



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

**AGH**

Dr hab. inż. Janusz Krawczyk, prof. AGH

Kraków, dn. 25.11.2019

Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica

Al. A. Mickiewicza 30

30-059 Kraków

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej **mgr inż. Aleksandry Kozłowskiej**

pt. „**Wpływ temperatury na indukowaną odkształceniem przemianę martenzytyczną w wysokowytrzymałych stalach wielofazowych**”

Niniejsza recenzja została opracowana na zlecenie Dziekana Wydziału Mechanicznego Technologicznego Politechniki Śląskiej w Gliwicach, Pani dr. hab. Anny Timofiejczuk, prof. PŚ, w związku z uchwałą Rady Wydziału Mechanicznego Technologicznego Politechniki Śląskiej z dnia 25 września 2019 roku (pismo z dnia 25 września 2019 roku o numerze RMT0-1548/D/006/2018/2019).

### 1. **Ogólna charakterystyka pracy**

Praca doktorska mgr inż. Aleksandry Kozłowskiej, napisana pod kierownictwem prof. dra hab. inż. Adama Grajcara, prof. PŚ, dotyczy badań nad wpływem temperatury odkształcenia plastycznego na zakres przemiany austenitu w martenzyt w wysokowytrzymałych stalach wielofazowych. Praca ma układ klasyczny i składa się z 2 zasadniczych części tj. przeglądu piśmiennictwa oraz części badawczej. Zdaniem Recenzenta poprawnie zbalansowano przegląd piśmiennictwa z częścią badawczą pracy, a przy tym adekwatnie dobrano materiał ilustracyjny i tablicowy, zarówno pod względem jakościowym, jak i ilościowym. Praca liczy

Biuro Dziekana

Strona 1 z 13

wpłynęło dnia 25.11.2019

nr 2421/006 zat. -

173 strony, składa się z wstępu, 4 rozdziałów przeglądu literaturowego poruszanego zagadnienia naukowego, 4 rozdziałów prezentujących badania własne, 7 rozdziałów omówienia i dyskusji wyników badań, wniosków oraz spisu literatury. Praca zawiera również streszczenie w języku polskim jak i angielskim. Zawiera 114 rysunków (niejednokrotnie złożonych z więcej niż jednego slajdu lub wykresu) i 17 tabel. We wstępie Autorka uzasadnia swoje zainteresowanie tematem wysokowytrzymałych stali do zastosowania w szczególności w branży automotive. W pierwszym rozdziale przeglądu piśmiennictwa opisano wysokowytrzymałe stale wielofazowe z austenitem szczątkowym stosując podział tych stali na stale o osnowie ferrytycznej, bainitycznej i martenzytycznej oraz stale średniomanganowe. W drugim rozdziale tej części pracy scharakteryzowano istotę przemiany martenzytycznej indukowanej odkształceniem w oparciu o wewnętrzne i zewnętrzne czynniki determinujące stabilność austenitu szczątkowego. Zagadnieniem poruszonym w trzecim rozdziale był wpływ temperatury na właściwości mechaniczne stali wielofazowych w odniesieniu do procesów dyfuzji i segregacji, umocnienia odkształceniowego oraz indukowanej odkształceniem przemiany martenzytycznej. Ostatni rozdział przeglądu piśmiennictwa dotyczył stabilności mechanicznej austenitu szczątkowego.

Przeгляд literatury jest jasny i zrozumiały. Autorka oparła tę część pracy na informacjach zaczerpniętych z 200 pozycji literaturowych. Finalnie Autorka skorzystała w całej pracy z 227 pozycji literaturowych, w tym siedmiu pozycji swojego współautorstwa. Odwołania bibliograficzne obejmują głównie specjalistyczne czasopisma naukowe, w tym znaczną część pozycji z ostatnich kilku lat.

