

Dr hab. inż. Krzysztof Radwański
Sieć Badawcza Łukasiewicz-Institut Metalurgii Żelaza
ul. Karola Miarki 12-14
44-100 Gliwice

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Liwii Sozańskiej-Jędrasik

pt.:

„Struktura i własności nowo opracowanych stali wysokomanganowych typu TRIPLEX”

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Janusz Mazurkiewicz, prof. P. Śl.

Promotor pomocniczy: dr inż. Wojciech Borek

1. Przedmiot oceny

Recenzja dotyczy rozprawy doktorskiej liczącej 206 stron, 168 rysunków i 36 tablic. Praca została napisana w klasycznym układzie. Składa się z spisu treści, wykazu ważniejszych skrótów i oznaczeń, wstępu, przeglądu literatury, tezy, celu i zakresu pracy, materiału i metodyki badań, wyników badań i ich omówienia, podsumowania wraz z wnioskami, załącznika, literatury oraz streszczenia w języku polskim i angielskim. Wykaz literatury zawiera 193 pozycje o kluczowym znaczeniu dla poruszanej tematyki, z czego 102 zostały opublikowane po roku 2010, co świadczy o aktualności podejmowanej w pracy tematyki. Doktorantka jest współautorem ośmiu pozycji, we wszystkich występując jako pierwszy autor. Pięć z nich zostało opublikowanych w czasopismach z listy Journal Citation Reports, posiadających wskaźnik Impact Factor.

Problematyka rozprawy doktorskiej dotyczy zagadnień związanych ze stalami wysokomanganowymi typu TRIPLEX, zawierającymi 23-30% Mn, 9-12% Al oraz 0,8-1,5% C o strukturze złożonej z austenitu, ferrytu, węglików κ , a także innych węglików o nano- i mikrometrycznych rozmiarach. Stale te łączą w sobie wysokie własności wytrzymałościowe z ciągliwością. Wytrzymałość na rozciąganie tych stali może przekraczać 1300 MPa, przy wydłużeniu powyżej 15%. Jedną z ich zalet jest znacznie niższa gęstość, nawet o 15%, w porównaniu do gęstości typowych stali konstrukcyjnych, co wynika z zawartości aluminium w składzie chemicznym. Charakterystyki tych stali sprawiają, że stanowią one potencjalny materiał do zastosowania głównie w przemyśle motoryzacyjnym, ale również na inne elementy konstrukcyjne. Należy jednak zauważyć, że ze względu na zawartość pierwiastków stopowych są one cenowo droższe w porównaniu do innych stali konstrukcyjnych. Istotnym czynnikiem decydującym o ich przyszłym zastosowaniu w przemyśle będzie koszt wytworzenia danego wyrobu, wynikający m.in. w głównej mierze z zastosowanych parametrów i technologii ich wytwarzania, co w zestawieniu z ich własnościami oraz niższą gęstością w porównaniu do materiałów alternatywnych może mieć znaczący wpływ na ich komercjalizację. Stale TRIPLEX są obecnie w większości na etapie eksperymentalnego rozwoju, o czym świadczą nieliczne doniesienia o ich półprzemysłowym wykorzystaniu. Wciąż

prorowadzone są prace nad technologiami wytwarzania z nich półwyrobów, co również uzasadnia słuszność przyjętej tematyki rozprawy doktorskiej. Doktorantka w swojej pracy odnosi się do wpływu przeróbki plastycznej na własności mechaniczne i strukturę materiałów. Praca zawiera analizę mechanizmów odkształcenia i umocnienia, ale również współzależności pomiędzy procesem wytwarzania, rozwojem struktury a własnościami mechanicznymi. Należy zatem stwierdzić, że tematyka rozprawy doktorskiej jest aktualna, istotna i uzasadniona nie tylko z punktu widzenia naukowego, ale również poznawczego.

