



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE
AGH UNIVERSITY OF SCIENCE
AND TECHNOLOGY

Dr hab. inż. Janusz Krawczyk, prof. AGH

Kraków, dn. 9.06.2023

Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica

Al. A. Mickiewicza 30

30-059 Kraków

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Klaudii Klimaszewskiej

pt. „**Stabilność mikrostruktury i właściwości mechanicznych żarowytrzymałych stali austenitycznych Super 304H i HR3C**”

Niniejsza recenzja została opracowana na zlecenie Kierownika Dyscypliny Naukowej Inżynieria Materiałowa, Pana dr. hab. inż. Rafała Prusaka, prof. PCz, w związku z uchwałą Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Materiałowa Politechniki Częstochowskiej z dnia 23 marca 2023 roku (pismo z dnia 12 kwietnia 2023 roku o numerze R-WIPiTM.BOD.510.5.2020 l.dz. 19/2023).

1. Ogólna charakterystyka pracy

Praca doktorska mgr inż. Klaudii Klimaszewskiej, napisana pod promotorstwem prof. dra hab. inż. Grzegorza Golańskiego oraz promotora pomocniczego dra inż. Pawła Wieczorka, dotyczy charakterystyki wydzielen w dwóch stalach austenitycznych przewidzianych do zastosowania w energetyce węglowej przy uzyskiwaniu zwiększonej sprawności instalacji. W związku z zastosowaniem stali 304H i HR3C badaniami objęto ich stabilność mikrostrukturalną w kontekście długoterminowej ekspozycji na warunki ich pracy w

urządzeniach energetycznych. Określono również wpływ zmian mikrostrukturalnych na parametry mechaniczne materiału skupiając się na twardości oraz udarności.

Praca ma układ klasyczny i składa się z 2 zasadniczych części tj. przeglądu piśmiennictwa oraz części badawczej odnoszącej się do zrealizowanych badań własnych. Praca zawiera również streszczenie, wprowadzenie, spis rysunków oraz spis tabel. Poprawnie zbalansowano przegląd piśmiennictwa z częścią badawczą pracy, a przy tym dobrze dobrano materiał ilustracyjny i tablicowy, zarówno pod względem jakościowym, jak i ilościowym. W części określonej jako „wprowadzenie” wskazano paradygmat pracy. Praca liczy 116 stron i składa się z 10 rozdziałów. Rozdziały mają ciągłą numerację niezależnie od ich umieszczenia w przeglądzie literatury (rozdz. 1-3) czy też w badaniach własnych (rozdz. 4-10). Praca zawiera 100 rysunków (niejednokrotnie złożonych z więcej niż jednego slajdu lub wykresu) i 10 tabel. W pierwszym rozdziale dokonano charakterystyki porównawczej dwóch badanych stali na podstawie danych literaturowych. Charakterystykę tą podzielono na zagadnienia dotyczące składu chemicznego oraz na dane dotyczące mikrostruktury i właściwości żarowytrzymałych. W drugim rozdziale scharakteryzowano przebieg degradacji mikrostruktury i jej wpływ na właściwości mechaniczne żarowytrzymałych stali stosowanych w energetyce. Uzasadnienie tematu pracy jest zawarte w trzecim rozdziale. Czwarty rozdział dotyczy tezy i celów pracy. W rozdziale piątym zaprezentowano zakres wykonanych badań. Materiał do badań został przedstawiony w rozdziale szóstym. Opis metodyki badań został zawarty w rozdziale siódmym, który został podzielony na dwa podrozdziały dotyczące badań mikrostrukturalnych oraz badań właściwości mechanicznych. Drugi podrozdział rozdziału siódmego podzielono na zagadnienia pomiaru twardości oraz prób udarnościowych. Wyniki badań i ich analizę zawarto w rozdziale ósmym. Został on podzielony na dwa podrozdziały zawierające wyniki badań mikrostrukturalnych oraz właściwości mechanicznych w stanie dostawy i po procesie starzenia. Pierwszy podrozdział rozdziału ósmego dotyczący badań mikrostruktury podzielono na cztery części dotyczące mikrostruktury w stanie dostawy, mikrostruktury po procesie starzenia, analizy stereologicznej wydzieleni fazy σ oraz analizy statystycznej wielkości ziarna. Rozdział dziewiąty zawiera podsumowanie a dziesiąty zawiera stwierdzenia i wnioski. Sformułowano 6 wniosków.