Drugą część pracy rozpoczęto od rozdziału pt. „Cel i teza pracy”. Rozdział następnym to opis materiału użytego do badań. Kolejny rozdział stanowi opis metodyki badań w zakresie wykonanych prób statycznego rozciągania, badań strukturalnych, rentgenograficznych oraz sposobu obliczania stabilności mechanicznej austenitu szczątkowego. Jedną z głównych części rozprawy stanowi rozdział „Wyniki badań i ich omówienie”. W rozdziale tym zamieszczono wyniki badań strukturalnych, rentgenograficznych, EBSD, TEM, mechanicznych oraz wyniki obliczeń stabilności mechanicznej austenitu szczątkowego. W kolejnej części pracy Autorka dokonała dyskusji uzyskanych wyników badań. Dyskusje podzielono na 7 zagadnień: Czynniki wpływające na stabilność austenitu szczątkowego; wpływ temperatury odkształcenia na ewolucję mikrostruktury stali; wpływ morfologii i wielkości ziarna austenitu szczątkowego na jego skłonność do przemiany martenzytycznej; wpływ stężenia węgla w

austenicie szczątkowym na jego skłonność do przemiany martenzytycznej; ocenę ilościową stabilności austenitu szczątkowego w zależności od temperatury odkształcenia; wpływ temperatury odkształcenia na własności mechaniczne badanych stali; wpływ temperatury odkształcenia oraz zawartości Mn na efekt Portevin–Le Chatelier (PLC). Merytoryczna część rozprawy kończy się rozdziałem „Wnioski”, w którym zawarto 8 wniosków.

## **2. Ocena doboru tematyki i zakresu pracy**

Poszukiwanie nowych stali zapewniających większe bezpieczeństwo użytkowników środków transportu oraz ekonomiczność materiałową jak i w zakresie kosztów eksploatacyjnych jest nadal priorytetowa dla producentów. Aby spełnić te wymagania koniecznym jest rozpatrywanie możliwości kształtowania plastycznego oraz mechanizmów umocnienia stopów żelaza poza klasycznie występującymi oraz dobrze poznanymi. Jednym z takich rozwiązań jest wykorzystanie austenitu szczątkowego do realizacji odkształcenia z jego przynajmniej częściową przemianą martenzytyczną. Pomimo wielu prac badawczych odnoszących się do powyższego zagadnienia nadal nie jest ono w pełni poznane. Wynika to z konieczności zbilansowania zakresu umocnienia zwanego z morfologią austenitu szczątkowego i jego stabilnością jak i warunkami realizacji odkształcenia plastycznego. Nie bez znaczenia jest metastabilność austenitu szczątkowego w realizacji badań. Wymaga to pełnej kontroli nad możliwym wpływem technik badawczych na zakres uzyskanych wyników. Wykonywanie cienkich folii do badań TEM może być związane z przemianą austenitu szczątkowego już na etapie preparatyki. Podobnie jest w przypadku wykonywania zglądów metalograficznych. Dodatkową komplikację stanowi porównywanie wyników ilościowej i jakościowej analizy udziału austenitu szczątkowego dla różnych stanów jego wystabilizowania. Należy tu zwrócić uwagę na różne mechanizmy stabilizacji austenitu, które będą inaczej wpływać na tzw. efekt artefaktu w zależności od techniki badawczej. Uważam więc, że podjęcie tematyki badawczej w zakresie analizy austenitu szczątkowego jest bardzo trudnym wyzwaniem dla badacza.

Uważam, że problematyka naukowa podjęta w opiniowanej pracy doktorskiej Pani Aleksandry Kozłowskiej jest nowatorska, trudna i niezwykle istotna z punktu widzenia zadań stawianych przed inżynierią materiałową w kształtowaniu własności materiałów dla branży automotive. Wpisuje się w aktualny nurt poszukiwań nowych możliwości wytwarzania materiałów dla konstrukcji pojazdów, a podjęty aspekt badań szczegółowych jest oryginalny

i stanowi istotne uzupełnienie do opisywanych w literaturze metod wytwarzania elementów konstrukcji stalowych. W tym aspekcie należy docenić innowacyjne podejście Autorki do podjętej problematyki, które z pewnością jest dużym wyzwaniem badawczym.

