzieleniach, z wykorzystaniem zaawansowanych technik charakterystyki mikrostruktury, np. TEM, SEM+EBSD, czy też zaawansowanych badań synchrotronowych, optymalizacja obróbki cieplnej w kontekście przemysłowym, z uwzględnieniem czasu trwania, kosztów i powtarzalności; modelowanie numeryczne kinetyki przemiany bainitycznej, uwzględniające wpływ obecności wtrąceń niemetalicznych i lokalnych koncentracji pierwiastków.

Wniosek końcowy

Moja ogólna ocena pracy jest pozytywna. Doktorant rozwiązał problemy o znaczeniu analitycznym, poznawczym i naukowym. Wykazał się niezbędną wiedzą z zakresu przedmiotu pracy, stosowanych technik i metod badawczych oraz umiejętnościami połączenia wielu wyników badań i logicznego wnioskowania, w tym co bardzo istotne w powiązaniu z dostępnymi danymi z literatury.

Stwierdzam, że przedłożona do recenzji rozprawa doktorska Pana mgra inż. Grzegorza Łukaszewicza pt.:

„Wpływ wygrzewania pośredniego (IAT) na przemianę bainityczną oraz właściwości mechaniczne i użytkowe stali EN X37CrMoV5-1”

jest dziełem dysertabilnym i 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.).

W związku z tym wnoszę o przyjęcie rozprawy mgra inż. Grzegorza Łukaszewicza i dopuszczenie jej Autora do publicznej obrony.

Rozprawa mgra inż. Grzegorza Łukaszewicza wyróżnia się:

- oryginalnym podejściem naukowym,

- znaczną samodzielnością i dojrzałością badawczą,
- wysokim poziomem merytorycznym,
- zaangażowaniem i pasją, z jaką Autor podjął temat o dużym stopniu trudności i nowatorstwa.

Autor wykazał się dużą dociekliwością, odwagą w formułowaniu hipotez oraz wnikliwą analizą literatury i wyników eksperymentalnych. Całość pracy świadczy o dużym wkładzie osobistym i głębokim zrozumieniu tematyki, co zasługuje na bardzo pozytywną ocenę. Z pełnym przekonaniem można stwierdzić, że Autor zasługuje nie tylko na nadanie stopnia doktora nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria materiałowa, ale z uwagi na innowacyjność, kompleksowość i wysoki poziom realizacji, rozprawa w pełni zasługuje na jej i Autora wyróżnienie.

Magdalena B. Patonka