2. Ocena pracy doktorskiej

We wstępie, będącym rozdziałem pierwszym, odniesiono się do genezy rozwoju stali TRIPLEX, zawarto uzasadnienie tematyki rozprawy i krótko opisano cele pracy. Rozdział drugi stanowi podzielony na pięć podrozdziałów przegląd literaturowy. W podrozdziale 2.1 przedstawiono rozwój tych stali oraz podział ze względu na skład chemiczny. Podrozdział 2.2 skupia się na charakterystyce stali wysokomanganowych typu TRIPLEX, z szerokim opisem mechanizmów ich odkształcania, tj. plastyczności indukowanej odkształceniem przez tworzenie pasm ścinania, mikropasm ścinania i dynamicznych pasm poślizgu. Opisano w nim procesy odbudowy struktury zachodzące w wyrobach stalowych podczas odkształcania na gorąco w odniesieniu do krzywych płynięcia. W podrozdziale 2.3 scharakteryzowano wpływ udziału pierwiastków stopowych występujących w stalach Fe-Mn-Al-C na wieloskładnikowe układy równowagi fazowej. Jest to wyróżniająca się część przeglądu literaturowego, w której Doktorantka przeprowadziła, opartą na wielu przykładach, dogłębną analizę wpływu składu chemicznego i temperatury na zakres i rodzaj faz występujących w strukturze. Analizę podsumowała w postaci najważniejszych wniosków dotyczących wpływu składników stopowych i ich udziału na zakres występowania faz w stalach TRIPLEX. Charakterystykę faz zawarto natomiast w podrozdziale 2.4. Należy jednak zwrócić uwagę na sprzeczność stwierdzeń, wynikających z niepełnych informacji, zawartych w podrozdziałach 2.3 i 2.4.1, dotyczących wymaganej minimalnej zawartości aluminium dla utworzenia węgliku κ . I tak w podrozdziale 2.3 napisano „... w stalach Fe-Mn-Al-C wymagana minimalna zawartość aluminium w celu utworzenia węgliku κ przekracza ponad 5%, przy zawartości manganu większej niż 2% ...”, podczas gdy w podrozdziale 2.4.1. stwierdzono, że „Węglik κ w stalach Fe-Mn-Al-C pojawiają się, gdy zawartość Al jest większa niż 2%”. W dalszej części szczegółowo opisano budowę krystalograficzną węglików typu κ , warunki oraz miejsca ich wydzielenia w strukturze. Scharakteryzowano również fazy międzymetaliczne FeAl i Fe₃Al tworzące się w stalach Fe-Mn-Al-C oraz fazę β -Mn w zakresie warunków ich powstawania oraz wpływu na własności wytrzymałościowe wyrobów stalowych. Przegląd piśmiennictwa zakończony jest podsumowaniem opisanym w podrozdziale 2.5. Podsumowując przegląd literatury, stwierdzam że Doktorantka właściwie zdefiniowała najważniejsze kwestie związane z tematem pracy oraz w sposób wyczerpujący je opisała, powołując się głównie na najnowsze pozycje literaturowe.

Rozdział trzeci pracy stanowią badania własne. Głównym celem pracy jest określenie wpływu obróbki cieplno-plastycznej prowadzonej w warunkach półprzemysłowych oraz z wykorzystaniem symulatora procesów metalurgicznych Gleeble na strukturę i własności eksperymentalnych gatunków stali typu TRIPLEX, bez i z mikrododatkami Nb i Ti w gatunkach X98MnAlNbTi24-11 i X105MnAlSi24-11. W odniesieniu do tych stali w pracy przyjęto uproszczony zapis opisu tych gatunków, posługując się skrótami X98 i X105. Badania nad tymi gatunkami są prowadzone od kilku lat w Katedrze Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych na Wydziale Mechanicznym Technologicznym Politechniki Śląskiej. W tym zakresie między

innymi okazał się dorobek stanowi wiedza opisana w ramach publikacji naukowych z udziałem Doktorantki. W oparciu o pozyskaną wiedzę oraz analizę literaturową w rozprawie przyjęto tezę pracy, zgodnie z którą własności mechaniczne stali wysokomanganowych wynikają z oddziaływania umocnienia wydzieleniowego węglnikami κ , których morfologię i miejsce występowania można kontrolować poprzez obróbkę cieplno-plastyczną. Jednocześnie w tezie założono, że intensywność oddziaływania tych węglików kompensuje oddziaływania związane z wydzieleniem innych typów węglików (Nb i Ti) oraz zmianami morfologii austenitu i ferrytu.