W oparciu o studia literaturowe i wyniki własnych badań doświadczalnych sformułowano tezę pracy: „**Wzrost temperatury odkształcenia w zakresie od -60°C do 200°C ma wpływ na zwiększenie stabilności austenitu szczątkowego i własności mechaniczne stali wielofazowych, determinowane przez dominujący mechanizm umocnienia oraz stężenie Mn w stali**”. Warto dodać, że praca ma zarówno charakter badań podstawowych jak i stosowanych. Postawiono cel naukowy, którym było określenie wpływu temperatury na indukowaną odkształceniem przemianę martenzytyczną oraz zależności pomiędzy mikrostrukturą a własnościami mechanicznymi w wysokowytrzymałych stalach wielofazowych z metastabilnym austenitem szczątkowym. Może się wydawać, że zakres przygotowanego do badań materiału jest ubogi (tylko trzy stale, każda tylko po ściśle określonej obróbce cieplno-plastycznej) lecz w odniesieniu do zagadnienia badawczego należy go uznać za wyważony i znamionujący złożoność podjętego zagadnienia, co zostało uwidocznione w dużym zakresie trudności interpretacyjnej uzyskanych wyników badań.

### **3. Opis metodyki badawczej**

Do zweryfikowania postawionej tezy badawczej Autorka użyła trzy stale z efektem TRIP, w których w wyniku odkształcenia plastycznego dochodzi do przemiany martenzytycznej austenitu szczątkowego. Pierwsza z wytypowanych do badań stali charakteryzuje się wielofazową strukturą ferrytyczno-bainityczno-austenityczną i jest klasyfikowana jako stal należąca do I generacji AHSS. Dwie pozostałe to stale średniomanganowe o strukturze bainityczno-austenitycznej klasyfikowane jako stale III generacji AHSS. Skład chemiczny oraz proces obróbki cieplno-plastycznej dedykowany z osobna dla każdej stali zostały dobrane nieprzypadkowo lecz w oparciu o ściśle przemyślana koncepcję, która została przedstawiona w pracy. Podobnie w sposób szczegółowy przedstawiono koncepcję zastosowanej metodyki badań (przedstawiając ją nawet w formie schematu).

Zakres badań obejmował:

- Statyczną próbę rozciągania w temperaturach: 20, 60, 100, 140 i 200°C.
- Badania mikrostrukturalne z zastosowaniem mikroskopii świetlnej, mikroskopii skaningowej oraz transmisyjnej mikroskopii elektronowej dla próbek odkształconych

plastycznie w temperaturach 20-200°C. Udział austenitu w funkcji temperatury odkształcenia plastycznego określono za pomocą techniki EBSD w skaningowym mikroskopie elektronowym.

- Badania rentgenograficzne z analizą jakościową i ilościową fazy  $\gamma$  jak i nawet ocena zawartości węgla w tej fazie.
- Obliczenia stabilności mechanicznej austenitu szczątkowego.

#### **4. Ocena merytoryczna pracy**

Oceniając pracę od strony merytorycznej, należy stwierdzić, że zarówno zaplanowane eksperymenty, dobór technik badawczych, interpretacja wyników wykonane są prawidłowo i jako całość nie budzą zastrzeżeń. Praca napisana jest w sposób staranny. Począwszy od przeglądu literatury, w którym Autorka dobrze wprowadziła w zagadnienie badawcze, przez metodologię, gdzie w sposób prosty i przejrzysty wyjaśniła co, jak i w jakim celu wykonano, po opis wyników badań własnych i analizę wyników, osiągając zamierzony cel badawczy jak i weryfikując postawioną tezę. Ogólnie pracę doktorską mgr inż. Aleksandry Kozłowskiej oceniam bardzo wysoko. Jednak podczas jej lektury nasuwają się pewne spostrzeżenia natury polemicznej oraz uwagi szczegółowe (natury edycyjnej oraz inne drobne uwagi), które zostaną dalej przedstawione.