Przyjęty klasyczny układ pracy należy ogólnie przyjąć za właściwy. Istotną cechą prowadzonej narracji jest to, że Doktorantka wykonała porównanie obu stali dla każdego poruszanego zagadnienia (a nawet czasami dla wyników odnoszących się do konkretnych temperatur czy



też czasów starzenia). Pomimo pozytywnych aspektów takiego rozwiązania znalazły się również negatywne jego skutki. Często trudno było stwierdzić, do której stali odnosi się dany komentarz.

2. Ocena doboru tematyki i zakresu pracy

Przyjmuje jako uzasadnione argumenty, którymi kierowała się doktorantka przy wyborze tematyki badawczej. Należy uznać jako bardzo zasadne wykonanie badań dla nowych stali stosowanych dla energetyki. Pozwala to uznać koncepcję pracy jako mającą potencjał do wniesienia elementów nowości do dziedziny naukowej inżynieria materiałowa. Ewidentne jest też utylitarne znaczenie uzyskanych wyników badań.

Uważam, że problematyka naukowa podjęta w opiniowanej pracy doktorskiej Pani Klaudii Klimaszewskiej jest aktualna z punktu widzenia zadań stawianych przed inżynierią materiałową w kształtowaniu własności materiałów dla energetyki w warunkach super ultra-nadkrytycznych. Wpisuje się w aktualny nurt badań naukowych.

Sformułowano następującą tezę pracy: „**Głównym mechanizmem degradacji stali Super 304H i HR3C jest uprzywilejowane wydzielanie faz wtórnych wewnątrz i na granicach ziaren oraz zmiana ich morfologii**”. Tak sformułowaną tezę pracy można ocenić jako poprawną choć jest ona dosyć oczywista. Wydaje się że bardziej adekwatnym byłoby zawarcie w tezie pracy założenia, że procesy wydzielania będą realizowane w z pewną kinetyką oraz w określonej sekwencji. Rozwinięciem tezy jest postawiony cel pracy doktorskiej tj. **uzyskanie nowej i poszerzenie dotychczasowego stanu wiedzy w temacie stabilności mikrostruktury i właściwości mechanicznych nowoczesnych żarowytrzymałych stali austenitycznych: Super 304H i HR3C**. Należy jednak zaznaczyć, że Doktorantka wyprzedzająco stwierdza, że przeprowadzone badania umożliwiły **określenie sekwencji wydzielen** dla badanych stali oraz **zbudowanie na ich podstawie praktycznych wykresów czas – temperatura – wydzielanie**. Odpowiada to ww. koncepcji poszerzenia tezy pracy. Może się wydawać, że zakres przygotowanego do badań materiału jest ubogi (tylko dwie stale) lecz badaniami objęto stany dla trzech temperatur oraz ośmiu czasów starzenia co daje bogaty materiał badawczy wystarczający dla realizacji rozprawy doktorskiej i uzyskania komplementarnych poglądów na badane zjawiska.

3. Opis metodyki badawczej

Do zweryfikowania postawionej tezy badawczej Autorka użyła dwóch stali austenitycznych 304H i HR3C. Zakres wykonanych badań przedstawiono w sposób uporządkowany zestawiając go nawet w postaci diagramu na rysunku 38. Zweryfikowano skład chemiczny badanych stali (błędnie przypisany do badań strukturalnych choć na pewno z nimi powiązanej). Wykonano szeroki zakres badań mikrostrukturalnych. W tym badania przy użyciu mikroskopii świetlnej (błędnie określonej jako mikroskopia optyczna), skaningowej mikroskopii elektronowej (w bardzo skromnym zakresie wykorzystując mapy rozkładu pierwiastków stopowych (tylko raz i chyba tylko dla TEM) oraz bez zastosowania techniki EBSD) jak i szerokiego zakresu badań przy użyciu transmisyjnej mikroskopii elektronowej (bez zastosowania mikroskopii wysokorozdzielczej ale z mikroanalizą składu chemicznego, dyfrakcji elektronowej i obserwacji w jasnym i ciemnym polu widzenia). W przypadku analiz z użyciem TEM brakuje pełnych zestawień dla danych obszarów analizy, w których byłoby obrazowanie w jasnym polu widzenia, ciemnym polu widzenia (w tym z zaznaczonym refleksem, dla którego było obrazowanie w ciemnym polu widzenia), dyfraktogramem oraz widmem EDS. W przypadku wielu dyfraktogramów zastosowano wskaźnikowanie płaszczyzn krystalograficznych, od których pochodziły refleksy sieci odwrotnej. Mikroskopia świetlna posłużyła do ilościowej oceny cech morfologicznych wydzieleni oraz ziarna osnowy austenitycznej.

