

dr hab. inż.
Magdalena Barbara Jabłońska

Katowice, 12 marca 2024

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Karola JANUSA

pt. „Nowoczesne stale o strukturze zapewniającej kombinację wysokich właściwości
wytrzymałościowych i plastycznych”

Uwagi formalne

Opinię niniejszą wykonałam na podstawie przesłanego do mnie pisma Pani Przewodniczącej Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa IMIM PAN w Krakowie dr hab. inż. Joanny Wojewody-Budki prof. Instytutu z dnia 15 stycznia 2024 roku.

Podstawą merytoryczną opracowania recenzji rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Karola Janusa, zgodnie z przyjętymi standardami oraz literą i duchem regulacji prawnych, były następujące kryteria:

- 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 struktura 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. Karola Janusa, jest skupienie się na zagadnieniu możliwości kształtowania i wytwarzania struktury nanobainitycznej w stali średniowęglowej w wyniku zastosowania innych niż dotychczas znanych w literaturze metod obróbki cieplnej uwzględniających wpływ naprężeń generowanych podczas izotermicznego wygrzewania stali w temperaturze wyższej niż M_s . Autor w swej dysertacji skupia się na zaproponowaniu innowacyjnej technologii jaką jest zastosowanie w zakresie przemiany bainitycznej wytrzymałości izotermicznego połączonego z wprowadzeniem dodatkowego odkształcenia sprężystego działającego na materiał, które to odkształcenie ma wspomagać rozwój mikrostruktury nanobainitycznej i prowadzić do skrócenia czasu potrzebnego do zainicjowania i zajścia przemiany.

W badaniach uwzględniających wiedzę ekspercką z zakresu klasycznego materiałoznawstwa oraz technologicznych aspektów kształtowania stali i stopów coraz częściej niezbędne jest nie tylko poleganie na utartych schematach wiedzy ale poszukiwanie połączeń pomiędzy podejściami klasycznymi, a wizją wykorzystania tzw. hybrydowych schematów mających na celu utworzenie nowej lub ulepszonej wersji dotychczas opracowanych technologii. Dotyczy to szczególnie znanych materiałów, takich jakimi są na przykład stale, uznawane od lat ale i nieustannie za podstawowy i uniwersalny materiał konstrukcyjny.

W tym przypadku, zagadnienia z jakim mamy do czynienia w dysertacji mgr inż. Karola Janusa jak najbardziej traktują zarówno klasyczne podejście materiałowe do sterowania składem chemicznym stali i wprowadzeniem do jej składu dedykowanych pierwiastków dla wywołania celowego efektu na przykład braku tendencji do wydzielania węglików w bainicie, jak też stworzenie nowego podejścia do znanej technologii wytwarzania struktur nanobainitycznych w stali poprzez długotrwałe wygrzewanie w temperaturze powyżej M_s , czyli w zakresie przemiany bainitycznej, jednak wspomagane dodatkowym naprężeniem.

Takie podejście do problemu jest nader interesujące i ważne. Szczególnie należy brać je pod uwagę w przypadku gdy, w dobie gospodarki uwzględniającej kryzysy ekonomiczne i społeczne poszukujemy nowych rozwiązań technologicznych pozwalających na zmniejszenie kosztów przetwarzania materiałów w oparciu o technologie bardziej ekologiczne, czyli uwzględniające możliwe ograniczenie użycia niezbędnej do procesów technologicznych energii.

W tym kontekście, wybór tematyki rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Karola Janusa jest w pełni uzasadniony. Ma to odzwierciedlenie zarówno w przyjętej wizji i strategii zaplanowania, zaprojektowania oraz realizacji poszczególnych etapów pracy, które Autor przemyślał, na podstawie bardzo dobrej literatury przedmiotu oraz wiedzy, doświadczeń i współpracy naukowej Pana Promotora rozprawy dr hab. inż. Łukasza Rogala prof. IMIM oraz Promotora pomocniczego Pana dr inż. Grzegorza Korpały w tym obszarze.

Przedłożona do recenzji praca doktorska wpisuje się więc swoją tematyką, w bardzo aktualne obszary badań podstawowych, nad znanymi ale wciąż uniwersalnymi materiałami jakim

i są stale, jednocześnie nakreślając wymierne podstawy aplikacyjne nowych technologii w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria materiałowa.