#### **5. Polemiczne uwagi merytoryczne**

1. Największą uwagą do zastosowanej metodologii badań jest brak wyników dla stanu tylko nagrzanego lub oziębionego bez realizacji odkształcenia plastycznego co pozwoliłoby uszczegółwić dyskusję (nie w oparciu jedynie o domniemania lub dane literaturowe) odnośnie tego ile austenitu szczątkowego uległo przemianie w wyniku nagrzewania lub oziębiania a ile w wyniku destabilizacji mechanicznej podczas odkształcenia w tych temperaturach.
2. Tworzenie się cementytu podczas nagrzewania (temperatura 200°C) dla stali 3Mn i 5Mn jest bezpośrednio związane z destabilizacją austenitu szczątkowego i jego przemianą w martenzyt odpuszczony bez realizacji odkształcenia plastycznego.
3. Występowanie podziarn, w wyniku procesów zdrowieniowych, na różnym etapie ich formowania (str. 110), wiąże autorka z lokalną segregacją oraz lokalnym oddziaływaniem temperatury. Natomiast podstawową przyczyną tego zjawiska jest

niejednorodność odkształcenia (koncentracja pasm dyslokacyjnych i pasm ścinania) oraz rotacja pomiędzy obszarami o różnych uruchomionych systemach poślizgu lub uruchamianie nowego systemu poślizgu w obszarze, w którym już zaszło odkształcenie w innym systemie; w przypadku austenitu szczątkowego o małej EBU należałoby dodatkowo rozważyć zachodzenie bliźniakowania w różnych systemach.

4. Tylko na podstawie dokumentacji mikrostrukturalnej z mikroskopu świetlnego oraz SEM na stronach 73-76 przeprowadzono bardzo dogłębną dyskusję np. na temat morfologii austenitu szczątkowego. Dyskusja taka była przedwczesna albowiem na tym etapie pracy zaprezentowane wyniki nie upoważniały do tak odważnych stwierdzeń (częściowo tłumaczy to odwołanie do literatury fachowej lub skorzystanie z wieloletniego doświadczenia wybitnego znawcy tematu o niezachwianej intuicji badawczej, np. promotora).
5. Odmienne do uwagi nr 4, procesy zdrowienia dynamicznego można było już zdiagnozować dysponując zawartą w pracy „wyśmienitą” analizą EBSD.
6. Strona 113 - zdanie: Stal gwałtownie się umacniała, o czym świadczy duże nachylenie krzywej naprężenie-odkształcenie.; Czy duże nachylenie krzywej naprężenie-odkształcenie świadczy o silnym umocnieniu?.
7. Oznaczanie pików odpowiadających austenitowi i ferrytowi (lub martenzytowi nisko przesyconemu węglem) na dyfraktogramach rentgenowskich jako  $F_{\gamma}$  lub  $F_{\alpha}$  jest błędem bo są to oznaczenia odpowiadające czystemu żelazu, które dopiero mogłyby być zaznaczone jako idealne, dlatego piki wzmiankowane powinny być oznaczane prosto jako  $\gamma$  i  $\alpha$ .
8. Strona 9 – ferryt iglasty zaliczono do twardych składników strukturalnych co jest błędem, a jeśli chodziło o ferryt bainityczny to nie należało go rozróżniać podając osobno bainit w tym zestawieniu.
9. Strona 85 - w zdaniu: Ponadto bainit charakteryzuje się wydłużonym kształtem i występuje w sąsiedztwie austenitu szczątkowego.; nie wiadomo, o który austenit chodzi czy listwowy (który należy raczej zaliczyć do obszaru bainitu i w tedy zdanie traci sens) czy wyspowy, który był słabo zdiagnozowany.
10. Strona 10 – do zdania: Istotnym zagadnieniem jest określenie temperatury  $M_d$ , powyżej której nie zachodzi przemiana martenzytyczna.; powinno być dodane w wyniku destabilizacji mechanicznej.