W rozdziale poświęconym badaniom własnym Doktorantka opisała proces metalurgiczny wytworzenia materiału do badań, scharakteryzowała zastosowane symulacje obróbki cieplno-plastycznej, obejmujące próby ściskania wysokotemperaturowego z wykorzystaniem symulatora Gleeble oraz technologiczne próby walcowania na gorąco w warunkach półprzemysłowych. Następnie opisała metodykę w zakresie badań metalograficznych z wykorzystaniem mikroskopii świetlnej i elektronowej skaningowej, przygotowania izolatów węglkowych, badań cienkich folii w transmisyjnym mikroskopie elektronowym, rentgenowskiej jakościowej analizy fazowej, badań własności mechanicznych wyznaczonych w statycznych i dynamicznych próbach zrywania, próbach udarności i pomiarach twardości oraz badań gęstości. W tym zakresie praca nie zawiera wszystkich istotnych informacji. Głównym niedociągnięciem w zakresie metodyki badań jest brak wskazania i uzasadnienia miejsc analizowanych obszarów próbek z wykorzystaniem opisanych metod badawczych, za wyjątkiem opisu badań własności mechanicznych. Przy opisie parametrów stereologicznych wyznaczanych za pomocą systemu analizy obrazu AxioVision użyto sformułowania „udział procentowy ferrytu (ułamek objętościowy ferrytu)”. Biorąc pod uwagę, że badania stereologiczne były prowadzone z powierzchni, parametr ten powinien odnosić się do ułamka powierzchniowego, a nie objętościowego. Dodatkowo uzupełnienia wymagałoby podanie rozmiaru powierzchni badanego obszaru próbek, z których wyznaczano parametry stereologiczne. Dyskusyjną kwestią jest pominięcie pierwiastków lekkich w ilościowej mikroanalizie składu chemicznego przy wykorzystaniu detektora EDS z równoczesnym znormalizowaniem pozostałych pierwiastków do 100%. W zakresie metody EBSD nie podano natomiast informacji o zastosowanych metodach korekcji punktów analizy oraz polu powierzchni analizowanych obszarów dla danych próbek. Przy wyznaczaniu wielkości ziarna metodą dyfrakcji elektronów wstecznie rozproszonych nie zdefiniowano kryteriów przynależności punktów na mapach do ziarna. W tym zakresie wymagane jest podanie wartości parametrów dla kątowej tolerancji ziarna (ang. Grain Tolerance Angle) oraz zadanej minimalnej liczby punktów przynależnych do ziarna (ang. Minimum Grain Size). Jest to bardzo ważna kwestia, gdyż w zależności od przyjętych wartości można uzyskać bardzo różne wyniki wielkości ziarna. W opisie metodyki badań własności mechanicznych niezrozumiałe jest zdanie „Ze względu na ograniczoną dostępność stanowiska badawczego próbki do badań własności dynamicznych wykonano z płaskowników uzyskanych po walcowaniu na linii półprzemysłowej badanych stali”. Należy podkreślić, że opisane badania własne obejmują bardzo szeroki zakres realizowanych prac, które zostały prawidłowo dobrane z punktu widzenia celu i przyjętej tezy rozprawy doktorskiej. Szkoda, że nie zamieszczono schematu badań w formie graficznej z uwzględnieniem współzależności pomiędzy kolejnymi etapami badań, co nie tylko ułatwiłoby ocenę zakresu badań własnych, ale również pokazało, zasługujący na szczególne podkreślenie, bardzo szeroki zakres przeprowadzonych prac.