Prezentowane do oceny zwarte ale i kompleksowe dzieło zostało przygotowane w formie oprawionego wydruku komputerowego formatu A4 o objętości 109 stron, pisanego w języku polskim. Dużym atutem pracy jest estetyka, przejrzystość, dokładność i spójność opracowania. Struktura rozprawy nie odbiega od przyjętych standardów. Doktorant podzielił pracę na pięć głównych rozdziałów.

Rozdział I zatytułowany „Przegląd literatury” składa się z 5 podrozdziałów, które stanowią wprowadzenie i szczegóły dotyczące nowych stali o podwyższonej i wysokiej wytrzymałości w tym, stali o klasycznej strukturze bainitycznej oraz stali nanobainitycznych. Pierwszy z podrozdziałów charakteryzuje stale z grupy Advanced High Strength Steels. Autor analizuje w nim stale pierwszej i drugiej generacji, jednocześnie analizując przemianę martenzytyczną i jej zakresy temperaturowe. W podrozdziale drugim Autor opisuje przemiany fazowe austenitu przechłodzonego. Jak na rozprawę doktorską rozdział ten częściowo zawiera bardzo podstawowe informacje niemalże na poziomie pracy inżynierskiej lub magisterskiej i opracowany jest w dużej części na podstawie jedynie klasycznych źródeł literaturowych: Dobrzański, 2002, Blicharski, 2017 i Pacyna, 2003. Takie podejście Autora według recenzentki jest właściwe gdyż czytelnik ma możliwość dokładnego przeanalizowania klasycznych elementów metaloznawstwa, jakie można użyć podczas projektowania zarówno składu chemicznego, jak i projektowania procesów technologicznych. Często w rozprawach doktorskich spotyka się podejście, że wiedza taka jest zbyt podstawowa i nie zasługuje na cytowanie w rozprawach na tym poziomie. Uważam, że Autor wykazał tutaj właściwe podejście. Kolejny podrozdział pracy wprowadza czytelnika w szczegóły związane z projektowaniem i przebiegiem przemiany bainitycznej w stalach. Analizuje w nim Autor metaloznawcze podstawy wpływu składu chemicznego na transformację bainityczną austenitu przechłodzonego, omawia wpływ wyjściowej wielkości ziarna austenitu na kinetykę przemiany bainitycznej. Dalsze dwa podrozdziały, czyli 4 i 5 traktują na temat stali bainitycznych oraz nowych stali nanobainitycznych, ich właściwości i sposobów generowania struktury nanobainitycznej. Autor rozpatruje na podstawie dostępnej literatury możliwości wpływu dodatkowego naprężenia, czyli dodatkowej energii wprowadzanej do układu, która może wywołać podwyższenie temperatury przemiany bainitycznej, a tym samym, może wywołać przyspieszenie zarodkowania ferrytu bezwęglowego i austenitu szczątkowego wysokowęglowego kosztem martenzytu, co przełoży się na skrócenie czasu bainityzacji stali. Mgr inż. Karol Janus logicznie porusza się tutaj w zagadnieniach metaloznawstwa oraz projektowania procesów obróbki cieplnej, a także cieplno-plastycznej, przywołując w odpowiedni sposób dostępną podstawową i najnowszą literaturę. W całości przegląd literatury zajmuje 40 stron dysertacji.

Część badawczą rozpoczyna rozdział II rozprawy, zatytułowany „Teza i cel pracy”. Autor prezentuje tezę rozprawy o brzmieniu: *opracowanie składu chemicznego stali oraz warunków odkształcenia sprężystego w zakresie przemiany bainitycznej umożliwi otrzymanie stali o mikrostrukturze nanobainitycznej, przy jednoczesnym skróceniu czasu przemiany w warunkach izotermicznych i zachowaniu wysokich właściwości mechanicznych.*

Autor zdefiniował Cel pracy jako: opracowanie technologii wytwarzania stali o mikrostrukturze nanobainitycznej, pozwalającej na skrócenie czasu przemiany bainitycznej z kilku dni do kilkudziesięciu minut, która charakteryzować się będzie wysokimi właściwościami wytrzymałościowymi i optymalną plastycznością.

W tym miejscu uważam, że zarówno teza, jak i cel postawiono właściwie z tą jedną uwagą, iż trudno w warunkach jakie proponuje Autor mówić o optymalizacji plastyczności stali zwarzywszy na fakt, że nie dąży się w pracy do analizy skuteczności i efektywności efektów TRIP i TWIP jakie, jak wskazuje Autor są odpowiedzialne za wydłużenie stali na poziomie około 11%.