W przypadku badań właściwości mechanicznych obejmowały jedynie pomiary twardości oraz badania udarności. Zakres zastosowanych badań własności mechanicznych tłumaczono ograniczoną ilością dostępnego materiału. Jednakże, dla umożliwienia bardziej dogłębnej analizy wpływu degradacji mikrostruktury na parametry mechaniczne stali można było dodatkowo wykonać obserwacje fraktograficzne przełomów (również z analiza drogi rozwoju pęknięcia na zglądach metalograficznych prostopadłych do powierzchni przełomu) a zwłaszcza wykonać badania z zastosowaniem Small Punch Test.

Na szczególną uwagę zasługują skonstruowane wykresy czas-temperatura-wydzielanie. Niestety w rozprawie bardzo słabo opisano sposób w jaki dokonano konstrukcji ww. wykresów.

W badaniach zupełnie pominięto aspekt utleniania warstwy wierzchniej, co jest o tyle zrozumiałe że warunki (atmosfera) starzenia były odmienne od warunków pracy badanych stali.

Podsumowując, stwierdzam że pomimo ww. uwag do metodyki badawczej oceniam ją pozytywnie jako wystarczającą do zrealizowania założonego celu pracy i w wystarczającym zakresie adekwatną dla wymaganego poziomu rozprawy doktorskiej.

4. Ocena merytoryczna pracy

Oceniając pracę od strony merytorycznej, należy stwierdzić, że w poprawny sposób zaplanowano eksperymenty oraz dobór technik badawczych. Autorka wykazała się wystarczającą umiejętnością w realizacji badań, ich opracowywaniu oraz interpretacji uzyskanych wyników. Praca w zakresie merytorycznym jest skonstruowana logicznie. Pozwoliło to Doktorantce na zaproponowanie sekwencji procesów wydzielania w badanych stalach oraz wskazani kinetyki tego wydzielania. Jest to niewątpliwie oczekiwaną w rozprawach doktorskich nowością uzupełniającą wiedzę z zakresu inżynierii materiałowej. Praca napisana jest w sposób generalnie staranny choć Doktorantka nie ustrzegła się pewnej liczby błędów w tym zakresie. Począwszy od przeglądu literatury (Autorka wystarczająco wprowadziła w zagadnienie badawcze) przez zastosowaną metodykę badań (w sposób dobry objaśniono co, jak i w jakim celu wykonano) po opis wyników badań własnych i analizę osiągniętych wyników badań własnych (osiągając zamierzony cel badawczy jak i weryfikując postawioną tezę) udało się zrealizować rozprawę doktorską na wystarczającym poziomie naukowym. Ogólnie pracę doktorską mgr inż. Klaudii Klimaszewskiej oceniam pod względem merytorycznym jako spełniającą wymagania. Jednak podczas jej lektury nasuwają się pewne spostrzeżenia natury polemicznej odnoszące się do zagadnień merytorycznych oraz uwagi szczegółowe (natury edycyjnej oraz inne drobne uwagi), które zostały niżej przedstawione.

5. Polemiczne uwagi merytoryczne

1. Często bardzo nieprecyzyjnie stosowane jest pojęcie korozji do zjawiska utleniania wysokotemperaturowego.
2. Nie zauważono, a przynajmniej nie przedyskutowano ciekawego zjawiska ułatwionego zarodkowania faz na fragmentach niekoherentnych granic bliźniaków wyżarzania, np. rys. 47b, 48b.
3. Na str. 13 podano, że stal typu 310 ze względu na zawartość krzemu do 1,5% charakteryzuje się dobrą odpornością na korozję, co w odniesieniu do stwierdzenia

„do” jest nielogiczne a ponadto krzem jest składnikiem, który zwiększa odporność bardziej na utlenianie wysokotemperaturowe niż korozję.