W rozdziale czwartym przedstawiono wyniki badań wraz z ich omówieniem. Wyznaczono i opisano wpływ prędkości i temperatury odkształcania na postać krzywych naprężenie-

odkształcenie (σ - ε) do wartości odkształcenia $\varepsilon=1$. Znajomość tych zależności wykorzystano również do pozyskania informacji o zapoczątkowaniu rekrytalizacji dynamicznej w zależności od zastosowanych parametrów. Następnie wykonano symulacje ściskania z wyżarzaniem izotermicznym, które pozwoliły na wyznaczenie kinetyki rekrytalizacji odkształconego austenitu, w tym czasu potrzebnego do uzyskania połówkowej rekrytalizacji. Wiedza ta została wykorzystana do zaprojektowania procesu czteroetapowego i następnie ośmioetapowego ściskania osiowosymetrycznego na gorąco z uwzględnieniem przerw pomiędzy kolejnymi odkształceniami. Badania wykazały, że zarówno dla stali X98 i X105 procesem kontrolującym umocnienie odkształceniowe stali w całym zakresie obróbki plastycznej na gorąco jest rekrytalizacja dynamiczna. W kolejnym podrozdziale przedstawiono własności wytrzymałościowe badanych stali po kuciu swobodnym, po ośmioetapowym ściskaniu na gorąco oraz po walcowaniu na gorąco. W wyniku zastosowania obu procesów uzyskano zwiększenie wytrzymałości na rozciąganie, granicy plastyczności, wydłużenia i twardości badanych stali niezależnie od zastosowanego wariantu chłodzenia w porównaniu do własności dla stanu materiału po kuciu. Po walcowaniu na gorąco wytrzymałość na rozciąganie tych stali mieściła się w przedziale od 1110 do 1205 MPa, granica plastyczności od 960 do 1130 MPa, wydłużenie od 22 do 28% oraz twardość od 420 do 495 HV0.5. W strukturze próbek po kuciu zidentyfikowano austenit, ferryt, fazę międzymetaliczną Fe_3Al oraz węgliki κ . Dla stali X98 uzyskano mniejszą wielkość ziarna austenitu, co uzasadniono obecnością węglików niobu i tytanu hamujących rozrost ziarn. Następnie przeanalizowano strukturę próbek po procesach cieplno-plastycznych. Na podstawie analizy struktur stwierdzono, że głównym mechanizmem usuwającym skutki umocnienia w trakcie walcowania na gorąco było zdrowienie dynamiczne, a po odkształceniu zdrowienie statyczne i metadynamiczne. W przypadku symulacji ośmioetapowego odkształcania stwierdzono natomiast, że umocnienie jest usuwane głównie przez rekrytalizację dynamiczną, oraz rekrytalizację statyczną i metadynamiczną pomiędzy kolejnymi przepustami, jak również po ostatnim odkształceniu w trakcie wygrzewania izotermicznego. W tym zakresie nie podano jednak przesłanek pozwalających na postawienie takich stwierdzeń oraz nie powołano się na konkretne wyniki badań. Powstaje również pytanie z czego mogą wynikać różnice w występujących mechanizmach odkształcania pomiędzy tymi procesami. W pracy wykazano, że procesy wysokotemperaturowego walcowania i ściskania prowadzą do rozdrobnienia ziarna austenitu i zmniejszenia udziału ferrytu w porównaniu do materiału po kuciu. W kolejnym etapie opisano wyniki badań struktury próbek w stanie wyjściowym oraz po procesach cieplno-plastycznych uzyskane za pomocą elektronowego mikroskopu skaningowego z wykorzystaniem detektora EDS do mikroanalizy składu chemicznego. W analizie wyników zwrócono uwagę na ograniczenia metody EDS w opisie rodzaju występujących składników struktury i słusznie w odniesieniu do zidentyfikowanych cząstek wskazano, że stanowią one najprawdopodobniej węgliki czy azotki o złożonym składzie chemicznym. Wątpliwości budzi natomiast wskazanie na prawdopodobne występowanie tlenków, gdyż w wynikach zestawionych w tablicach 17 i 18 nie wykazano obecności tlenu. Po walcowaniu na gorąco ujawniono dyspersyjne węgliki na bazie niobu i tytanu zarówno w austenicie, ferrycie, jak i na granicach ziarn, gdzie zidentyfikowano również węgliki κ . Wyniki tych badań pozwoliły również Doktorantce na określenie rozmiarów występujących cząstek. Wykazano, że zmniejszenie prędkości chłodzenia powoduje rozrost węglików κ . Technika EBSD wykorzystano do przedstawienia map orientacji krystalograficznych, rozkładu i wyznaczenia udziału powierzchniowego faz, rozkładu kątów dezorientacji oraz rozkładów