11. Strona 10 – w zdaniu: Wzrost szybkości odkształcenia powoduje zwiększenie temperatury, co może wpływać na wzrost stabilności austenitu szczątkowego.; nie podano czego temperatury (elementu czy mikroobszaru odkształcenia (np. pasma ścinania?)), jest to istotna różnica.
12. Strona 11 – w zdaniu: W powyższych przypadkach podwyższenie temperatury odkształcanego metalu następuje w wyniku oddziaływania tarcia.; nie podano jakiego tarcia (wewnętrznego czy zewnętrznego?), jest to istotna różnica.
13. Strona 14 – w zdaniu: Po zakończonym walcowaniu blacha taśmowa jest chłodzona, aby uniknąć rekrytalizacji.; nie podano jakiej rekrytalizacji bo jeśli chodzi o dynamiczną to jej się nie uniknie przy walcowaniu na gorąco przez przyspieszone chłodzenie, tym zabiegiem można uniknąć rekrytalizacji zwłocznej.
14. Strona 15 – napisano: Zespół własności mechanicznych zależy od wielu czynników, w tym od temperatury odkształcenia. Odkształcenie zachodzi jednak w zakresie temperatury, chyba że stosuje się odkształcanie izotermiczne w piecu ale i w tym przypadku mamy efekt egzotermiczny od odkształcenia.
15. Strona 16 – jako prekursora stali nanobainitycznych nie wskazano H.K.D.H. Bhadeshia.
16. Strona 21 – zastosowano szyk zdania, który sugeruje, że podczas odpuszczania następuje rozdrobnienie ziarna co jest nieprawdziwe.
17. Strona 31 – w zdaniu: Dla ziarn mniejszych niż  $0,01\mu\text{m}$ , siła pędna niezbędna do wystąpienia przemiany martenzytycznej osiąga bardzo wysokie wartości, dlatego austenit cechuje się nadmierną stabilnością.; źle określono związek przyczynowo-skutkowy oraz rozumienie siły pędnej.
18. Większość stali ma mniejsze  $R_m$  i  $R_{p0,2}$  ze wzrostem temperatury badania – nie jest to tylko fenomenem stali TRIP (str. 49).
19. Strona 61 – w zdaniu: Zbadanie wpływu odkształcenia plastycznego w zróżnicowanej temperaturze na intensywność przemiany martenzytycznej pozwoli na scharakteryzowanie jej efektywności podczas warunków eksploatacji, kształtowania technologicznego taśm stalowych, a także podczas kolizji drogowej, gdzie na skutek odkształcenia dochodzi do podwyższenia temperatury elementów stalowych.; sugeruje się że temperatura karoserii wzrasta istotnie podczas kolizji – istotnie wzrastać może temperatura ale w obszarze pasma ścinania lub adiabatycznego pasma ścinania; podobną sugestię mamy na stronie 62.

20. Strona 77 i 74 – rys. 52 i 53 – na mikrofotografiach wskazywany jest austenit szczątkowy, którego w kolejnych badaniach rentgenograficznych nie stwierdzono dla takiego odkształcenia, co zostało pozostawione bez szczegółowego komentarza.
21. Przedstawiony błąd oszacowania stężenia węgla w austenicie szczątkowym na podstawie rentgenowskiej analizy fazowej uważam za mocno niedoszacowany.
22. Przedstawiony błąd oszacowania udziału austenitu szczątkowego na podstawie rentgenowskiej analizy fazowej uważam za mocno niedoszacowany choćby na wykrywalność austenitu dopiero na poziomie powyżej 2%.
23. Mała wielkość obszarów austenitu szczątkowego może skutkować brakiem jego stwierdzenia przy użyciu rentgenowskiej analizy fazowej co nie zostało wystarczająco wyraźnie zasygnalizowane przy interpretacji uzyskanych wyników i ocenie błędu pomiaru.
24. W ramach pracy można było wykonać badania dylatometryczne lub kalorymetryczne do oceny zakresu przemiany austenitu szczątkowego oraz kinetyki tej przemiany podczas samego nagrzewania.
25. Strona 114 – stwierdzono: W przypadku próbki odkształconej w  $-60^{\circ}\text{C}$ , dla małych wartości odkształcenia nastąpił gwałtowny spadek szybkości umocnienia odkształceniowego.; podczas gdy było podobnie dla wszystkich temperatur.
26. Strona 115 – stwierdzono: Jest to prawdopodobnie spowodowane wzrostem ilości austenitu szczątkowego przemienionego w martenzyt w początkowej fazie odkształcenia.; podczas gdy był to raczej efekt stabilności austenitu listwowego.
27. Strona 116 – stwierdzono: W tej temperaturze intensywność przemiany martenzytycznej była najmniejsza; ilość austenitu szczątkowego po odkształceniu w tej temperaturze wynosiła 10,7% (tablica 12).; podczas gdy zdrowienie dynamiczne skutkujące osłabieniem stabilizacji naprężeniowej i odkształceniowej też będzie tu odgrywać rolę.
28. Czy podwyższenie temperatury odkształcenia do  $60^{\circ}\text{C}$  skutkujące obniżeniem wartości  $R_m$  nie było związane ze zdrowieniem?
29. Czy w porównywaniu własności mechanicznych dla stali 5Mn oraz 3Mn (str. 122) nie powinno się wziąć pod uwagę również umocnienia roztworowego?
30. W pracy słabo odniesiono się do możliwości realizacji odkształcenia plastycznego poza austenitem szczątkowym w zależności od stanu umocnienia tych faz.