4. Na schemacie na rys. 9 podano Cr, Mo i W jako pierwiastki substytucyjne w stalach austenitycznych jest to prawda lecz dla małej zawartości węgla i powinny być raczej zaliczane do pierwiastków wiążących węgiel. Zwłaszcza że w badaniach własnych wskazywane są wydzielenia węglików $M_{23}C_6$, w skład których wchodzi zwłaszcza Cr. Podana klasyfikacja może w tym zakresie wprowadzać w błąd. Podobnie jest w przypadku W, Mo i V na rys. 25. Podobna nieprecyzyjność jest również na str. 30.
5. Na stronie 15 podano, że zawartość chromu powyżej 20% pogarsza spawalność tych stali oraz przyczynia się do obniżenia właściwości plastycznych, co bez dodatkowego komentarza należy uznać za zbyt daleko idące uogólnienie.
6. Na rys. 20 (oznaczonym błędnie jako rys. 7) dla wykresów odnośnie węglików $M_{23}C_6$ oraz fazy NbCr nie logiczna jest wartość zero dla zerowego udziału azotu (zwłaszcza dla $M_{23}C_6$ jest to nielogiczne ze względu na brak związku azotu z węglikiem oraz chromem w stalach) – jak można osiągnąć zerową zawartość azotu? Są to dane z literatury lecz nie zwalnia to autora z analizy krytycznej takich danych.
7. Podanie w charakterystyce boru w tabeli 3, że obniża on udarność jest zdecydowanym niedomówieniem, które może istotnie wprowadzić w błąd.
8. Na stronie 24 dla podanej stechiometrii NbX opisywane wydzielenia są jako węgliki podczas gdy tak zdefiniowana stechiometria wymusza nazywanie tych wydzieleni węglikoazotkami. Podobny problem jest w podpisie pod rys. 32 jak i rys. 33 gdzie na schemacie jest NbN czyli azotek.
9. Rys. 23. - bliźniaki żarzenia na schemacie są zdecydowanie zbyt wąskie.
10. Na str. 27 opisując rodzaje umocnienia należało rozróżnić wydzielenia koherentne i niekoherentne z osnową. Rys. 26 dotyczy właśnie wydzieleni koherentnych z osnową. Podobnie na str. 31 opisując koherencją nie używa się tego pojęcia.
11. Stwierdzenie na str. 28, że lepsza odporność korozyjna stali austenitycznych wynika z licznych i łatwych dróg dyfuzji, jakimi są granice ziaren, jest dużym skrótem myślowym i wymagałoby komentarza. Ponadto odnosi się to do rys. 27, który nie dotyczy korozji lecz utleniania wysokotemperaturowego.
12. Dlaczego selektywny wzrost ziarna ma wpływać na pogorszenie odporności korozyjnej i odporności na utlenianie? (str. 32).