wielkości ziarna. W oparciu o wyniki badań EBSD Autorka potwierdziła obecność w strukturze próbek austenitu i ferrytu oraz oszacowała udział powierzchniowy węglików κ , wykorzystując w tym celu również wyniki badań stereologicznych. Zwróciła uwagę na różny stopień korelacji uzyskanych wyników EBSD w zestawieniu z wynikami badań stereologicznych. Istotne różnice wykazano przy wyznaczeniu średniej średnicy ziarna, gdzie uzyskane wyniki metodą EBSD są znacznie niższe. Jedną z przyczyn zaniżenia wyników wielkości ziarna w metodzie EBSD wydaje się być brak wykonanej korekcji punktów odnoszących się do bliźniaków wyżarzania, o czym świadczą rozkłady średnic ziarn w odniesieniu do analizowanych map, przedstawionych np. na rys. 93-94e. Brak tej korekty spowodował, że bliźniaki wyżarzania zostały policzone i zaklasyfikowane na przedstawionych rozkładach jako oddzielne ziarna. Doktorantka wykazała, że zarówno po walcowaniu, jak i symulacjach odkształcania na gorąco w strukturze dominują granice szerokokątowe. Niezrozumiałe jest stwierdzenie dotyczące występowania „największego udziału bliźniaków odkształcenia” w próbkach badanych stali chłodzonych zgodnie z wariantem W3. Doktorantka zapewne miała na myśli bliźniaki wyżarzania, a zamiast udziału bliźniaków, udział granic odpowiadających tym bliźniakom. W dalszej kolejności opisano wyniki badań węglików wyizolowanych z osnowy badanych stali oraz wyniki analizy charakteru przelomów po próbie rozciągania i próbach udarności. Bardzo wartościową i wyróżniającą się częścią pracy są wyniki badań cienkich folii w transmisyjnym mikroskopie elektronowym badanych próbek, pobranych i przygotowanych z wykorzystaniem mikroskopu elektronowo-jonowego (ang. Focused Ion Beam). Doktorantka rozwiązując poszczególne dyfrakcje, wykazała obecność w strukturze sekwencji układu faz austenit+ κ /ferryt+ DO_3/κ oraz węglików typu Mn_7C_3 w ferrycie. Scharakteryzowała również strukturę na poziomie nanometrycznym, ujawniając między innymi obecność w strukturze prążków Moiré w próbkach po kuciu. W próbkach po walcowaniu na gorąco zidentyfikowała i opisała występujące w strukturze efekty odkształcenia badanych próbek. Wykazała, że występujące w stali X98 węgliki (Nb,Ti)C posiadają płytkową morfologię o rozmiarach od 100 nm do kilku mikrometrów. Do oceny koherentności węglików κ z osnową austenityczną wykorzystała tryb wysokorozdzielczy HRTEM. Podsumowując wyniki badań wykonane w trybie TEM, STEM czy HRTEM, należy podkreślić wysoką jakość wyników badań, dociekliwość Doktorantki w analizie uzyskanych wyników oraz właściwą ich interpretację. Autorka udowodniła, że czuje się swobodnie zarówno w stosowaniu tych metod, jak i interpretacji wyników, co wskazuje na Jej wysokie kwalifikacje i bogate zdobyte doświadczenie badawcze w tym zakresie.