31. Strona 142 – stwierdzono: W przypadku stali 3Mn odnotowano występowanie wydzieleni węglkowych w 200°C (rys. 102), co tłumaczy spadek stabilności fazy  $\gamma$  w tej temperaturze odkształcenia.; o jaką stabilność chodzi czy o przemianę przy nagrzewaniu czy o stabilność względem odkształcenia – jeśli chodzi o stabilność względem odkształcenia (o której pisano w całej pracy) to jeśli cokolwiek austenitu po nagrzaniu pozostało to powinien on być bardzo odporny na destabilizację odkształceniową.
32. Jaki udział ma zdrowienie dynamiczne osnowy w zmniejszeniu naprężeń a przez to w stabilizacji lub destabilizacji austenitu szczątkowego?
33. Efekt PLC tłumaczono w pracy na podstawie teorii atmosfer Cottrella, podając przykłady miedzi i aluminium trudno jednak oprzeć się na tej teorii (str. 147). Czy samo realizowanie odkształcenia plastycznego przez sekwencyjną przemianę martenzytyczną nie może dać podobnego efektu?
34. Strona 151, wniosek 8: Temperatura  $M_d$  powyżej której przemiana martenzytyczna nie zachodzi nie została osiągnięta w przypadku żadnej ze stali w badanym zakresie temperatury od -60 do 200°C.; Czy problem nie leży w tym, że podczas nagrzewania nie pozostało już nic austenitu aby móc określić jego temperaturę przemiany indukowanej odkształceniem (badane w pracy stale nie są stalami austenitycznymi gdzie nie ubywa austenitu z ich nagrzewaniem).

## 6. Uwagi redakcyjne i szczegółowe

1. W tytule rozdziału 3.4 jest omówienie wyników badań i podobnie w rozdziale 4 co wprowadza pewne zamieszanie.
2. Skrót rys. powinien być używany w podpisach pod rysunkiem i w przypadku podawania w tekście w nawiasie, natomiast w zdaniu nie powinno się stosować skrótu lecz pełny wyraz.
3. W pracy nie zlikwidowano tzw. sierot i wdów na końcach wersów.
4. W pracy można znaleźć niekonsekwencję w zapisie wyników z podana jednostką (np. str. 16, 31, 39, 63, 64, 69, 121) – tzw. jednostki alfanumeryczne powinno się pisać z odstępem (np. mm, s, N, K) a niealfanumeryczne bez odstępem (np. %, °C).