13. Nie dokonano dyskusji składu chemicznego badanych stali pod względem umiejscowienia zawartości węgla i pierwiastków stopowych w przedziałach przewidzianych normą i wpływu tego czynnika na podatność na starzenie oraz właściwości mechaniczne.
14. Odnośnie materiałów w stanie dostawy wprowadzono pojęcie niekoherentnych bliźniaków wyżarzania (str. 47; rys. 40); czy bardziej właściwym określeniem nie byłoby: bliźniaki z częścią granic niekoherentnych? Gdyby granice bliźniaków były w całości niekoherentne to trudno byłoby te twory nazywać bliźniakami.
15. Na str. 48 wspomina się, że wzrost ilości bliźniaków w tych stalach może być jedną z metod podwyższenia ich odporności na korozję międzykrystaliczną odwołując się do pozycji literaturowej [124]. W tej pozycji literaturowej nie znaleziono takiej informacji.
16. Od str. 51 wspomina się, że wydzielenia tworzą tzw. ciągłą siatkę po granicach ziaren, jednakże o ile tworzenia się siatki wydzieleni po granicach ziaren jest bezdyskusyjne to trudno zgodzić się, że jest ona ciągła.
17. Dla obrazu na rys. 53 należało wskazać na jakiej granicy widoczne są wydzielenia węglików $M_{23}C_6$ (w tym przypadku rzeczywiście jest to ciągła siatka wydzieleni).
18. Na widmie EDS z rys. 72 odnoszącym się do analizy węglika $M_{23}C_6$ widoczne są głównie piki od miedzi, co nie zostało wyjaśnione. Czy jest to pomyłka, czy też efekt artefaktu z układu optycznego mikroskopu, czy też obszarem analizy objęto inne wydzielenie nie będące węglikiem $M_{23}C_6$?
19. Jako w pełni właściwe wykorzystanie analizy w ciemnym polu widzenia można wskazać to zamieszczone na rys. 73 i odnoszące się do wydzieleni fazy σ . Pozostałe obrazy z wykorzystaniem tej techniki mają znacząco mniejszą jakość analityczną zwłaszcza przy braku obrazowania jednocześnie w jasnym polu widzenia tego samego obszaru.
20. Zastosowana binaryzacja obrazów mikrostruktury (rys. 74) wskazuje na możliwość istotnego błędu systematycznego, co nie należy uznać za istotne dla analizy zmian mikrostrukturalnych ale już istotne dla analizy wartości bezwzględnych podczas gdy te wartości podawane są z bardzo dużą dokładnością, ignorując określony błąd pomiaru.
21. Na wykresach na rys. 75-77 jest zapis średnia średnica fazy σ a powinno być tak jak w podpisie pod tymi rysunkami tj. średnia średnica wydzieleni fazy σ . Ponadto zastosowano na osi Y dziwną podziałkę tj. bez wartości całkowitych ale dla pozycji 25 setnych. Oś czasu powinna być logarytmiczna aby właściwie wskazać dynamikę zmian

(co dotyczy również wykresów na rys. 87 i 88 odnoszących się do zmian twardości oraz wykresów na rys. 89-94 odnoszących się do zmian udarności). Podawanie tylko wartości średniej jest mniej miarodajne dla analizy niż np. podanie rozkładu zmienności średnicy wydzielenia.

22. W tabelach 9 i 10 nie podano oszacowań błędów pomiarów dla V_V i d_{sr} . Szkoda że nie zestawiono zmian dla V_V na wykresach.
23. Zakres oszacowanego błędu na rys. 85 wskazuje na zmienność w zakresie błędu, podczas gdy w tekście podawane są wartości z dokładnością części dziesiętnych mikrometra.
24. Na podstawie składu chemicznego i wielkości ziarna obliczono R_m oraz $R_{p0,2}$ natomiast nie odniesiono tych obliczeń do R_m , które można było obliczyć z pomiaru twardości.
25. Str. 85. „... obniżeniu umocnienia pochodzącego od rozpuszczonych w osnowie atomów.” - atomy nie mogą się rozpuszczać.
26. Jakim mechanizmem ma zachodzić wnioskowany na str. 88 zanik bliźniaków w mikrostrukturze i czy chodzi tu o bliźniaki wyżarzania?
27. Na str. 93 stwierdza się, że część z cząstek wydzielona była na dyslokacjach i w pobliżu błędów ułożenia podczas gdy nie przedstawiono BU w dokumentacji z TEM.
28. Na schemacie na rys. 96 oznaczone są fazy Z^I i Z^{II} podczas gdy w dokumentacji zawartej w pracy pokazywana jest tylko faza Z. Oczywiście wiadomo, że chodzi o dwa rodzaje wydzieleni – prawdopodobnie pierwotne i wtórne lecz to nie było dyskutowane wcześniej a podawane jest dopiero w podsumowaniu. Dotyczy to również wniosku nr 1 w rozdz. 10.
29. Nie wyjaśniono w sposób precyzyjny jak skonstruowano wykresy z rys. 97 i 98 będące kwintesencją tego doktoratu. Niezrozumiałe jest w tym przypadku podawanie punktów odpowiadających parametrom czasowym i temperaturowym, dla których wcześniej nie wskazywano aby były wykonane badania.
30. Różnica w wynikach dla danych literaturowych i badaniach własnych przedstawiona na rysunku 99 może wynikać z wykonania podwymiarowych próbek udarnościowych.
31. Na schemacie z rys. 100 wskazane są procesy zaniku bliźniaków oraz procesy rekrytalizacji. Niezrozumiałe jest jakim mechanizmem miało by to zachodzić. Skąd w przesyconym materiale uzyskano odkształcenie, które pozwoliłoby na uruchomienie