III część rozprawy doktorskiej mgr inż. Karola Janusa to część eksperymentalna. Zawiera ona trzy podrozdziały. W pierwszym z nich Autor opisuje materiał do badań i procedury badawcze. Ukazuje nam szczegóły związane z projektowaniem składu chemicznego stali, procesem odlewania wlewków do form ceramicznych, obróbką cieplno – plastyczną. Następnie Autor przekazuje nam informacje i podaje uzasadnienia do zaprojektowania dla stali zarówno konwencjonalnej, jak i wspomaganą dodatkowym naprężeniem obróbki cieplnej mającej za zadanie wywołanie przyspieszenia tworzenia mikrostruktury nanobainitycznej a także opisuje zastosowane w rozprawie metody badań.

Od podrozdziału 7 Autor zaczyna opis i analizę wyników badań. Wyjaśnia w jaki sposób projektował skład chemiczny tj. zawartość takich pierwiastków jak C, Si, Al, Mn i Cr między innymi w celu zapewnienia jak największej różnicy temperatur Bs i Ms. W podrozdziale 7.3.1. Autor przedstawia sposoby obróbki cieplnej jakie realizował w celu uzyskania mikrostruktury składającej się z ferrytu bezwęglowego i austenitu szczątkowego wysokowęglowego. Autor dokładnie omawia i charakteryzuje mikrostrukturę otrzymaną w wyniku zastosowanych technologii, analizuje zależności krystalograficzne, opisuje ilościowo parametry mikrostrukturalne, takie jak szerokość nanolistów ferrytu bainitycznego i austenitu szczątkowego, a także w tym na podstawie bardzo dokładnych badań XRD wykorzystujących promieniowanie synchrotronowe podaje szczegółowe parametry sieci składników struktury, oblicza gęstość dyslokacji poszczególnych faz, a także podaje zawartość węgla w austenicie szczątkowym. Wszystkie te wyniki badań są na wysokim poziomie merytorycznym i stanowią bardzo cenne źródło danych informacji i wiedzy o mikrostrukturze badanej stali. W powiązaniu z wiedzą literaturową, jaką Autor wprowadza w analizę wyników, można stwierdzić, że podrozdział ten jest najcenniejszym opracowaniem w rozprawie i stanowić może podstawę do dalszych wnikliwych badań, a także opracowania pewnych zależności w tym zakresie.

Dalej w rozprawie znajdujemy rozdział 8, w którym Autor dyskutuje i rozwija opis wyników uzyskanych badań. Analizuje wpływ zastosowanego odkształcenia na kinetykę przemiany bainitycznej, wskazując na znaczne skrócenie czasu przemiany, które wiąże autor z selekcją wariantów krystalograficznych ferrytu bainitycznego. Potwierdza w analizie, że selekcja taka następuje wskutek zastosowania naprężenia o wartości poniżej granicy plastyczności stali w temperaturze wytrzymania izotermicznego, a tym samym udowadnia spełnienie warunku związanego ze zmniejszeniem siły pędnej definiującej warunek wzrostu ferrytu bainitycznego i podwyższeniem rzeczywistej temperatury przemiany bainitycznej.

W tym miejscu chciałabym podnieść kilka kwestii dyskusyjnych do jakich Doktorant będzie mógł odnieść się na publicznej obronie Swej rozprawy.

1. Dlaczego w projektowanych procesach obróbki cieplnej w stali nb1 i w stali nb2 zastosowano odmienne ośrodki chłodzące tj. w jednym przypadku była sól (tutaj uwaga czy nie raczej roztwór soli?), a w drugim strumień wody. Czy miało to jakikolwiek wpływ na mikrostrukturę stali po chłodzeniu do temperatury, w której prowadzono izotermiczną obróbkę cieplną? Czy takie odmienne ośrodki chłodzące użyto tylko w celu uzyskania przechłodzenia do zadanych temperatur czyli 280 °C i 200 °C. Ponadto, czy właściwe jest stwierdzenie, że w stali nb1 po wytrzymaniu izotermicznym chłodzenie w wodzie realizowano dla uzyskania w mikrostrukturze nanobainitu?
2. Na stronie 60 Autor wskazuje, że technologia opracowana dla stali nB1 wpływa na izotropowy charakter mikrostruktury, podczas gdy dalej czytamy, że w obrębie jednego ziarna występują pakiety listew o różnej orientacji. Czy zatem można stwierdzić, że mikrostruktura jest izotropowa w obrębie pojedynczego ziarna?
3. Jak można powiązać zaproponowane schematy obróbki stali nb1 i nb2, zmiany zawartości węgla w austenicie szczątkowym dla stali nB2 w porównaniu do stali nB1 i wpływem rozciągania również na zamiany udziału objętościowego austenitu szczątkowego? Czy i jak uwzględnia się w tym przypadku efekt związany z przyrostem temperatury podczas próby rozciągania? Czy i jakie ma to przełożenie na właściwości mechaniczne i plastyczność badanych stali? Czy i jak można uwzględnić tutaj kontekst związany z bliźniakowaniem martenzytu powstałego w wyniku przemiany TRIP oraz kontekst bliźniakowania austenitu szczątkowego?