5. W pracy, w obszarze przeglądu piśmiennictwa czasami brakuje odnośników literaturowych (np. strona 27 – pierwszy akapit rozdziału 2.2.1; strona 29 - pierwszy akapit; strona 32, 36, 52).
6. W konstrukcji wykresów dla poszczególnych temperatur można było zastosować kodowanie kolorystyczne ułatwiające analizę a nie pozostawić dowolną kolorystykę przyjętą przez program Excel (rys. 93-101).
7. W wynikach analizy TEM brak jest wskazania refleksów dyfrakcji, z których wykonano ciemne pole widzenia.
8. Strona 109 – w zadaniu: Ponadto w ferrycie widoczne są układy dyslokacyjne oraz prawdopodobne wydzielenia węglikoazotków Nb/Ti [7].; nie oznaczono na żadnej mikrofotografii tych wydzieleni aby móc sprawdzić, o które Autorce chodzi.
9. W mikrostrukturach z TEM można zauważyć wydzielenia węglików, których morfologia wskazuje, że są to węgliki  $Fe_{2,4}C$  ( $\epsilon$ ) oraz  $Fe_3C$  (cementyt) lecz nie oznaczono ich z opisem na obrazach z TEM choć np. w analizie SEM i LM stosowano nawet nadinterpretację w oznaczaniu faz.
10. W pracy można znaleźć tzw. skróty myślowe jak np.: strona 114 – Podwyższenie temperatury odkształcenia do  $100^{\circ}C$  skutkowało dalszym spadkiem potencjału do umocnienia odkształceniowego badanej stali w stosunku do niższych temperatur odkształcenia.; strona 134 - W przypadku badanej stali typu 5Mn spadek stężenia węgla {w czym?} w stosunku do stali typu 1,5Mn w stanie wyjściowym wynosił ok. 0,37% wag.; strona 149 – Intensywność przemiany austenitu w węgiel była największa w przypadku stali o najwyższej zawartości Mn.; (jak austenit może się przemienić w węgiel?).
11. W tekście umiejscawiane są szczegółowe wyniki, które są dodatkowo zestawiane w tablicach oraz na rysunkach; np. strona 81 udziały austenitu szczątkowego 4,5%; 3,8%, 3,5% dla stali 3Mn odpowiednio dla temperatur odkształcania  $60$ ,  $100$  i  $140^{\circ}C$  są podane w tekście na stronie 81, na rysunku 57 na stronie 82 oraz w tablicy 12 na stronie 85.
12. Rysunki czasami wyprzedzają odwołanie do nich w tekście (np. rys. 32).
13. Zdarza się rozpoczynać zdania od „Na rys. ...” co jest mało wyrafinowaną formą prowadzenia narracji (np. str. 103).

14. Tablice do których odnosi się tekst są umiejscowione dopiero znacznie dalej w pracy (tab. 12 – pierwsze odniesienie na stronie 79, tablica na stronie 85).
15. Strona 7 - zamiast [1, 4-5, 6-11] powinno być [1, 4-11].
16. Strona 8 – w zadaniu: Stale te zawierają 15-30%, co pozwala na stabilizację fazy austenitycznej do temperatury pokojowej.; nie podano do czego odnoszą się procenty.
17. Strona 9 – w zdaniu: Stale III generacji AHSS charakteryzują się własnościami wytrzymałościowymi i plastycznymi w zakresie pomiędzy stalami I oraz II generacji (rys. 4), przy zmniejszonych kosztach wytwarzania w porównaniu do stali II generacji.; jest odniesienie do rysunku 4 podczas gdy na nim nie ma określenia stali kolejną generacją.
18. Strona 10 – brakuje przecinka przed słowem: których.
19. Strona 45 – brakuje przecinka przed słowem: które.
20. Strona 151 – brakuje przecinka przed słowem: której.
21. Strony 18 i 26 – brakuje przecinka przed słowami: pomiędzy którymi.
22. Strona 50 – brakuje przecinka przed słowami: powyżej której.
23. Strona 31 – brakuje przecinka przed słowami: w których.
24. Strona 42 – brakuje przecinka przed słowami: w którym.
25. Strona 18 – Tablica 4 – w składach chemicznych brakuje odstępu pomiędzy wartością a symbolem pierwiastka oraz oznaczenia % z określeniem czy chodzi o procent masowy czy atomowy, dla jednej wartości podano A5 a dla pozostałych nie jest podane o jakie wydłużenie chodzi.
26. Strona 19 – Rys. 9 – nie w pełni przetłumaczono opis rysunku.
27. Strona 21 – niepełne hartowanie odniesiono do angielskiego terminu „Quenching” czyli hartowania.
28. Strona 29 – w zdaniu: Występowanie tego rodzaju składnika strukturalnego o znacznej wielkości wpływa niekorzystnie na ...; trudno określić co jest rozumiane pod pojęciem wielkości składnika.
29. Strona 33 – zawiera zdanie bez dalszego komentarza: W pracy [142] zbadano stale typu TRIP z mikrododatkami Nb i Ti.; nasuwa się pytanie: i co z tego wynika?.
30. Strona 36, 40, 41, 56 – Rys. 24, 28, 30, 39 - opis skali jest po angielsku – części dziesiętne są oddzielone kropką zamiast przecinkiem.
31. Strona 56 – rys. 39 – pozostał artefakt z wersji przeredagowywanej.
32. W tekście nie ma odwołania do rysunku 29 (str. 39 i 40).