W rozdziale piątym Doktorantka podsumowała uzyskane wyniki badań i sformułowała najważniejsze wnioski. Należy podkreślić, że rozdział ten jest napisany w znacznej jego części w formie dyskusji wyników, gdzie powiązано własności mechaniczne uzyskiwane w drodze obróbki cieplno-plastycznej badanych stali ze strukturą.

W podsumowaniu można stwierdzić, że przeprowadzone przez Doktorantkę badania są bardzo obszerne i dogłębne. Bardzo wartościową częścią pracy jest opracowanie literaturowe oraz wyniki badań uzyskane z wykorzystaniem metod wysokorozdzielczej mikroskopii S/TEM. Do najważniejszych osiągnięć Doktorantki można zaliczyć:

- wykazanie, że węgliki κ – $(\text{Fe,Mn})_3\text{AlC}$ oraz związane z nimi mechanizmy umocnienia silnie wpływają na własności mechaniczne badanych stali, a także kompensują oddziaływanie związane z wydzieleniem innych typów węglików i zmian morfologii ferrytu oraz austenitu,
- ustalenie i opisanie mechanizmów strukturalnych wpływających na uzyskiwane wysokie własności mechaniczne stali X98 i X105, do których zaliczono plastyczność indukowaną

odkształceniem w wyniku tworzenia pasm i mikropasm ścinania oraz wykazanie roli nanometrycznych węglików κ w umacnianiu badanych stali,

- powiązanie własności mechanicznych ze strukturą po zastosowanych procesach obróbki cieplno-plastycznej.

Uzyskane przez Doktorantkę wyniki badań są adekwatne do celu pracy oraz potwierdzają słuszność przyjętej tezy.

3. Uwagi szczegółowe

Praca jest napisana starannie pod względem poprawności językowej stosowanej w literaturze naukowo-technicznej i cechuje się dokładnością wykonania zamieszczonych tablic i rysunków. W pracy występują również pewne błędy edytorskie, do których należy zaliczyć:

- powtórzenia słów w zdaniu, „Prezentowana rozprawa naukowa prezentuje...” (str. 8),
- występujące skróty myślowe, „... w zależności od pierwiastków stopowych takich jak Al, C i Mn, a także temperatury starzenia, struktura tych stali może być...”; poprawnie powinno być: w zależności od zawartości pierwiastków..., (str. 13),

- brak kropki na końcu zdania, „Jednak międzykrystaliczny węgiel κ jest znacznie większy i może powodować pogorszenie ciągliwości [1,2,4]”, (str. 46),

- brak wyrazu wpływający na niezrozumienie zdania, „Analizę strukturalną badanych stali oraz określono własności mechaniczne dla obu wariantów obróbki plastycznej czterech analizowanych stali” zamiast Wykonano analizę strukturalną..., (str. 29), „Na rysunkach 30-41 przedstawiono wyniki badań stali Fe-20Mn-9Al-0,75C przez zespół Liu [157]”, brakuje słowa uzyskane (str. 54),

- niewłaściwe formy gramatyczne, „...wymagało wielu lata badań stali” zamiast wielu lat, (str. 32), „Węgliki κ występuje...” zamiast Węgliki κ występują..., (str. 42), czy „...innego podejście do rozwiązania...” zamiast innego podejścia... (str. 77),

- kolokwializmy, np. „Badania twardości wykonano na twardościomierzu” zamiast za pomocą twardościomierza, (str. 80), „Jeżeli chodzi o analizę statystyczną istotności wykazanych...”, zamiast Analiza statystyczna istotności wykazała... (str. 103),

- brak spacji, np. „... wykładniczej(Rys. 67 i 68).” zamiast wykładniczej (Rys. 67 i 68)., (str. 88),

- utrudniona czytelność opisu w odniesieniu do zaprezentowanych wyników, np. zamieszczenie Rys. 70 na stronie 93, podczas gdy dyskusja nad tym rysunkiem jest zawarta na stronie 89,

- brak kropki pomiędzy zdaniami „... w dalszej części pracy Węgliki, takie jak...” (str. 43),

- powtórzenie tej samej merytorycznej treści w zadaniach: „Wykonane badania węglików wyizolowanych z osnowy badanych stali typu TRIPLEX dają pełniejszy obraz odnośnie ich morfologii, wielkości i składu chemicznego, a także udziału masowego (Rys. 107-109).” oraz „Badania węglików wyizolowanych z osnowy stali X98 dają pełniejszy obraz odnośnie ich morfologii, wielkości i składu chemicznego oraz udziału masowego.”, (str. 136).