procesu rekrytalizacji (może tzw. zgmiot fazowy?). Może to jest proces rozrostu ziarna a nie rekrytalizacji – to dwa zupełnie odmienne procesy.

32. Nierozumiwała jest motywacja dla zamieszczenia wniosku nr 6 – jeśli się z nim zgodzić to dlaczego wzmiankowanego wyznaczenia korelacji nie wykonano już w tej pracy?

6. Uwagi redakcyjne i szczegółowe

1. Najistotniejszym błędem redakcyjnym jest podanie na rys. 47c dwóch tych samych obrazów mikrostruktury obok siebie oraz trzeci raz (dla innych warunków starzenia) tego samego obrazu na rys. 61a.
2. W niektórych miejscach niekonsekwentnie stosowana jest interpunkcja (str. 5. stosowanie przecinka lub średnika).
3. Str. 5. „Osiągnięcie powyższych celów wiążą się z ...”.
4. Str. 6. „... zmniejszenie zużycia energii pierwotnej **23 %** ...” (jednostki niealfanumeryczne zapisujemy bez odstępu). Str. 45. „... (**45g** KOH w 60 ml H₂O) przy następujących parametrach prądowo – napięciowych **5V** w czasie **3s.**”; str. 46. „... o wymiarach **10x7,5x55mm**, z naciętym ...” (jednostki alfanumeryczne zapisujemy z odstępem).
5. Str. 8. – brak kropki na końcu zdania.
6. Str. 9. „... **para metrów pary**...”; „... odpornością na utlenianie w parze wodnej stali martenzytycznych typu **9%Cr**. Z kolei, stale martenzytyczne zawierające ok. **12%Cr** ...”.
7. Str. 10. „... oraz małą **odpornośćna** zmęczenie cieplne ...”.
8. Str. 20. „... Azot **korzystanie** wpływa na ...”.
9. Str. 20. Zamiast „Rys. 20.” jest „Rys. 7.”.
10. Str. 31. „... czynnikami **inicjującym** proces ...”; „... składu **chemiczny** stali”; „... graficznie za **pomocną** wykresów ...”.
11. Str. 32. „**Korzystanie** wpływa to na ...”.
12. Str. 34. „... niewielkiego udziału objętościowego wynoszącego 0,020 ÷ 0,025 zapewniają ...”; czego 0,020 ÷ 0,025 (%?).
13. Str. 35. „... zarodkowania **wydzieleni** tej fazy ...”; „...M₂₃C₆ co **związane** się ...”; „... może **korzystanie** wpływać na ...”.
14. Str. 38. „... co jest działaniem niezwykle **kosztowym**.”.
15. Str. 39. „... wpłynie na zasadność działań **rozwojowym**, głównie ...”.