33. Strona 40 – podpis pod rysunkiem 29 – zamiast zapisu typu 0,0002/s powinien być 0,0002 s<sup>-1</sup>.
34. Strona 61 – brak przecinka przed słowem „że”; zamiast „cześć” powinno być „część”.
35. Strona 113 – stwierdzenie: ... w zaniżonym wydłużeniu całkowitym: ...; może świadczyć o jakimś zamierzonym lub niezamierzonym błędzie odczytu – w tym przypadku zastosowano błędny styl wypowiedzi.
36. Strona 131 –zamiast „wiec” powinno być „więc”.
37. Rysunki 106-108 zawierają wykresy z takim samym odcinkiem kolejnych prezentowanych punktów podczas gdy przyjęto ni taki sam zakres zmiany temperatury pomiędzy tymi danymi.
38. Strony 138/139 – stwierdzenie: Świadczy to pośrednio o znaczącym wzroście gęstości dyslokacji podczas odkształcenia plastycznego [202].; raczej świadczy o rotacji orientacji z uruchamianiem różnych systemów poślizgu.
39. Strona 144 – napisano: stal typu 5Mn – to ile tych stali 5Mn było?
40. Strona 149 – w zadaniu: W zakresie temperatur podwyższonych: 140-200°C umocnienie przez efekt TRIP nie ma dominującego charakteru, a decydujące dla rozwoju mikrostruktury i własności mechanicznych jest występowanie zdrowienia dynamicznego prowadzącego do spadku gęstości dyslokacji oraz kształtowania się podziarn o zróżnicowanym zaawansowaniu.; nie wyjaśniono o zaawansowanie czego chodzi.
41. Strona 150 – styl nie jest właściwy dla zapisu: ...oraz dobrego połączenia wytrzymałości i wydłużenia odnotowano....

## **7. Podsumowanie odnośnie przedstawionych uwag**

Wszystkie przedstawione uwagi mają charakter dyskusyjny oraz uzupełniający i nie wpływają w sposób istotny na moją pozytywną, wysoką ocenę całości pracy. Duży zakres przedstawionych uwag oraz ich szczegółowość miały jedynie na celu stworzenie Autorce możliwości swobodnego ich wykorzystania dla własnych celów w dalszym rozwoju naukowym, badawczym i publikacyjnym. Ciekawe wyniki, sposób ich zaprezentowania oraz ich interpretacja potwierdza, że Autorka przestudiowała literaturę i swobodnie porusza się w tematyce wysokowytrzymałych stali wielofazowych a w szczególności problematyce austenitu szczątkowego. Moim zdaniem Autorka bardzo dobrze poradziła sobie

z rozwiązaniem sformułowanego trudnego problemu badawczego, osiągnęła cel badawczy i potwierdziła tezę.

## **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 bardzo pozytywną opinię o całości pracy.

Po zapoznaniu się z rozprawą doktorską mgr inż. Aleksandry Kozłowskiej pt.: „Wpływ temperatury na indukowaną odkształceniem przemianę martenzytyczną w wysokowytrzymałych stalach wielofazowych” stwierdzam, że **spełnia ona wymogi stawiane pracom doktorskim** zawarte w ustawie z dnia 14 marca 2003 r. (z późniejszymi zmianami) o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki oraz **wniosuję do Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej o dopuszczenie jej do publicznej obrony. Składam również wniosek o wyróżnienie tej rozprawy.**