4. Uwagi dyskusyjne

Zawarte w recenzji uwagi krytyczne mają charakter dyskusyjny, wynikający z zainteresowania recenzenta pracą i w żaden sposób nie obniżają wartości pracy. Proszę o odniesienie się do następujących kwestii:

1. Proszę o zobrazowanie oraz uzasadnienie wyboru miejsc do badań strukturalnych w próbkach po zastosowanych w pracy symulacjach i próbach półprzemysłowych obróbki cieplno-plastycznej.
2. Proszę o przedstawienie przesłanek na podstawie których w odniesieniu do wyników badań z wykorzystaniem mikroskopu świetlnego, zawarto w pracy stwierdzenia

dotyczące ustalenia mechanizmów usuwających skutki umocnienia w trakcie odkształcania. Dla walcowania na gorąco ustalono, że głównym mechanizmem było zdrowienie dynamiczne, a po odkształceniu zdrowienie statyczne i metadynamiczne, natomiast dla symulacji ośmioetapowego odkształcania jako główny mechanizm wskazano rekrytalizację dynamiczną, oraz rekrytalizację statyczną i metadynamiczną pomiędzy kolejnymi przepustami. Z czego mogą wynikać różnice w występujących mechanizmach odkształcania pomiędzy tymi procesami?

3. Jaki był rozmiar powierzchni próbek poddanych badaniom w celu wyznaczenia parametrów stereologicznych oraz jaka była minimalna ilość ziarn objętych analizą?
4. Czy, a jeśli tak to jakie, zastosowano metody korekcji punktów analizy w obróbce wyników badań EBSD?
5. Proszę o podanie przyjętych w pracy kryteriów przynależności punktów na mapach EBSD do ziarna oraz krótkie omówienie wpływu różnicowania tych parametrów na uzyskiwane wyniki wielkości ziarna.
6. Proszę o wyjaśnienie przyjętej w pracy metody szacowania udziału węglików pierwotnych κ , uwzględniając i zestawiając wyniki badań stereologicznych z wynikami EBSD.
7. Przedstawiając wyniki mikroanalizy składu chemicznego uzyskane z wykorzystaniem detektora EDS, Doktorantka wskazała na występowanie takich pierwiastków jak węgiel czy azot, nie uwzględniając ich w ilościowym wyniku, przy jednoczesnym znormalizowaniu udziału masowego pozostałych pierwiastków do 100%. Jaki był cel takiej prezentacji wyników i czy zdaniem Doktorantki poprawniejszym rozwiązaniem nie byłoby pokazanie tylko jakościowych widm uzyskanych dla poszczególnych punktów analizy?
8. W pracy wskazano, że badane stale mogą znaleźć zastosowanie między innymi na karoserie samochodowe. Jakie, zdaniem Doktorantki, elementy karoserii mogą zostać wykonane z badanych stali oraz jakie właściwości są kluczowe dla proponowanego konkretnego zastosowania?

5. Wniosek końcowy

Recenzowana praca pt. „Struktura i własności nowo opracowanych stali wysokomanganowych typu TRIPLEX” spełnia wszystkie wymagania ustawowe stawiane rozprawom doktorskim. Uzyskane przez Doktorantkę wyniki badań mają wartość nie tylko naukową, ale również poznawczą. Doktorantka w realizacji pracy wykazała się niezbędną wiedzą, dojrzałością, umiejętnością twórczego prowadzenia badań i interpretowania uzyskanych wyników.

Wnioskuje o dopuszczenie mgr inż. Liwii Sozańskiej-Jędrasik do publicznej obrony swojej rozprawy.



Dr hab. inż. Krzysztof Radwański