16. Str. 40. „... stali austenitycznych **m. in.** Super 304H ...”.
17. Str. 46. „... materiału badawczego ocenę **wpływ** długotrwałego starzenia badanych stali ...”.
18. Str. 51. „... w stalach austenitycznych związane **jest ograniczoną** rozpuszczalnością węgla ...”; „... jest z ich **niską** (powinno być – *małą*) stabilnością termodynamiczną ...”; „... zarówno w stali Super **304H** (*jak*) i **HR3C**(,) inną pod względem ...”.
19. Stosuje się różny zapis „in-situ”, „in – situ” oraz „in situ”.
20. Wymiennie stosuje się odstęp lub go nie stosuje pomiędzy tysiącami a setkami, np. 5 000 i 5000.
21. Strzałki często nieprecyzyjnie pokazują wydzielenia, np. rys. 59b i 61b.
22. Str. 65. „... składzie chemicznym dodatek miedzi (**tabela 1, strona 45**) pierwszym zaobserwowanym ...” – tab. 1 jest na str. 13 a na str. 44 jest tab. 7 – obie tabele są adekwatne do ww. opisu lecz żadna z nich nie jest na str. 45.
23. Str. 69. „... tworzących fazę σ jest **znacząca** wolniejsza niż dyfuzja ...”.
24. Str. 79. „... z czynników wpływających na obniżenie **ciągliwość** tych stali ...”.
25. Mapy rozkładu średniej średnicy ziarna austenitu zamieszczone na rys. 78-81 powinny dotyczyć tych samych przedziałów oraz być zakodowane kolorystycznie tak aby np. skala kolorów od „ciepłych” do „zimnych” odpowiadała przedziałom wielkości ziarna, co ułatwiłoby analizę.
26. Str. 82. „... struktury w badanych **stali** w danym zakresie ...”.
27. Str. 84. „... do stali Super 304H (tabela 7, 8, strona **45**), poprzez ...” – tabele 7 i 8 znajdują się na stronie 44.
28. Str. 92. „Ograniczenia związane z ochroną **środkowiska** oraz uwarunkowania ...”; “... do grupy **stali drobnoziarnistych stali**”.
29. Str. 93. „Cząstki tej fazy **ujawnono** nie tylko ...”; błędnie stosuje się określenie “obniżaniu” zamiast “zmniejszaniu” oraz “komputerową analizę” zamiast “analizę cyfrową”.
30. Str. 94. “... drobnoziarnista struktura przyspiesza wydzielenie się tej fazy (tabela 10, **11**).” – nie ma w pracy tabeli 11; w tym przypadku chodzi o tabele 9 i 10.
31. W podpisie pod rys. 99 i na wykresie zamieszczonym na tym rysunku jest odnośnik literaturowy [169], którego nie ma w pracy – prawdopodobnie chodzi o [159].
32. Str. 98. „... stali wymaga **przeprowadzenie** dalszych badań ...”.

33. Zaobserwowano również błędy redakcyjne w bibliografii, której zestawienie dodatkowo nie jest w pełni ujednolicone.

7. Podsumowanie odnośnie przedstawionych uwag

Wszystkie przedstawione uwagi mają charakter dyskusyjny oraz uzupełniający i nie wpływają na moją pozytywną ocenę całości pracy. Duży zakres przedstawionych uwag oraz ich szczegółowość miały na celu stworzenie Autorce możliwości swobodnego ich wykorzystania dla własnych celów w dalszym rozwoju naukowo-badawczym. Uzyskane wyniki badań, sposób ich zaprezentowania oraz ich interpretacja potwierdza, że Autorka wystarczająco przestudiowała literaturę i potrafi poruszać się w tematyce stali austenitycznych do zastosowań w energetyce, opanowała wymagające techniki badawcze oraz sposoby prezentowania wyników. Moim zdaniem Autorka poradziła sobie z rozwiązaniem sformułowanego problemu badawczego, osiągnęła cel badawczy i potwierdziła postawioną tezę. Praca zawiera dobrze dobrany zakres analizy literaturowej odnoszący się do badanego zagadnienia, zawiera nowe wyniki badań w dziedzinie naukowej inżynieria materiałowa oraz zawiera dobrą dyskusję prezentowanych wyników badań. Wszystko powyższe wyczerpuje niezbędne znamiona wymagane dla rozprawy doktorskiej.

8. Wniosek końcowy

Podsumowując stwierdzam, że rozprawa jest dobrze ulokowana w obecnym stanie wiedzy, została wykonana i napisana prawidłowo oraz przy użyciu właściwie dobranych technik badawczych. Zamieszczone uwagi szczegółowe nie mają istotnego wpływu na moją pozytywną opinię o całości pracy.

Po zapoznaniu się z rozprawą doktorską mgr inż. Klaudii Klimaszewskiej pt.: „Stabilność mikrostruktury i właściwości mechanicznych żarowytrzymałych stali austenitycznych Super 304H i HR3C” stwierdzam, że spełnia ona wymogi stawiane pracom doktorskim zawarte w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (tj. dz. U. z 2020 roku poz. 85, z późniejszymi zmianami) oraz wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Częstochowskiej o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