W rozdziale IV dysertacji Autor podsumowuje swoje osiągnięcia i rozważania proponując 5 rozbudowanych wniosków, jakie w wyniku przeprowadzonych badań sformułował.

Na podstawie szczegółowej analizy rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Karola Janusa, konkludując, stwierdzam, że Doktorant zrealizował ciekawy poznawczo, warty uwagi i stanowiący nowe podejście, nie prezentowane dotychczas w literaturze, materiał z badań. Zarówno część literaturowa, jak i 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, mikrofotografie, tabele oraz schematy są przejrzyste i dobrze uzupełniają tekst rozprawy. Ułatwieniem dla czytelnika jest przejrzysty wykaz, uwzględniający wszystkie zastosowane w rozprawie oznaczenia i skróty.

Rozprawę kończy wykaz literatury i spis rysunków prezentowanych w rozprawie. W wykazie literatury spośród 142 pozycji, nie odnalazłam tych współautorstwa Doktoranta.

Zdefiniowane w recenzji uwagi w tym pytania dyskusyjne, nie umniejszają mojej wysoko pozytywnej opinii o recenzowanej pracy doktorskiej Pana mgr inż. Karola Janusa.

Stwierdzam, iż przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska stanowi bardzo ciekawy materiał z badań i cenną bazę informacji dla dalszych, celowych prac w obszarze związanym z implementacją metod przyspieszania przemiany bainitycznej w celu uzyskiwania struktur nanometrycznych, w oparciu o hybrydyzację technologii i predykcję doboru parametrów technologicznych z użyciem symulatorów cieplno – mechanicznych. Dotyczy to szczególnie materiałów znanych, jakimi są klasyczne stale i stopy kształtowane dotychczas w energochłonnych procesach przebiegających w ekstremalnie długim czasie. Przedstawione i opisane w pracy wyniki badań nakreślają wiele ciekawych kierunków dalszych prac naukowych z tego obszaru.

Wniosek końcowy

Moja ogólna ocena pracy jest bardzo pozytywna. Doktorant rozwiązał problemy o znaczeniu materiałowym, analitycznym, poznawczym i naukowym. Wykazał się niezbędną wiedzą z zakresu przedmiotu pracy, tj. zastosowania wiedzy materiałoznawczej, technologii obróbki cieplnej i cieplno – plastycznej, wiedzy i umiejętności z zakresu programów wspomagających projektowanie materiałowe, wiedzy z obszaru technik badawczych, w tym zaawansowanych służących do szczegółowej analizy zjawisk mikrostrukturalnych i tekstury, uwzględniając i łącząc w Swej dysertacji wiele aspektów i zagadnień z obszaru interpretacji eksperymentalnych wyników badań. Umiejętnie porusza się w trudnych zagadnieniach oraz łączy wyniki prac modelowych z wynikami badań fizycznych, logicznie wnioskuje, w tym w powiązaniu z dostępnymi danymi z literatury.

Stwierdzam, że przedłożona do recenzji rozprawa doktorska
Pana mgr inż. Karola Janusa pt.:

„Nowoczesne stale o strukturze zapewniającej kombinację wysokich właściwości wytrzymałościowych i plastycznych”

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** mgr inż. Karola Janusa i **dopuszczenie jej Autora do publicznej obrony**. Ponadto uznaję, że dysertacja posiada wysoką wartość merytoryczną i naukową, stąd też wnoszę o jej wyróżnienie.

Magdalena B. Fabrowska